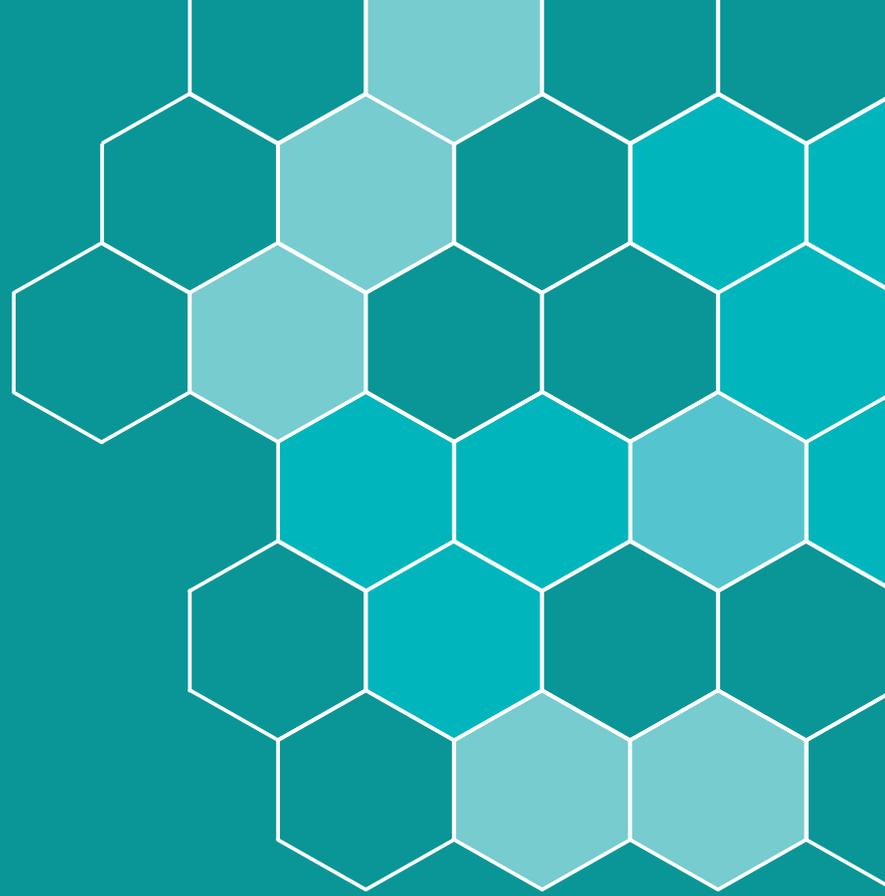


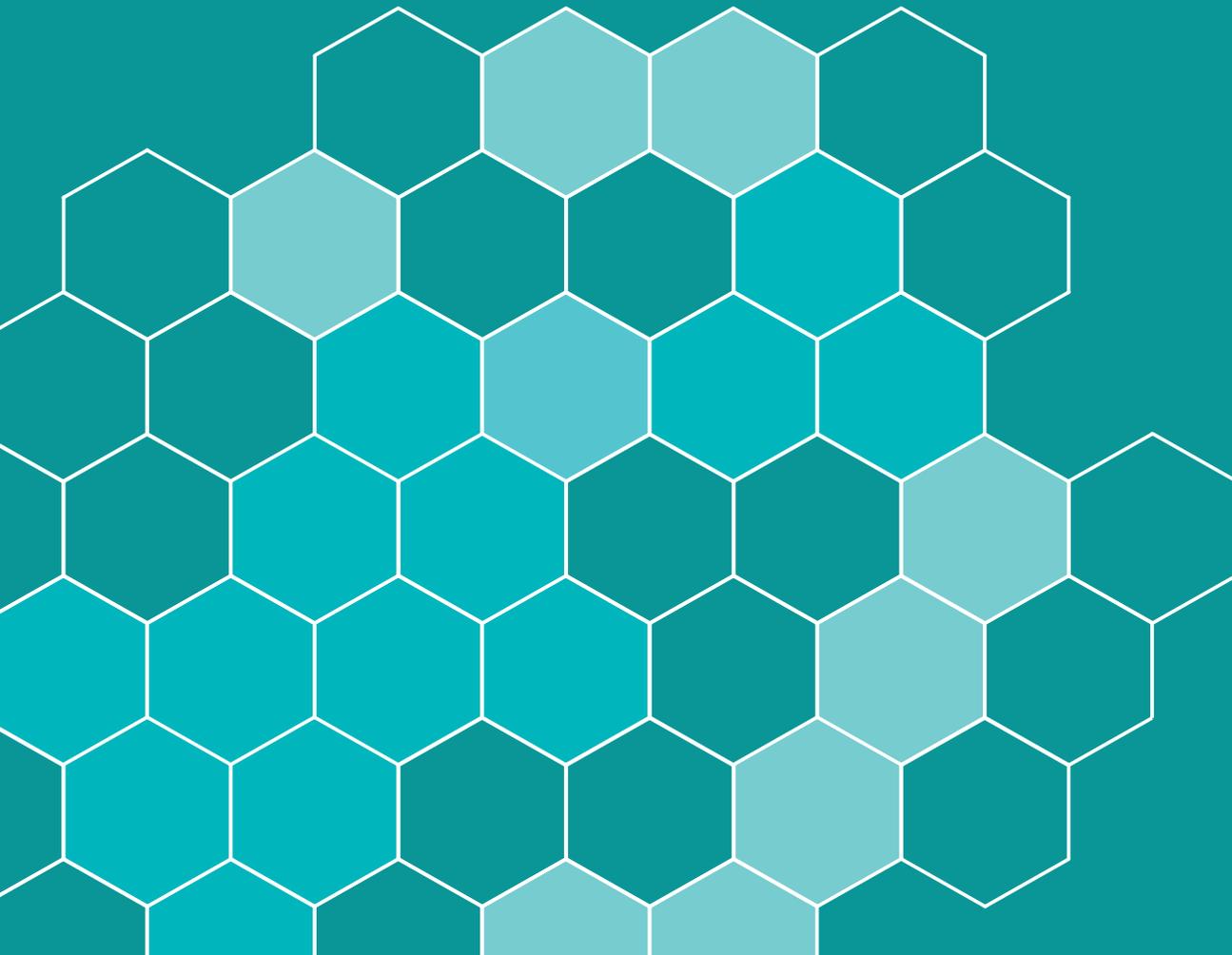


**5G.NRW**

Competence Center



# 5G ALS CHANCE FÜR IOT-PLATTFORMEN DER ZUKUNFT – EIN VISIONSPAPIER



# IMPRINT

## Autoren:

Lukas Stratmann · FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Murtaza Abbas · FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Maximilian Dresen · FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Christ Mbaya · FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Max-Ferdinand Stroh · FIR e. V. an der RWTH Aachen

## Bildnachweise:

S. 11; S. 20/21: © sikov – stock.adobe.com; S. 12: © denisismagilov – stock.adobe.com;  
S. 23: © Tierney – stock.adobe.com; Grafiken: © FIR e. V. an der RWTH Aachen

# LIZENZBESTIMMUNGEN/COPYRIGHT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Diese Arbeit wurde gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIKE NRW) unter dem Förderkennzeichen 005-1903-0129.

© 2022

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



# INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	5
1.1	Motivation.....	5
1.2	Vorgehen.....	6
2	GRUNDLAGEN.....	7
2.1	(Digitale) Plattformen.....	7
2.2	IoT-Plattformen.....	7
2.3	5G-Campusnetze.....	9
3	5G ALS ENABLER FÜR DEN EINSATZ VON IOT-PLATTFORMEN.....	13
3.1	Wie IoT-Plattformen 5G-Anwendungen beflügeln können.....	13
3.1.1	Anwendungsfall 1: Kabelloses Condition-Monitoring für den gesamten Maschinenpark.....	13
3.1.2	Anwendungsfall 2: Effizienzsteigerung fahrerloser Transportsysteme.....	14
3.1.3	Anwendungsfall 3: Fernüberwachung von dezentraler Infrastruktur über das öffentliche 5G-Netz.....	15
3.2	Vorstellung der Vision von 5G als Enabler von IoT-Plattformen.....	16
3.3	5 Hypothesen, die das 5G-Potenzial aufzeigen.....	17
4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	21
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	22

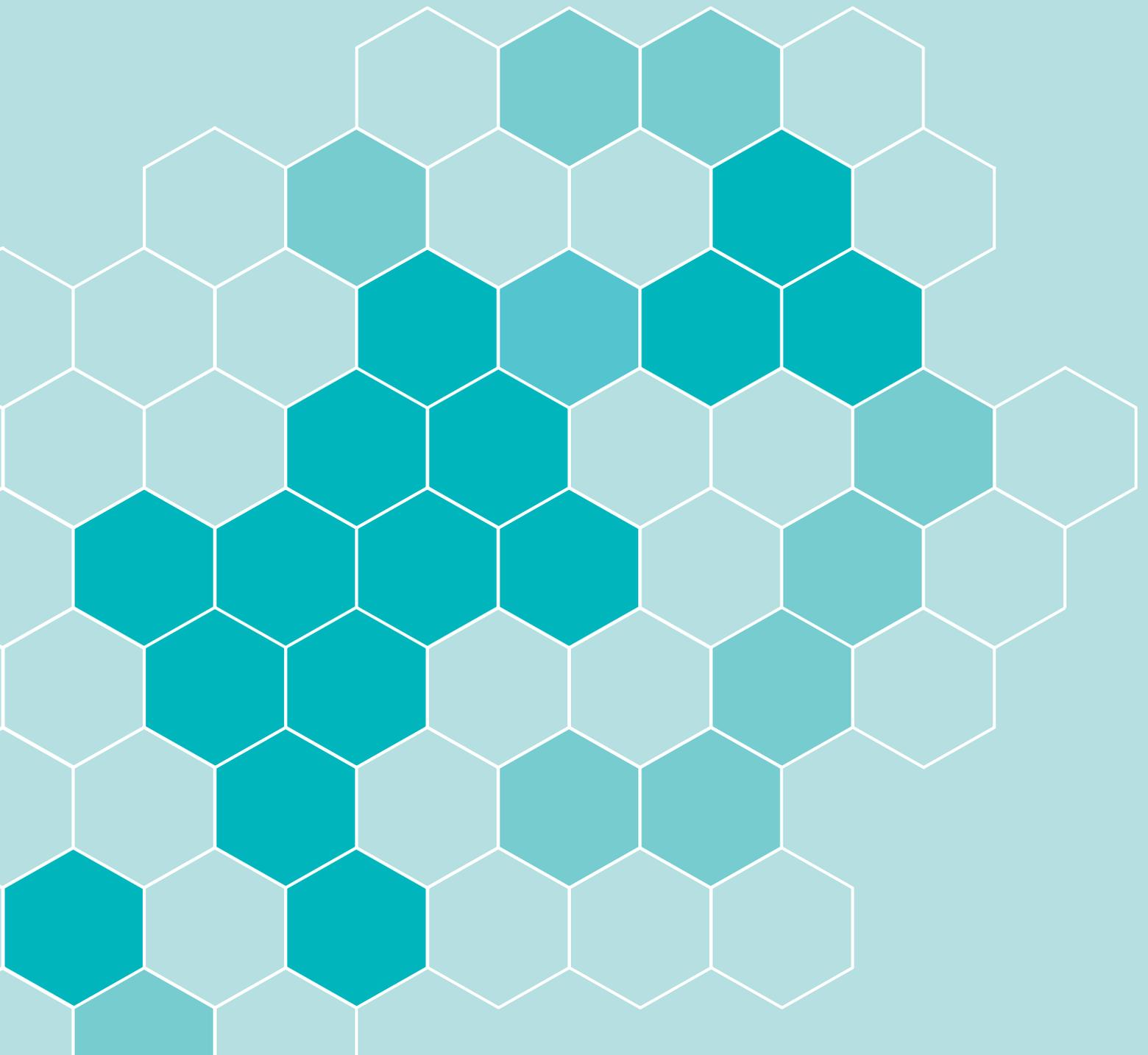
## ANSPRECHPARTNER AM FIR



Lukas Stratmann, M.Sc.  
FIR e. V. an der RWTH Aachen  
Bereich Business Transformation  
Tel.: + 49 241 47705-317  
E-Mail: [Lukas.Stratmann@fir.rwth-aachen.de](mailto:Lukas.Stratmann@fir.rwth-aachen.de)



**5G ist die 5. Generation der Mobilfunknetztechnologie nach 1G, 2G, 3G und 4G. Es ermöglicht eine neue Art von Netzwerk, das darauf ausgelegt ist, praktisch jeden und alles miteinander zu verbinden, einschließlich Maschinen, Objekten und Geräten. ([qualcomm.com/5g/what-is-5g](https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g))**





# 1 EINLEITUNG

## 1.1 MOTIVATION

Die Anzahl der verbundenen Geräte wird laut *IoT Analytics* von knapp 14 Milliarden Geräten heute auf bis zu 30 Milliarden Geräte im Jahr 2030 ansteigen.<sup>1</sup> Eine Technologie, die die Zunahme der verbundenen Endgeräte begünstigen wird, ist die neue Mobilfunktechnologie 5G. Die fünfte Mobilfunkgeneration gilt als Schlüsseltechnologie der digitalen Transformation und wird sowohl die sichere Drahtloskommunikativität unter Endgeräten sicherstellen als auch das Internet of Things (IoT) in der Breite beflügeln. Damit stellt 5G einen Baustein der nächsten Digitalisierungsstufe dar und öffnet neue Türen für Intelligente und mobile Anwendungen. Von der hochgenauen Ortung einzelner Devices bis hin zur Steuerung sicherheitsrelevanter Transportsysteme ermöglicht 5G eine effiziente Kommunikation in den Produktionsumgebungen der Zukunft.

Hand in Hand steigt mit den neuen Anwendungen allerdings die Komplexität des Managements und des Betriebs der Kommunikationstechnologie. Während bestehende Kommunikationstechnologien wie WLAN und Ethernet inzwischen industrieller Standard sind, ist 5G für viele IT-Abteilungen ein gänzlich neues Feld, dessen Aufbau und Betrieb neuer Kompetenzen bedürfen. Demnach ist die unternehmensweite Skalierung der 5G-Technologie ein Pflichtkriterium für den industriellen Einsatz. Nach unserer Einschätzung bieten Plattformen dank ihrer einfachen Skalierbarkeit und geringen Transaktionskosten hier einen entscheidenden Vorteil. Mit der wachsenden Anzahl realisierter Anwendungen nehmen konsequent Stimmen zu, die daran interessiert sind, eine Plattform zum zentralen Management des Betriebs zu nutzen. Werden solche Plattformen für weitere Services geöffnet, bildet sich über Netzwerkeffekte ein sich selbst verstärkendes System, dessen Relevanz stetig steigt. 5G-Netzwerkeffekte beschreiben dabei die zusätzlichen Anwendungen und Bedarfe, die durch 5G hervorgerufen werden. Im Kontext einer vernetzten Industrie bildet die 5G-Technologie das Verbindungselement zwischen Realität und Verarbeitungsmedium bzw. zwischen Endanwendung und IoT-Plattform.

Im Rahmen dieses Whitepapers wird ein Blick auf das Zusammenspiel zwischen 5G-Technologie und IoT-Plattformen geworfen und dabei erläutert, wie über ein Plattformkonzept der industrielle Nutzen von 5G skalierbar gestaltet werden kann. Das hierbei erarbeitete Plattformkonzept hilft in der Einordnung von Anwendungsfällen und dem Verständnis über die Potenziale der 5G-Technologie. Zudem wird ein Ausblick auf die Entwicklung von 5G-IoT-Plattformen gegeben. Hierunter fallen unter anderem Zusatzservices, z. B. in Form von App-Stores, die über eine einheitliche IoT-Plattform nutzbar gemacht werden und zusätzlichen Mehrwert liefern. Flexibilität und einfache Handhabung werden als elementare Grundbausteine hierfür vorausgesetzt.

Das 5G-Plattformkonzept verbindet, wie in Bild 1 (s. S. 6) zu sehen, Informations- und Anwendungsbedarfe (z. B. aus dem Produktionsbetrieb) über industrielle 5G-Schnittstellen mit IoT-Anwendungen und ergänzenden Services. 5G bietet ein breites Anwendungsspektrum, wodurch mehr Anwendungen angebunden werden können und der Mehrwert der Plattform erhöht wird. Durch die Einbindung von 5G als Kommunikationsschnittstelle in IoT-Plattformen können erstmals Anwendungen mit hohen Anforderungen an Drahtlos-Übertragungstechnologien über eine IoT-Plattform angebunden werden. 5G als Übertragungstechnologie ergänzt also bestehende Technologien und eröffnet eine Vielzahl neuer Anforderungen und Anwendungsfälle. Das Plattformkonzept bietet einen visionären Ausblick darauf, welche Möglichkeiten aus einer komplementären und skalierbaren Lösung zwischen 5G und IoT entstehen können.

---

<sup>1</sup> s. IoT ANALYTICS 2020, zit. n. Statista 2022





## 2 GRUNDLAGEN

### 2.1 (DIGITALE) PLATTFORMEN

Digitale Plattformen durchbrechen traditionelle Organisationsstrukturen, sind vielseitig einsetzbar und bieten neue Chancen für Organisationen. Dabei lassen sich drei verschiedene Plattfortmtypen unterscheiden, die sich sowohl durch den technischen Aufbau als auch durch das Geschäftsmodell differenzieren. Unterschieden wird dabei zwischen Dienstleistungs-, Marktplatz- und Customer-Insights-Plattformen. So offerieren Dienstleistungsplattformen ihre eigenen digitalen Dienstleistungen und generieren Umsatz, indem sie Gebühren für die Bereitstellung oder den Verkauf der Dienstleistungen erheben. Marktplatzplattformen dagegen bieten einen Marktplatz mit dem Ziel an, Käufer:innen und Verkäufer:innen zusammenzubringen. Diese Art der Plattform generiert Umsatz mit der Erhebung von Gebühren, die für jede erfolgreiche Transaktion über die Plattform stattfindet. Davon unterscheidet sich die Customer-Insights-Plattform, indem sie ihren Nutzer:innen Dienstleistungen bietet, jedoch ihren Umsatz entweder über die Bereitstellung von Nutzerdaten oder den Zugang zu Drittnutzern generiert.<sup>2</sup>

Darüber hinaus lassen sich laut EISENMANN ET AL. jedoch übergeordnete Charakteristika erkennen: So bieten Plattformen eine Schnittstelle, die Anbietende und Nachfragende zusammenbringt. Der von der Plattform generierte Mehrwert resultiert somit aus dem Zusammenführen von zwei oder mehr Gruppen. Aus wirtschaftlicher Sicht weisen Plattformen eine gute Skalierbarkeit auf, da sie zwar hohe Investitionskosten aufweisen, aber für weitere Teilnehmer sehr niedrige zusätzliche Kosten anfallen. Dadurch verbleiben die Transaktionskosten innerhalb der Plattform marginal. Plattformen profitieren in dieser Kombination von geringen Transaktionskosten und einfacher Erweiterung. Diese sogenannten Netzwerkeffekte steigern so mit wachsender Nutzerzahl einer Gruppe die Attraktivität der Plattform für die jeweils andere Gruppe.<sup>3</sup>

Aus technologischer Sicht sind digitale Plattformen eine zweckorientierte digitale Technologie, die aus einer modularen Architektur mit drei Hauptkomponenten besteht: dem Kernsystem, ergänzenden Funktionen und Schnittstellen. Als Basis dient das Kernsystem der Plattform, das durch langfristige Unveränderlichkeit charakterisiert ist. Ergänzend existieren Funktionen, die anwendungsfallbezogen entwickelt werden und regelmäßig angepasst werden müssen. Um diese beiden Komponenten als zusammenhängendes System zu etablieren, wird die letzte Komponente der Schnittstellen benötigt.<sup>4</sup>

### 2.2 IOT-PLATTFORMEN

Mithilfe digitaler Plattformen sind produzierende Unternehmen in der Lage, systemübergreifende Informationsverfügbarkeiten gemäß spezifischen Bedürfnissen und komplexen Anforderungen zu realisieren. Infolge der hohen Anforderungen hinsichtlich der Verlässlichkeit bereitgestellter Daten, umfassender Datenintegrationen und analytischer Features haben IoT-Plattformen in den letzten Jahren bedeutend an Aufmerksamkeit gewonnen.<sup>5</sup> Folglich wird sowohl der Begriff *Internet of Things* als auch (*Digitale*) *Plattform* definiert und in diesem Zusammenhang der Begriff *IoT-Plattform* erläutert.

.....

**Definition Internet of Things (IoT):**  
Das Internet of Things (IoT) – auf Deutsch „Internet der Dinge“ – bezeichnet eine globale Infrastruktur, die es ermöglicht, sowohl physische als auch virtuelle Objekte miteinander zu vernetzen.

(Sascha Schlosser)<sup>6</sup>

<sup>2</sup> PwC 2021, S. 10

<sup>4</sup> s. BALDWIN U. WOODARD 2009, S. 26

<sup>6</sup> s. SCHLOSSER 2020, S. 678

<sup>3</sup> s. EISENMANN ET AL. 2006, S. 2f.

<sup>5</sup> s. MAUERER 2019, S. 23

Das *Internet of Things* bezeichnet sowohl im privaten als auch im professionellen Umfeld die umfangreiche Vernetzung physischer und virtueller Endgeräte. Die Begriffsdefinition nach MATTERN U. FLÖRKEMEIER beschreibt das Internet der Dinge als eine "Vision, in der das Internet in die reale Welt hinein verlängert wird und viele Alltagsgegenstände ein Teil des Internets werden. Dinge können dadurch mit Informationen versehen werden oder als physische Zugangspunkte zu Internetservices dienen, womit sich weitreichende und bis dato ungeahnte Möglichkeiten auf tun. [...] Eine zentrale Rolle kommt in dieser Vision den "smarten" (bzw. "intelligenten") Objekten zu: Ausgestattet mit Informations- und Kommunikationstechnik und angebunden an den Cyberspace mit seinen mächtigen Diensten erhalten alltägliche Gegenstände eine neue Qualität: Diese können über Sensoren ihren Kontext wahrnehmen, sich miteinander vernetzen, auf Internetservices zugreifen und mit dem Menschen interagieren".<sup>7</sup> Als Ausprägung, die hier nicht weiter ausgeführt wird, fokussiert das Industrial Internet of Things (IIoT) Anwendungsfälle im produzierenden und industriellen Umfeld.

---

#### Definition IoT-Plattform:

**IoT-Plattformen bilden die technische Voraussetzung, um IoT-Geräte zu vernetzen. Sie ermöglichen das Verbinden von Sensoren und Devices, das Verarbeiten eingehender Daten und deren zentrale Speicherung sowie eine Auswertung und Analyse zur Informationsgewinnung.<sup>8</sup>**

Allgemein lassen sich Plattformen als Organisationen, die zwei oder mehr Seiten zusammenführen und direkte Interaktionen zwischen ihnen ermöglichen, definieren<sup>9</sup>. Als Intermediäre stellen sie nicht zuletzt die benötigte Infrastruktur bereit, sondern ermöglichen ebenso den Austausch wertschöpfender Interaktionen zwischen Akteuren.<sup>10</sup>

Als Enabler und Schlüsselement datenbasierter Geschäftsmodelle stellen IoT-Plattformen eine digitale Lösung zur Digitalisierung verarbeitender Gewerbe dar. Im B2B-Kontext bilden sie eine Erweiterung und Kombination aus Transaktions-, Vernetzungs- sowie Infrastrukturplattform und können in die vier Gruppen IoT-Plattform mit Fokus auf Analytics, Branchenübergreifende IoT-Plattform, Branchenspezifische IoT-Plattform und IoT-Produktplattform unterteilt werden.<sup>11</sup> Grundsätzlich besteht eine IoT-Schichtarchitektur aus Dateninput, Datenaggregation und Datenverwaltung, die weiter in Anwendungsprogrammierschnittstellen, Verarbeitungslogik, Datenpersistenz und ein Hub unterteilt werden können.<sup>12</sup>

Derartige IoT-Plattformen können vor Ort (On Premises) oder in einer Cloud installiert und betrieben werden. Beim Sonderfall des Edge-Computings werden IoT-Plattformen am Produktionsort selbst oder örtlich nahe der Datenerhebung installiert. Die Datenverarbeitung erfolgt aber weiterhin in der Cloud.

---

<sup>7</sup> MATTERN U. FLÖRKEMEIER 2010, S. 107

<sup>8</sup> S. JASPERS ET AL. 2018, S. 359f.

<sup>9</sup> S. HAGIU U. WRIGHT 2015, S. 185

<sup>10</sup> S. GASSMANN ET AL. 2017, S. 334; TÄUSCHER U. LAUDIEN 2017, S. 320;

S. PARKER ET AL. 2016, S. 5

<sup>11</sup> S. OBERMAIER U. MOSCH 2019, S. 408ff.

<sup>12</sup> S. BITKOM 2018, S. 4 –7



## 2.3 5G-CAMPUSNETZE

---

### Definition 5G-Campusnetz:

Der Oberbegriff Campusnetz umfasst jegliche Form von Mobilfunknetzen, die innerhalb eines begrenzten Gebiets aufgebaut und genutzt werden. Dadurch wird eine räumlich begrenzte Nutzung eines nicht-öffentlichen Mobilfunknetzes ermöglicht, welches ausschließlich dem Firmensystem und ausgewählten Nutzern zur Verfügung steht. Frequenzen für ein entsprechendes Campusnetz werden befristet von der Bundesnetzagentur zur Verfügung gestellt.

(Uwe Horn, Ericsson)<sup>13</sup>

Mit der schrittweisen Einführung des 5G-Standards erweitert sich das Anwendungsspektrum der Kommunikationstechnologie. Campusnetze eignen sich insbesondere für Industrie-4.0-Anwendungen. Sie erlauben eine drahtlose Vernetzung aller Maschinen und Anlagen eines Unternehmens, wodurch automatisierte und effiziente Produktionsabläufe ermöglicht werden. Zusätzlich bieten geschlossene Funknetze gerade im Hinblick auf Datensicherheit und Zuverlässigkeit bei gleichzeitig hohen Bandbreiten für Unternehmen einen entscheidenden Vorteil. Besonders durch das hohe Bandbreitenpotenzial und die geringen Latenzen eignet sich 5G als Kommunikationsstandard für Campusnetze.<sup>13</sup>

Für den Betrieb eines Campusnetzes kommen zwei verschiedene Modelle infrage: So können Unternehmen ein Campusnetz entweder in Eigenregie betreiben oder einen externen Dienstleister damit beauftragen. Unternehmen, die hierfür infrage kommen, sind vor allem die klassischen Mobilfunknetzbetreiber (Vodafone, Telekom etc.). Generell wird zwischen drei verschiedenen Modellen von Campus-Netzen unterschieden: **Private-Campusnetze**, **Hybrid-Campusnetze** und **Public-Campusnetze**.<sup>14</sup>

So sind **Private-Campusnetze** vom übrigen Mobilfunknetz vollständig getrennt. Diese Netze verwenden eigene Hardware und Software, sie funktionieren somit autark. Aufgrund fehlender Interferenzen anderer Netze ist das Private-Campusnetz nicht nur das technisch leistungsfähigste, sondern bietet auch die geringsten Latenzzeiten im Vergleich zu den anderen Modellen. Dieses Modell eignet sich insbesondere bei einer hohen Netzauslastung und Echtzeitanwendungen. Getrennt betriebene Hardware bietet zudem weniger Angriffspunkte für Hacker und erfüllt höhere Datensicherheitsanforderungen.<sup>15</sup> In Bild 2 (s. S. 10) ist der Aufbau eines Private-Campusnetz visuell dargestellt.

Da für diese Campusnetze eigene Hard- und Software benötigt wird, fallen gerade die zu kalkulierenden Investitionskosten im Vergleich zu den anderen beiden Modellen höher aus. Analog dazu verhalten sich die Betriebskosten. Diese sind jedoch über die Nutzungsdauer konstant und fallen in ihrer Höhe proportional zum Kommunikationsvolumen aus. Für die Installation und den Betrieb von Campusnetzen ist zudem der Aufbau von IT-Kompetenzen in Form von Fachpersonal notwendig.<sup>16</sup>

---

<sup>13</sup> [ericsson.com/en/dedicated-networks](https://ericsson.com/en/dedicated-networks)

<sup>14</sup> s. BMWi 2020, S. 21

<sup>15</sup> s. BMWi 2020, S. 24

<sup>16</sup> s. BMWi 2020, S. 23f.

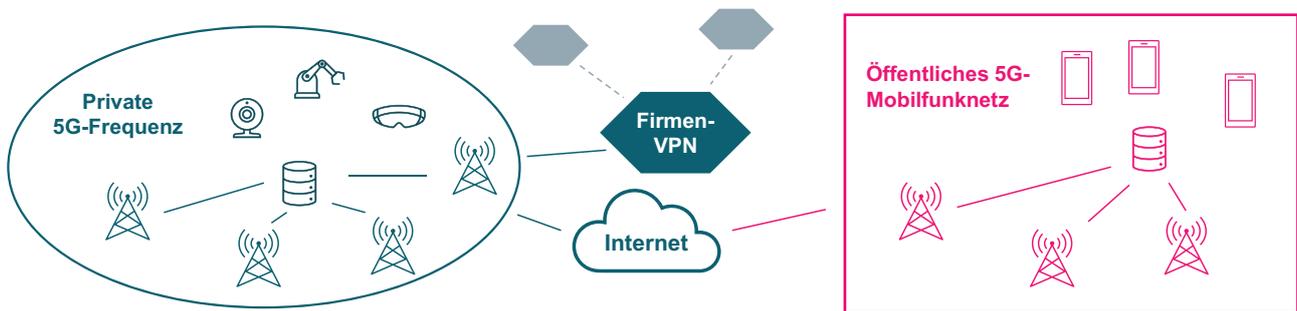


Bild 2: Private-Campusnetz (eigene Darstellung i. A. a. BMWi 2020, S. 22, Quelle des BMWi: IC4F-Konsortium)

**Public-Campusnetze** basieren auf vorhandenen öffentlichen Mobilfunkkapazitäten. Für ein entsprechendes Campusnetz wird jedoch ein bestimmter Frequenzabschnitt, ein sogenannter Network-Slice, reserviert. Network-Slices unterscheiden sich in jeweils einen Private-Network-Slice und Public-Network-Slice, wobei der Private-Network-Slice nur für das Campusnetz designed ist. Sofern Netzwerkkapazitäten über die des Private-Network-Slice hinaus gefordert werden, kann der Mobile-Network-Operator (MNO) Kapazitäten des Public-Slice freigeben.<sup>17</sup> Eine damit einhergehende Voraussetzung ist die Verfügbarkeit eines öffentlichen 5G-Netzeseines MNOs. Besonders Anwendungsfälle, die eine größere geographische Flexibilität erfordern, profitieren von diesem Betreibermodell. Da sich das Campusnetz das Netz jedoch mit anderen Endnutzern teilt, sind die geringen Latenzzeiten eines Private-Campusnetzes unerreichbar.

Für ein Unternehmen, welches sich für ein Public-Campusnetz entscheidet, entstehen bei diesem Betreibermodell kaum eigene Investitionskosten, abgesehen von den eigenen 5G-fähigen Endgeräten. Sofern Netzerweiterungen erforderlich sein sollten, liegen diese im Verantwortungsbereich des MNOs. Da das Public-Campusnetz an ein öffentliches Netz angebunden ist, müssen Nutzer und Endgeräte beim öffentlichen MNO registriert sein und benötigen eine SIM-Karte.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> s. LEIDINGER ET AL. 2019, S. 8

<sup>18</sup> s. BMWi 2020, S. 24

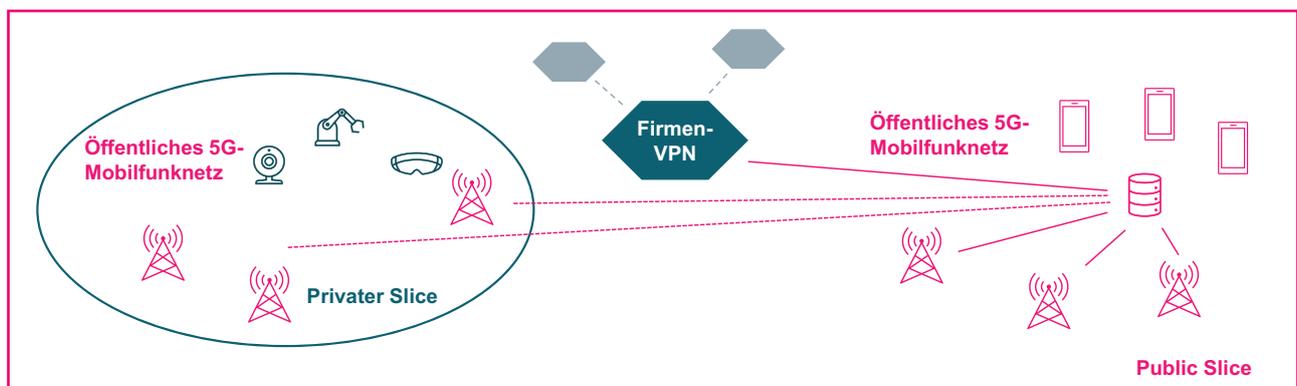


Bild 3: Public-Campusnetz (eigene Darstellung i. A. a. BMWi 2020, S. 25, Quelle des BMWi: IC4F-Konsortium)



**Hybrid-Campusnetze** vereinen sowohl private als auch Teile des öffentlichen Funknetzes. So basiert dieses Modell auf der Sendefunkinfrastruktur eines Mobilfunknetzbetreibers-Netzes, ergänzt durch Hardware des Campusnetz-Betreibers. Somit ist es möglich, niedrige Latenzzeiten zu gewährleisten, obwohl die Investitionskosten verhältnismäßig gering bleiben. Aufgrund der verschiedenen Einzelfunktionen des 5G-Cores ist es denkbar, dass die Aufteilung zwischen den Funktionen, die entweder über Private-Slices oder unternehmenseigene Kapazität abgewickelt werden, je nach Anwendungsfall variieren. Hybride Campusnetze ermöglichen es so, maßgeschneiderte Lösungen für die etwaigen Anwendungsfälle zu finden.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> s. BMWi 2020, S. 25ff.

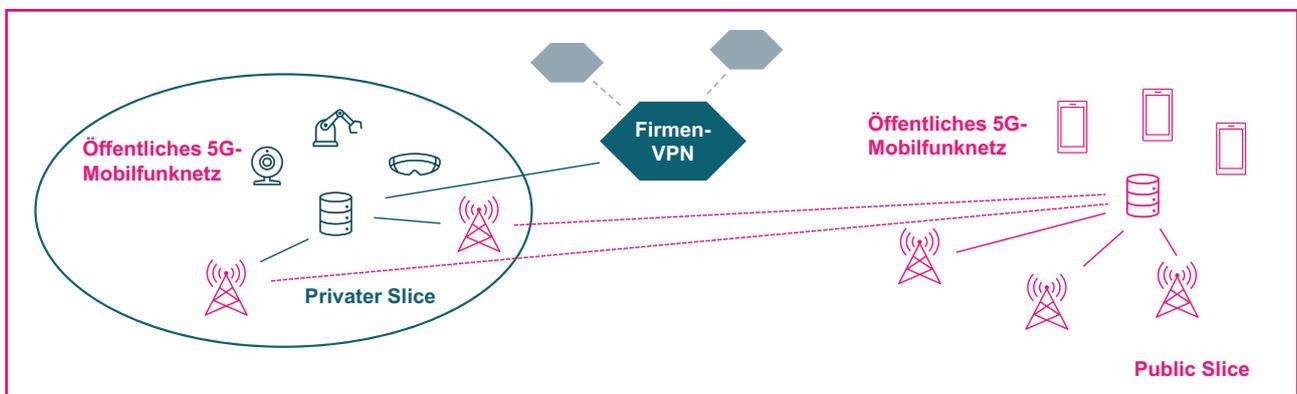


Bild 4: Hybrid-Campusnetz (eigene Darstellung i. A. a. BMWi 2020, S. 26f., Quelle des BMWi: IC4F-Konsortium)





010 10

0101 0110 010 1000

0101 0110 010 1

110 010 1000

0101

10 010 1000



## 3 5G ALS ENABLER FÜR DEN EINSATZ VON IOT-PLATTFORMEN

### 3.1 WIE IOT-PLATTFORMEN 5G-ANWENDUNGEN BEFLÜGELN KÖNNEN

Die Mobilfunktechnologie 5G wird einen großen Einfluss auf die Anwendungsfalllandschaft haben. Denn es lassen sich mit Einführung eines 5G-Netzes sowohl bereits bestehende Anwendungsfälle weiterentwickeln als auch neue und innovative Anwendungsfälle ermöglichen. Dabei sind dem Anwendungsfallspektrum von 5G branchenübergreifend keine Grenzen gesetzt. Insbesondere im produzierenden Gewerbe ist das Potenzial enorm. Hier lassen sich typische Anwendungsfälle beispielsweise in den Themenfeldern der Datenanalyse, der drahtlosen Echtzeit-Steuerung, der Künstlichen Intelligenz, AR-Szenarien oder des Einsatzes fahrerloser Transportsysteme oder Drohnenszenarien wiederfinden. In diesem Zusammenhang entstehen komplexe Anwendungsfallszenarien mit einer hohen Anzahl an Endgeräten, die insbesondere in Echtzeit große Datenmengen untereinander austauschen. Um diese komplexen Anwendungsfälle übergeordnet verwalten und administrieren zu können, bedarf es des Einsatzes von IoT-Plattformen als zentraler Umgebung. Nachfolgend werden beispielgebend drei unterschiedliche Anwendungsfälle eingeführt und sowohl der Mehrwert der 5G-Technologie dargestellt als auch der Zusammenhang zu IoT-Plattformen hervorgehoben.

#### 3.1.1 ANWENDUNGSFALL 1: KABELLOSES CONDITION-MONITORING FÜR DEN GESAMTEN MASCHINENPARK

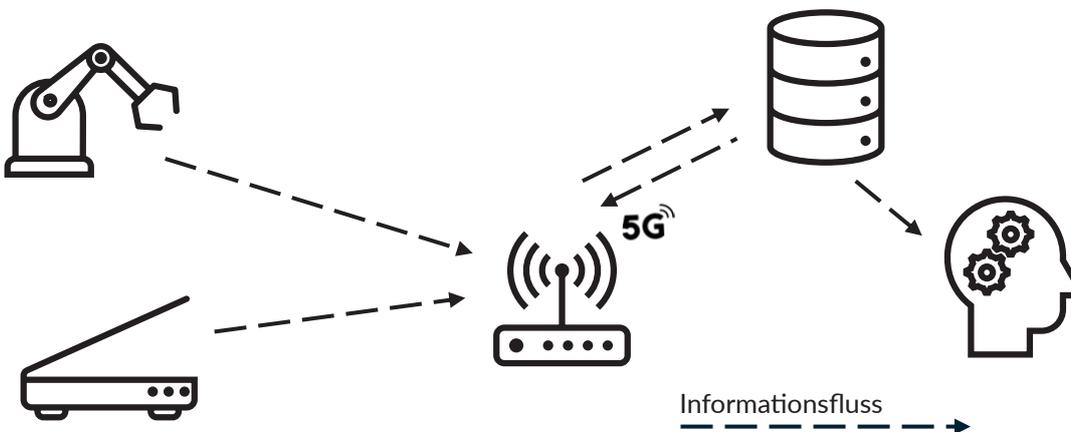


Bild 5: Kabelloses Condition-Monitoring für den gesamten Maschinenpark (eigene Darstellung)

Die Zustandsüberwachung mittels Sensorik gehört zur Grundlage, um Industrie-4.0-Anwendungen realisieren zu können. Erst durch eine kontinuierliche Zustandsüberwachung technischer Maschinenparameter und Qualitätsmerkmale können Informationen generiert und infolgedessen Vorhersagen und Prognosen für in der Zukunft eintreffende Szenarien abgeleitet werden. KI-basiert lassen sich dadurch effizient Informationen gewinnen und auf unternehmerische Herausforderungen anwenden. Durch das Condition-Monitoring steigern Unternehmen ihr Prozessverständnis und legen die Grundlagen für Optimierungen, sodass Maschinenausfälle möglichst vermieden werden können.

Aufgrund steigender Kundenanforderungen und eines immer stärkeren Marktdrucks sehen Unternehmen sich gezwungen, anpassungsfähige Strukturen in der Produktion aufzubauen. Infolgedessen entstehen immer häufiger flexible Elemente in der Produktion, welche idealerweise auf Drahtlostechnologien zurückgreifen. Gleichzeitig werden immer häufiger

auch drahtlose Intelligente Werkzeuge eingesetzt, welche ihren Zustand selbständig auswerten und Mitarbeitende in den Prozessschritten aktiv unterstützen. Für alle diese Elemente und Werkzeuge werden flexible Sensoren benötigt, sodass Condition-Monitoring-Szenarien realisiert werden können. Die dafür notwendige Leistung (u. a. Geräteanzahl, Latenz, Datenübertragungsrate) für kabellose, vernetzte Sensorik und Endgeräte setzt eine zuverlässige Übertragungstechnologie wie 5G voraus. 5G bietet zudem einen hohen Grad an Sicherheit und geringe Latenzzeiten, die bei der Umsetzung solcher Szenarien essenziell sind.

Sind alle Sensoren und Endgeräte drahtlos vernetzt, müssen diese im Hintergrund administriert und verwaltet werden. Dabei machen vor allem die große Anzahl an Endgeräten und die hierdurch entstehenden Datensätze eine IoT-Plattform unumgänglich. Erst der Einsatz einer IoT-Plattform stellt den optimalen Einsatz aller Sensoren und Endgeräte sicher und macht die große Anzahl an Endgeräten handhabbar.

### 3.1.2 ANWENDUNGSFALL 2: EFFIZIENZSTEIGERUNG FAHRERLOSER TRANSPORTSYSTEME

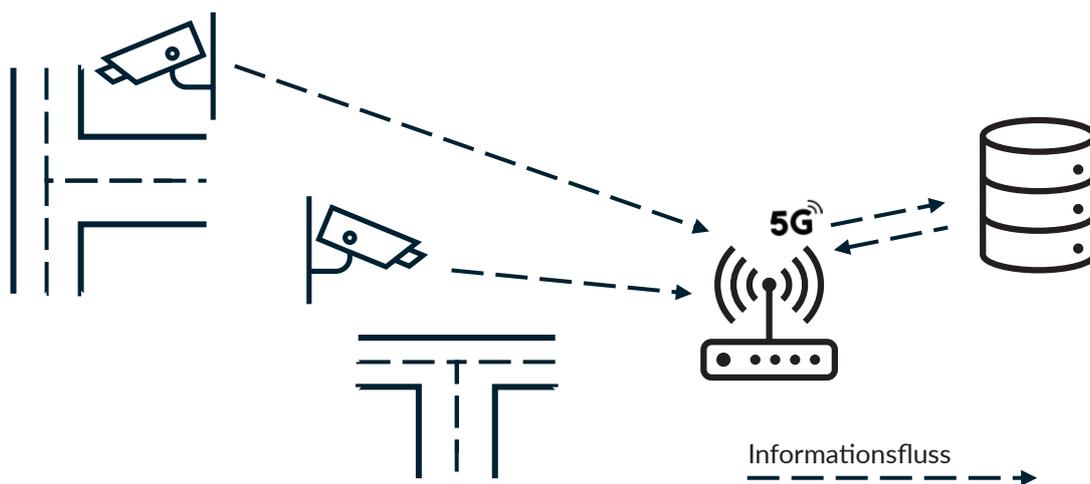


Bild 6: Effizienzsteigerung fahrerloser Transportsysteme (eigene Darstellung)

Eine wesentliche Herausforderung fahrerloser Transportsysteme (FTS) ist vor allem die Kollisionsgefahr mit dem Menschen. Die Sicherstellung eines zuverlässigen und sicheren Einsatzes von fahrerlosen Transportsystemen stellt eine obligatorische Grundlage für ihren erfolgreichen Einsatz dar. Aus diesem Grund fahren FTS aktuell mit Schrittgeschwindigkeit durch Produktionshallen, um im Gefahrenfall rechtzeitig zum Stillstand zu kommen. Hierdurch werden jedoch Effizienzen in der Logistikabwicklung eingebüßt. Um diesen entgegenwirken zu können, bietet Safe-Crossing durch eine Vernetzung mehrerer Sensoren die Möglichkeit, die FTS-Geschwindigkeit zu erhöhen. Dazu werden Kreuzungen von Produktionshallen mit 270°-Laserscannern ausgestattet, die in Echtzeit Hindernisse in den für ein FTS nicht sichtbaren Bereichen erkennen und dem FTS diese mitteilen, sodass die Geschwindigkeit gedrosselt oder im Notfall angehalten werden kann.

Dazu muss die Echtzeit-Kommunikation zwischen den Laserscannern und den FTS gewährleistet werden. Aufgrund der mobilen Anwendung eines FTS ist der Einsatz einer zuverlässigen Drahtlos-Übertragungstechnologie in diesem Szenario zwingend notwendig. Insbesondere für die sicherheitskritische Anwendung ist der Einsatz von 5G als hochzuverlässige Drahtlos-Übertragungstechnologie zu empfehlen.



Da eine kontinuierliche Kommunikation aller im Einsatz befindlichen FTS mit allen Laserscannern wenig zielführend ist, sind eine Filterung und Verarbeitungslogik der Eingangssignale notwendig, um relevante Hindernisse zu erkennen. Hier kann der Einsatz einer IoT-Plattform hilfreich sein. Mithilfe der IoT-Plattform können sowohl Zustand und Position (in Kombination mit anderen Sensoren) der jeweiligen FTS getrackt als auch der berechnete Fahrweg analysiert werden. Infolgedessen können zielgerichtet die auf dem Fahrweg liegenden Laserscanner nach und nach adressiert und so eine zuverlässige und kontrollierte Kommunikation zwischen den FTS und den Laserscannern gewährleistet werden. Gleichzeitig übernimmt die IoT-Plattform die Aufgabe der zentralen Anbindung und Verwaltung der vernetzten Geräte.

### 3.1.3 ANWENDUNGSFALL 3: FERNÜBERWACHUNG VON DEZENTRALER INFRASTRUKTUR ÜBER DAS ÖFFENTLICHE 5G-NETZ

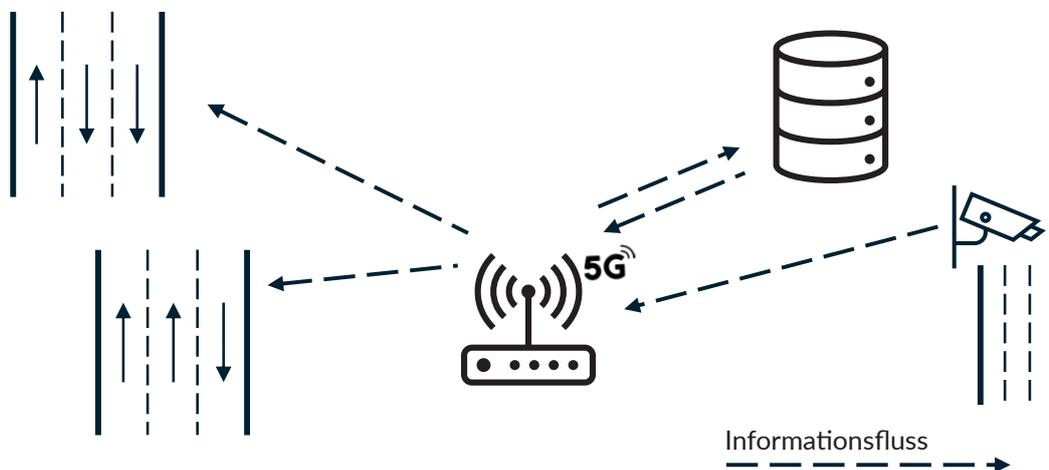


Bild 7: Fernüberwachung von dezentraler Infrastruktur über das öffentliche 5G-Netz (eigene Darstellung)

Viele Produkte werden an verschiedenen Standorten installiert und oftmals als Teil der Infrastruktur genutzt. Beispiele dafür sind Aufzüge, Rolltreppen, Windanlagen oder dynamische Autobahnbeschilderungen. Diese Assets werden derzeit nur unsystematisch über Funktechnologien angebunden und befinden sich demnach in einem frühen Stadium der übergeordneten Verwaltung, Leistungsüberwachung oder -ermittlung.

Eine Anbindung über das Mobilfunknetz kann zur Verwaltung, Leistungsüberwachung oder Steuerung jedoch vorteilhaft sein. So verfügen beispielsweise Windräder über vielfältige Steuerungsmechanismen und Leistungsparameter, die durchgängig geprüft und mit weiteren Daten wie Winddaten oder Strompreisentwicklungen verknüpft werden. Auf Autobahnabschnitten lässt sich durch eine 5G-Anbindung über das standardisierte Monitoring eine kameragestützte Überwachung realisieren, deren Auflösung mit jeder Mobilfunkweiterentwicklung stetig steigt. Die IoT-Plattform in Kombination mit 5G bietet die notwendige Infrastruktur an, um relevante Daten zentralisiert zu sammeln und nutzbar zu machen. Auf der Anwenderseite lassen sich über vorprogrammierte Schnittstellen relevante Datenpakete einspeisen (z. B. Bilddaten und Sensordaten) und Steuerungsmechanismen realisieren. Über vorprogrammierte SIM-Karten lässt sich der Anbindungsprozess schlank gestalten und die eigenen Infrastrukturkosten für eine Internetanbindung verringern. Gleichzeitig bieten auf Anbieterseite IoT-Plattformen die Möglichkeit, zusätzliche Services zu integrieren und so beispielsweise die Hersteller, Nutzer und Kunden der Infrastruktur auf einer Plattform zu vernetzen. Exemplarisch dafür wäre ein Predictive-

Maintenance-Ansatz von Rolltreppen durch den Hersteller, sodass sich der Betreiber der Immobilie auf den umliegenden Betrieb konzentrieren kann. Dieser Anwendungsfall wird vielfach bereits über das bestehende Mobilfunknetz abgedeckt, kann jedoch in Fällen hoher Bandbreiten durch 5G erweitert werden.

### 3.2 VORSTELLUNG DER VISION VON 5G ALS ENABLER VON IOT-PLATTFORMEN

IoT-Plattformen fungieren als zentrale Schnittstelle für Anwender:innen und Servicedienstleister. Anwendende treten an die Plattform mit ihren Wünschen und Anforderungen heran und suchen nach Servicedienstleistern, die entsprechende Lösungen anbieten. Die Servicedienstleister wiederum bieten ihrerseits Lösungen für bestimmte Anwendungsfälle an. Über die Plattform können so Nachfragende und Servicedienstleister zusammenfinden. Diese Verknüpfung findet aktuell mit etablierten Übertragungstechnologien wie z. B. Ethernet oder WLAN statt.

Durch die Einführung der 5G-Technologie in eine IoT-Plattform eröffnet sich sowohl auf der Seite der Anwendenden als auch auf der Serviceseite ein Spektrum neuer Möglichkeiten. Durch die starken Leistungsparameter ermöglicht 5G neue Anwendungsfälle, deren Anforderungen durch ältere Technologien nicht erfüllt werden konnten. Mit der Erweiterung des Nachfrage- und Angebotspektrums verstärken sich die innerhalb einer Plattform entstehenden Netzwerkeffekte.

Die IoT-Plattform stellt die zentrale Infrastruktur zur Verfügung, an die sich über Schnittstellen Endgeräte und Services anbinden können. Die IoT-Plattform ist flexibel und modular konzipiert, sodass eine Vielzahl von Produkten und Services aufgebaut werden kann. Die Veränderungen, die mit der Erweiterung der IoT-Plattform um den Kommunikationsstandard 5G einhergehen, ermöglichen eine effizientere Nutzung der vorhandenen Schnittstellen und fördern damit eine einfachere Interaktion der Akteur:innen der Plattform.

5G als Mobilfunktechnologie ermöglicht durch den Einsatz von SIM-Karten eine vereinfachte Identifikation und Authentifizierung der Endgeräte, die sich direkt mit einer IoT-Plattform verknüpfen lassen. Dadurch ermöglicht eine 5G-Anbindung die nahtlose Einbindung von IoT-fähigen Geräten an die Plattform und es entsteht ein Plug-and-Play-System. Durch die verbesserten Leistungsdaten der 5G-Technologie kann das Anwendungsspektrum der IoT-Plattform erweitert werden, was wiederum die Zahl der Nutzenden der Plattform ansteigen lässt. Damit wird beispielsweise Sensorikanbietern, Mobilfunkanbietern und weiteren Akteur:innen im IoT-Markt die Möglichkeit geboten, über die zentrale IoT-Plattform Services anzubieten, was ihnen zuvor verschlossen blieb. So können z. B. die komplette Wartung und Verfügbarkeit von Endgeräten über einen Serviceanbieter abgewickelt werden, der nur Zugriff auf die IoT-Plattform besitzt, aber keine inhaltlichen Daten verwaltet.

Bild 8 visualisiert das vorgestellte Visionsbild eines 5G-Plattformkonzepts für einen plattformtypischen Aufbau inkl. fünf dazu aufgestellter Hypothesen. Die Nachfrageseite hat Wünsche und Anforderungen und die Serviceseite kann gewisse Anwendungsfälle realisieren. Unter Ergänzung der 5G-Technologie erweitert sich jedoch der Kreis der Nutzenden auf Nachfrage- und Serviceseite, wodurch die Netzwerkeffekte der IoT-Plattform verstärkt werden. In unseren fünf aufgeworfenen Hypothesen betrachten wir konkret die Netzwerkeffekte von 5G im IoT-Bereich und validieren nachfolgend diese mit ausgewählten Expert:innen aus der Industrie.

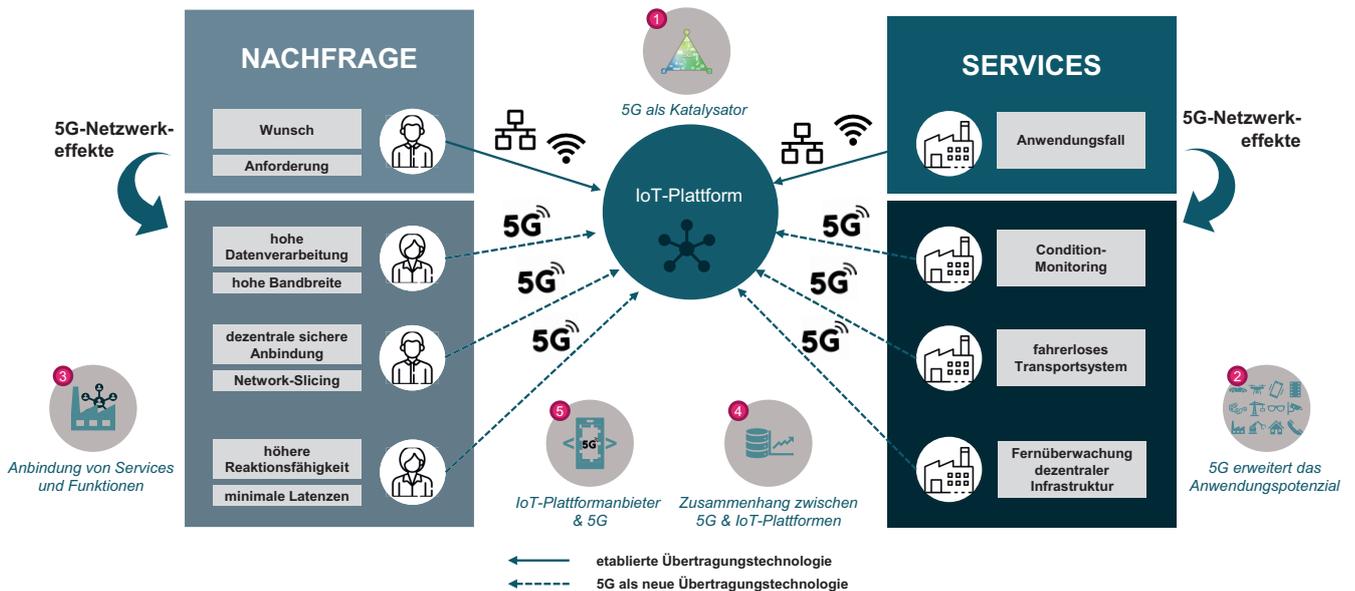
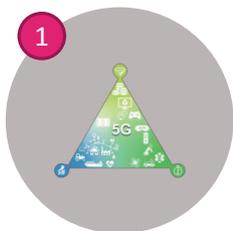


Bild 8: Visionsbild eines 5G-Plattformkonzepts inkl. fünf Hypothesen (eigene Darstellung)

### 3.3 5 HYPOTHESEN, DIE DAS 5G-POTENZIAL AUFZEIGEN

In den Experteninterviews mit IoT-Plattformanbietern wurden Hypothesen definiert und validiert, die das Potenzial des 5G-Plattformkonzepts aufzeigen. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Hypothesen sukzessive aufgeführt, erläutert und analysiert.



#### 5G dient als Katalysator für IoT-Plattformen.

Industrielle IoT-Plattformen werden vor allem für Anwendungen eingesetzt, die über viele Sensoren und Endgeräte vernetzt werden können. Der stetige Zuwachs installierbarer Sensorik und Schnittstellen wird den Einsatz industrieller IoT-Plattformen weiter vorantreiben und damit leistungsfähigere Kommunikationstechnologien erfordern. 5G bietet durch seine variable Anwendung von mobilen bis hin zu Low-Power-Geräten ein breites Spektrum an möglichen Einsatzszenarien, deren vollständiger Mehrwert erst durch die Zusammenführung auf einer Plattform realisierbar wird. Die Variabilität und hohe Anzahl von umsetzbaren Anwendungsfällen durch 5G zeigen das Potenzial, als Katalysator für IoT-Plattformen zu fungieren und deren Nutzen für Endnutzende zu steigern.

Diese Ansicht hat sich in den Expert:inneninterviews verfestigt. Daraus hat sich ergeben, dass vor allem in Strategieabteilungen die 5G-Konnektivität als Enabler für den verstärkten Einsatz von IoT-Plattformen gehandelt wird. Im industriellen Umfeld zeigt sich dabei das Zusammenspiel aus IoT-Plattform und Enterprise-Lösungen, die sich bereits im Unternehmen etabliert haben. So wenden beispielsweise große Netzbetreiber IoT-Plattformen bereits für das

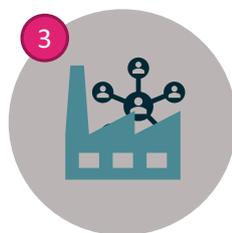
Management ihrer 5G-Infrastruktur an und schaffen es damit, dezentrale und abgelegene Assets effizient und remote zu unterhalten. Bisher wird dazu die 4G-Technologie genutzt, deren Anwendungsspektrum jedoch begrenzt ist. Mithilfe von 5G werden auch hier die Anwendungsmöglichkeiten umfangreicher. Dabei spielen insbesondere Campusnetze eine besondere Rolle, da mit ihnen Herausforderungen aktueller drahtloser Kommunikationstechnologien wie WLAN entgegengewirkt wird.



### **5G erweitert das Anwendungspotenzial bereits bestehender IoT-Plattformen.**

IoT-Plattformen vereinen eine Vielzahl an Kommunikationstechnologien, um in einer zentralen Instanz alle Daten bereithalten und analysieren zu können. 5G wurde dagegen entwickelt, um mit einer Kommunikationstechnologie möglichst viele Anwendungsfälle abdecken zu können – von kurzen Latenzen für eine mobile Nutzung bis zu hohen Datenmengen für bildverarbeitende Applikationen. Durch die Verknüpfung beider Technologien wird auf der IoT-Plattform über 5G das Anwendungsspektrum erweitert. Damit können leistungsfähigere Anwendungen mit 5G realisiert und über IoT-Plattformen analysiert und verwaltet werden.

Unbestritten sind dabei die technologischen Möglichkeiten, die die 5G-Technologie im industriellen Umfeld mit sich bringt. Dazu gehört beispielsweise eine zuverlässige Umsetzung datengetriebener Anwendungsfälle wie Virtual Reality und Echtzeit-Bildverarbeitung sowie umfangreiches Device-Management über die Konfigurationsmöglichkeiten von 5G. Retrofitting von Sensorik an bestehender Infrastruktur bietet im Zusammenspiel mit einer IoT-Plattform die Möglichkeit, zusätzliche Services zu integrieren. Vorteilhaft zeigt sich dabei das Networking, das über ein 5G-Campusnetz einfacher als beispielsweise WLAN zu etablieren ist und als zentralisiertes On-Premises-System umgesetzt werden kann. Vor allem in Kombination mit Edge-Systemen sehen derzeitige Plattformanbieter große Potenziale. In hybriden Szenarien, in denen geringe Latenzen und schnelle Datenverarbeitung essenziell sind, spielen Edge-Plattformen eine verstärkte Rolle. Zudem werden Edge-Systeme zunehmend günstiger und verdrängen Cloud-Systeme im industriellen Umfeld. Exemplarisch können Betreiber von Röntgengeräten genannt werden, die nun ihre Geräte drahtlos verbinden und Röntgenbilder dezentral analysieren können.



### **5G führt nicht nur zur Erhöhung der Zahl der Anwendungsfälle in der IoT-Plattform, sondern beflügelt gleichzeitig die Anbindung von Services und Funktionen.**

Mit Einzug der 5G-Technologie im industriellen Umfeld wird sich auch die Anzahl komplementärer Services und Funktionen auf IoT-Plattformen erhöhen. Im Sinne eines sich selbst verstärkenden Systems erweitern zusätzliche Anwendungsfälle die Datenbasis, erfordern aber gleichzeitig weiterführende Services und Analysefunktionen. Exemplarisch der Anwendungsfall der Bildverarbeitung: Erst mit 5G ist deren Übertragung latenzfrei auf eine IoT-Plattform möglich und Bildverarbeitungsservices bilden den nächsten logischen Schritt.



In IoT-Plattformen bilden primär dynamische Daten von Assets den zentralen Wertbeitrag. Daher sind Kommunikationsschnittstellen von fundamentaler Bedeutung. 5G ermöglicht an dieser Stelle eine vereinfachte Anbindung an die Plattform über standardisierte Schnittstellen bei gleichzeitiger Steigerung potenzieller Anwendungsfälle durch erweiterte Leistungsparameter. Allerdings ergibt sich aus den Experteninterviews, dass aktuell noch ein Delta zwischen Trend, Technologieverfügbarkeit und aktueller Marktlage existiert. Zukünftig wird sich dieses Ungleichgewicht jedoch auflösen, was am Beispiel der Mobilfunkanbieter verdeutlicht wird. Mobilfunkanbieter bieten bereits neue Services über ihr Mobilfunknetz an, indem mithilfe von SIM-Karten infrastrukturelle Assets wie Aufzüge oder Rolltreppen angebunden und über eine IoT-Plattform verwaltet werden. Durch den Zugriff auf die Plattform können so auch fachfremde Anbieter wie Technologieunternehmen eigene Services anbieten. Zudem ergibt sich aus den Experteninterviews, dass die Möglichkeiten der 5G-Technologie noch nicht komplett ausgeschöpft werden und hier noch einiges Potenzial für weitere Plattformlösungen liegt.



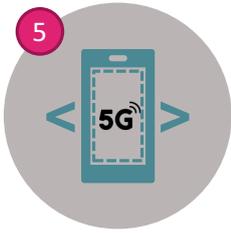
4

### **5G erhöht die Nachfrage nach datenbasierten Dienstleistungen wie eine IoT-Plattform.**

Die Einführung von 5G wird meist in Kombination mit weiteren Digitalisierungsprojekten im Unternehmen in Betracht gezogen. Dazu gehören beispielsweise die Digitalisierung vorhandener Maschinenparks oder die digitale Ausstattung der Belegschaft. In diesem Zusammenhang werden IoT-Plattformen als nächster Schritt betrachtet, um die Maschinenverfügbarkeit zu erhöhen und eigene Transparenz zu gewährleisten.

Im Rahmen der 5G-Offensive der deutschen Regierung gewinnen neben der reinen Technologie weitere Faktoren wie die Reservierung von Industriefrequenzen an Bedeutung. Betrachtet man diese Entwicklung, so ergibt sich eine zusätzliche Nachfrage nach datenbasierten Dienstleistungen im Rahmen der Infrastrukturaufrüstung. 5G erhöht die Möglichkeiten einer Anbindung von Maschinen an das Netz, sodass auch das Management dieser Geräte über bspw. IoT-Plattformen nachgefragt wird. Das Asset-Management wird dabei zentral über IoT-Plattformen abgedeckt und wird bedeutender, sobald die Anzahl der verbundenen Geräte eine gewisse Schwelle erreicht hat.

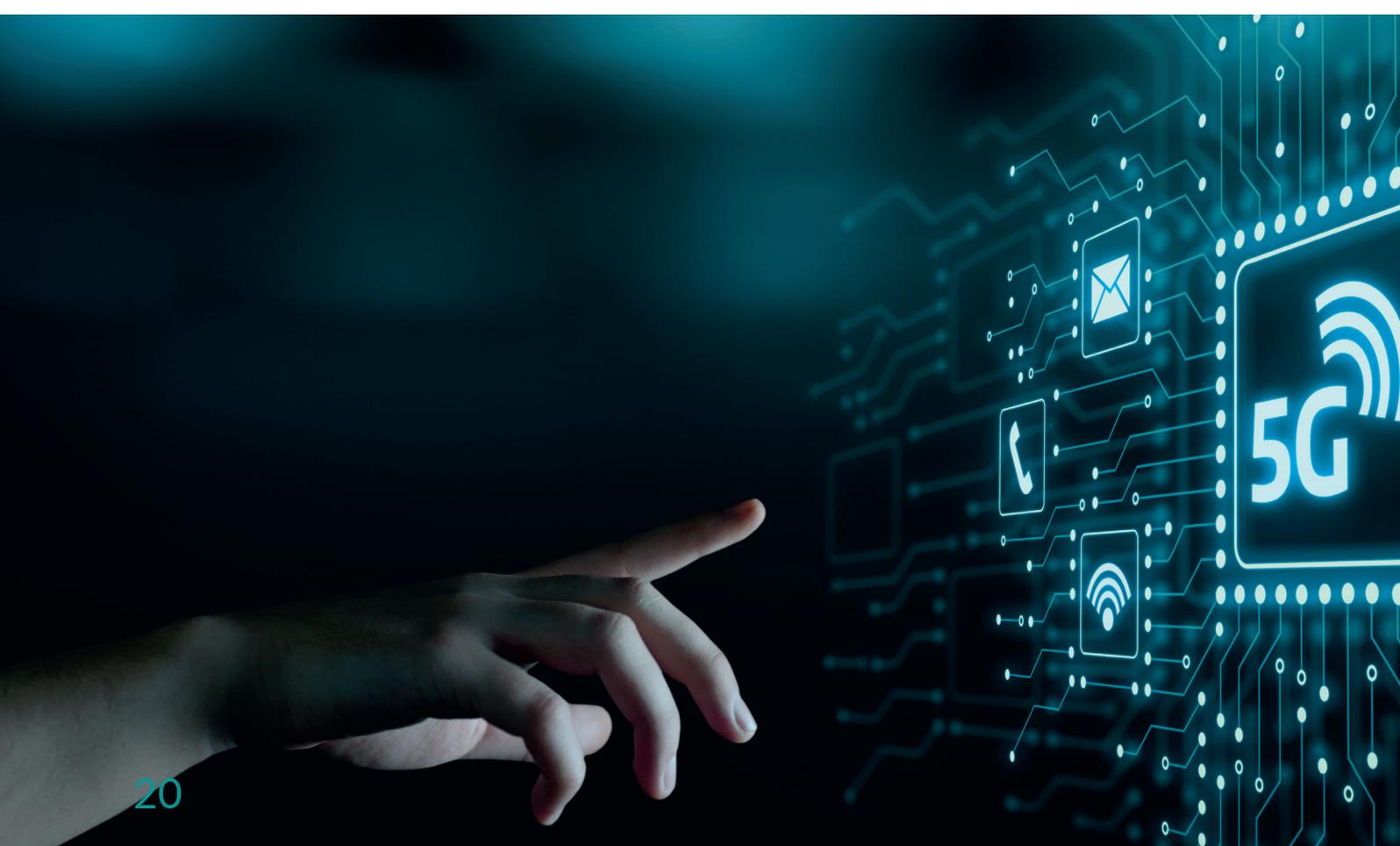
Betrachtet man Anwendungsfälle, so ergeben sich durch fortlaufende Digitalisierungsmaßnahmen zusätzliche Umsetzungsmöglichkeiten. Das Retrofitting von Sensorik wird kontinuierlich vorangetrieben und 5G komplementiert den Mix aus LAN, WLAN und LoRaWan. Aufgrund der hohen Investitionskosten neuer, vernetzter Maschinen und Geräte ist eine hohe Auslastung durch ein geeignetes Monitoring und Asset-Management von Bedeutung. Special Computing als Interaktion zwischen Menschen und Maschinen beschreibt ein weiteres Beispiel, in dem mehrere Datenquellen vernetzt werden, um eine gelungene Interaktion herzustellen.



## IoT-Plattformanbieter beschäftigen sich proaktiv mit der Mobilfunktechnologie und bauen diese gezielt in deren IoT-Plattform ein.

Auch IoT-Plattformanbieter haben das Potenzial von 5G erkannt und bereits in ihr Portfolio aufgenommen. Dabei ist die flächendeckende, industrielle Nutzung von 5G der Schlüssel zur Ausrollung der Technologie in IoT-Plattformen. Die Expert:inneninterviews haben gezeigt, dass die Einführung der Mobilfunktechnologie 5G nicht an den IoT-Plattformanbietern vorbeigegangen ist. IoT-Plattformanbieter beschäftigen sich mit der Nutzung von 5G bereits in internen Expert:innenrunden, in denen das Thema aus unterschiedlichen Perspektiven analysiert wird. Das Interesse an der Mobilfunktechnologie 5G lässt sich ebenfalls am öffentlichen Auftritt von IoT-Plattformanbietern erkennen. So entwickelte und veröffentlichte beispielsweise die *Software AG* einen eigenen Technologieradar<sup>20</sup>, innerhalb dessen die fünfte Mobilfunkgeneration in unterschiedlichen Ausprägungen vertreten ist. So werden neben Technologien wie „Artificial Intelligence (AI) & Machine Learning (ML)“ sowie „Gaia-X“ auch „5G Time Sensitive Networking“, „5G Positioning Services“ oder „5G Edge“ beschrieben und eingeordnet. Damit wird sowohl die Relevanz der 5G-Technologie für IoT-Plattformen als auch der aktuelle Stand der Erkenntnisse im Zwischenspiel zwischen 5G und IoT-Plattformen bestätigt.

<sup>20</sup> [techradar.softwareag.com](https://techradar.softwareag.com)





## 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die durch Expert:inneninterviews gestützte Untersuchung des *FIR an der RWTH Aachen* hat gezeigt, dass die Potenziale der neuen Mobilfunkgeneration 5G im industriellen Umfeld auch bei Plattformanbietern angekommen sind. Durch die Einbindung von 5G als Kommunikationsschnittstelle in bereits bestehende IoT-Plattformen wird eine positive Wechselwirkung zwischen beiden Technologien erwartet. So soll die Einbindung von 5G in IoT-Plattformen nicht nur als Katalysator fungieren, sondern gleichzeitig das vielfältige Einsatzpotenzial der Technologie nach außen tragen. Denn erst durch das Zusammenspiel zwischen der leistungsstarken Kommunikationstechnologie 5G und IoT-Plattformen können Anwendungsfälle mit hohen Anforderungen an Latenz, Datenrate und Zuverlässigkeit in großen Dimensionen verwaltet werden.

IoT-Plattformanbieter haben das Potenzial der Technologie 5G bereits früh erkannt und analysieren eine konkrete Umsetzung in der Praxis. Dabei werden unterschiedliche Ideen und Ansätze von Expert:innenteams verfolgt. Hierbei werden unterschiedliche Attribute der Technologie wie die Zusammenführung unterschiedlicher Drahtlostechnologien (2G, 3G, 4G, ...) und die damit verbundene Reduktion der Komplexität regelmäßig erwähnt. Demnach wäre nur noch eine Schnittstelle für alle Applikationen notwendig: der Wunsch aller IoT-Plattformanbieter. Gleichzeitig bedeutet die Einführung von 5G auch ein Vereinen unterschiedlicher Technologien. Das prominenteste Beispiel hierfür sind Positionierungs- und Lokalisierungstechnologien wie RFID oder RTLS, die durch 5G ersetzbar würden.

Die industriellen Trends der heutigen Zeit zeigen, dass die Anzahl an Endgeräten immer weiter steigt, Anwendungsszenarien wie Bildverarbeitung oder AR-Einsatzmöglichkeiten große Datenraten benötigen oder die Steigerung der Flexibilität innerhalb der Produktion durch wandelbare Systeme vorangebracht wird. Um genau diese Trends bedienen zu können, sind auf lange Sicht sowohl leistungsstarke und zuverlässige Übertragungstechnologien wie 5G als auch übergeordnete Technologien wie IoT-Plattformen zwingend notwendig. Demnach ist die Einbindung von 5G in IoT-Plattformen nur eine Frage der Zeit.



## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- BALDWIN, C. Y.; WOODARD, C. J.: „The architecture of platforms: A unified view.“ In: Platforms, markets and innovation. Hrsg.: A. Gawer. Edward Elgar Publishing, Cheltenham [u. a.] 2009, S. 19 – 44.
- BITKOM (HRSG.): IoT-Plattformen – aktuelle Trends und Herausforderungen. Handlungsempfehlungen auf Basis der Bitkom-Umfrage 2018. Faktenpapier. Berlin 2018. <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/180424-LF-IoT-Plattformen-online.pdf> (Link zuletzt geprüft: 13.05.2022)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMW) (HRSG.): Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen. Konzepte, Begriffe, Betreibermodelle und Auswahlkriterien für Produktion und Logistik mit Übertragbarkeit auf weitere Domänen wie Medizin-Campus/Krankenhäuser, Häfen, Bergbau, Baustellen und Landwirtschaft. Berlin, April 2020. [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/leitfaden-5G-campusnetze-orientierungshilfe-fuer-kleine-und-mittelstaendische-unternehmen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/leitfaden-5G-campusnetze-orientierungshilfe-fuer-kleine-und-mittelstaendische-unternehmen.pdf?__blob=publicationFile&v=10) (Link zuletzt geprüft: 13.05.2022)
- EISENMANN, T.; PARKER, G.; VAN ALSTYNE, M. W.: Strategies for Two-Sided Markets. In: Harvard Business Review (2006)10, o. S. <https://www.binhphuongnguyen.com/wp-content/uploads/2021/07/HBR-Strategy-for-2-side-market-Egg-and-Chicken-Dilemma-Startup.pdf> (Link zuletzt geprüft: 10.05.2022)
- GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CSIK, M.: Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model 2., überarb. Auflage. Hanser, München [u. a.] 2017.
- HAGIU, A.; WRIGHT, J.: Marketplace or Reseller? In: Management Science, INFORMS 61(2015)1, S. 184 – 203.
- HOFMANN, M.; JASPERS, E.; MAY, M.: Big Data und Analytics im Facility Management. In: CAFM-Handbuch. Digitalisierung im Facility Management erfolgreich einsetzen. Hrsg.: M. May. 4. Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden 2018, S. 377 – 398.
- HORN, U.: What is a 5G Campus Network? Ericsson online, o. J. <https://www.ericsson.com/en/enterprise/cellular-curious/5g-campus-network> (Link zuletzt geprüft: 13.05.2022)
- IoT ANALYTICS (HRSG.): [Survey] Cellular IoT & LPWA Connectivity Market Tracker 2010 – 25. November 2020. Statista 2022. <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/> (Link zuletzt geprüft: 10.05.2022)
- JASPERS, E.; HÄRTIG, M.; HOFMANN, M.; MAY, M.; TURIANSKYJ, N.: IoT im FM. In: CAFM-Handbuch. Digitalisierung im Facility Management erfolgreich einsetzen. Hrsg.: M. May. Springer Vieweg, Wiesbaden 2018, S. 337–375.
- LEIDINGER, C.; SEELMANN, V.; MAASEM, C.: [Whitepaper] 5G – Evolution oder Revolution? Hrsg.: V. Stich. Center Connected Industry, EICe Aachen GmbH, Aachen 2019. [https://5g.nrw/app/uploads/2020/01/FIR\\_Whitepaper-5G-Evolution-oder-Revolution.pdf?tracked](https://5g.nrw/app/uploads/2020/01/FIR_Whitepaper-5G-Evolution-oder-Revolution.pdf?tracked) (Link zuletzt geprüft: 10.06.2022)
- MATTERN, F.; FLÖRKEMEIER, C.: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. In: Informatik Spektrum 33(2010)2, S. 107–121.
- MAUERER, J.: Studie Internet of Things 2019/2020. Hrsg.: IDG Business Media. München 2019. [https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/cyber-security/pdf/allgemein/marketing/studie\\_internet-ofthings\\_2019\\_2020.pdf](https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/cyber-security/pdf/allgemein/marketing/studie_internet-ofthings_2019_2020.pdf) (Link zuletzt geprüft: 10.05.2022)
- OBERMAIER, R.; MOSCH, P.: Digitale Plattformen – Klassifizierung, ökonomische Wirkungslogik und Anwendungsfälle in einer Industrie 4.0. In: Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Hrsg.: R. Obermaier. Springer Gabler, Wiesbaden 2019, S. 379 – 417.
- PARKER, G.; VAN ALSTYNE, M. W.; CHOUDARY, S. P.: Platform Revolution. How Networked Markets Are Transforming the Economy – and How to Make Them Work for You. Norton & Co., New York 2016.
- PwC (HRSG.): 5G: democratising the platform economy. Frankfurt am Main, Mai 2021. <https://www.pwc.de/de/im-fokus/technology-consulting/5g-democratising-the-platform-economy.pdf> (Link zuletzt geprüft: 10.05.2022)
- SCHLOSSER, S.: Das Internet der Dinge als Basis für Prozessoptimierung und neue Geschäftsmodelle im Markt der Energieversorgungsunternehmen. In: Realisierung Utility 4.0; Bd. 2: Praxis der digitalen Energiewirtschaft vom Vertrieb bis zu innovativen Energy Services. Hrsg.: O. D. Doleski. Springer, Wiesbaden [u. a.] 2020, S. 675 – 688.
- TÄUSCHER, K.; LAUDIEN, S. M.: Understanding platform business models: A mixed methods study of marketplaces. In: European Management Journal 36(2017)3, S. 319 – 329. [https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/78787819/2017\\_Taeuscher\\_Laudien\\_Platform\\_Business\\_Models\\_Author\\_version.pdf](https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/78787819/2017_Taeuscher_Laudien_Platform_Business_Models_Author_version.pdf) (Link zuletzt geprüft: 13.05.2022)
- VERMESAN, O.; FRIESS, P. (HRSG.): Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. Rivers Publishers, Aalborg 2014. [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC\\_Cluster\\_Book\\_2014\\_Ch.3\\_SRIA\\_WEB.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf) (Link zuletzt geprüft: 10.05.2022)

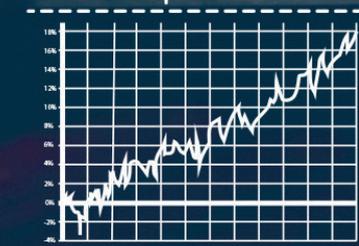
# 5G



0000  
1111  
0001

12%  
8%  
14%

★★★★★





**5G.NRW**  
Competence Center

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](mailto:publikationen@fir.rwth-aachen.de)  
[www.fir.rwth-aachen.de](http://www.fir.rwth-aachen.de)