



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland

Technologie- und Trendradar 2021

Studie im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

[bmwi.de](https://www.bmwi.de)

Impressum

Herausgebendes Ministerium

Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Text und Redaktion

FIR an der RWTH Aachen

Prof. Dr.-Ing. Volker Stich
Dr.-Ing. Jan Hicking
Max-Ferdinand Stroh, M.Sc.
Murtaza Abbas, M.Sc.
Sebastian Kremer, M.Sc.
Leonhard Henke, M.Sc.

Stand

Oktober 2021

Diese Publikation wird ausschließlich als Download angeboten.

Zentraler Bestellservice für Publikationen der Bundesregierung:

E-Mail: publikationen@bundesregierung.de

Telefon: 030 182722721

Bestellfax: 030 18102722721

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfenden während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Inhalt

0	Überarbeitungsbericht	4
0.1	Über diesen Bericht	4
0.2	Allgemeine Strukturierung.....	4
0.3	Technologiefelder	4
0.4	Trends & Technologien	4
1	Einleitung.....	6
1.1	Ausgangssituation.....	6
1.2	Motivation	6
1.3	Inhalt und Ziele der Studie.....	6
2	Grundlegende Begrifflichkeiten.....	8
2.1	Technik und Technologie	8
2.2	Informationstechnologie und digitale Technologie.....	8
3	Methode.....	10
4	Technologie- und Trendradar	14
4.1	Vernetzung	14
4.1.1	Beschreibung des Technologiefeldes	14
4.1.2	Anwendungsfall: Connected Car	15
4.1.3	Technologie- und Trendsteckbriefe	17
4.2	Virtualisierung.....	28
4.2.1	Beschreibung des Technologiefelds	28
4.2.2	Anwendungsfall: Digitaler Schatten in der Produktion	28
4.2.3	Technologie- und Trendsteckbriefe	30
4.3	Datenverarbeitung.....	37
4.3.1	Beschreibung des Technologiefelds	37
4.3.2	Anwendungsfall: Therapie des Locked-In-Syndroms	37
4.3.3	Technologie- und Trendsteckbriefe	39
4.4	Prozesse.....	50
4.4.1	Beschreibung des Technologiefelds	50
4.4.2	Anwendungsfall: Fraud Detection mittels AI Security.....	51
4.4.3	Technologie- und Trendsteckbriefe	52
4.5	Produkte	62
4.5.1	Beschreibung des Technologiefelds	62
4.5.2	Anwendungsfall: Connected Consumer Products.....	62
4.5.3	Technologie- und Trendsteckbriefe	64
4.6	Geschäftsmodelle	77
4.6.1	Beschreibung des Technologiefelds	77
4.6.2	Anwendungsfall: Virtuelle Kraftwerke	77
4.6.3	Technologie- und Trendsteckbriefe	79
5	Fazit	87
6	Literaturverzeichnis	88

Kurzfassung

Worum geht es in der Studie?

Ziel der Studie ist die Erarbeitung eines Technologie- und Trendradars, um eine transparente Übersicht über die Digitalisierungstechnologien und deren Nutzen für die Wirtschaft darzustellen. Sie entstand im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) beauftragten Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“. Dafür wurden zentrale Trends und Technologien aus unterschiedlichen Bereichen der Digitalisierung gesammelt, analysiert und geclustert. Die ausgewählten Trends und Technologien wurden anschließend in Steckbriefen dargestellt. Dabei wurde für jeden Trend oder jede Technologie der aktuelle Reifegrad ermittelt. Die Steckbriefe und Reifegrade werden im Rahmen dieser Studie im Detail vorgestellt.

Welche Erkenntnisse erzielen die Lesenden?

Die zentralen Ergebnisse der Studie können in drei Teile aufgeteilt werden: Zunächst geben sie eine Übersicht über die zentralen Trends und Technologien zur Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Diese sind jeweils in Technologiefeldern zusammengefasst und werden in Steckbriefen detailliert beschrieben. Die Technologiefelder sind: *Vernetzung, Virtualisierung, Datenverarbeitung, Prozesse, Produkte und Geschäftsmodelle*.

Darüber hinaus wird für jedes Technologiefeld ein Anwendungsfall aus der Praxis beschrieben. Dieser setzt das Technologiefeld in den Anwendungskontext.

Abschließend wurde für alle Trends und Technologien ein Technologiereifegrad bestimmt. Anhand des Technologiereifegrades kann festgestellt werden, wie nah die Trends und Technologien am Einsatz in der Serie sind. Somit gibt der Reifegrad auch Aufschluss über die Machbarkeit unterschiedlicher Trend- und Technologieprojekte.

Wie ist die Studie aufgebaut?

Zunächst werden die grundlegenden Begrifflichkeiten sowie das methodische Vorgehen erläutert. In den darauffolgenden Kapiteln werden die einzelnen Technologiefelder des Technologie- und Trendradars erläutert. Deren Darstellung ist nach einem einheitlichen Muster aufgebaut. Zu Beginn wird das Technologiefeld beschrieben. Daraufhin wird ein Anwendungsfall zum Technologiefeld vorgestellt. Für jedes Technologiefeld werden nun die selektierten Trends und Technologien auf Basis ihres Steckbriefs erläutert. Abschließend wird ein Ausblick auf die nächsten Schritte im Projekt gegeben. Dazu zählt eine jährliche Aktualisierung des Technologie- und Trendradars.

0 Überarbeitungsbericht

0.1 Über diesen Bericht

Der Technologie- und Trendradar sieht eine jährliche Überarbeitung vor, um Entwicklungen der Trends und Technologien im vergangenen Jahr abzubilden. Dieser Bericht dient zur Übersicht der vorgenommenen Änderungen seit der letztjährigen Version.

Änderungen betreffen die allgemeine Strukturierung des Technologie- und Trendradars, die Beschreibung der Technologiefelder und die Trends & Technologien selbst. Anpassungen in den Technologiefeldbeschreibungen dienen in erster Linie der Überarbeitung des vorgestellten Anwendungsfalls, um die Felder fortgehend in aktuellen und technologisch relevanten Anwendungen vorzustellen. Die Überarbeitung der Trends und Technologien umfasst die Aktualisierung bestehender Steckbriefe, insbesondere im eingestuften Technologiereifegrad (auch Technology Readiness Level, kurz TRL) und aktueller Anwendungen, und die Entfernung von solchen Steckbriefen, die auf Grund ihres Alters oder ihrer Entwicklung an Relevanz verloren haben. Zusätzlich wird das bestehende Portfolio um weitere Trends und Technologien ergänzt, die sich für eine Aufnahme qualifiziert haben.

Die in dieser Ausgabe getroffenen Anpassungen werden im Folgenden vorgestellt.

0.2 Allgemeine Strukturierung

In der vergangenen Ausgabe wurde die Klassifizierung von Technologien und Trends in die Feld-Cluster *Vernetzung*, *Virtualisierung & Datenverarbeitung* bzw. *Prozesse*, *Produkte* und *Geschäftsmodelle* vorgenommen. Die Klassifizierung als Trend oder Technologie wird ab dieser Ausgabe unabhängig der Feldzuordnung nun Steckbrief-individuell vorgenommen, da sich diese Ordnung als präziser erweist. Dementsprechend besitzen Trends und Technologien nun eine unterschiedliche Darstellung in Abbildungen und ihrer Kennung im Steckbrief. Der TRL wird weiterhin zur Klassifizierung von Trends angewandt, um deren Bereitschaft und eventuelle Adaption in der Praxis analog zu den Technologien abzubilden.

0.3 Technologiefelder

Das Technologiefeld *Vernetzung* wurde um eine Klassifizierung neuer Vernetzungs-Trends ergänzt, die es erlaubt Technologien entsprechend ihrer Eignung für bestimmte Anwendungsfälle zu clustern. Im Technologiefeld *Datenverarbeitung* wird nun der Anwendungsfall des Brain-Computer-Interfaces am Fall des kalifornischen Unternehmens Neuralink vorgestellt. Dieses befasst sich mit der Neuroprothese "The Link", bei dem Hirn-Computer Interfaces erforscht werden, um zukünftig Datenverbindungen zwischen beiden zu ermöglichen und Patienten und Patientinnen mit dem Locked-In Syndrom zu helfen. Mit der Ablösung des Trends *Digital Work* wurde dieser im Technologiefeld *Prozesse* als allgemeiner Trend für den Einsatz digitaler Technologien verortet.

0.4 Trends & Technologien

Im Rahmen des kontinuierlichen Technologie- und Trend-Scoutings wurden 34 weitere Technologien und Trends identifiziert von denen 13 in Form von Steckbriefen aufgenommen wurden. Das Technologiefeld *Vernetzung* wurde um *6G*, *RFID*, *Thread* und *Wi-Fi 6* erweitert. Dem

Feld *Virtualisierung* wurde zur Vollständigkeit und Aufnahme jüngerer Entwicklungen die Technologie der *Systemvirtualisierung* hinzugefügt. Dem Technologiefeld *Datenverarbeitung* wurden das *Brain-Computer-Interface (BCI)* sowie der Trend des *Data Minings* hinzugefügt. Das Feld *Prozesse* wurde um die Technologie *Generative Design* und die Trends *Anywhere Operations* und *Experience Management* ergänzt. Im Technologiefeld *Produkte* wurden zusätzlich die Technologien *Low-Code/No-Code-Plattformen*, *System-on-a-Chip* und *Organ-on-a-Chip* verortet. Zuletzt wurde dem Technologiefeld *Geschäftsmodelle* der Trend der *Circular Economy* hinzugefügt.

Von den neu hinzugefügten Technologien weisen drei einen hohen Reifegrad auf: *Radio Frequency Identification (RFID)*, *Data Mining* und *System-on-a-Chip*. Diese wurden trotz langjähriger Bestehens neu aufgegriffen, da sich in jüngster Vergangenheit neue Anwendungsfelder und Potenziale ergeben haben, bzw. trotz hohem Reifegrad spezifische Herausforderungen bei der Adoption noch nicht überwunden sind. Über diese wollen die Autoren und Autorinnen informieren, um eine transparente Übersicht über die Digitalisierungstechnologien zu geben.

Alle Steckbriefe, die aus der vorherigen Version übernommen wurden, wurden entsprechend den Entwicklungen angepasst und neu evaluiert. Insbesondere anzumerken sind hier Folgende: Die Technologie der *Kryptowährungen* hat mit aktuellen internationalen politischen Entscheidungen einen offiziellen Stellenwert sowie höhere Adaption erreicht und kann somit im TRL nun deutlich höher eingestuft werden. Der Trend *Autonomous Things* wurden in *Autonome Roboter* umbenannt, um hier eine Präzisierung und klarere Abgrenzung zu anderen Technologien und Trends zu schaffen. Der Trend *digitaler Zwilling* wurde nachträglich im TRL reduziert, da auf Grund der großen Spanne der unterliegenden Anwendungen, die tatsächlich im Feld existierenden Anwendungen noch nicht das volle Potential demonstrieren konnten.

Aus dem Portfolio wurden insgesamt fünf Technologien und Trends entfernt. *Gigabit-WLAN* wird aufgrund der breiten Adaption und dem praktischen Standard bei Internet-Providern nicht weiter betrachtet. Auch der Trend *Distributed Cloud* im Technologiefeld *Vernetzung* wurde gestrichen, da er eine nun sehr gängige Form des *Cloud Computing* darstellt. Der Trend der *AI Cloud Services* wurde aus dem Technologiefeld *Datenverarbeitung* entfernt, da dieser zu einem gängigen Analyse-Tool im *Cloud Computing* geworden ist und daher keiner gesonderten Unterscheidung mehr bedarf. Der Trend *Digital Work* wurde als eigener Steckbrief entfernt und stattdessen in das Technologiefeld *Prozesse* angehoben, da er den generellen Trend für den Einsatz digitaler Technologien im Kontext von Prozessen abbildet. Die Technologie *Robotik* wurde aufgrund allgemein starker Adaption gänzlich aus dem Radar entfernt. Der Trend *Predictive Productivity* wird nicht weiter betrachtet, da er geringe Relevanz aufweist und im Sammelbegriff *Data Analytics* als Teil von relevanteren Anwendungen bereits abgebildet ist.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Digitale Technologien sind ein Ergebnis der rasanten technologischen Entwicklung der vergangenen Jahre und Jahrzehnte. Sie beschreiben Technologien, die auf (Computer-) Hardware, Software und Vernetzung beruhen, und heben sich von klassischen Technologien durch ihre Flexibilität und hohe Verfügbarkeit ab. Das Angebot an digitalen Technologien und deren Anwendungsmöglichkeiten ist dabei ausgesprochen vielfältig. In allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft können digitale Technologien zu Verbesserungen führen, zum Beispiel in Bezug auf die Effizienz von Produktionsprozessen, die Individualisierbarkeit von Gütern und Dienstleistungen oder die Art und Weise der Kommunikation und Interaktion. Vorteile werden dabei durch die hohe Schnelligkeit von digitalen gegenüber mechanischen Systemen realisiert. Die Implementierung komplexer, aber dennoch flexibler Logiken wird zudem durch Programmierbarkeit und einen Zusammenschluss verschiedener Technologien ermöglicht. Vorteile ergeben sich weiterhin auch aus der einfachen Ausnutzung der informationstechnischen Möglichkeiten zur Generierung und Übertragung von Daten. Solche Verbesserungen aufgrund digitaler Technologien werden in vielen Unternehmen und Institutionen angestrebt, da sich daraus Möglichkeiten für effizientere Prozessgestaltungen und neue Geschäftsmodelle entwickeln. Unternehmen, die digitale Technologien bereits einsetzen, können sich in ihrem Geschäftsfeld oftmals besser durchsetzen.

An manchen Stellen werden digitale Technologien eher als Herausforderung statt als Chance gesehen, weshalb sie nur zögerlich eingesetzt werden. Diese Herausforderungen ergeben sich vermehrt aus dem mangelnden Verständnis zum korrekten Einsatz der digitalen Technologien und der Transformation bisheriger Systeme und Prozesse in ein digitales Umfeld. Trotz der hohen Verfügbarkeit bedarf es Fachkundige, um diese Technologien auszuwählen, zu konfigurieren und effizient und wertschöpfend einzusetzen sowie die steigende Komplexität eines wachsenden digitalen Umfeldes zu beherrschen. Die schnelle Entwicklung der digitalen Technologien macht es zudem schwer, Neuerungen sowie die Erschließung neuer Anwendungsbereiche zu verfolgen und zu überblicken.

1.2 Motivation

Um die Chancen der digitalen Technologien zu fördern und ihre Herausforderungen zu beherrschen, ist es bedeutsam, den Status quo der Digitalisierung in der Wirtschaft und die erzielten Fortschritte hinsichtlich der digitalen Technologien konsequent und konsistent zu erfassen. Dies ist das Ziel des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort in Deutschland“. Konkret steht zur Aufgabe, die Digitalisierung der Wirtschaft hierzulande in ihren verschiedenen Dimensionen zu messen und über den Zeitablauf zu beobachten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bieten dann einen evidenzbasierten Orientierungsrahmen für Wirtschaft und Politik im Hinblick auf Entscheidungen, die mit digitalen Technologien in Zusammenhang stehen. Mit dieser Studie „Technologie- und Trendradar“ wird im Rahmen des Projekts eine Aufnahme der zurzeit verfügbaren digitalen Technologien vorgenommen und diese anhand ihrer Etablierung in der Wirtschaft bewertet.

1.3 Inhalt und Ziele der Studie

Die vorliegende Studie „Technologie- und Trendradar“ behandelt die Messung des Status quo und der Digitalisierungsentwicklung in der Wirtschaft am Standort Deutschland. Sie dient der Übersicht

über aktuelle Technologien sowie sich entwickelnde Technologietrends in der Wirtschaft. Die Identifikation der bedeutsamsten Trends und Technologien und die Zuordnung zu den strukturgebenden Technologiefeldern erfolgte auf Basis einer ausführlichen Literatur- und Onlinerecherche sowie Interviews mit Fachleuten und der Analyse funktionsähnlicher Instrumente wie etwa des Gartner Hype Cycle. Mittels beispielhafter Anwendungsfälle in jedem Technologiefeld sowie kurzer Steckbriefe zu den jeweiligen Technologien wird den Lesenden ein Grundverständnis über den aktuellen technologischen Stand und Handlungsoptionen für die technologische Zukunftsperspektive in der deutschen Wirtschaft vermittelt. Kern der Bewertung ist ein Index für die jeweiligen Technologien, der die Digitalisierung der deutschen Wirtschaft erfasst und umfassend quantifiziert. Neben dem Index werden im Technologie- und Trendradar neue technologische Entwicklungen identifiziert und unter Betrachtung der potenziellen Anwendungen sowie der spezifischen Potenziale und Herausforderungen beschrieben. Dies dient dazu, den Lesenden die jeweiligen Technologien und Trends in einer informativen Zusammenfassung vorzustellen sowie deren Möglichkeiten und Relevanz für zukünftige Anwendungen abschätzbar zu machen. Über die Einzelvorstellung hinaus werden die Trends und Technologien einem eindeutigen Technologiefeld zugeordnet, das jeweils die Typisierung der umfassenden Trends und Technologien beschreibt. Somit werden generelle Strukturierungen und Zuordnungen vorgenommen, die entsprechende Anwendungsgebiete aufzeigen, Beziehungen zwischen den Trends und Technologien verdeutlichen und die Verfolgung der Entwicklungen in individuellen Fokusbereichen vereinfachen.

2 Grundlegende Begrifflichkeiten

Der Technologie- und Trendradar betrachtet Technologien, die einen großen Einfluss auf die Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft haben, und stellt diese sowie ihre Anwendungen und Potenziale vor. Der Einfluss von Technologien, Informationstechnologien und digitalen Technologien für die wirtschaftliche Entwicklung wird in zahlreichen Studien, Berichten und Reports beschrieben. Allerdings gibt unter den genannten Begriffen oft unterschiedliche Auffassungen. In diesem Abschnitt werden die zentralen Begriffe dieser Studie erläutert und definiert, mit dem Ziel, ein einheitliches Verständnis zu schaffen. Die in diesem Abschnitt vorgestellten Definitionen dienen als Grundlage für die Vorstellung der Technologien und ihrer Anwendungen in Kapitel 3.

2.1 Technik und Technologie

Der technische Fortschritt ist die Grundlage der Steigerung der Produktivität in einer Wirtschaft und damit eine treibende Kraft des Wirtschaftswachstums. Er basiert auf der stetigen Weiterentwicklung der Technik. Der Begriff der Technik kann als Gesamtheit der materiellen Gegenstände und immateriellen Verfahren, die zur Veränderung der Natur nach den Wünschen des Menschen genutzt werden, beschrieben werden (s. Bleck 2004, S. 9–11).

Der Begriff der Technologie ist eng mit dem der Technik verwandt, allerdings ist der Technologiebegriff weiter gefasst. Technologie ist die Wissenschaft der Technik. Technologie beschreibt also die Anwendung theoretischen Wissens (wie z. B. ingenieurwissenschaftlicher Kenntnisse) auf die Technik, um bestimmte Probleme zu lösen. Sie umfasst demnach das technische Wissen zu möglichen Lösungswegen sowie deren Verknüpfung mit dem wirtschaftlichen, gesellschaftlichen, sozialen oder politischen Umfeld. Zu Verwirrung führt häufig die Übersetzung des englischen Begriffs „technology“. Oft mit „Technologie“ übersetzt, bedeutet er eigentlich „Technik“ (s. Moehrle und Isenmann 2002, S. 5).

2.2 Informationstechnologie und digitale Technologie

Die digitale Transformation bzw. die vierte industrielle Revolution wird insbesondere durch den Einsatz zweier Arten von Technologien ermöglicht: Informationstechnologien und digitalen Technologien. Oft synonym verwendet, gibt es dennoch Unterschiede zwischen diesen beiden Arten der Technologie.

Für den Begriff der Informationstechnologie gibt es unterschiedliche Definitionen. Einige Autoren und Autorinnen verstehen Informationstechnologien als Kombination aus Ressourcen und Organisation zur Speicherung, Verarbeitung und Kommunikation von Informationen (s. Krcmar 2015, S. 30). Andere sehen in Informationstechnologien die technischen Komponenten einer Informationsarchitektur oder eines Informationssystems (s. Lehner et al. 2008, S. 42). Im Rahmen dieser Studie wird die Definition nach Bleck verwendet, der Informationstechnologien als Gesamtheit der zur Eingabe, Ausgabe, Wandlung, Übertragung und Speicherung von Informationen zur Verfügung stehenden materiellen und immateriellen Hilfsmittel beschreibt (s. Bleck 2004, S. 11). Hierzu zählen unter anderem Übertragungstechnologien, Mensch-Maschine-Schnittstellen oder die IT-Infrastruktur.

Digitale Technologien sind der Grundbaustein des Technologie- und Trendradars. Der Begriff der digitalen Technologie ist allerdings der bisher der von allen in dieser Studie definierten Begriffe am wenigsten scharf definiert. Im Zuge dieser Studie werden digitale Technologien definiert als

Lösungskomponenten für das digital vernetzte Unternehmen, die aus der Vernetzung betrieblicher Anwendungssysteme, Software- und Hardwarekomponenten bestehen, sodass sie mittels Datenverarbeitung einen datenbasierten Mehrwert in einer Anwendung schaffen. Der Einsatz digitaler Technologien ermöglicht die Verfolgung der in Kapitel 4 beschriebenen Trends und Anwendungen. Die in den Kapiteln 3 beschriebenen Kategorien **Vernetzung**, **Virtualisierung** und **Datenverarbeitung** sowie die Kategorien **Geschäftsmodelle**, **Produkte** und **Prozesse** dienen initial der Abgrenzung von digitalen Technologien bzw. von Trends. Da Technologien und Trends sich jedoch in jeder Kategorie ansiedeln können, erfolgt die Klassifizierung nun separat und unabhängig der Kategorien.

Diese Studie liefert eine detaillierte Bestandsaufnahme, Beschreibung und Klassifizierung der wichtigsten Trends und digitalen Technologien am Industriestandort Deutschland.

3 Methode

Das methodische Vorgehen zur Entwicklung des Technologie- und Trendradars ist angelehnt an die Methode der Technologiefrüherkennung und folgt den vier übergeordneten Schritten „Suchfeldbestimmung“, „Informationsbeschaffung“, „Präzisierung und Bewertung“ und „Einordnung der Technologien“ (siehe Abbildung 3-1).

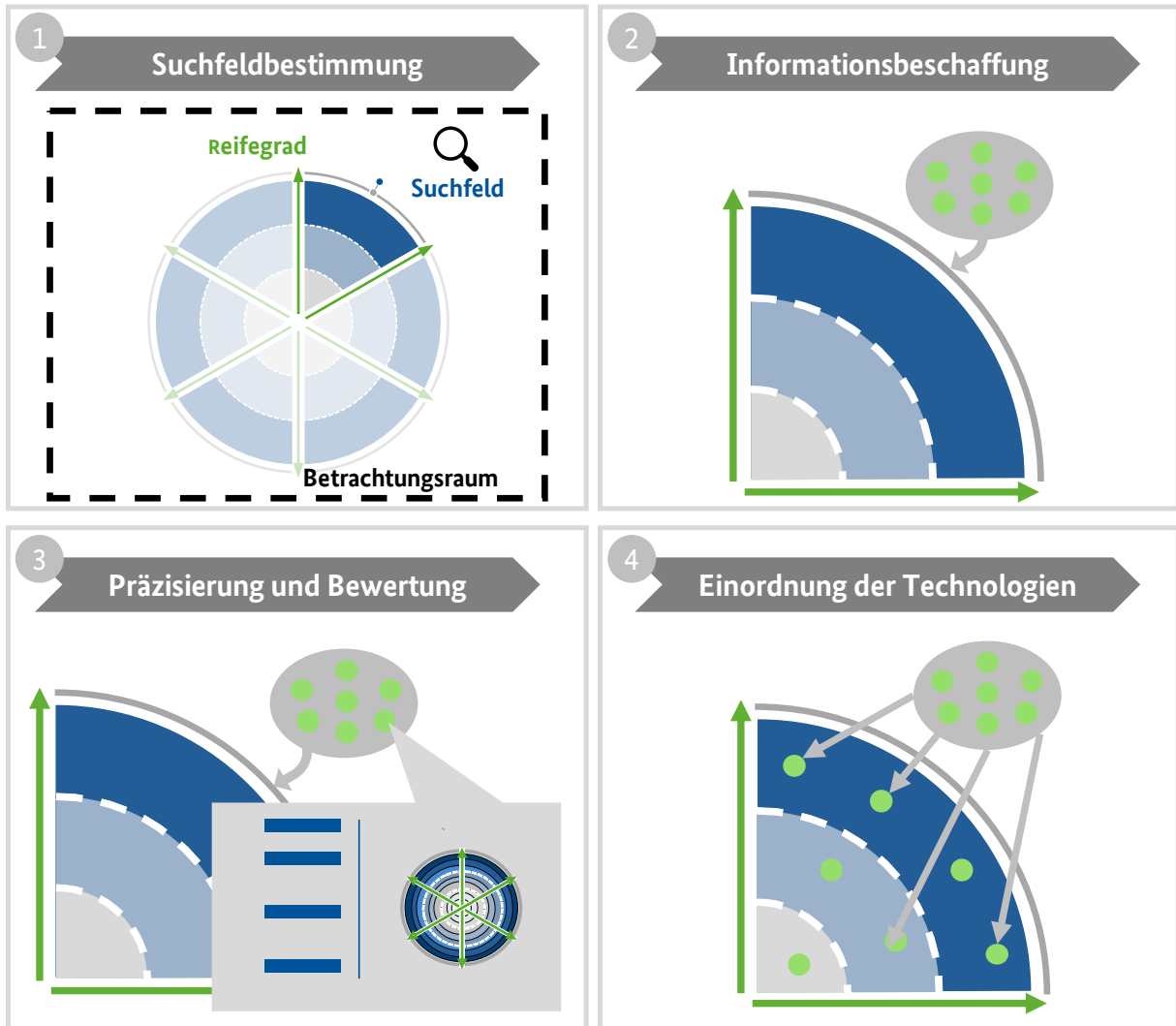


Abbildung 3-1: Methodisches Vorgehen zur Entwicklung des Technologie- und Trendradars

Zu Beginn wird im Rahmen der Suchfeldbestimmung die Grundstruktur des Radars erarbeitet. Dabei verhilft die handlungsleitende Definition der Digitalisierung, die im Projektkonsortium aufgrund seiner umfassenden Erfahrung im Themenfeld sowie der Erkenntnisse aus zahlreichen Unternehmensbefragungen und Interviews mit Fachkräften in den vergangenen Jahren entwickelt worden ist:

Definition: Digitalisierung bedeutet die Verwendung von Daten und algorithmischen Systemen als Produktionsfaktor oder als Bestandteil neuer oder verbesserter Prozesse und Produkte. Kennzeichen sind die Virtualisierung und Vernetzung von Produkten und Prozessen, das Teilen von Daten sowie die plattformbasierte Organisation und Steuerung von Wertschöpfungsketten. Aus dieser Kombination ergeben sich neue digitale Geschäftsmodelle.

Die Definition der Digitalisierung verhilft zur Aufspannung eines vollumfänglichen Betrachtungsraums. Anhand von Suchkriterien innerhalb des Betrachtungsraums werden die übergeordneten Suchfelder der „Geschäftsmodelle“, „Produkte“, „Prozesse“, „Vernetzung“, „Virtualisierung“ und „Datenverarbeitung“ hergeleitet. Während die ersten Suchfelder („Vernetzung“, „Virtualisierung“ und „Datenverarbeitung“) die Gesamtheit der zur Digitalisierung notwendigen Technologien abbilden, spiegeln die restlichen Suchfelder („Prozesse“, „Produkte“ und „Geschäftsmodelle“) die durch die Technologien ermöglichten Trends und Anwendungen. Deren Einführung dient insbesondere zur Schaffung von Strukturelementen innerhalb des Betrachtungsraums.

Ein weiteres strukturgebendes Element ist die Einführung von Reifegradstufen zur konsistenten Einordnung von Trends und Technologien innerhalb des Radars. Diese sind angelehnt an die etablierten Reifegradstufen des Technology Readiness Level und spiegeln die Reife jeweiliger Trends und Technologien wider (s. Heder 2017). Dabei beinhaltet die Makroansicht eine Innovationsphase, eine Prototypenphase und eine Marktetablierungsphase und dient somit zur Einordnung der Trends und Technologien in eine Grobstruktur. Dagegen unterscheidet die Mikroansicht insgesamt neun verschiedene Reifegradstufen, sodass insbesondere bei jährlicher Aktualisierung des Radars die Entwicklung der Trends und Technologien nachvollzogen werden können. Eine Übersicht über die Reifegradstufen ist in Abbildung 3-2 abgebildet.

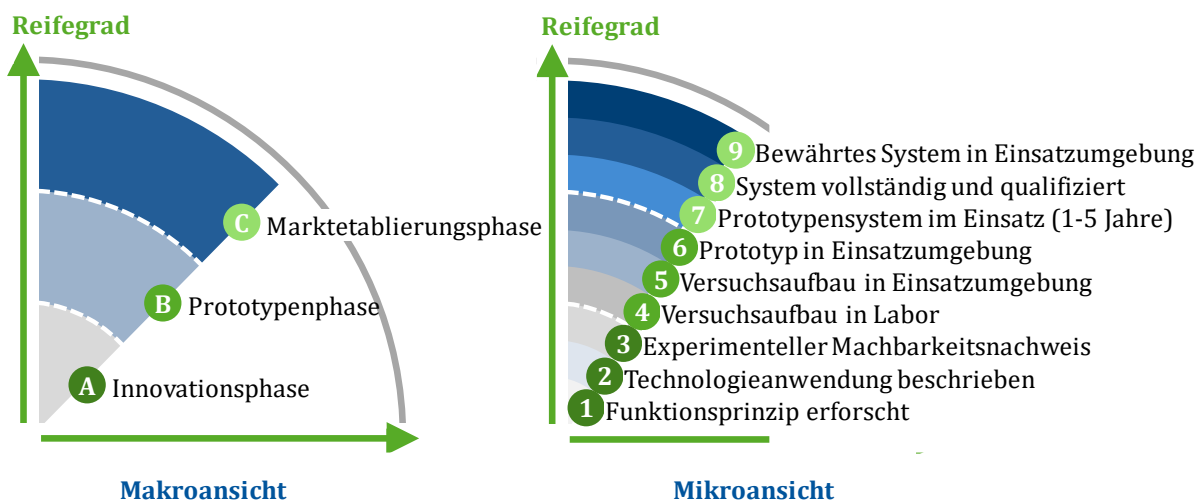


Abbildung 3-2: Reifegradstufen des Technologie- und Trendradars

Im weiteren Verlauf werden im zweiten Schritt, der Informationsbeschaffung, relevante Trends und Technologien anhand vertiefter Recherchen identifiziert. Um einen möglichst breiten Zielkorridor aufspannen zu können, werden diverse, sich ergänzende Informationsmedien genutzt. In einer ersten Analyse werden über Literatur- und Onlinerecherchen aktuelle Trendthemen suchfeldspezifisch recherchiert. Ergänzend hierzu folgen Analysen bestehender Technologie- und Trendradare, sodass bereits gewonnene Erkenntnisse aus vorangegangenen Untersuchungen ebenfalls in den aufzubauenden Radar einfließen können (s. Software AG 2018; ThoughtWorks). Zuletzt wird der Vollständigkeit halber auf Instrumente wie den *Gartner Hype Cycle* (s. Goasduff 2019) zurückgegriffen, in dem Technologien themenbehaftet nach Phasen der öffentlichen Aufmerksamkeit verortet werden. Ergebnis dieser unterschiedlichen Ansätze sind insgesamt 252 (Stand 2021) verschiedene Trends und Technologien, die den sechs Suchfeldern zugeordnet werden können. Nachdem auf diesen Wegen eine Vielzahl an Trends und Technologien gesammelt werden konnten, sind die Erkenntnisse der Recherchen in Interviews mit dem Expertinnen- und Expertennetzwerk des FIR an der RWTH Aachen, bestehend aus Vertretenden der Wissenschaft und Industrie, diskutiert worden. Hierdurch konnte für jedes Suchfeld individuell die Relevanz identifizierter Trends und Technologien gespiegelt und die Anzahl auf die bedeutsamsten 60 (Stand 2021) Trends und Technologien reduziert werden.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Trends und Technologien untereinander wird in einem dritten Schritt, der Präzisierung und Bewertung, ein standardisierter Technologiesteckbrief entworfen, in dem vertiefende Informationen festgehalten werden können. Diese Steckbriefe beinhalten neben einer Kurzbeschreibung des jeweiligen Trends oder der Technologie die Reifegradeinordnung, Anwendungsbeispiele in diversen Branchen sowie damit einhergehende Potenziale und aktuelle Hindernisse der Implementierung in der deutschen Wirtschaft. Ein Beispiel eines Technologiesteckbriefs kann in Abbildung 3-3 eingesehen werden.

Technologiesteckbrief: 5G


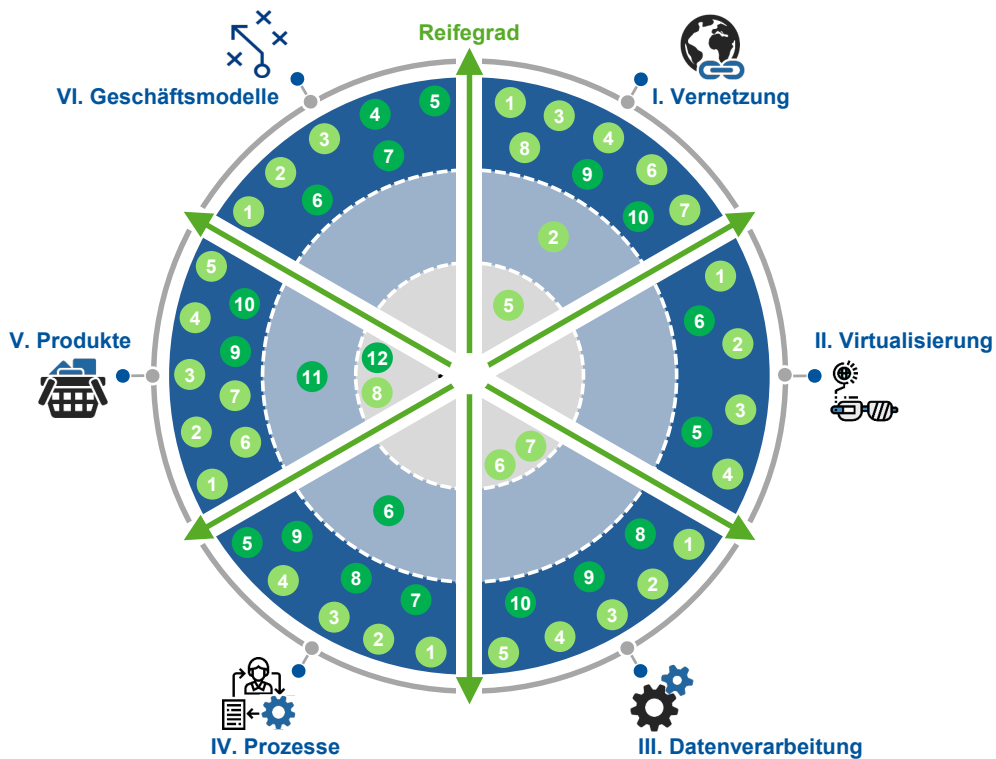
In a nutshell	Die fünfte Generation der Mobilfunktechnologie ermöglicht anspruchsvolle Anwendungen sowohl im privaten als auch im industriellen Einsatz. 5G übertrifft bisherige Technologien mit verringerten Latenzzeiten für zeitkritische Anwendungen, größeren Datenübertragungsraten sowie der Ermöglichung einer höheren Anzahl angebundener Geräte.	Reifegradstufe 
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiple Gerätevernetzung (Smart Cities, Videoüberwachung, Bestandskontrolle) ▪ Verzögerungsarme und Zuverlässige Datenübertragung (autonomes Fahren, eHealth, Industrie 4.0-Anwendungen) ▪ Schnelle Datenübertragung (Augmented Reality, Virtual Reality) 	
Potenziale	<ul style="list-style-type: none"> + Network Slicing ermöglicht eine flexible Konfiguration der Netze je nach Anforderungen (hohe Bandbreite, ultrageringe Latenz oder sehr hohe Anzahl verbundener Geräte). + Es ist eine garantierte Datenübertragung für kritische Anwendungen möglich. + Industriekonzerne können eigene Campusnetze mit 5G aufspannen. 	
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund der geringeren Reichweite ist eine höhere Anzahl an Sendemasten erforderlich. - Eine Verstärkung des Glasfaserausbaus ist zur vollständigen Ausschöpfung des Potenzials von 5G-Netzen erforderlich. - In der Bevölkerung gibt es Vorbehalte bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen von 5G. 	

Abbildung 3-3: Technologiesteckbrief 5G (hier in Kompakt-Darstellung)

Zur Finalisierung des Technologie- und Trendradars werden im letzten Schritt die Trends und Technologien innerhalb des Radars eingeordnet. Damit eine zeitliche Entwicklung des Radars realisiert werden kann, werden jedes Jahr die erhobenen Trends und Technologien einer neuen Bewertung unterzogen. In dieser werden irrelevante Trends und Technologien verworfen, weiterhin aktuelle Trends und Technologien neu bewertet und verortet und neue, relevante Trends und Technologien in den Radar integriert. Eine Übersicht über den Radar aus dem Jahr 2021 ist in Abbildung 3-4 dargestellt.

	I. Vernetzung	II. Virtualisierung	III. Datenverarbeitung
Technologien	I.1. 4G	II.1. Conversational Interfaces	III.1. Artificial Intelligence (AI)
	I.2. 5G	II.2. Augmented Reality (AR)	III.2. Machine Learning
	I.3. Bluetooth 5	II.3. Virtual Reality (VR)	III.3. Deep Learning
	I.4. ZigBee	II.4. Systemvirtualisierung	III.4. Natural Language Processing (NLP)
	I.5. 6G		III.5. Computer Vision
	I.6. RFID		III.6. Quantum Computing
	I.7. Thread		III.7. Brain-Computer-Interface (BCI)
	I.8. Wi-Fi 6		
Trends	I.9. Internet of Things (IoT)	II.5. Digitaler Schatten	III.8. Data Analytics
	I.10. Cloud Computing	II.6. Digitaler Zwilling	III.9. Process Mining
			III.10. Data Mining



	IV. Prozesse	V. Produkte	VI. Geschäftsmodelle
Technologien	IV.1. Edge Computing	V.1. Kryptowährungen	VI.1. Infrastructure as a Service (IaaS)
	IV.2. AI Security	V.2. Cyber-physische Systeme (CPS)	VI.2. Platform as a Service (PaaS)
	IV.3. Distributed-Ledger-Technologie (DLT)	V.3. Digitale Assistenzsysteme	VI.3. Software as a Service (SaaS)
	IV.4. Generative Design	V.4. 3D-Scan	
		V.5. 3D-Druck	
		V.6. Low-Code/No-Code Plattform	
		V.7. System-on-a-Chip (SoC)	
		V.8. Organ-on-a-Chip (OoC)	
Trends	IV.5. DevOps	V.9. App Stores und Marktplätze	VI.4. Shareconomy
	IV.6. Democratization of Knowledge	V.10. Autonome Roboter	VI.5. Subscription Economy
	IV.7. Hyperautomation	V.11. Human Augmentation	VI.6. User Designed
	IV.8. Anywhere Operations	V.12. Human-Multiexperience	VI.7. Circular Economy
	IV.9. Experience Management		

Abbildung 3-4: Technologie- und Trendradar 2021 (neue Einträge fett markiert)

4 Technologie- und Trendradar

4.1 Vernetzung

4.1.1 Beschreibung des Technologiefeldes

Innerhalb des Technologiefeldes „Vernetzung“ werden Technologien verortet, die zur Zusammenführung bzw. Weiterleitung von Daten und Informationen dienen. Hierunter werden sowohl Infrastrukturtechnologien als auch Datenübertragungs-, Datenhaltungs- und Schnittstellentechnologien verstanden.

Abbildung 4-1 zeigt qualitativ vier übergeordnete Drahtlos-Netzwerk-Typen, denen sich drahtlose Vernetzungstechnologien grundsätzlich zuordnen lassen können. Die dargestellten Kategorien beinhalten jeweils standardisierte Übertragungstechnologien, deren relevantesten Vertretenden in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden.

WLAN (Wireless Local Area Network) ist die am weitesten verbreitete Technologie und wird stetig weiterentwickelt. Die neueste Generation *WLAN AX* (auch als *Wi-Fi 6* bekannt) ermöglicht Übertragungsgeschwindigkeiten, die weit über dem heutigen Standard Gigabit WLAN (auch 802.11ac bzw. *Wi-Fi 5*) liegen.

Die Mobilfunktechnologien *4G* und *5G* dienen heute vor allem der Vernetzung von Smartphones und anderen Endgeräten von Verbrauchenden im B2C-Kontext. Der neue *5G*-Standard wird aufgrund einhergehender technologischer Neuerungen wie dem Network Slicing (siehe *5G*) allerdings vollständig neue Einsatzfelder in der Industrie ermöglichen.

WPAN (Wireless Personal Area Network) ist die am zweithäufigsten eingesetzte drahtlose Übertragungstechnologie in der Industrie und ermöglicht bei niedrigem Energieverbrauch und geringem Bauraum eine Datenübertragung über kleine Distanzen. Im Bereich Smart Home wird typischerweise *ZigBee* genutzt, um Geräte untereinander zu verbinden und so die intelligente Steuerung von Geräten im Haus zu realisieren. Die Verbindung zwischen einzelnen Endgeräten wie Smartphones und kabellosen Kopfhörern ist *Bluetooth* zu verdanken.

Low Power Wide Area Network (LPWAN) wie *Narrowband-IoT (NB-IoT)* können kleine Datenmengen über weite Distanzen übertragen. *NB-IoT* ist dabei abzugrenzen von dem nachfolgend vorgestellten Internet-of-Things-Begriff, dem *Internet der Dinge*. Beim *IoT* handelt es sich nicht um einen Standard, sondern um ein Konzept, mit physischen Objekten mittels Datenanbindung kommunizieren zu können. Den schnellen Zugriff auf Software und Daten aus der ganzen Welt machen Cloud-Technologien möglich, die Daten zentral in Rechenzentren speichern und allen Personen mit Zugriffsrechten und einer Internetverbindung zur Verfügung stellen können.

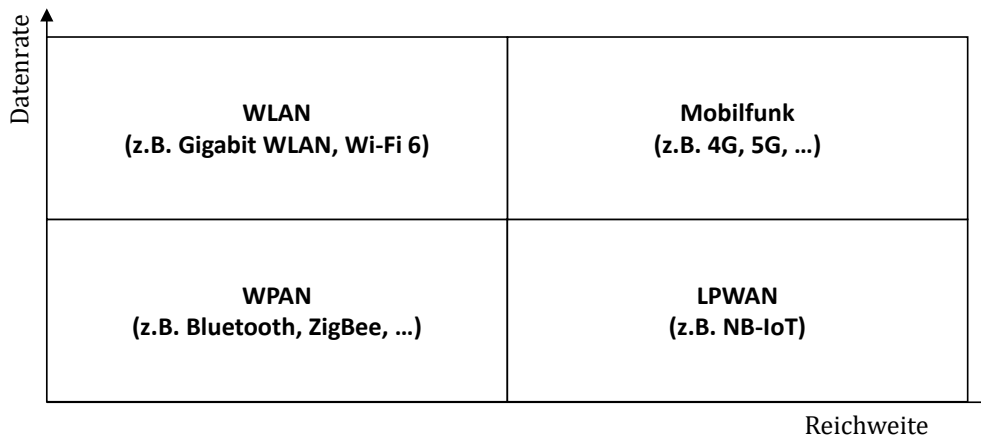


Abbildung 4-1: Übersicht drahtloser Datenübertragungstechnologien

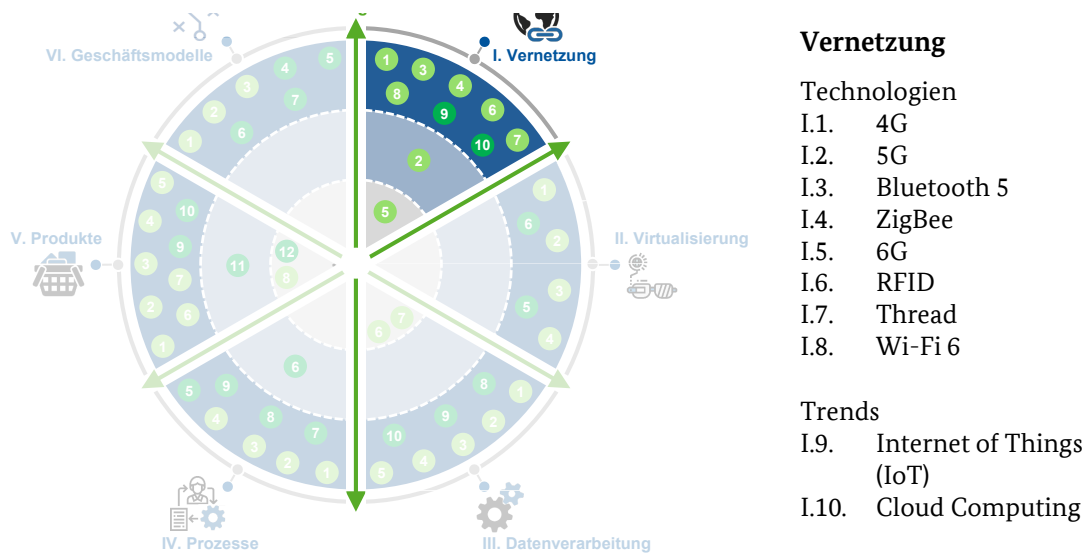


Abbildung 4-2: Technologie- und Trendradar: Fokus Vernetzung

4.1.2 Anwendungsfall: Connected Car

Die Digitalisierung hat auch den Mobilitätssektor inzwischen voll erfasst. Moderne Autos sind heute schon über WLAN oder Mobilfunk mit dem Internet verbunden. Das sogenannte Connected Car, der vernetzte PKW, birgt Potenziale, um einige der zahlreichen Probleme des heutigen Individualverkehrs zu lösen und ganz neue Anwendungen und Geschäftsmodelle zu realisieren. Ziel des Connected Cars ist es, durch intelligente Nutzung von Daten den Mehrwert des Autos für Kundschaft und andere involvierte Stakeholder zu erhöhen. Hierfür müssen Daten aufgenommen, übertragen und ausgewertet werden, wobei Vernetzungstechnologien das Übertragen und das Auswerten der gesammelten Daten ermöglichen. Moderne Autos verfügen bereits heute über WLAN oder Mobilfunkschnittstellen (z. B. LTE), die sowohl Daten aus den einzelnen Steuergeräten im Auto an die herstellende oder betreibende Firma schicken als auch die im Fahrzeug sitzende Person Daten zur Verfügung stellen können. Automobilherstellende Unternehmen sammeln Daten aus ihren Flotten in ihren Cloud-Infrastrukturen. Hier werden Erkenntnisse über die Kundschaft zusammengetragen und für die Entwicklung neuer, digitaler Dienste zur Verfügung gestellt.

Unternehmen verschiedener Branchen haben das enorme Wertschöpfungspotenzial erkannt. Mit Hilfe neu gewonnener Erkenntnisse versuchen sie, durch digitale Mehrwertdienste Nutzen für Autofahrende zu stiften und die eigenen Geschäftsmodelle zu verbessern. Einige Beispiele der ermöglichten digitalen Dienste befinden sich in den Bereichen Sicherheit, Unterhaltung,

Instandhaltung, Versicherung und der kontinuierlichen Entwicklung der Fahrzeuge. Sicherheit, insbesondere im Falle eines Verkehrsunfalls, hängt stark davon ab, wie schnell Hilfe geleistet wird. Um die Zeit zu verkürzen, sind alle in Europa neu zugelassenen Autos verpflichtet, ein eigenes Notrufsystem (*eCall*) zu integrieren. Um diesen Dienst anbieten zu können, müssen Autos mit der Außenwelt kommunizieren. Im Bereich der Unterhaltung wird durch eine ständige Verbindung mit dem Internet das Streamen von Filmen oder Onlinespiele für Reisende auf langen Autofahrten möglich. Versicherungen bieten der Kundschaft Tarife an, bei denen Fahrende bei vorsichtiger Fahrweise Rabatte geboten werden. Um diese Tarife anbieten zu können, muss die fahrzeughaltende Person einverstanden sein, die Fahrdaten an die Versicherung zu übermitteln. Durch die Erfassung der Zustandsdaten können Probleme, die eine Reparatur erfordern, erkannt und der entsprechende Werkstattbesuch automatisch gebucht werden. Ein Dienst mit enormem Potenzial ist die kontinuierliche Verbesserung des Fahrzeugs durch Over-the-Air-Updates und Upgrades. Das zunehmend digitalisierte, vernetzte Auto kann beispielsweise durch Softwareupdates über seinen Lebenszyklus mit neuen Funktionen ausgestattet werden, die dem Wertverlust des Autos über Zeit gegenüberstehen.

Drei große Herausforderungen des Automobils sind seine geringe Auslastung und damit verbundene hohe Kosten, eine hohe und zunehmende Anzahl an Verkehrsstaus und eine immer noch erhebliche Anzahl an Unfällen. Durch Carsharing-Konzepte könnten die Auslastung erhöht und die Betriebskosten gesenkt werden. Das autonome Fahren verspricht, Verkehrsstaus und Unfälle zukünftig gänzlich zu beseitigen. Für beide dieser Konzepte ist das Connected Car von zentraler Bedeutung.

Carsharing-Konzepte sind heute in vielen deutschen Städten verbreitet. Einige Autos müssen vorgebucht werden, in andere kann einfach eingestiegen werden und die Nutzung wird minutengenau abgerechnet. Damit dies funktioniert, besitzen die meisten Carsharing-Autos Datenschnittstellen. Über diese Schnittstellen wird beispielsweise das Smartphone des Fahrenden authentifiziert, bevor das Auto sich automatisch aufsperrt. Weiterhin wird die aktuelle Position des Fahrzeugs nahezu in Echtzeit übertragen oder die gefahrene Zeit sekundengenau übermittelt. Das Konzept des Connected Cars ist heute bereits Realität und eine wesentliche treibende Kraft für die innovativen Konzepte der Mobilität von morgen.

In den Zukunftsvisionen des Individualverkehrs muss niemand mehr Auto fahren. Vielmehr fährt das Auto vollständig autonom und transportiert den Menschen schnell und zuverlässig an den gewünschten Zielort. In heutigen Konzepten nimmt das Auto die Umwelt über eine Vielzahl an Sensoren auf, verarbeitet diese Umgebungsinformationen und entscheidet auf dieser Basis, wie es sich im Verkehr verhalten soll. Bereits heute werden schon Sensordaten aus tausenden, auf der Straße befindlichen Fahrzeugen durch die autoherstellenden Firmen verarbeitet, um entsprechende Entscheidungsalgorithmen zu entwickeln. Um die Routen der Fahrzeuge nicht nur individuell zu bestimmen, sondern ein ganzes Verkehrssystem zu koordinieren, werden Fahrzeuge über sogenannte Car-to-X-Schnittstellen verfügen müssen. Diese Schnittstellen erlauben dem Fahrzeug, mit anderen Autos oder mit Verkehrsinfrastruktur, wie etwa Ampeln, zu kommunizieren. Durch die automatisierte Kommunikation können sich Autos untereinander koordinieren und so sicherstellen, dass Verkehrsstaus und Unfälle zur Vergangenheit gehören. Heutige Technologien sind noch nicht ausreichend performant, um diese Szenarien verlässlich zu realisieren. Der neue 5G-Standard wird jedoch bereits heute vielen der Performance-Anforderungen gerecht und könnte der Car-to-X-Kommunikation zum Durchbruch verhelfen.

Fallbeispiel: Tesla, Inc.

Tesla ist ein US-amerikanisches herstellendes Unternehmen von Elektroautos, Stromspeichern und Photovoltaikanlagen. Die Fahrzeuge von Tesla verfügen standardmäßig über eine WLAN-, Bluetooth- sowie LTE-Schnittstelle. Über eine mobile App können besitzhabende Personen verschiedene Funktionen im Auto steuern, z. B. das Fahrzeug aufschließen, hupen lassen, aktuelle Zustandsinformationen, wie den aktuellen Akkustand, abrufen oder die Klimaanlage bedienen. Über die Internetanbindung können zudem im Fahrzeug bereits heute Videos gestreamt oder im Internet gesurft werden.

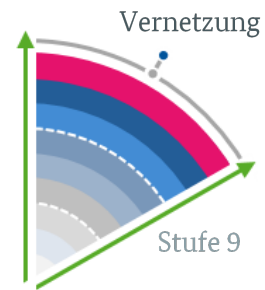
Tesla nutzt seine vernetzten Fahrzeuge als strategischen Vorteil. Über Over-the-Air-Updates wird der Kundschaft kontinuierlich neue Funktionen freigeschaltet. Diese reichen von der Verbesserung der Fahrzeugfunktionen bis zu kleinen Überraschungen zu besonderen Anlässen. Für die Entwicklung von Fähigkeiten für autonomes Fahren greift Tesla auf Daten aus seiner gesamten Flotte zurück, was einen großen Entwicklungsvorteil gegenüber anderen herstellenden Unternehmen darstellt.

4.1.3 Technologie- und Trendsteckbriefe

Im Folgenden werden die Steckbriefe für das Technologiefeld *Vernetzung* vorgestellt.

Technologie

4G



In a nutshell

4G ist die vierte Generation des Mobilfunkstandards zur drahtlosen Kommunikation und wurde von der International Telecommunication Union (ITU) definiert. Es wird weltweit kommerziell im Mobilfunk eingesetzt und ermöglicht anspruchsvolle Anwendungen mit dem Bedarf schneller Datenverbindungen sowohl im privaten als auch im industriellen Einsatz (s. Ebert 2018). Im Vergleich zu seinen Vorgängermodellen bietet es nicht nur höhere Datenraten, sondern auch eine bessere spektrale Effizienz, wodurch die maximale Anzahl an Nutzenden erhöht werden kann (s. Saxena et al. 2013, S. 1).

Anwendungen

4G ermöglicht vor allem auf mobilen Endgeräten, wie z. B. Smartphones und Tablets, den Zugriff auf das Internet (s. Martín-Sacristán et al. 2009, S. 1–8). Mithilfe dieser Endgeräte und der hohen Datenraten, die 4G bietet, können Anwendungen wie Voice over IP, Video-Konferenzen, Multiplayer Games und Video-Streaming benutzen (s. Martín-Sacristán et al. 2009, S. 1–8). Ebenso kann 4G für Datenmanagement-Plattformen genutzt werden. So können beispielsweise die Treibhausgasemissionen gemessen werden. Eine weitere Anwendung ist das Übertragen von Standortinformationen über ein 4G-Mobilfunknetz (s. Kim et al. 2020, S. 640–643). 4G ermöglicht das Tracking und Tracing sowie das Flottenmanagement in der Logistik (s. Kainz und Bürger 2016, S. 348–350).

Potenziale

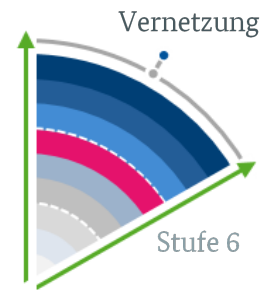
Die 4G-Technologie ist für Mobilfunkprovider besonders attraktiv, da 4G-LTE-Advanced fähige Geräte weit verbreitet sind und der Aufbau der 4G-Infrastruktur verhältnismäßig günstig ist (s. Varshney 2012, S. 34–39). Im Bereich *Internet of Things (IoT)* bietet sich der Einsatz von 4G-Technologien besonders an, da die Kommunikation im 4G-Netz vergleichsweise wenig Energie benötigt und somit eine lange Laufzeit im Akkubetrieb möglich wird (s. Sauter 2018, S. 205–208). Mit dem *Internet of Things* können mit 4G auch sämtliche Prozesse einer Stadt, wie beispielweise das Verkehrs- und Abfallmanagement, digitalisiert werden und somit eine Smart City erschaffen werden (s. Kainz und Bürger 2016, S. 348–350).

Herausforderungen

Für viele industrielle Anwendungen im Bereich der Automatisierung und dem autonomen Fahren werden sehr geringe Latenzzeiten benötigt, die 4G aktuell nicht ermöglichen kann (s. Schulz et al. 2019, S. 33–34; Brauckmüller et al. 2017, S. 8–10). Auch für Anwendungen in der Industrie 4.0 ist 4G nur bedingt geeignet, da noch höhere Datenraten erforderlich sind als 4G liefern kann (s. Brauckmüller et al. 2017, S. 8–10). Darüber hinaus sind nicht nur für industrielle Anwendungen, sondern auch für Nutzende mobiler Endgeräte, die geringere Gebäudedurchdringung der meisten 4G-Frequenzbänder ein Nachteil (s. Kainz und Bürger 2016, S. 348–350).

Technologie

5G



In a nutshell

Die fünfte Generation der Mobilfunktechnologie ermöglicht anspruchsvolle Anwendungen sowohl im privaten als auch im industriellen Einsatz (s. Tewes et al. 2020, S. 1012). 5G übertrifft bisherige Technologien mit verringerten Latenzzeiten für zeitkritische Anwendungen, einer erhöhten Geschwindigkeit sowie einer höheren Anzahl angebundener Geräte (s. Schulz et al. 2019, S. 34).

Anwendungen

Anwendungen von 5G lassen sich grob in die drei Kategorien Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Massive Machine Type Communications (mMTC) sowie Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC) unterteilen. mMTC bezeichnet Anwendungsfälle, bei denen die Anzahl der übertragenden Geräte pro Fläche besonders groß sind. Dies findet seine Anwendung beispielsweise im Kontext von Smart Cities, bei der Videoüberwachung oder bei Bestandskontrollen (s. Liyanage et al. 2018, S. 32–46; Brauckmüller et al. 2017, S. 8–17). 5G ermöglicht eine verzögerungsarme Übertragung, die gleichzeitig sehr zuverlässig ist und somit höchsten Anforderungen an Verbindungsqualität, Verfügbarkeit und Störanfälligkeit gerecht wird (URLLC). Diese Eigenschaften werden unter anderem in den Bereichen Autonomes Fahren, E-Health und Industrie 4.0 genutzt (s. Liyanage et al. 2018, S. 32–46; Chandramouli et al. 2019, S. 3). Zudem bietet die neueste Mobilfunktechnologie besonders hohe Datenraten, bezeichnet als eMBB. Anwendungen für *Augmented* oder *Virtual Reality* können so in Echtzeit realisiert werden (s. Liyanage et al. 2018, S. 32–46; Brauckmüller et al. 2017, S. 8–17).

Potenziale

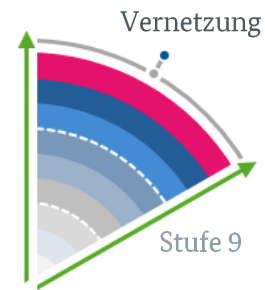
Die fünfte Generation der Mobilfunktechnologie bringt einige Neuerungen mit sich, die sie für Unternehmen interessant macht. *Network Slicing* wird eingesetzt, um die Netze flexibel zu konfigurieren. So kann jedes Netz je nach Anforderungen an die Bandbreite, Latenz oder Anzahl an verbundenen Geräten angepasst werden (s. Liyanage et al. 2018, S. 32–46). Für sicherheitskritische Anwendungen ist außerdem eine garantierte Datenübertragung möglich, etwa zur Übertragung von Warnsignalen. Damit die Vorteile von 5G für die Industrie gut nutzbar sind, können Industriekonzerne eigene Campusnetze mit 5G aufspannen (s. Falck et al. 2019, S. 10). Solche Campusnetze können an die Anforderungen des Unternehmens angepasst werden, z.B. an erhöhte Sicherheitsanforderungen durch Isolierung vom öffentlichen Netz.

Herausforderungen

Je nach verwendetem Frequenzbereich hat 5G eine geringere Reichweite als seine Vorgängermodellen. Aus diesem Grund werden in der Regel mehr Sendemasten für dieselbe Fläche benötigt (s. Demary und Rusche 2018, S. 3). Außerdem muss der Glasfaserausbau verstärkt werden, um das Potenzial von 5G-Netzen vollständig auszuschöpfen (s. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017, S. 3–18). Die Meinung der Bevölkerung zu 5G ist gespalten. Auch wenn viele die Vorteile von 5G anerkennen, gibt es doch Vorbehalte bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen von 5G auf den Menschen (s. Chiaraviglio et al. 2019, S. 1).

Technologie

Bluetooth 5



In a nutshell

Die drahtlose Bluetooth-Technologie wurde als Konnektivitätslösung für kurze Entfernungen für kleine und portable elektronische Geräte entwickelt (s. Bisdikian 2001, S. 86). Die Bluetooth-5-Spezifikation wurde Ende 2016 als neueste Version der Bluetooth-Funktechnik veröffentlicht. Sie ist eine Weiterentwicklung der Bluetooth-Version 4.2 und verbessert Datenrate, Reichweite, Sendefunktionen und ermöglicht schnellere und nahtlose Kopplungsprozesse (s. Böcker et al. 2017, S. 3). Erweitert wurde *Bluetooth 5* durch *Bluetooth Low Energy (BLE)*, das einen geringen Energieverbrauch bei gleichzeitig guter Leistung und Reichweite ermöglicht (s. Tosi et al. 2017, S. 18–21).

Anwendungen

Bluetooth 5 wurde bewusst für die Anforderungen von IoT-Anwendungen entwickelt (s. Collotta et al. 2018, S. 125). In Smart-Home-Anwendungen wird die höhere Reichweite zur Steuerung von Home-Entertainment, Heizung, Licht oder anderen smarten Gegenständen in der Gebäudeautomatisierung genutzt. In der Industrie 4.0 kommt *Bluetooth 5* zum Beispiel zur Nachverfolgung von Lagerbeständen zum Einsatz, und im Konzept der Smart City als Verwaltungsfunktion für Straßenlaternen. BLE findet in zahlreichen Anwendungsbereichen Verwendung, so z.B. in der Automobilbranche zum Indoor-Tracking durch BLE Beacons und der damit verbundenen nicht-invasiven Digitalisierung (s. Tosi et al. 2017, S. 1–2). Aber auch in privaten mobilen Geräten wie Smartphones, Tablets oder Laptops wird *Bluetooth 5* eingesetzt. So sind beispielsweise stabilere und größere Datenübertragungen zu Wearables aber auch die Steuerung von smarten Anwendungen über weitere Entfernungen mit mobilen Endgeräten möglich.

Potenziale

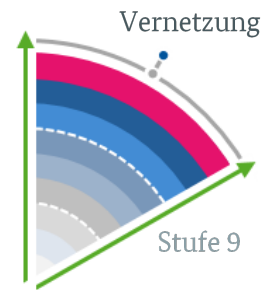
Mit der Einführung der Bluetooth-5-Spezifikation ergeben sich einige Vorteile gegenüber ihrer Vorgängertechnologie. Die Entwickelnden konnten mit *Bluetooth 5* die Reichweite ihrer Funktechnik erheblich verbessern. Der neuste Standard ermöglicht dabei die vierfache Reichweite von *Bluetooth 4.2* (s. Ray und Agarwal 2016, S. 1461–1465). Mit der neuesten Spezifikation ist zudem eine doppelte Datenübertragungsgeschwindigkeit und eine um 800 Prozent gesteigerte Kapazität der Datenübertragung möglich (s. Ray und Agarwal 2016, S. 1461–1465). Auch mit dem Blick auf die Energieeffizienz konnten Fortschritte erzielt werden. *Bluetooth 5* verbraucht ca. zweimal weniger Strom als vorherige Versionen (s. Collotta et al. 2018, S. 125).

Herausforderungen

Schwierigkeiten in der Verwendung von *Bluetooth 5* liegen in der Aktualisierung von älteren Geräten. Zwar ist die Technologie mit vorherigen Versionen rückwärtskompatibel, möchte man aber die Vorteile von *Bluetooth 5* nutzen, ist die Installation eines neuen Chip-Typs erforderlich, was vor allem neuen Geräten vorbehalten ist (s. Collotta et al. 2018, S. 125). Ältere Geräte sind somit nicht mit *Bluetooth 5* aufrüstbar.

Technologie

ZigBee



In a nutshell

ZigBee ist ein funkbasiertes Kommunikationsprotokoll (s. Wendzel 2018, S. 307) und einer der wichtigen Standards für die drahtlose Kommunikation des *Internet of Things* (s. Zillner 2016, S. 700). *ZigBee* wurde von der *ZigBee Alliance* entwickelt, mit dem Ziel, einen kostengünstigen, energiesparenden, offenen und zuverlässigen Kommunikationsstandard für kurze Entfernungen zur Verfügung zu stellen (s. Zillner 2016, S. 700). Die *ZigBee*-Funktechnik basiert auf dem IEEE 802.15.4 (s. Damsaz et al. 2017, S. 1–2).

Anwendungen

ZigBee findet Anwendung in *Cyber-physischen Systemen (CPS)* und *Internet-of-Things*-Anwendungen. Ein Beispiel für den Einsatz in *CPS* ist die Überwachung bzw. das Tracking von Containern in der Schifffahrt (s. Wendzel 2018, S. 307). *ZigBee* kann bspw. zur drahtlosen Überwachung von Produktionsprozessen genutzt werden und zeichnet sich dabei durch hohe Flexibilität, einfache Implementierung und das Unterbinden von Informationsverlusten aus (s. Rasovic und Mijanovic 2020, S. 1). Eine weitere Anwendung liegt in der Medizintechnik, in der durch *ZigBee* wichtige Gesundheitsparameter mittels *Wearables* überwacht werden (s. Venkateswara und Puviarasi 2018, S. 2). Bei einer solchen Anwendung misst beispielweise eine *Smartwatch* Werte wie die Körpertemperatur oder den Herzschlag und leitet die Daten kabellos zur nächsten Verarbeitungseinheit weiter.

Potenziale

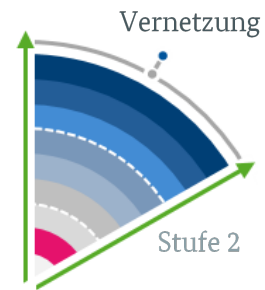
Ein großer Vorteil von *ZigBee* liegt in der Verringerung des Energieverbrauchs und der Netzwerkkosten. Insbesondere im Vergleich zu *WLAN* oder *Bluetooth* weist *ZigBee* hier deutliche Verbesserungen auf (s. Qadir et al. 2018, S. 301). Dies ermöglicht kostengünstige, batteriebetriebene Anwendungen mit einer langen Lebensdauer (s. Zillner 2016, S. 700). Weitere Potenziale liegen im Einsatz großer und zeitkritischer Systeme. So ist die Reaktionszeit von *ZigBee* äußerst kurz, was die Zuverlässigkeit von Systemen steigert (s. Qadir et al. 2018, S. 301). Außerdem werden durch dieses Kommunikationsprotokoll die Verwendung großer Netzwerke möglich, die bis zu 65.000 Knoten enthalten (s. Zillner 2016, S. 700).

Herausforderungen

Eine Schwierigkeit des Kommunikationsprotokolls ist die eingeschränkte Nutzbarkeit und Signalstabilität aufgrund einer schlechten Durchdringung von Hindernissen. So verschlechtern z. B. bereits Türen und Wände die Signalqualität und schränken die effektive Konnektivität ein (s. Pan et al. 2018, S. 224–225). Weitere Herausforderungen bestehen, wie bei allen funkbasierten Kommunikationsstandards, im Sicherstellen der Datensicherheit und -verfügbarkeit sowie dem Schutz vor Manipulation (s. Qadir et al. 2018, S. 301). Da die Kommunikationswege sensible Daten und Steuerbefehle für kritische Systeme tragen können, muss eine entsprechende Absicherung erfolgen.

Technologie

6G



In a nutshell

Bei 6G handelt es sich um die Weiterentwicklung der bisherigen Telekommunikationstechnologien 4G und 5G. 6G soll ein robustes Kommunikationsnetzwerk zwischen der land-, see- und luftgestützten Kommunikation darstellen (s. Akhtar et al. 2020, S. 1). Das Netzwerk kann eine größere Anzahl an Geräten mit gleichzeitig niedrigeren Latenzanforderungen integrieren (s. You et al. 2021, 1-4).

Potenziale

Aktuell steht die Forschung der 6G-Technologie noch am Anfang. Das Potential von 6G ergibt sich vor allem aus der Kombination mit anderen Spitzentechnologien wie künstlicher Intelligenz, Quantenkommunikation, Blockchain oder *Machine Learning*. Diese Technologien erfordern eine besonders niedrige Latenz und ein stabiles Netz, um zuverlässig eingesetzt zu werden (s. Letaief et al. 2019, S. 85–87). Aktuell wird davon ausgegangen, dass vierzigmal höhere Übertragungsraten im Vergleich zu 5G durch 6G erreicht werden, bei gleichzeitig zehnmal mehr Geräten pro Quadratkilometer. So ist ein deutlicher Leistungssprung der kabellosen Datenübertragung zu erwarten (s. Božanić und Sinha 2021, 63–98).

Anwendungen

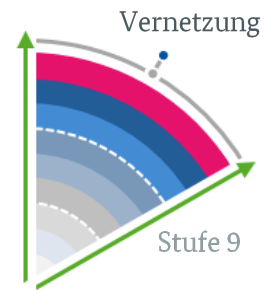
Zukünftig ergeben sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. So kann durch die geringe Latenz von 6G beispielsweise die Identitätsüberprüfung vollständig digitalisiert werden (s. Shahraki et al. 2021, 7-8). Auch im Gesundheitswesen sind deutliche Verbesserungen durch 6G zu erwarten. So werden aktuell Biosensoren entwickelt, die mit Hilfe von 6G Frühwarnungen an Smartphones senden oder pathologische Funktionen von biologischen Erkennungsstoffen wie DNA-Enzymen prüfen (s. Akhtar et al. 2020, S. 18). Ein großes Anwendungsgebiet für 6G wird die Kommunikation im Weltraum und der Tiefsee sein, da hier bisherige Mobilfunktechnologien an ihre Grenzen stoßen. Dort werden in Zukunft vermehrt einfache und effektive Kommunikationsmittel zur Verfügung stehen. Auch in der Industrie bietet 6G in Zukunft zahlreiche Vorteile. So wird beispielsweise die Echtzeit-Diagnose und Betriebsüberwachung durch die geringen Latenzzeiten deutlich erleichtert. Dadurch ergeben sich effizientere, kostengünstigere und ressourcenschonendere Produktionsprozesse. (s. Shahraki et al. 2021, S. 7–8)

Herausforderungen

Insgesamt ergeben sich zahlreiche Perspektiven durch 6G-Mobilfunknetze. Um die 6G Technologie zu etablieren, sind zukünftig Herausforderungen wie Hardwarekomplexität, variable Funkressourcenzuweisung, Leistungseffizienz sowie Sicherheits-, und Datenschutzrichtlinien zu beachten (s. Akhtar et al. 2020, S. 22–23). Weiterhin sind bisherige 6G-Anwendungen noch sehr energieaufwendig. Es gilt daher, den Energieverbrauch deutlich zu reduzieren und eine energieeffiziente Kommunikation zu ermöglichen. Die Integration verschiedenster Geräte in ein Netzwerk erfordert weiterhin, Privatsphäre und Datensicherheit zu gewährleisten. (s. Shahraki et al. 2021, S. 17)

Technologie

RFID



In a nutshell

Radio Frequency Identification (RFID) ist eine Form der kontaktlosen Datenübertragung, bei der die nutzende Person Radio-Frequenzen senden oder Antwortinformationen erhalten kann (s. Duan und Cao 2020, S. 2404–2406). RFID-Systeme bestehen aus einem mobilen Datenspeicher (sog. „Tag“ oder „Transponder“) und einem Lese-/Schreibsystem, sodass Gegenstände leicht identifiziert werden können (s. Pape 2006, S. 5). Es besteht eine Vielzahl an verschiedenen *RFID*-Tags. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen passiven und aktiven Tags. Passive Tags bestehen lediglich aus einem Code und einer Erinnerungsfunktion. Aktive Tags weisen hingegen eine eigene Stromversorgung, eine aktive Empfangseinheit, einen Transmitter und teilweise eine Kommunikationseinheit auf. (s. Ahson 2008, S. 63–70)

Anwendungen

Auch wenn *RFID* den Konsumierenden weitestgehend unbekannt ist, ist diese Technologie in der Produktion und Logistik schon tief verankert. In der Mess- und Sensortechnik bietet die *RFID*-Technologie breite Anwendungsfelder. Die Integration dieser Felder ermöglicht das schnelle Auslesen von Messdaten, wie Temperatur oder mechanische Belastbarkeit (s. Mc Gee et al. 2019, S. 1–2). In der Logistik wird *RFID* schon seit einigen Jahren dazu eingesetzt, Paletten oder einzelne Produkte zu identifizieren und so Lieferketten jederzeit nachvollziehbar zu machen (s. Pape 2006, S. 10). Neben dem produzierenden Gewerbe ergeben sich auch Anwendungsfelder im Bauwesen und der Gesundheitsbranche. Im Bauwesen wird die *RFID*-Technologie zum Tracking, als Sicherheitssystem und zur Qualitätssicherung auf Baustellen eingesetzt (s. Duan und Cao 2020, S. 2410). In der Gesundheitsbranche kann die Sicherheit der Erkrankten durch Monitoring und Tracking der betroffenen Personen deutlich erhöht werden (s. Haddara und Staaby 2018, S. 84–85).

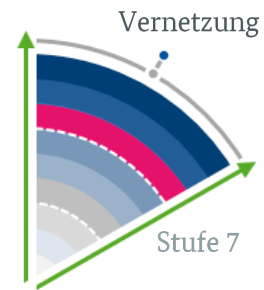
Potenziale

Die *RFID*-Technologie weist ein großes Potential auf, bestehendes Wissen mit weiteren Erkennungsmethoden zu ergänzen. Trotz des langjährigen Bestehens von *RFID*-Technologien besteht das Potenzial zur weiteren Skalierung (s. Duan und Cao 2020, S. 2412). Durch die Einbettung von *RFID*-Sensoren direkt in die Produkte ist es möglich, dass sie über ihre gesamte Lebensdauer hinweg aus der Ferne mit der Umgebung interagieren, von der Herstellung und Prüfung über den Betrieb bis hin zur Entsorgung (s. Landaluce et al. 2020, 4-6).

Herausforderungen

Trotz der weiten Verbreitung in Produktion und Logistik hat sich die *RFID*-Technologie für einige IoT-Anwendungsbereiche noch nicht durchgesetzt, obwohl die Vorteile von *RFID* für den Zweck der Verfolgung und Verwaltung leicht erkennbar sind. Eine zentrale Herausforderung ist dabei die mangelnde Flexibilität zur Rekonfigurierbarkeit von Tags und Lese-/Schreibsystem, die den Anforderungen eines *IoT* als offenes, dynamisches und vielseitiges Netzwerk heute häufig nicht gerecht wird (s. Landaluce et al. 2020, S. 3–4)

Technologie Thread



In a nutshell

Thread ist ein aufstrebendes funkbasiertes Kommunikationsprotokoll, das sich rasant zu einem zentralen Funkstandard in IoT-Anwendungen entwickelt. Das Übertragungsprotokoll IEEE 802.15.4 zielt, ähnlich verwandter Protokolle wie *ZigBee*, darauf ab, ein firmenübergreifendes und energiesparsames und verteiltes (sogenanntes Mesh-) Netzwerk zu definieren (Unwala et al. 2018). *Thread* differenziert sich dabei durch die bewusst nicht definierte Anwendungsschicht (wie etwa den vorgeschriebenen Austausch von Gerätetypen und Produktfunktionen) und die Unterstützung von IP zur Konnektivität über das Mesh-Netzwerk hinaus (s. Unwala et al. 2018; Klein 2021).

Anwendungen

Wie seine verwandten Netzwerk-Protokolle bedient *Thread* auch in erster Linie das Smart-Home-Segment. Über energiesparende Anbindungen können intelligente Geräte wie beispielweise Glühlampen, Sprachassistenzsysteme, Fernbedienungen und Rauchmelder in ein Heim-Netzwerk eingebunden werden und die Nutzenden mit Automatisierungen oder Komfortfunktionen dienen (s. Klein 2021). Die IP-Funktionalität unterstützt dabei die Internetfähigkeit der Geräte über das Heimnetzwerk hinaus, ohne den Bedarf von dedizierten Gateways, sondern lediglich bereits vorhandenen Routern. Somit können vernetzte Geräte direkt auf Internet-Ressourcen zugreifen und autonom auf beispielweise Wetterberichte und Energiepreise reagieren.

Potenziale

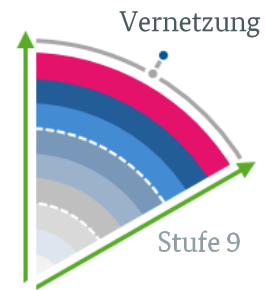
Die IP-Fähigkeit von *Thread* stellt das zentrale Alleinstellungsmerkmal unter den Mesh-Netzwerktechnologien und grundlegende Potenzial dar. Sie ermöglicht neben einer direkten Adressierbarkeit der Teilnehmenden auch eine vereinfachte Integrationsfähigkeit ins Internet und folglich damit verbundenen Ressourcen (s. Unwala et al. 2018). Darüber hinaus definiert das Protokoll keinen einzigartigen Netzwerk-Koordinator, sodass mehrere Knotenpunkte die Internetkonnektivität bereitstellen können. Dies erhöht die Ausfallsicherheit und Stabilität des Netzwerks (s. Sistu et al. 2019). Zuletzt ermöglicht die Verwandtschaft von *Thread* mit bereits etablierten Funkstandards die Möglichkeit zur Nachrüstung von Thread-Kompatibilität existierender Geräte (s. Grün 2020).

Herausforderungen

Trotz der Integration in das Connected Home over IP (kurz „CHIP“), das u.a. durch Google, Apple und Amazon entwickelt wird, ist das Thread-Protokoll unter Smart-Home Produkten zurzeit nur spärlich verbreitet (s. Grün 2020; Klein 2021). Selbst Produkte dieser Unternehmen weisen noch keine eindeutige Thread-Kompatibilität auf, was die Adaption und gezielte Nutzung erschweren. Die Offenheit der Anwendungsschicht erwirkt neben der Flexibilität ebenso Spielraum in dem zu implementierenden Layer. Zukünftig könnte dies eine out-of-the-box Implementierung von *Thread* hemmen, da möglicherweise kein führender Standard vorgeschrieben ist (s. Miethe und Krug 2020).

Technologie

Wi-Fi 6



In a nutshell

Gegenüber der Vorgänger-Technologie *Gigabit-WLAN* zeichnet sich der Standard *802.11ax* bzw. *Wi-Fi 6* durch eine deutlich geringere Latenz, noch mehr Kopplungsmöglichkeiten und bessere Netzwerkabdeckung aus. Ebenso ermöglicht *Wi-Fi 6* deutlich zuverlässigere Verbindungen (s. Jain et al. 2020, S. 6118).

Anwendungen

Durch die kabellose Datenübertragung zwischen Endgeräten mithilfe von Routern können Unternehmen z.B. Produktionsstätten flexibler gestalten und die Digitalisierung vorantreiben (s. Adame et al. 2019, S. 5–6). Dabei können konstant hohe Datenraten verarbeitet werden und so Echtzeitanwendungen wie 4K-Videos oder Augmented- oder Virtual Reality-Anwendungen genutzt werden. Vor allem Geräte mit geringer Komplexität und niedrigem Stromverbrauch, wie Asset Tags oder Sensoren im Gesundheitswesen bieten sich für die Nutzung von *Wi-Fi 6* an (s. Cisco 2020, S. 1–5). In der Industrie ergeben sich zahlreiche Anwendungen, in denen 5G und *Wi-Fi 6* im *Internet of Things* kombiniert werden. So bietet *Wi-Fi 6* optimale Voraussetzungen für den standardisierten Fertigungsbetrieb, während 5G eine große, campusweite Fertigungsumgebung ergänzt (s. Oughton et al. 2021, 115-119). Als Ergänzung zu *Wi-Fi 6* wurde vom IEEE eine Low-Power-Technologie entwickelt. Diese als *Wi-Fi HaLow* oder *802.11ah* bezeichnete Lösung ist reichweitenstärker und noch vielseitiger einsetzbar (s. Knyazev et al. 2017, S. 3).

Potenziale

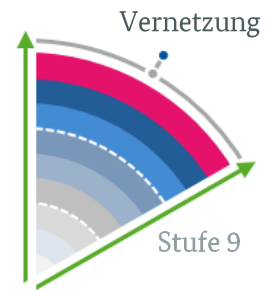
Wi-Fi 6 stellt eine kostengünstige Alternative zur 5G-Technologie dar. Sowohl die Geschwindigkeit und Latenz der Datenübertragung als auch die spektrale Effizienz und Verbindungsdichte stehen der 5G-Technologie derzeit nicht nach (s. Adame et al. 2019, S. 1). Mit *Wi-Fi 6* wird eine im Vergleich zu Vorgänger-Technologien höhere Robustheit der Datenübertragung durch die Einführung von Low-Rate und Low-Power Modi geschaffen. So kann das Problem der Dekodierung von Signalen in großer Entfernung oder verrauschten Umgebungen gelöst werden, da die kleineren Ressourceneinheiten das gleiche Signal-Rausch-Verhältnis erreichen (s. Cisco 2020, S. 5–9).

Herausforderungen

Die Herausforderungen von *Wi-Fi 6* stimmen mit denen anderer drahtloser Kommunikationsmedien überein: so ist es nach wie vor schwierig, Hindernisse zu durchdringen, die Reichweite zu erweitern oder die Signalstärke zu beeinflussen (s. Lewin et al. 2018, S. 27). Obwohl WiFi über ein Protokoll für nahtloses sog. Roaming verfügt, unterstützen viele Clients diese nicht. Das stellt Anwendungsfälle, die Mobilität erfordern, wie z. B. FTS, vor große Herausforderungen (s. Mennig et al. 2020, S. 10). Ähnlich wie bei Vorgänger-Technologien reichen *Wi-Fi 6*-fähige Endgeräte allein nicht aus. Um die höhere Datenübertragung nutzen zu können, müssen alle Komponenten des Kernnetzes, die an den Router angebunden sind, die *Wi-Fi 6*-Technologie unterstützen. Dies führt in Unternehmen zu hohen Investitionskosten (s. Jain et al. 2020, 6122-6123).

Trend

Internet of Things (IoT)



In a nutshell

Das *Internet of Things* (engl. für *Internet der Dinge*) bezeichnet ein Netzwerk, das physische Objekte über das Internet miteinander verbindet, mit diesen kommuniziert und sämtliche Teilnehmende verwalten kann (s. Balas et al. 2019, S. 30). Das Netzwerk erhält Zugriff auf alle generierten Daten und ermöglicht das Management der enthaltenen physischen Objekte und deren Informationsflüsse (s. Dorsemayne et al. 2015, S. 73).

Anwendungen

Grundsätzlich ist das *IoT* ein Konzept, das Anwendungen in unterschiedlichsten Bereichen ermöglicht, beispielsweise im Anwendungsbereich *Smart Home*. In Gebäuden kann mittels intelligenter Vernetzung Energie eingespart und die Sicherheit verbessert werden (s. Havard et al. 2018, S. 1). In der Gesundheitsbranche können zum Beispiel medizinische Werte drahtlos überwacht und angezeigt werden, sodass *IoT*-Lösungen auch in der Covid-19-Pandemie zum Einsatz kommen (s. Qadri et al. 2020, S. 1127–1130; Singh et al. 2020, S. 521–524). Das *IoT* ermöglicht eine datengesteuerte Landwirtschaft, speziell im Ackerbau, was zu einer schnelleren und kostengünstigeren Produktion und Verwaltung der Agrarbetriebe führt und gleichzeitig deren Umweltauswirkungen reduziert (s. Villa-Henriksen et al. 2020, S. 68–71). Auch in der Produktion wird das *IoT* genutzt, bezeichnet als *Industrial Internet of Things (IIoT)* (s. E. Sisinni et al. 2018, S. 4724).

Potenziale

IoT bietet für Unternehmen wie für Privatpersonen zahlreiche Potenziale. So ermöglicht das *Internet of Things* eine verbesserte Kommunikation zwischen den Systemelementen, da die Kommunikation zwischen Objekten, zwischen Menschen und zwischen Objekten und Menschen automatisiert werden kann (s. Guarda et al. 2017, S. 3). Die Vernetzung der *IoT*-Geräte ermöglicht neben der Sammlung und Speicherung großer Datenmengen auch den Erkenntnisgewinn durch die Auswertung, Steuerung und Interpretation der Daten mit Hilfe geeigneter *IoT-Plattformen* (s. Minerva und Crespi 2017, S. 148).

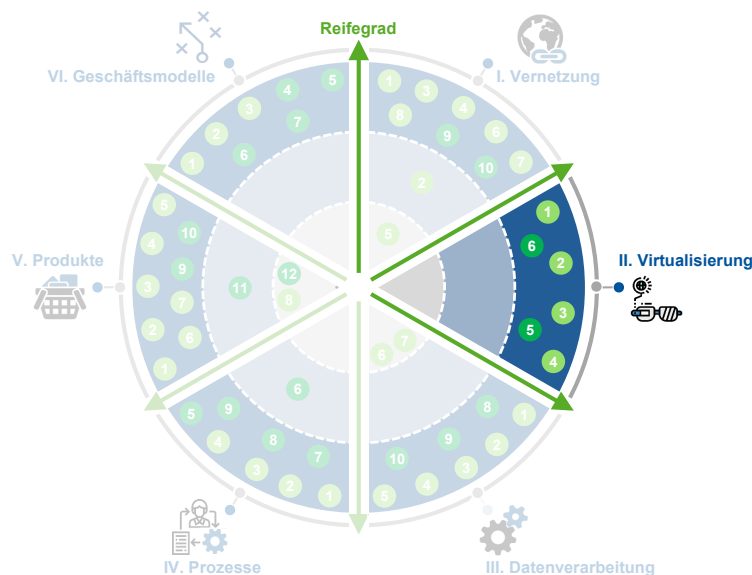
Herausforderungen

Die Implementierung von *IoT*-Anwendungen erfordert eine komplexe Integration von Systemen, Netzwerken und Anwendungen, sodass hochqualifiziertes Personal für die technische Umsetzung benötigt wird (s. Guarda et al. 2017, S. 3). Außerdem steigt durch die höhere Anzahl vernetzter Geräte und der damit einhergehenden höheren Zahl potenzieller Schwachstellen das Sicherheitsrisiko gegenüber Cyber-Kriminalität (s. Narang et al. 2018, S. 319). Auswirkungen auf die Umwelt der abzusehenden Zunahme an *IoT*-Produkten sind heute schwer abzuschätzen. Rebound-Effekte, Ressourcen- und Energieverbrauch oder Elektronikabfälle können potenziell schwere Folgen haben, sodass die Anwendung von *IoT*-Technologien unter Berücksichtigung der aufgeworfenen Fragen sorgfältig untersucht werden muss (s. Nižetić et al. 2020, S. 26–28).

4.2 Virtualisierung

4.2.1 Beschreibung des Technologiefelds

Dem Technologiefeld „Virtualisierung“ werden Technologien zugeordnet, die ein digitales Abbild der Realität anhand von Daten erzeugen. Ferner werden Technologien verortet, die zur Automatisierung von Datenflüssen oder auch zur Ermöglichung von Skalierbarkeit beitragen. Die erste Technologie in diesem Feld ist *Virtual Reality*. Sie erlaubt es, virtuell eine Vorstellung von räumlichen Elementen zu erhalten. *Augmented Reality* baut darauf auf und verbindet die Virtualisierung von räumlichen Elementen mit dem realen Bild. So können bspw. Montageprozesse visuell angeleitet und unterstützt werden. Virtualisierung kann sich dabei aber auch auf die virtuelle Abbildung und Weiterentwicklung von Anlagen sowie die darin enthaltenen Informationen beziehen. Der *digitale Schatten* bildet beispielsweise den virtuellen Schatten einer Produktionsanlage ab. Ähnlich ist es beim *digitalen Zwilling*, auf Basis der gesammelten Informationen auch Simulationen durchgeführt werden können. *Conversational Interfaces* verbinden die intelligente Auswertung und die Darstellung von Daten zur Realisierung von interaktiven Systemen. Komplettiert wird das Technologiefeld durch die rein digitale *Systemvirtualisierung*, wo Hardware und Software Systeme durch Software emuliert werden, um höhere Flexibilität in Entwicklung, Ressourcenverteilung und Portierbarkeit zu erzielen.



Virtualisierung

Technologien

- II.1. Conversational Interfaces
- II.2. Augmented Reality (AR)
- II.3. Virtual Reality (VR)
- II.4. Systemvirtualisierung

Trends

- II.5. Digitaler Schatten
- II.6. Digitaler Zwilling

Abbildung 4-3: Technologie- und Trendradar: Fokus Virtualisierung

4.2.2 Anwendungsfall: Digitaler Schatten in der Produktion

Eine weit verbreitete Herausforderungen im produktionsnahen Umfeld ist die Frage, wo der Auftrag bzw. das Produkt sich aktuell befindet. Oftmals ist es schwierig, dazu eine belastbare Aussage zu treffen. Schnell wird deutlich: Häufig fehlt bei Unternehmen die Transparenz über die Vorgänge in der Produktion. Dies kann eine Vielzahl von Gründen haben.

Eine Herausforderung, mit der die meisten Unternehmen konfrontiert sind, ist die nicht vorhandene Verbindung der IT- mit der OT¹-Landschaft im Unternehmen. Das bedeutet, dass die Office-Floor-Systeme, wie etwa *Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme)*, nicht mit den Shopfloor-Systemen verbunden sind. Daraus folgt oft das eingangs beschriebene Problem: Wenn ein Auftrag in die Produktion übergeben wird, ist eine Nachverfolgung nur sehr schwer möglich. Wenn keine Verbindung zwischen dem Auftrag und dem aktuellen Produktionsfortschritt hergestellt werden kann, dann leidet die Genauigkeit der Informationen häufig unter langen Rückmeldezeiträumen. So wird nicht jeder Arbeitsschritt, sondern maximal der Abschluss des Auftrags auf einer Station gemeldet. Neben den fehlenden Daten zur Herstellung des Produkts werden so manuelle Eingriffe in die Produktion nur sehr selten erfasst. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Reporting von Kennzahlen zur Steuerung der Produktion. Häufig dauert die wertschöpfende Aufbereitung der Kennzahlen so lange an, dass nur noch reaktiv in die Produktion eingegriffen werden kann. Das führt zu Einbußen bei der Flexibilität und kann wirtschaftliche Folgen haben.

Eine Möglichkeit, die Aufbereitung von Kennzahlen sowie die Transparenz in der Produktion zu erhöhen, ist der Einsatz eines *digitalen Schattens*. In einem *digitalen Schatten* werden alle relevanten Informationen zu einem Betrachtungsobjekt, z. B. einem Produkt oder einer Produktion, dargestellt.

In dem hier beschriebenen Anwendungsfall wird vor allem näher auf den *digitalen Schatten* einer Produktion eingegangen. Im wörtlichen Sinne handelt es sich bei einem *digitalen Schatten* um ein virtuelles Abbild aus den verfügbaren Daten in der Produktion. Diese Daten können in unterschiedlichen Ansichten und Kontexten dargestellt werden. Bei einem *digitalen Schatten* wird normalerweise die Zusammenstellung der Informationen automatisiert durchgeführt. Die Inhalte werden aus den verschiedenen angebotenen Informationsquellen in der Produktion gespeist. Der *digitale Schatten* ist aber kein reines Kennzahlen-Dashboard – normalerweise werden die Inhalte auch noch mit räumlichen Informationen, z. B. einer Karte oder einem 3D-Modell der Produktionsumgebung, verknüpft.

Konkrete Nutzenpotenziale des *digitalen Schattens* liegen in der Steigerung der Transparenz der Produktion durch die aggregierte Darstellung der Informationen aus der Produktion. Anders als bei einem herkömmlichen Dashboard ist auch ein „Zoom“, also ein Einblick in die zugrundeliegenden Daten, sowie ein Fokus auf bestimmte Bereiche möglich. Darüber hinaus wird durch die Erfassung von Echtzeit- bzw. Kurzzeitinformatoren die Flexibilität in der Produktion maßgeblich gesteigert. Die flexiblen Betrachtungswinkel und Darstellung der Informationen in einem 3D-Umfeld ermöglichen das Aufzeigen von konkreten Problemen in den Prozessabläufen durch das Aufdecken von Unregelmäßigkeiten. In diesem Aspekt kommen hier zusätzlich Virtualisierungstechnologien wie AR und VR in Betracht, um dem Werker oder Werkerin spezifische Informationen bedarfsgerecht und immersiv bei Erfüllung seiner Aufgabe bereitzustellen. Die Virtualisierung erlaubt es, durch den Einsatz digitaler Technologien Transparenz zu schaffen und die anfallenden Daten nutzenstiftend darzustellen.

Zusammenfassend ist der Einsatz eines *digitalen Schattens* in der Produktion ein Beispiel für den Einsatz von Virtualisierung in der Produktion. Hierbei werden Daten aus den verschiedenen Informationsquellen im Produktionsumfeld in einer Ansicht zusammengeführt. Dazu zählen die Informationen aus den Produktionsanlagen, Qualitätsstationen und den Auftragsabwicklungssystemen in der Produktion, aber auch Daten aus umliegenden betrieblichen Informationssystemen, wie etwa dem ERP- oder CRM-System (*Customer-Relationship-Management*). All diese Informationen können durch Virtualisierung sinnvoll verknüpft und

¹ Bei OT handelt es sich um sog. *Operational Technology*, alle Systeme auf dem Shopfloor, beispielsweise Waagen, Sensoren, Steuerung, ME-Systeme.

visualisiert werden (z. B. durch ein 3D-Modell). So kann auch durch den Einsatz eines *digitalen Schattens* die Eingangsfrage nach dem Auftrag durch die neu gewonnene Transparenz beantwortet werden.

Fallbeispiel: Elisa Smart Factory und NVision

Die NVision EMS-Division betreibt eine hochmoderne Produktionsstätte in Votice (Tschechische Republik) und bietet ein Dienstleistungsportfolio rund um das Design, die Produktion und das Testen elektronischer Komponenten für die Telekommunikations-, Automobil-, Sicherheits-, Audio-, Medizin- und Unterhaltungselektronikindustrie. In der Vergangenheit hatte NVision mit schwankender Produktionsqualität bei dem Anlauf neuer Produkte in der Produktion zu kämpfen. Dies führte unter anderem zu gesteigerten Ausschussraten und den damit verbundenen Kosten sowie einer gesunkenen Gesamtanlageneffektivität OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Die Vielzahl an Prozessabhängigkeiten innerhalb des Produktionssystems und die damit einhergehende Komplexität erschwerten die Ursachenbekämpfung.

Als Lösung wurde ein *digitaler Schatten* aufgebaut, der sich aus Daten- und Visualisierungskomponenten zusammensetzt. Zunächst wurde sichergestellt, dass relevante Maschinenprozessdaten in Echtzeit in der *IoT-Plattform* zur Verfügung stehen. Auf Basis der Daten und mit Hilfe der Prozessfachkräfte wurden Datenanalysemodelle entwickelt, die Abweichungen der Ist-Prozessdaten von den Soll-Prozessdaten erkennen und bekannten Störungen zuordnen. Zuletzt wurde eine graphische Oberfläche für Maschinenbedienende konzipiert, die sowohl Leistungsdaten der Produktionslinie als auch sich anbahnende und eingetretene Störungen anzeigt und im 3D-Abbild der Linie verortet. Der *digitale Schatten* befähigt die Linienverantwortlichen, den Leistungsstand der Linie in Echtzeit einzusehen, vor allem aber frühzeitig Anomalien im Produktionsablauf zu erkennen und diesen gezielt und mit den richtigen Maßnahmen entgegenzuwirken. Über die Projektlaufzeit der ersten 6 Monate wurde eine Erhöhung der OEE um 13,5 Prozent, der Auslastung um 13 Prozent und eine Verringerung der Erstdurchlauf-Ausschussrate um 4 Prozent realisiert.

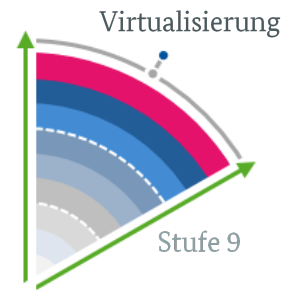
4.2.3 Technologie- und Trendsteckbriefe

Im Folgenden werden die Steckbriefe für das Technologiefeld *Vernetzung* vorgestellt.

Technologie

Conversational

Interfaces



In a nutshell

Conversational Interfaces haben das Ziel, Interaktionen zwischen Menschen und elektronischen Geräten durch natürliche Konversationen zu realisieren. Im Gegensatz zu klassischen Interfaces, die auf taktile Eingabe (wie Tasten, PC-Maus und Fingertippen) sowie grafischen Oberflächen mit Symbolen und Menüs basieren, ermöglichen *Conversational Interfaces* mithilfe von *Natural Language Processing (NLP)* und Künstlicher Intelligenz, die Kommunikation über natürliche Sprache (s. Furini et al. 2020, S. 2–5).

Anwendungen

Conversational Interfaces findet man als Sprachassistenzsysteme in Computern, Smartphones, Automobilen oder intelligenten Lautsprechern. Zu den bekanntesten und etabliertesten Sprachassistenzsystemen zählen bspw. Apples Siri, Microsofts Cortana, Amazons Alexa und Google Assistant (s. Furini et al. 2020, S. 2–5; Dale 2016, S. 811–812). Auf Webseiten und in Apps benutzen Unternehmen Chatbots für die Kommunikation über die natürliche Sprache als direktes Mittel zur Nutzenden- und Klientelbindung für Marketing- und Vertriebszwecke (s. Brandtzaeg und Følstad 2017, S. 377–387). Außerdem automatisieren sprachbasierte Assistenzsysteme Telefonzentralen mit Spracherkennung, den Bestellprozess in online Shops, Unternehmensbegrüßungen und Verzechnissuchen (s. Microsoft 2019, S. 1; AIMultiple 2021, S. 3).

Potenziale

Der natürlichere und effizientere Informationsaustausch zwischen Nutzenden und Bots über die direkte Kommunikation bietet der nutzenden Person eine neue User-Experience, die nicht nur informiert, sondern auch unterhält (s. Brandtzaeg und Følstad 2017, S. 377–387; Fiore et al. 2020, S. 80). Außerdem haben sprachbasierte Assistenzsysteme das Potenzial, zukünftig immer mehr Aufgaben von Menschen zu übernehmen. So können Chatbots auch außerhalb von Betriebszeiten automatisch antworten, wenn menschliche Ressourcen nicht verfügbar sind (s. Brandtzaeg und Følstad 2017, S. 377–387). Zur Entlastung von Mitarbeitenden bearbeiten Systeme mit *Conversational Interfaces* einfache und repetitive Anfragen automatisiert und standardisiert (s. Fiore et al. 2020, S. 80).

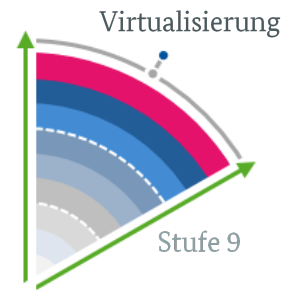
Herausforderungen

Die komplexen Funktionen von *Conversational Interfaces* basieren auf Technologien wie *NLP* und Künstlicher Intelligenz. Dabei limitieren Faktoren wie die Abhängigkeit von der Entwicklung von ebenjenen Technologien das eigentliche Potenzial von *Conversational Interfaces* (s. Rahman et al. 2017, S. 76–78). Dazu kommen Herausforderungen aus Sicht der Nutzenden. So können im Umgang mit Sprachassistenzsystemen oder Chatbots Unsicherheiten und Akzeptanzprobleme bei unerfahrenen Nutzenden oder Neukundschaft auftreten (s. Furini et al. 2020, S. 2–5). Auch treten viele Bedenken zum Datenschutz auf, da Benutzende fürchten, dass Daten und Konversationen von Unternehmen aufgezeichnet, gespeichert und verwendet werden können (s. Furini et al. 2020, S. 2–5).

Technologie

Augmented Reality

(AR)



In a nutshell

Unter *Augmented Reality* (dt. augmentierte Realität) versteht man die Anreicherung der realen Umgebung durch virtuelle Inhalte (s. Dörner et al. 2019, S. 21). Eine solche Anreicherung geschieht unmittelbar, interaktiv und kann für beliebige Zwecke erfolgen (s. Dörner et al. 2019, S. 21). Im Gegensatz zur *Virtual Reality* (VR), bei der nur virtuelle Inhalte dargestellt werden, werden bei AR Realität und Virtualität miteinander kombiniert und beeinflussen sich somit gegenseitig (s. Dörner et al. 2019, S. 21).

Anwendungen

Angewendet wird die AR-Technologie zur Darstellung und Aufbereitung von Lerninhalten im Bildungsbereich (s. Ardiny und Khanmirza 2018, S. 485). Sie ergänzt die klassischen Bildungsangebote und erweitert diese um neue Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten. Auch eine visuelle Unterstützung von Mitarbeitenden in der Produktion, Wartung und Logistik kann mit *Augmented Reality* umgesetzt werden (s. Kind et al. 2019, S. 43). AR-Brillen stellen zusätzliche Informationen über Produkte oder Abläufe bereit, die dem Mitarbeitenden bei seiner Tätigkeit behilflich sind. Zudem eignet sich *Augmented Reality* für einen Einsatz in Assistenzsystemen in den Bereichen Mobilität und Verkehr. Beispielsweise werden mittels Heads-up-Displays in Autos Informationen wie die Fahrgeschwindigkeit und Navigationshinweise im Sichtfeld der fahrenden Person angezeigt (s. Kind et al. 2019, S. 43).

Potenziale

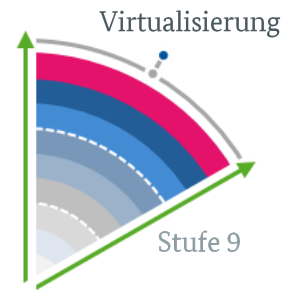
Augmented Reality bietet vielfältige Potenziale in den Bereichen der Mensch-Maschine-Interaktion, der Darstellung von Informationen und der Prozessüberwachung. Mittels AR können Mensch-Maschine-Interaktionen intuitiv gestaltet werden, z. B. durch Gestensteuerung (s. Mohatta et al. 2017, S. 330). Bei einer solchen Steuerung erfasst eine Brille die menschlichen Gesten und verarbeitet diese. Eine solche Brille eignet sich zudem zur Darstellung von Informationen. Sie ermöglicht ein besseres Verständnis und eine realistischere Darstellung von 3D-Modellen für den Anwendenden durch ein räumliches Sehen und Manipulieren von 3D-Modellen (s. Ardiny und Khanmirza 2018, S. 485). Eine Echtzeit-Darstellung von Informationen erlaubt zudem die Überwachung von Produktionsparametern sowie die Verbesserung der Qualität von Wartungsprozessen durch eine Remote-Unterstützung der Mitarbeitenden (s. Kostolani et al. 2019, S. 131–134).

Herausforderungen

Gewisse Features der *Augmented Reality*, wie zum Beispiel das Tracking von Objekten oder das Erfassen der Umgebung, erfordern eine hohe Rechenleistung (s. Qiao et al. 2019, S. 655). Zudem wird für eine echtzeitfähige Interaktion insbesondere bei hohen Datenübertragungen eine sehr geringe Latenzzeit (Netzwerkverzögerung) benötigt, sodass große Anforderungen an die Übertragungstechnologie bestehen (s. Qiao et al. 2019, S. 655). 5G gilt als eine der Übertragungstechnologien, die AR- und VR-Anwendungen technisch möglich machen (s. Navarro-Ortiz et al. 2020, S. 22).

Technologie

Virtual Reality (VR)



In a nutshell

Der Begriff *Virtual Reality* (engl. für virtuelle Realität) beschreibt ein Computersystem, das eine virtuelle Realität für einen oder mehrere Nutzende erzeugt und darstellt (s. Dörner et al. 2019, S. 7–24). Ein solches System besteht aus *Hardware*, z.B. einer VR-Brille, und der entsprechenden Software zur Darstellung der virtuellen Inhalte (s. Dörner et al. 2019, S. 7–24). Dabei wird eine vom Betrachtenden abhängige, intuitive Echtzeitinteraktion ermöglicht, die multimodal, also auf mehrere Sinne, wirkt (s. Dörner et al. 2019, S. 7–24). Im Gegensatz zur *Augmented Reality* (AR) erfolgt die Darstellung rein virtuell (s. Dörner et al. 2019, S. 7–24). Das heißt, Realität und Virtualität werden nicht kombiniert.

Anwendungen

Ein weit verbreiteter Einsatzbereich sind VR-Brillen, die für Videospiele (s. PARK, H. ET AL. 2017, S. 20), aber auch für Anwendungen in der Produktentwicklung verwendet werden können. Dort ermöglichen sie eine realistischere Darstellung von Prototypen (s. Orsolits und Lackner 2020, S. 80). *Virtual Reality* kann im Bildungsbereich zur Darstellung und Aufbereitung von Lerninhalten verwendet werden (s. Ardiny und Khanmirza 2018, S. 485). Sie ermöglicht eine abwechslungsreiche Wiedergabe von Inhalten, welche die Motivation und das Interesse von Schulkindern steigern. Außerdem können mit Hilfe von VR kollaborative, virtuelle Arbeitsumgebungen für *Team-Meetings* erzeugt werden (s. García et al. 2019, S. 1)

Potenziale

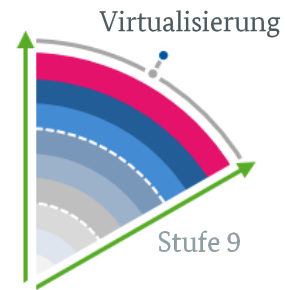
Die VR-Technologie ermöglicht eine intuitivere Mensch-Maschine-Interaktion, z. B. in Verbindung mit Gestensteuerung (s. Mohatta et al. 2017, S. 330). Dabei erkennt die VR-Brille oder ein anderes Gerät die Gesten der Nutzenden, verarbeitet diese und passt die virtuelle Realität entsprechend an. Außerdem kann diese Technologie zur Verbesserung der Kommunikation von räumlich verteilten Teams durch virtuelle Meetings via VR-Brille verwendet werden (s. García et al. 2019, S. 1). Richtig eingesetzt können solche VR-Brillen zu einem besseren Verständnis von 3D-Modellen durch ein räumliches Sehen oder durch Interaktion mit den Modellen führen (s. Ardiny und Khanmirza 2018, S. 485).

Herausforderungen

Bei der Verwendung von VR kann es auf Grund von widersprüchlichen Sinneseindrücken zu sogenannter Cybersickness kommen, die sich durch Übelkeit beim Anwendenden äußert (s. Kind et al. 2019, S. 67). Dies liegt unter anderem an der unzureichenden Wiedergabe von haptischen (Tastsinn), olfaktorischen (Geruchssinn) und geschmacklichen Sinneseindrücken. Eine solche Wiedergabe ist komplex und bisher nur unzureichend gelöst (s. Kind et al. 2019, S. 67).

Technologie

Systemvirtualisierung



In a nutshell

Die *Systemvirtualisierung* umschreibt den in der Informatik lediglich als Virtualisierung bekannten Begriff und beschreibt die Nachbildung von Hardware oder Software zur Parallelisierung und Abkapselung von Ressourcen (RedHat 2018). Die Ebenen der virtualisierten Ressourcen reichen dabei von emulierter Hardware mittels *Hypervisor*, über Betriebssysteme in *Virtuellen Maschinen* (VM), bis hin zu einfachen Software-Anwendungen in *Containern*. Die Virtualisierung dient dabei der flexiblen Konfigurierbarkeit von Systemkomponenten, Allokation von Ressourcen, Abkapselung oder auch der Portabilität zwischen physischen Geräten (s. Berreis und Kuhn 2016; Elektronik Kompendium 2021).

Anwendungen

Virtualisierungstechnik findet insbesondere in Rechenzentren Anwendung, wo größere Server-Landschaften verwaltet werden müssen. Die von der Kundschaft gemieteten Systemressourcen werden dort nicht individuell physisch bereitgestellt und konfiguriert, sondern leistungsstarke Systeme provisionieren über die vereinbarte Leistung durch Virtualisierung von Subsystemen (s. Berreis und Kuhn 2016). Auch im Privatbereich findet Virtualisierung in Form von VMs Anwendung. Diese ermöglichen, verschiedene Betriebssysteme auf einem Rechner parallel zu betreiben, um etwa Betriebssystem-limitierte Software auf einem physischen Gerät zu verwenden. Containerlösungen finden vermehrt in der Softwareentwicklung Anwendung, um Software mit dafür notwendigen Frameworks und Systemkonfiguration zu koppeln (s. Berreis und Kuhn 2016).

Potenziale

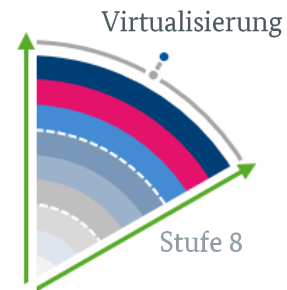
Virtualisierung in Rechen- bzw. Computersystemen dient der Entkoppelung von aufeinander aufbauenden Systemen, woraus sich verschiedenste Potenziale ableiten lassen. Im Fall von Rechenzentren können nicht nur verschiedene abgekapselte Systeme auf derselben Hardware zur Erreichung von Skaleneffekten bereitgestellt werden, sondern auch bei Ausfall eines Servers flexibel auf andere Systeme zur Wahrung der Ausfallsicherheit portiert werden (s. Hof et al. 2018). Mit Hilfe von Container-Virtualisierung können Entwickelnde sämtliche für die Software notwendige Ressourcen koppeln und individuelle Anpassungen für verschiedene Applikationen minimieren (s. Hof et al. 2018). Somit verringert sich der Entwicklungsaufwand immens und unvorhergesehene Grenzfälle werden reduziert, da die lauffähige Umgebung der Software direkt mitgeliefert wird.

Herausforderungen

Systemvirtualisierung erhöht die Komplexität der bisherigen Aufgaben von der Verwaltung von IT-Infrastruktur bis hin zur Softwareentwicklung; zur Realisierung der daraus folgenden komplexeren System- und Softwarearchitekturen wird erweitertes technisches Know-How benötigt, das oftmals die Kompetenzen klassischer IT übersteigt (s. Lin und Pomper 2017). Neben bereits länger am Markt vertretenen Low-Level-Virtualisierungen (wie Hardware und Betriebssystemen), ist die Container-Virtualisierung noch vergleichsweise jung und erfährt noch eine rapide Entwicklung. Somit ist eine stetige Verfolgung von Marktentwicklungen und Best-Practices notwendig zum Treffen strategischer IT-Entscheidungen (s. Hof et al. 2018; Berreis und Kuhn 2016).

Trend

Digitaler Schatten



In a nutshell

Der *digitale Schatten* bildet die Prozesse in der Produktion, der Entwicklung und der angrenzenden Bereiche hinreichend genau ab, um alle relevanten Daten auswerten zu können (s. Bauernhansl et al. 2016, S. 23). Ein mögliches Ziel ist die Verbesserung der Entscheidungsqualität und die Effizienzsteigerung in der Produktion. Im Kontrast zum *Digitalen Zwilling*, erfordert ein *digitaler Schatten* somit keine hochauflösend kopierte Datenbasis, sondern greift lediglich auf die für den Anwendungsfall relevanten Datenbestände zurück.

Anwendungen

Der *digitale Schatten* wird in der Automobilindustrie zur Verkürzung der *Time-to-Market* eingesetzt (s. Wohlfeld et al. 2017, S. 786). Durch frühzeitige Simulationen kann die Entwicklung neuer Autos verbessert werden und umfangreiche Verbesserungsschleifen werden vermieden. Auch im Schienenverkehr findet das Konzept des *digitalen Schattens* Verwendung. Durch *Predictive Maintenance* wird der Verschleiß und Ausfall von Komponenten vorhergesagt. Durch das Wissen über den aktuellen Zustand der Komponenten können Wartungsprozesse angepasst und verbessert werden (s. Bauernhansl et al. 2016, S. 23). Der *digitale Schatten* findet auf dem *Shopfloor* ebenfalls eine Anwendung. Er ermöglicht die Darstellung der relevanten Daten und unterstützt dadurch die Entscheidungsfindung. Durch eine Anbindung an ein *ERP-System* können Daten wie Materialnummern, Materialmenge, Auftragsnummern oder Lieferfirma in Echtzeit auf einem Dashboard dargestellt werden (s. Pause et al. 2019, S. 606).

Potenziale

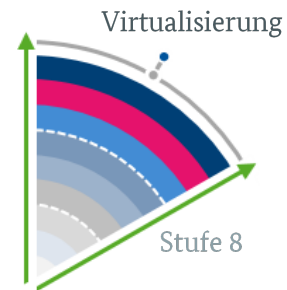
Die Potenziale des *digitalen Schattens* umfassen nahezu den gesamten Produktlebenszyklus. In der Entwicklung ermöglicht er die Darstellung von Produktinformationen aus verschiedenen Perspektiven (s. Schuh et al. 2018, S. 2). In der Produktion unterstützt der *digitale Schatten* durch eine Visualisierung der relevanten Parameter die Entscheidungsfindung (s. Pause et al. 2019, S. 606). Die Produktinformationen können hier, wie bereits in der Entwicklung, dargestellt werden (s. Schuh et al. 2018, S. 2). Außerdem verbessert der *digitale Schatten* die Fertigungsplanung durch die Aufnahme realer Prozessdaten (s. Pause et al. 2019, S. 606). Dies geschieht durch die Analyse und statistische Auswertung vergangener Produktionsprozesse und der Berücksichtigung von Umweltfaktoren.

Herausforderungen

Es besteht derzeit keine standardisierte Architektur für die Implementierung eines digitalen Schattens (s. Colangelo et al. 2019, S. 541). Dies kann zu hohen Kosten bei der Einführung führen. Darüber hinaus werden zu Beginn Investitionen in Technologien zur Datenerfassung und in Systeme zur Datenauswertung benötigt (s. Bauernhansl et al. 2016, S. 23).

Trend

Digitaler Zwilling



In a nutshell

Ein *digitaler Zwilling* ist eine virtuelle Repräsentanz eines real existierenden Gegenstands (s. Klostermeier et al. 2018, S. 298–300). Ein solches Abbild dient der Befähigung zur Definition, Simulation, Vorhersage, Optimierung und Verifikation eines Produkts während des gesamten Lebenszyklus (s. Schuh et al. 2018, S. 2). Dazu müssen umfangreiche Betriebs-, Zustands- und Prozessdaten erhoben und diese mittels intelligenter Verbindungen, wie z. B. Algorithmen oder Simulationsmodellen, integriert werden (s. Fraunhofer IPK 2017, S. 1).

Anwendungen

Der *digitale Zwilling* wird zur Ermöglichung von „Predictive Maintenance“ oder „Equipment as a Service“-Lösungen für Kundschaft im Maschinenbau verwendet (s. Klostermeier et al. 2018, S. 298–300). So kann beispielsweise eine Firma zur Herstellung von Schweißrobotern statt einem Roboter die Bereitstellung der Anlage verkaufen und die Leistung anhand der Schweißnahtlänge abrechnen. Außerdem unterstützt der *digitale Zwilling* die Produktentwicklung und Produktnutzung. Mittels virtueller Simulationen können Produkte frühzeitig getestet und verbessert werden. In der Luftfahrtindustrie wird der *digitale Zwilling* in der Entwicklungsphase für die Flugsimulation genutzt (s. Klostermeier et al. 2018, S. 298–300). Auch die Ausfallzeiten werden reduziert. Dies erfolgt z. B. im Maschinenbau, wo Anlagen virtuell in Betrieb genommen und getestet werden (s. Fraunhofer IPK 2017, S. 1). Mögliche Probleme können entsprechend vorab entdeckt und vor der eigentlichen Inbetriebnahme behoben werden.

Potenziale

Der *digitale Zwilling* kann zu Qualitätsverbesserungen, insbesondere in der frühen Prototypenphase, führen (s. Badkilya und Bhat 2020, S. 47). Dies liegt an den umfangreichen Daten, die Simulationen frühzeitig ermöglichen, und an der Rückführung der Ergebnisse. Ein weiteres Potenzial ist die Überwachung und Steuerung von Produkten aus der Ferne (*Remote Controlling & Monitoring*) (s. Desai et al. 2020, S. 79). Die umfangreiche Datenaufnahme und Überwachung der Produkte führen zu einem besseren Verständnis des Produktlebenszyklus (s. Desai et al. 2020, S. 79). Die Herstellfirma bekommt Einblicke in die Verwendung der Produkte und erfährt, wie und wofür Produkte verwendet werden.

Herausforderungen

Die notwendige Vorarbeit zur Erstellung eines *digitalen Zwilling*s ist hoch. Die genaue Abbildung eines physischen Produkts bedarf einer großen Datenmenge und erfordert somit hohe Rechenkapazitäten (s. Schuh et al. 2018, S. 2). Des Weiteren werden während des Lebenszyklus viele verschiedene Daten von mitunter verschiedenen Betriebssystemen benötigt. Bislang existieren hierfür keine standardisierten Schnittstellen, was die Entwicklung von *digitalen Zwillingen* ausbremst (s. Klostermeier et al. 2018, S. 298–300).

4.3 Datenverarbeitung

4.3.1 Beschreibung des Technologiefelds

Die Datenverarbeitung dient der Auswertung von bereits vorliegenden Daten sowie der Konvertierung von Information in das digitale Format bzw. aus dem digitalen Format. Sie lässt sich grob in drei Bereiche unterteilen: Die Aufnahme von Daten, die direkte digitale Verarbeitung von Daten und die Ableitung von Maßnahmen in Reaktion auf neu gewonnene Informationen. Die Aufnahme der Daten soll die in der Umwelt verfügbare Information in ein digital nutzbares Format konvertieren. Zur Aufnahme dienen Technologien wie *Computer Vision*, *NLP* und *Process Mining*. Die Aufbereitung der digital vorliegenden Daten ermöglicht die Umstrukturierung der existierenden Daten und Schaffung neuer Information. Dies wird durch die Technologien *Artificial Intelligence (AI)* (bzw. *Machine Learning (ML)* oder *Deep Learning*) sowie *Data Analytics* und *Quantum Computing* ermöglicht. Die Ableitung der Maßnahmen bedingt zur Umsetzung nicht notwendigerweise eine Verwendung von Technologien, sondern stellt die logische Konsequenz der Datenverarbeitung dar. So dienen die verarbeiteten Daten der Ableitung direkter Maßnahmen sowie der Identifikation von langfristigen Handlungsbedarfen.

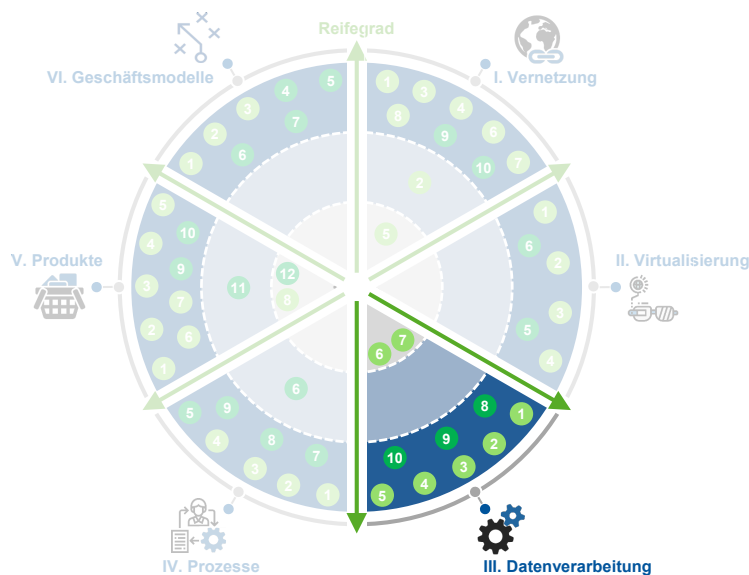


Abbildung 4-4: Technologie- und Trendradar: Fokus Datenverarbeitung

Datenverarbeitung

Technologien

- III.1. Artificial Intelligence (AI)
- III.2. Machine Learning
- III.3. Deep Learning
- III.4. Natural Language Processing (NLP)
- III.5. Computer Vision
- III.6. Quantum Computing
- III.7. Brain-Computer-Interface (BCI)

Trends

- III.8. Data Analytics
- III.9. Process Mining
- III.10. Data Mining

4.3.2 Anwendungsfall: Therapie des Locked-In-Syndroms

Das Locked-in-Syndrom ist eine fast vollständige Lähmung und bezeichnet einen Zustand von Wachheit und Bewusstsein, bei der betroffene Personen nicht interagieren oder sich ausdrücken können, trotz Wahrnehmung der Umgebung. Krankheiten wie Amyotrophe Lateralsklerose (ALS), Zerebralparese, Hirnstammschlag, Multiple Sklerose, Zerebralparese und Rückenmarksverletzung sind die Hauptursachen. Da es für betroffene Menschen nahezu unmöglich ist mit anderen Personen zu kommunizieren, sollen digitale Technologien dabei unterstützen, diese Kommunikation wiederherzustellen.

Sogenannte *Brain-Computer-Interfaces (BCI)* oder auch *Brain-Machine-Interfaces (BMI)* ermöglichen die Informationsübertragung zwischen dem menschlichen Gehirn und einer Maschine. Sie wirken damit als sprach- und bewegungsunabhängige Maschinensteuerung, indem Gehirnströme erkannt und in Befehle an die Maschine konvertiert werden – also ohne Einbeziehung peripherer Nerven

oder Muskeln. *BCI* bieten entsprechend vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise zur Nutzung virtueller Schreibmaschinen oder zur Steuerung von Neuroprothesen. Bei der Fußball-Weltmeisterschaft 2014 etwa führte eine querschnittsgelähmte jugendliche Person im durch ein *BCI* gesteuertes Exoskelett symbolisch den Anstoß aus.

Grundsätzlich beruht die Kopplung von Gehirn und Computer auf der Erfassung und Verarbeitung von physiologischen Signalen, die Aufschluss über die neuronale Aktivität geben. Dabei kann über nicht-invasive Ableitverfahren wie die Elektroenzephalographie (EEG) oder die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) gemessen werden. Die erfassten Aktivitätsmuster werden mit vorgegebenen oder erlernten Referenzmustern verglichen, um charakteristische neuronale Signaturen und Motive zu identifizieren, die als Kontrollsignale dienen. Um diese Identifikation und eine einhergehende Klassifizierung durchzuführen, kommt es zur *Datenverarbeitung*, sodass die so entschlüsselten Intentionen der Nutzenden abschließend in maschinelle Steuerbefehle übersetzt werden können.

Obwohl in der Signalerfassung und -verarbeitung in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt wurden, etwa durch verbesserte Messsensorik oder präzisere und schnellere Klassifikationsalgorithmen, steht der medizinische Einsatz von *BCI* noch vor Herausforderungen. Neben Fragen zur Invasivität, Biokompatibilität oder Lebensdauer der Materialien ist eine dieser Herausforderungen der Schritt aus der kontrollierten Laborumgebung zur alltäglichen Anwendung. Denn es kommt dabei zu höherem Hintergrundrauschen durch Fremdsignale und die zunehmende Variabilität der Gehirnaktivität aufgrund zusätzlicher Sinnesreize. Diese Variabilität macht es schwierig, zuverlässige Muster in den Signalen zu finden. Diese Herausforderung führt zur Anwendung von Machine Learning-Algorithmen zur Klassifizierung der aufgenommenen Gehirnsignale. *Deep Learning* etwa hat sich in Bereichen wie *Computer Vision* als überaus effektiv herausgestellt. *Convolutional Neural Networks* fallen in den Bereich des *Deep Learning* und stellen ein künstliches neuronales Netz dar, das auf dem visuellen Kortex basiert. Es hat die Fähigkeit, aus den Eingabedaten automatisch die passenden Merkmale zu lernen, indem es Gewichtungparameter optimiert, um Klassifikationsfehler zu minimieren. Die Anwendung für *BCI* ist insbesondere interessant, da nur eine minimale Vorverarbeitung aufgrund von automatischer Optimierung erforderlich ist.

Auch wenn die Entwicklung von *BCI* zu praktikablen, flächendeckend nutzbaren Lösungen noch vor einigen Herausforderungen steht, ist in den nächsten Jahren mit signifikanten Fortschritten zu rechnen. Neben der Tatsache, dass das gesellschaftliche Potenzial besteht, Menschen mit schweren Behinderungen durch bspw. (Wieder-)Herstellung von Kommunikationsmöglichkeiten in die Gesellschaft zu integrieren, wächst der Markt in diesem Bereich mit einer Wachstumsrate von 12,43 % auf voraussichtlich 283 Millionen US-Dollar an. So könnten die Fortschritte bei *BCI* in ferner Zukunft auch bidirektionale *BCI*-Systeme ermöglichen, die sowohl Informationen auslesen als auch Signale ins Gehirn einspeisen können.

Fallbeispiel: Entwicklung des BCI mit Neuralink

In Fremont, Kalifornien arbeiten etwa 100 Mitarbeitende beim Unternehmen *Neuralink* an der interdisziplinären Aufgabe *BCI* weiterzuentwickeln. Das Unternehmen entwickelt aktuell die Neuroprothese "The Link", die Menschen mit Locked-In-Syndrom oder anderen Krankheiten helfen werden und die Fähigkeiten des Menschen erweitern soll.

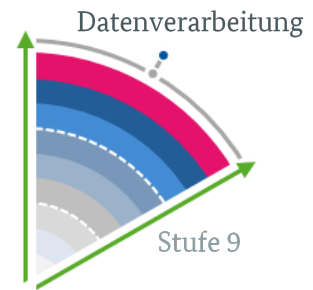
„The Link“ soll sich insofern von anderen BCI-Devices unterscheiden, dass wesentlich mehr Elektroden platziert werden sollen, um die notwendigen Gehirnregionen bestmöglich abzudecken. Damit soll es zukünftig möglich sein, den menschlichen Körper technisch zu erweitern. Kürzlich hat das Unternehmen ein Video veröffentlicht, das die Anwendung des implantierten BCI-Devices zeigt. Es ist ein Affe zu sehen, der einen Cursor auf einem Bildschirm durch neuronale Aktivität bewegt und auf diese Weise in der Lage ist, das Computerspiel Pong zu spielen. Derzeit plant das Unternehmen von der Arbeit an Affen zu Versuchen am Menschen überzugehen.

4.3.3 Technologie- und Trendsteckbriefe

Im Folgenden werden die Steckbriefe für das Technologiefeld *Vernetzung* vorgestellt.

Technologie

Machine Learning



In a nutshell

Machine Learning ist ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz, durch das IT-Systeme (anhand von bestehenden Daten) Lösungen für Probleme finden können (s. Horvitz und Mulligan 2015, S. 255–259). *Machine Learning* spielt eine entscheidende Rolle in der Extraktion von aussagekräftigen Informationen aus großen Datenmengen (s. Sze et al. 2017 - 2017). ML-Algorithmen können unter anderem in überwachtes, teilüberwachtes und unüberwachtes Lernen eingeteilt werden (s. Horvitz und Mulligan 2015, S. 255–259).

Anwendungen

In der Produktion lässt sich *Machine Learning* beispielsweise zur Anomalie-Detektion einsetzen. Dabei wird der Maschinenzustand überwacht, Fehler identifiziert und Ausfälle diagnostiziert. Dadurch lässt sich die Ursachenanalyse erleichtern und die Anlagensicherheit erhöhen (s. Krauß et al. 2019). Einen weiteren wichtigen Anwendungsbereich stellt Cybersecurity dar. Hierbei kann ein Algorithmus Bestandsdaten, die im Lernprozess gesammelt wurden, auf aktuelles Geschehen anwenden und dieses bewerten. Dadurch kann Kreditkartenbetrug beispielsweise deutlich effektiver als bisher bekämpft werden (s. Xin et al. 2018). Einen großen Anwendungsbereich hat *Machine Learning* bereits in der Analyse von Texten und Sprache bewiesen, wo Bestandsdaten in Form von Volltexten von Muttersprachlern und Muttersprachlerinnen verwendet werden (s. Svoboda et al. 2019).

Potenziale

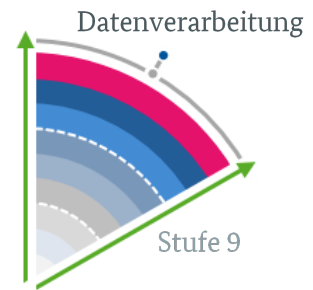
Das wohl größte Potenzial des *Machine Learnings* besteht darin, dass es in jeder Branche auf vielfältige Weise einsetzbar ist (s. Sze et al. 2017 - 2017). *ML* kann in den Bereichen der Texterkennung, der Stichwortsuche und der Bilderkennung vollständige Automatisierung erreichen (s. Lemm et al. 2011, S. 387). Steigende Rechenleistung und die bessere Datengrundlage bei gleichzeitig sinkenden Kosten für Rechen- und Speicherkapazität stellen eine gute Basis für den zukünftigen Ausbau von *Machine Learning* Anwendungen dar (s. Krauß et al. 2019).

Herausforderungen

Im Sinne der Cybersecurity können *Machine Learning*-Algorithmen natürlich auch von Hackenden gegen Datensicherheitssysteme angewandt werden. Hieraus folgt die Herausforderung, trotzdem Datensicherheit gewährleisten zu können (s. Sze et al. 2017 - 2017). Des Weiteren erfordern die meisten aktuellen Algorithmen eine vergleichsweise hohe Rechenleistung und sind deshalb oft nicht die optimale Lösung, insbesondere dann nicht, wenn man den Gesichtspunkt der Energieeffizienz betrachtet (s. Sze et al. 2017 - 2017). Die wohl größte Herausforderung besteht in der Identifizierung aussichtreicher Anwendungsgebiete, dem Erkennen der Learning Tasks sowie dem Aufdecken der entsprechenden Datensätze (s. Krauß et al. 2019).

Technologie

Deep Learning



In a nutshell

Deep Learning ist ein Teilgebiet von *Machine Learning*, bei dem komplexe Zusammenhänge durch eine ausreichend große Menge an Datenpunkten abgebildet werden. Dazu werden komplexe Modelle genutzt, sogenannte neuronale Netze. Im Vergleich zum herkömmlichen maschinellen Lernen weist *Deep Learning* ein neuronales Netz mit einer höheren Komplexität auf (s. Folkers 2019, S. 3).

Anwendungen

Deep Learning bietet zahlreiche Einsatzmöglichkeiten, beispielsweise in den Bereichen Gesundheitsversorgung, Finanzen und Verkehr. Im Bereich der Gesundheitsversorgung können mithilfe von *Deep Learning* und medizinischen Daten automatisierte Diagnosen zu Krankheiten realisiert werden (s. Arif Wani et al. 2020, S. 3–4). Der Finanzsektor verwendet *Deep Learning* zur Aufdeckung von Kreditkartenbetrug durch die automatische Warnung der besitzenden Person bei auffälligen Zahlungsflüssen (s. Lebichot et al. 2019, S. 78). *Deep Learning* wird im Verkehrssektor zur Vorhersage und Optimierung von Verkehrsflüssen in urbanen Ballungsräumen verwendet (s. Pinto et al. 2019, S. 216). Beim autonomen Fahren werden Deep-Learning-Techniken zur Identifikation von Verkehrsteilnehmenden und Hindernissen verwendet (s. Arif Wani et al. 2020, S. 3–4).

Potenziale

Durch die Möglichkeit, mit *Deep Learning* riesige Datenmengen auswerten zu können, ergibt sich das Potenzial, mit *Deep Learning* Zusammenhänge aufzudecken, die für menschliche Fachexpertise nicht auffindbar sind (s. Samek et al. 2019, S. 8). Mit *Deep Learning* erhalten Daten einen höheren monetären Wert, da sich völlig neue Geschäftsmodelle zur Verwendung dieser Daten ergeben, zum Beispiel Plattform-Geschäftsmodelle, die als Vermittlung zwischen Kundschaft und Vertrieb dienen. Das wirtschaftliche Potenzial von *Deep Learning* ist dadurch erheblich (s. Chui et al. 2018, S. 12–26). Auch in der Forschung kann *Deep Learning* durch die Auswertung von Daten und die Generalisierung von Erkenntnissen den Wissenserwerb ermöglichen (s. Holzinger 2018, S. 1).

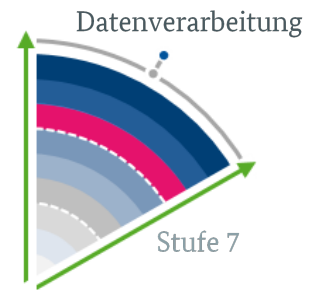
Herausforderungen

Für diese neue Art der Datenauswertung ergeben sich auch neue Herausforderungen. Für das sogenannte „Training“ von neuronalen Netzen sind qualitativ hochwertige Daten in großer Menge erforderlich (s. Chui et al. 2018, S. 12–26). Wird auf das überwachte Lernen zurückgegriffen, ist ein hohes Maß an manueller Arbeit zum sogenannten „Labeln“ (Kennzeichnen) der Daten erforderlich (s. Lebichot et al. 2019, S. 78). Da *Deep Learning* die Erkenntnisse aus den Daten automatisch generiert, sind die Ergebnisse für den Menschen oft nur schwer nachvollziehbar und die Erkennung von Fehlern anspruchsvoll, sodass in diesem Feld bereits aktiv geforscht wird (s. Harkut et al. 2019, S. 2–3).

Technologie

Natural Language

Processing (NLP)



In a nutshell

Natural Language Processing ist ein junges, interdisziplinäres Feld, das Computerlinguistik, Informatik, Kognitionswissenschaft und Künstliche Intelligenz kombiniert. Das Ziel von *NLP* ist es, menschliche Sprache in Wort und Schrift zu verarbeiten und zu verstehen. Aus technischer Sicht befasst sich *NLP* mit der Entwicklung neuartiger praktischer Anwendungen, um die Interaktion zwischen Computern und der menschlichen Sprache zu erleichtern (s. Deng und Liu 2018, S. 1).

Anwendungen

Anwendungen des *Natural Language Processing* findet man schon heute in fast jedem Smartphone. *NLP* ermöglicht Sprachassistenzsysteme zur Steuerung von Multimedia und Smart-Home Anwendungen, zum Beispiel Siri oder Alexa (s. Quarteroni 2018, S. 107–108). *NLP* lässt sich aber auch außerhalb von Sprachassistenzsystemen nutzen, zum Beispiel zur automatischen Übersetzung von Texten mit Übersetzungsdiensten wie Google Translate (s. Quarteroni 2018, S. 107–108). Die Kommunikation mit Computern wird außerdem über Speech-to-Text (STT)- und Text-to-Speech (TTS)-Konvertierung möglich (s. Quarteroni 2018, S. 107–108).

Potenziale

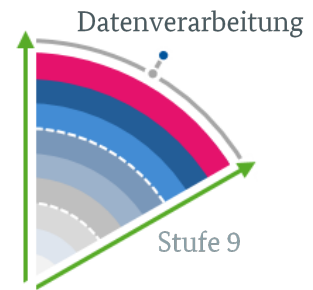
Natural Language Processing ermöglicht eine Vielzahl von digitalen Kommunikationsanwendungen. Unternehmen können zum Beispiel über Chat-Bots einen neuen, digitalen und sprachbasierten Kontakt zur Kundschaft erschaffen (s. Lenz-Kesekamp und Weber 2018, S. 24). Anfragen der Kundschaft können mit *NLP* digital und automatisch aufgenommen und verarbeitet werden (s. Lenz-Kesekamp und Weber 2018, S. 24). Die unternehmensinterne Kommunikation kann aber auch durch *NLP* verbessert werden. Der Workflow für Protokolle und Berichte kann mit *NLP* vereinfacht und verkürzt werden (s. Lenz-Kesekamp und Weber 2018, S. 24). *Deep Learning* ermöglicht darüber hinaus die Verarbeitung von Textdokumenten bspw. zur automatisierten Erstellung von Technologieanalysen (s. Schuh et al. 2020b).

Herausforderungen

Die Vielfältigkeit und Komplexität von Sprache stellt *NLP* vor große Herausforderungen. Die schiere Menge an Sprichwörtern, Wortspielen, Doppeldeutigkeiten und Metaphern ist von *NLP*-Systemen nur schwer zu verarbeiten (s. Chadha et al. 2015). Ein bestehendes Problem ist, dass aktuelle *NLP*-Modelle auf einem limitierten Kontext basieren, der meist nur auf ein paar hundert Wörter beschränkt ist. (s. Russell und Norvig 2020, S. 877). Um eine vollständige Konversation mit *NLP*-Systemen führen zu können, ist es erforderlich, dass Sachverhalte und Zusammenhänge über einzelne Sätze hinweg, z. B. bei der Verwendung von Personalpronomen, verstanden werden (s. Kabel 2020, S. 60). Eine weitere Herausforderung stellen die auf Smartphones befindlichen Sprachassistenzsysteme dar; diese haben zu hohen Erwartungen der Benutzenden an die Technologie geführt und die Akzeptanz von Fehlern zusätzlich gesenkt. (s. Kocielnik et al. 2015, S. 1).

Technologie

Computer Vision



In a nutshell

Computer Vision ist ein Teilgebiet der Computervisualistik und beinhaltet die rechnergestützte Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Interpretation von Bildern. Dabei werden Bilder durch Filter und Transformationen für den Computer analysierbar gemacht. Die Detektion elementarer Merkmale im Bild und die Segmentierung zusammenhängender Bildbereiche macht eine Identifikation von Objekten möglich (s. Priese 2015, S. 1–3).

Anwendungen

Mit *Computer Vision* lassen sich zahlreiche Anwendungen in der Industrie und im Alltag realisieren. *Computer Vision* wird beispielsweise in der Altenpflege zur kontaktlosen Messung der Herzschlagfrequenz in alltagstauglichen Assistenzlösungen für ein selbstbestimmtes Leben eingesetzt (s. Bechmann et al. 2019, S. 195). Aber auch im Straßenverkehr finden sich Anwendungen der *Computer Vision*. In hochautomatisierten Fahrzeugen werden mithilfe von *Computer Vision* die Fahrzeug- und Fahreraktivitäten erkannt und überwacht (s. Cláudio et al. 2020, S. 566–568; Xing et al. 2019, S. 5379). Gleichzeitig wird *Computer Vision* in der Industrie zur Qualitätskontrolle in der Produktion von Gütern durch das automatisierte Erkennen von Fehlstellen verwendet (s. Tzovaras et al. 2019, S. 176–487; Liu et al. 2017, S. 557).

Potenziale

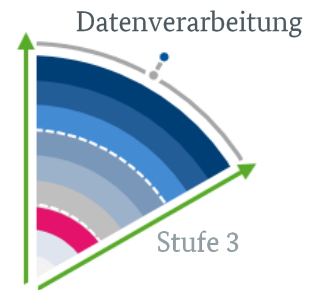
Mit *Computer Vision* wird eine Vielzahl von Anwendungen, die für den Menschen zu gefährlich oder zu monoton sind, automatisierbar. Paket Lieferungen mittels autonomer Drohnen können automatisch bis zum potentiellen Empfangenden geleitet und dort selbstständig abgeliefert werden (s. Tzovaras et al. 2019, S. 176–487; Safadinho et al. 2020, S. 31). Im Straßenverkehr kann durch Vermeidung von Kollisionen mithilfe der automatisierten Detektion von anderen Verkehrsteilnehmenden die Anzahl an Verkehrsunfällen gesenkt werden (s. Cláudio et al. 2020, S. 566–568). Auch in der Industrie ergeben sich Zeit- und Kosteneinsparungen durch automatisierte Mustererkennung für Überwachungsaufgaben (s. Tzovaras et al. 2019, S. 176–487).

Herausforderungen

Die Automatisierung von hochkomplexen Aufgaben stellt besondere Anforderungen an Hardware und Infrastruktur. In komplexen Systemen erfordert die Integration der visuellen Sensoren enorme Ressourcen (s. Kanellakis und Nikolakopoulos 2017, S. 161). Da oftmals enorme Rechenleistungen für die Bilderverarbeitung in der *Computer Vision* erforderlich sind, müssen diese von externen Rechenzentren erbracht werden (s. Leal-Taixé und Roth 2019, S. 3–4). Die Anbindung der Rechenzentren an den Ort der Überwachungsaufgabe erfordert hohe Bandbreiten und niedrige Latenzen (s. Leal-Taixé und Roth 2019, S. 3–4). Um das volle Potenzial von mobilen Anwendungen der *Computer Vision* auszuschöpfen, müssen die notwendigen optischen Sensoren und benötigten Rechner deutlich kompakter werden, da sie noch zu groß und zu schwer für Luftfahrzeuge und Drohnen sind (s. Kanellakis und Nikolakopoulos 2017, S. 161).

Technologie

Quantum Computing



In a nutshell

Quantencomputer nutzen das Prinzip der Superpositionen quantenmechanischer Zustände, um Rechenalgorithmen zu verarbeiten. Im Gegensatz zum sogenannten High Performance Computing auf klassischen Computern, bei dem Daten in Form von Bits gespeichert und verarbeitet werden, verwendet der Quantencomputer Quantenbits oder Qubits, was eine erhöhte Zahl von Rechenoperationen ermöglicht (s. Anukool et al. 2018; Strohm und Rölver 2018, S. 72).

Anwendungen

Quantencomputer sind in einer frühen Phase ihrer Entwicklung. Auch wenn es deshalb heute noch keine direkten kommerziellen Anwendungen gibt, existieren konkrete Vorstellungen, welche Aufgaben Quantencomputer in Zukunft übernehmen könnten. Zu den wohl bekanntesten Aufgaben zählt das Lösen von komplexen Optimierungsproblemen, die heutige Computer nicht berechnen können (s. Fumy 2017, S. 13; Strohm und Rölver 2018, S. 72). Mit Blick auf die Leistungsfähigkeit von Quantencomputern lassen sich in Zukunft mittels anspruchsvoller Materialsimulationen, der Quantenchemie, Eigenschaften von Materialien simulieren und berechnen (s. Fumy 2017, S. 13; Strohm und Rölver 2018, S. 72). Andere digitale Technologien, die große Rechenkapazitäten benötigen, könnten durch *Quantum Computing* wesentlich leistungsstärker werden. So könnte beispielsweise das Trainieren von Künstlicher Intelligenz durch Quantencomputer beschleunigt werden (s. Strohm und Rölver 2018, S. 72).

Potenziale

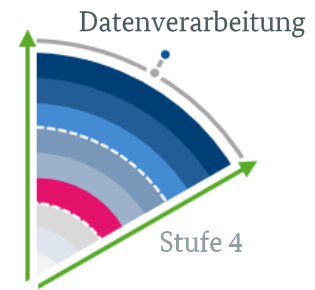
Die Verwendung von Qubits anstatt herkömmlicher Bits könnte parallele Berechnungen ermöglichen, was die Möglichkeit zu einer erheblich verbesserten Berechnungseffizienz gegenüber klassischen Computern bietet (s. Fuquan 2018). Theoretisch ist also durch die Funktionsweise der Quantencomputer eine signifikante Beschleunigung beim Lösen von Optimierungsproblemen oder Durchsuchen großer Datenmengen möglich (s. Wolf 2017). Mit Blick auf das Thema Datensicherheit werden Quantencomputer weitere Meilensteine setzen können. Im Bereich der Kryptoanalyse wird es möglich sein, komplexe Verschlüsselungen, die heute als unknackbar gelten, zu lösen. Auf der anderen Seite werden Quantencomputer aber auch in der Lage sein, weitaus sicherere Kryptographien als heutzutage erstellen zu können (s. Wolf 2017). Die ersten Prototypen von Quantencomputern befinden sich in der praktischen Anwendung (s. IBM 2021).

Herausforderungen

Da die Entwicklung von *Quantum Computing* noch sehr unausgereift ist, steht die kommerzielle Nutzung von Quantencomputern vor vielfältigen Herausforderungen, die noch Jahre der Forschung benötigen werden. Die komplizierte Funktionsweise von Quantencomputern führt aufgrund der Komplexität und Anzahl von Operationen, die für viele typische Quantenalgorithmen erforderlich sind, zu sehr hohen Fehlerraten (s. Corcoles et al. 2019). Außerdem lassen sich Quantencomputer ganz anders als „klassische“ Computer programmieren, wodurch vollwertige Quantencomputer, die vollwertigen Algorithmen berechnen, vorerst in weiter Ferne sind (s. Resch und Karpuzcu 2019).

Technologie

Brain-Computer-Interface



In a nutshell

Bald können Computer nicht mehr ausschließlich mit klassischen Eingabemedien wie Maus und Tastatur bedient werden, sondern auch durch Brain-Computer-Interface-Technologien Sprache und Gesten erkennen (s. Neugebauer 2018, S. 139). Unter einem *Brain-Computer-Interface* wird die meist nicht-invasive Messung von Hirnströmen durch multiple am Kopf befestigte Elektroden (z.B. Elektroenzephalogramm, EEG) und die daraus resultierende Ableitung von Wünschen oder Anweisungen verstanden (s. Preim und Dachsel 2015, S. 496).

Anwendungen

Brain-Computer-Interfaces haben vielfältige Anwendungsfelder, wie die Eingabe von Texten für stark eingeschränkte erkrankte Personen oder die Bedienung einfacher Computerspiele. Aktuell liegt der Fokus der Nutzung von *Brain-Computer-Interfaces* vor allem im klinischen Umfeld (s. Buxbaum 2020, S. 165). Mit Hilfe der Schnittstelle können Personen mit körperlichen oder perzeptuellen Einschränkungen mit der Umwelt kommunizieren oder an therapeutischem Neurofeedback-Training teilnehmen (s. Neugebauer 2018, S. 139). Unterschieden wird zwischen Anwendungen, in denen auf Gestik reagiert wird und solchen, die auf Sprache reagieren (s. Schmid und Maier 2017, S. 73). Beide lassen sich in den Arbeitsalltag von produzierenden Unternehmen integrieren (s. Neugebauer 2018, S. 140).

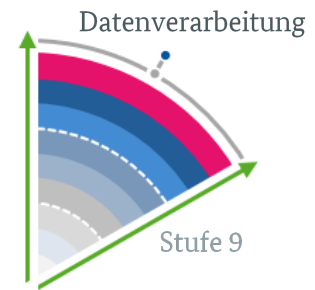
Potenziale

Neben direkten Anweisungen lassen sich durch Denkaktivitäten auch implizite Hinweise erkennen, so z.B. der Stresszustand der einzelnen Nutzenden. Diese passiven *Brain-Computer-Interfaces* benötigen keine willentliche Ansteuerung durch Menschen, sondern erfassen kognitive und emotionale Zustände, wie Affekte, mentale Beanspruchung oder Überraschungseffekte und können diese direkt an ein technisches System übermitteln (s. Neugebauer 2018, S. 140). In produzierenden Unternehmen können *Brain-Computer-Interfaces* Robotern dabei helfen, Fehler von Mitarbeitenden zu erkennen und diese zu beseitigen (s. ten Hompel et al. 2020, S. 529).

Herausforderungen

Auch wenn bereits viel Forschungsarbeit für *Brain-Computer-Interfaces* geleistet wurde, besteht aktuell noch nicht die Möglichkeit, Computer explizit allein und schnell durch menschliches Denken zu steuern. Eine weitere Herausforderung besteht darin, soziale Regeln, die zwischen Menschen bestehen, in die Anwendungen zu integrieren (s. ten Hompel et al. 2020, S. 530). Ebenso ergeben sich Verantwortungs- und Haftungsfragen aus der Nutzung dieser Technologie. So muss festgelegt werden, ob Maschine oder Mensch bei Falschhandlungen die Verantwortung tragen (s. Buxbaum 2020, S. 165). Dabei kommt ebenfalls die Frage auf, wie stark die Nutzenden ihre Gedanken unter Kontrolle haben und sie somit bewusst steuern (s. Schmid und Maier 2017, S. 73).

Trend Data Analytics



In a nutshell

Data Analytics ist die automatisierte Anwendung von Algorithmen zur Analyse von großen Datenmengen. Das Ziel von *Data Analytics* ist es, bei der Findung von Entscheidungen im wirtschaftlichen oder industriellen Kontext zu unterstützen. *Data Analytics* ist ein interdisziplinäres Feld, das Aspekte von Statistik, *Machine Learning*, Mustererkennung und Systemtheorie beinhaltet (s. Runkler 2020, S. 2).

Anwendungen

Data Analytics bietet Unternehmen zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten. Unternehmen können einerseits zur Strategieentwicklung das Verhalten der Kundschaft, die Marktsegmente und ihre Wachstumspotenziale analysieren und somit Fehlentscheidungen vermeiden und andererseits ihr Produktangebot erweitern (s. Schleichert et al. 2020). Im Tagesgeschäft kann *Data Analytics* Unternehmen bei der unmittelbaren Entscheidungsfindung unterstützen, indem es Prognosen, basierend auf zurückliegenden Daten erzeugt, etwa zur Prädiktiven Personalplanung (s. Monnappa 2020). *Data Analytics* wird ebenfalls in der Forschung verwendet, in dem es hilft, Informationen aus Texten zu extrahieren und zu strukturieren. Dadurch trägt es zum Verständnis von natürlicher Sprache in Computersystemen bei (s. Runkler 2020, S. 2).

Potenziale

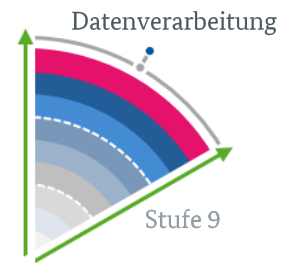
Mit *Data Analytics* kann die Auswertung von Daten in risikoarmen Prozessen automatisiert werden, wodurch in Unternehmen mehr Zeit für das Treffen der Entscheidungen und die Bearbeitung von risikoreichen Prozessen aufgebracht werden kann (s. Schleichert et al. 2020). Da die Verfügbarkeit von Daten und Rechnerkapazitäten in den letzten Jahren stark gestiegen sind, ist *Data Analytics* für die meisten Unternehmen möglich geworden. Durch die Digitalisierung der Unternehmen stehen nun Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zur Verfügung. *Data Analytics* ermöglicht Kernkompetenzen zu verbessern und neue Geschäftsmodelle zu erschließen und so Wettbewerbsvorteile zu generieren (s. Groggert et al. 2017, S. 779).

Herausforderungen

Da *Data Analytics* ein neues Betätigungsfeld für Unternehmen ist, haben viele Unternehmen Schwierigkeiten bei der Integration von datenbasierten Ergebnissen und Entscheidungen in das Tagesgeschäft, obwohl diese Erkenntnisse dem Unternehmen einen Wettbewerbsvorteil bieten könnten. Die wohl größte Herausforderung liegt in der Anwendung der verschiedenen technischen Hilfsmittel und dem Verständnis warum und wie diese eingesetzt werden (s. Sedkaoui 2018, S. 36–38). Den Unternehmen mangelt es außerdem an qualifizierten Fachkräften, die den notwendigen mathematischen Hintergrund beherrschen, um solche Datenauswertungen durchzuführen oder zu planen (s. Wegner und Fischer 2019, S. 150). Unternehmen müssen gegenüber ihrer Kund- und Partnerbeziehung außerdem die Datensicherheit und den Datenschutz für alle verwendeten Daten gewährleisten, was eine weitere Herausforderung darstellt (s. Steven et al. 2020, S. 84; Tsai et al. 2015, S. 24–26).

Trend

Process Mining



In a nutshell

Process Mining ermöglicht die einfache Analyse und Visualisierung komplexer Prozesse (s. Ahmed et al. 2019 - 2019, S. 1–2). Es dient der Geschäftsdatenanalyse zur Verbesserung der Prozesse eines Unternehmens. Eingesetzt werden kann *Process Mining* überall, wo Schritte eines Prozesses nachvollziehbar in einem IT-System gespeichert werden. Als Typen sind Discovery, Conformance und Enhancement zu nennen, also die bloße Hebung vorhandener Prozesse, die Konformitätsprüfung zwischen Modell und tatsächlichem Prozess sowie die Verbesserung des vorhandenen Modells (s. van der Aalst 2018, S. 32).

Anwendungen

Process Mining kann in jedem produzierenden Unternehmen angewendet werden. Muster und Details, die sonst in Informationssystemen verloren gehen oder übersehen werden, können identifiziert werden. Der Algorithmus kann beispielsweise nachverfolgen, wann und wie häufig Einträge in einer Datei geändert werden. Daraus resultierende Ineffizienzen kann ein Algorithmus selbst erkennen und darstellen (s. Rodriguez-Fernandez et al. 2020, S. 1–7). Mittels *Process Mining* lassen sich die tatsächlichen Abläufe in Unternehmen erkennen und so die richtigen Stellschrauben durch die Auswahl der Attribute identifizieren. Insgesamt wird durch *Process Mining* ein agiles Geschäftsprozessmanagement und effizientes Projektmanagement ermöglicht (s. Peters und Nauroth 2019, S. 26).

Potenziale

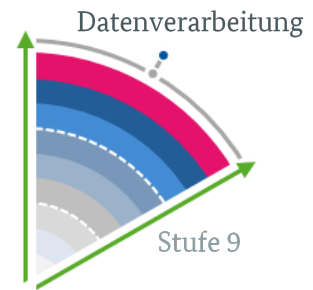
Die Suche nach Optimierungspotenzialen erfolgt automatisiert. Mit *Process Mining* wird eine faktenbasierte Verbindung zwischen Prozessen und den entsprechenden Prozessmodellen erstellt. So können beispielsweise notwendige Iterationen von unnötigen getrennt werden (s. van der Aalst 2018, S. 32) Indes werden Fehler sowie unnötige Doppelarbeit und Prozessabweichungen zuverlässig und schnell erkannt und aufgedeckt. Somit kann ein umfassender Überblick über sämtliche Abläufe der Produktion vom Auftrag bis zum Versand des Produkts erlangt werden (s. Rodriguez-Fernandez et al. 2020, S. 1–7).

Herausforderungen

Das *Process Mining* benötigt die Digitalisierung jedes einzelnen Prozessschrittes und dessen ständige Aktualisierung, um optimal zu funktionieren, da der Algorithmus nur solche Daten auswerten kann (s. Ahmed et al. 2019 - 2019, S. 1–2). Wie bei jeder datengetriebenen Analyse entstehen bei der Anwendung von *Process Mining* immer wieder Probleme mit der Datenqualität, diese gilt es langfristig zu überwinden (s. van der Aalst 2018, S. 125). Da *Process Mining* auf der Nutzung von Vorgangsdaten basiert sind diesbezüglich Datenschutz und Cybersecurity zu beachten. Obwohl der kommerzielle Markt für *Process Mining* noch recht jung ist, ist die Auswahl der entsprechenden Tools groß. Hier gilt es fallspezifisch auf die Anwendbarkeit zu achten (s. Peters und Nauroth 2019, S. 38).

Trend

Data Mining



In a nutshell

Data Mining dient der Untersuchung von umfangreichen, komplizierten Datenbeständen, um komplexe Muster, Zusammenhänge, Korrelationen oder Abweichungen zu erkennen (s. Pistorius 2020, S. 28). Dabei werden statistische Verfahren verwendet, die die oftmals nicht ersichtlichen Zusammenhänge der Daten beschreiben und somit die Erkenntnisgewinnung erleichtern (s. Buchkremer et al. 2020, 371-372). *Data Mining* beschränkt sich auf den eigentlichen Verarbeitungsschritt des Prozesses und beinhaltet nicht die Schritte der Datenvorverarbeitung und Auswertung (s. Seebacher 2021, S. 25-26).

Anwendungen

In der Anwendung bietet *Data Mining* die Möglichkeit, das Geschehen zu erklären und anhand aktueller Daten vorherzusagen, was in Zukunft passieren wird. Dabei bestimmt die Größe und Komplexität einer Datenerfassung, wie komplex das Data-Mining-System sein muss (s. Pistorius 2020, S. 28). Anwendbar sind fünf verschiedene Methoden des *Data Mining*, die für jedes Vorhaben individuell festgelegt werden müssen. Unterschieden wird zwischen der Anomalie-Erkennung, der Clusteranalyse, der Klassifikation, der Assoziationsanalyse und der Regressionsanalyse (s. Mertens 2019, S. 27-29). Um die Methodenauswahl zu erleichtern und das Verständnis zu erhöhen wird zumeist der *Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)* angewandt. (s. Mertens 2019, S. 28). Produzierende Unternehmen setzen *Data Mining* häufig im Qualitätsmanagement, der Produktionsoptimierung, dem Vertrieb, der Produktionsplanung, der Logistik und dem Controlling ein. In der Automobilbranche wird durch *Data Mining* beispielsweise die Prozesssicherheit in der Produktion erhöht, indem Informationen einzelner Produktionsvorgänge automatisiert erfasst und überprüft werden (s. Pistorius 2020, S. 30).

Potenziale

Data Mining bietet für Unternehmen vielfältige Potenziale durch die Möglichkeit, riesige Datenmengen zu interpretieren. Im Unternehmen sorgen zeitkritische Informationen und mehr Transparenz für schnellere und effektivere Entscheidungen (s. Pistorius 2020, S. 30). Durch die umfassende Auswertung von Daten lassen sich frühzeitig Trends und Innovationen erkennen und somit die Forschung und Entwicklung zielgerichtet optimieren (s. Hude 2020, S. 1). Entscheidungsprozesse lassen sich durch *Data Mining* präziser und faktenbasierter führen und leisten somit einen Beitrag, die Ressourceneffizienz zu erhöhen (s. Sedkaoui 2018, S. 62).

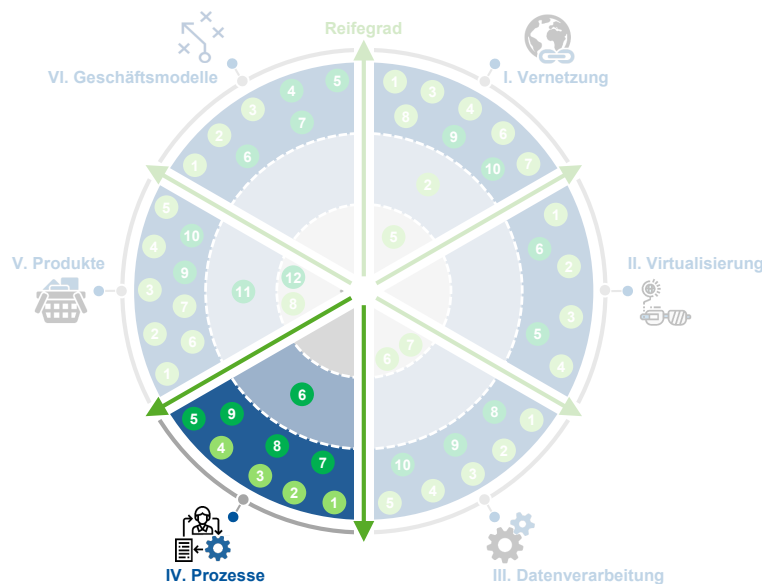
Herausforderungen

Häufige Herausforderungen im *Data Mining* sind die schwierige Datenbeschaffung und Datenvielfalt (unterschiedliche Datenquellen und -formate) sowie die Datenqualität (s. Mertens 2019, S. 29). Durch ungenaue Messwerte sind die Daten häufig nicht konsistent oder gar nicht vorhanden, so dass die Erkenntnisgewinnung deutlich erschwert ist (s. Sedkaoui 2018, S. 85). Weiterhin sind die Erkenntnisse stark durch die Methodenauswahl bestimmt und somit im Ergebnis beeinflussbar (s. Mertens 2019, S. 29).

4.4 Prozesse

4.4.1 Beschreibung des Technologiefelds

In dem Technologiefeld „Prozesse“ werden diejenigen Technologien zusammengefasst, die im Rahmen des betrieblichen Ablaufs angewendet werden. Insgesamt erfahren Prozesse im Sinne des Digital Work vermehrt eine generelle digitale Transformation, sodass diese nicht lediglich durch Technologien unterstützt werden, sondern von diesen auch maßgeblich gestaltet werden. Dies konnte insbesondere durch den in der Corona-Pandemie 2020 aufgekommenen Trend der *Anywhere Operations*, der Befähigung zum dezentralisierten Arbeiten, beobachtet werden. In dieser Zeit mussten Prozesse zwangsweise digitalisiert werden, was nicht zuletzt auch zu einer grundlegenden Neugestaltung dieser führte. Ein weiterer Trend ist die verstärkte Zentrierung auf die Kundschaft über das *Experience Management*, wo durch Datenerhebung im Feld das Verhalten der Kundschaft ermittelt und in die Entwicklung zurückgeführt wird. Im Feld der Prozesse gibt es grundlegende Technologien, wie etwa die *Demokratisierung des Know-hows* oder *DevOps*, die über die gesamte Wertschöpfungskette eines Unternehmens Einfluss nehmen. *DevOps* behandelt beispielweise die Verschmelzung der Grenzen zwischen fortgehender Entwicklung und Betrieb eines Produkts, mit dem Ziel, nutzenbringende Inkremente des Produkts in möglichst häufigen Zyklen in die produktive Anwendung zu überführen.



Prozesse

Technologien

- IV.1. Edge Computing
- IV.2. AI Security
- IV.3. Distributed-Ledger-Technologie (DLT)
- IV.4. Generative Design

Trends

- IV.5. DevOps
- IV.6. Democratization of Knowledge
- IV.7. Hyperautomation
- IV.8. Anywhere Operations
- IV.9. Experience Management

Abbildung 4-5: Technologie- und Trendradar: Fokus Prozesse

Darüber hinaus gibt es unterschiedliche Anwendungen von prozessualen Technologien, die sich auf bestimmte Elemente der Wertschöpfungskette eines Unternehmens beziehen. Dazu zählt das *Edge Computing*, mit dessen Hilfe Daten direkt an ihrem Entstehungspunkt verarbeitet werden können oder auch das *Generative Design*, wodurch Daten bzw. Designs mittels evolutionärer Algorithmen automatisiert erzeugt werden. Mit Hilfe von *Distributed Ledger Technologie (DLT)* können die Daten durchgängig nachverfolgbar bereitgestellt werden. Ermöglicht wird das durch die verteilte Haltung des Ledger (dt. Hauptbuch) bei verschiedenen Entitäten, die Veränderungen, also Transaktionen, mit einer Mehrheit validieren. Gesichert werden können diese Vorgänge dann mithilfe von *AI Security*, die in der Lage ist, Anomalien und damit potenzielle Betrugsfälle zu erkennen und ggf. sogar Gegenmaßnahmen einzuleiten. Allgemein kann zur Verarbeitung von Daten im

Unternehmen *Hyperautomation*, eine Kombination von Robotic Process Automation und Künstlicher Intelligenz, zur Automatisierung von Prozessen im Unternehmen angewandt werden.

4.4.2 Anwendungsfall: Fraud Detection mittels AI Security

Urlaub buchen, Einkaufen, das Bankgeschäft verwalten – immer mehr von diesen Tätigkeiten werden heutzutage online abgewickelt. Dabei werden die Zahlungsinformationen wie Kreditkartennummer, Anschrift und Name online ausgetauscht. Ein solcher Austausch von Informationen über das Internet ist immer auch ein potenzielles Angriffsziel von Cyber-Kriminellen. 2019 gab es allein in Deutschland 17,7 Millionen Opfer von Cyber-Kriminalität (s. Norton LifeLock 2020, S. 9). Der dadurch entstandene Schaden wird auf über 100 Milliarden Euro geschätzt (s. Schmerer 2019).

Aber nicht nur das Abgreifen von Zahlungsinformationen stellt ein potenzielles Risiko dar: Unternehmen speichern sensible Informationen über neue Produkte, Technologien und Märkte auf ihren Servern. Diese können gestohlen, es können Gespräche abgehört werden oder es werden Informations- und Produktionssysteme sabotiert (s. Schmerer 2019). Sowohl Unternehmen als auch Privatpersonen müssen sich somit vor den Gefahren von Cyber-Kriminalität schützen. Eine Möglichkeit hierfür ist die Nutzung von Fraud-Detection.

Unter Fraud-Detection (dt. Betrugserkennung) wird das Vorbeugen und Erkennen von sowie das richtige Reagieren auf Betrugsfälle verstanden. Hierfür wird zunehmend *AI Security* verwendet. *AI Security* steht für die Nutzung von Künstlicher Intelligenz zum Schutz vor digitalen Angriffen. Es handelt sich dabei um ein selbstlernendes System, das umfassende Datenquellen analysiert und dadurch Sicherheitsrisiken erkennt. In diesem Anwendungsfall wird vor allem auf den Einsatz von Fraud-Detection mittels *AI Security* in der Finanzbranche eingegangen. Hierfür existieren bereits viele Angebote von Software, die solche Lösungen für Banken und Versicherungen vertreiben.

Betrug im Finanzwesen folgt häufig ähnlichen Mustern: Einer der häufigsten Fälle sind der nichtautorisierte Zugang zu Klientel-Accounts mittels Bots oder die Durchführung von Geldwäsche (s. Rouse Mai, 2019). Bei solchen Vorfällen weicht meist das tatsächliche Verhalten vom erwarteten Verhalten ab. Dies kann durch den Einsatz von *Machine Learning* oder *Deep Learning* verfolgt und analysiert werden. Erscheint ein Verhalten oder eine Transaktion verdächtig, kann das System Sicherheitsmaßnahmen einleiten. Das kann in der Praxis wie folgt aussehen: Bankkundschaft in Deutschland verwendet Online-Banking und nutzt es hauptsächlich für Überweisungen und für gelegentliche Einkäufe im Internet. Wird seine oder ihre Kreditkarte nun für Sportwetten in den USA genutzt, registriert ein System diese Abweichung und vergleicht diese mit vorherigen Fällen von Cyber-Kriminalität. Wird ein Betrug vermutet, wird die Transaktion verhindert und es wird bei Bedarf die Kreditkarte gesperrt.

Der Nutzen von Fraud-Detection mittels *AI Security* liegt in einer Steigerung der Sicherheit vor Cyber-Kriminalität. Betrug kann vorgebeugt werden und der finanzielle Schaden wird reduziert. Auch der Diebstahl von Informationen und Identitäten, bei dem das Opfer durch eine missbräuchliche Verwendung in Misskredit gebracht wird, kann verhindert werden. Ein solcher Diebstahl wird vom Opfer oft nicht bemerkt.

Der Einsatz von *AI Security* im Finanzbereich ist nur ein Beispiel für die Verbesserung von Prozessen in Unternehmen. Musste früher die Betrugserkennung durch Mitarbeitende manuell durchgeführt werden, steigert *AI Security* die Geschwindigkeit und erlaubt die Prüfung großer und wachsender Datenmengen. Weitere Anwendungen von digitalen Technologien für die Verbesserung von Prozessen wird im folgenden Fallbeispiel erläutert.

Fallbeispiel: Danske Bank und Teradata

Die Danske Bank hat ihren Sitz in Kopenhagen und ist die größte Bank Dänemarks. Sie ist aktiv in 12 Ländern, vor allem in Skandinavien, und hat ein Klientel von mehr als 3 Millionen Personen sowie 22.000 Beschäftigte. Teradata ist ein amerikanisches Datenbank- und Analyse-Software-Unternehmen. Es berät Unternehmen aus verschiedenen Branchen und unterstützt sie bei der Einführung von „Big Data“- und „Artificial Intelligence“-Lösungen. In der Vergangenheit hat die Danske Bank nur 40 Prozent der Betrugsfälle entdeckt. Außerdem wurden pro Tag 1.200 Vorfälle fälschlicherweise als Betrug deklariert (sogenannte *False Positives*). Dies führte dazu, dass zeitweise bei bis zu 99,5 Prozent der Alarme kein Betrug vorlag. Dies hat Zeit, Kapital und Mitarbeitende gebunden.

Die Danske Bank arbeitete zusammen mit Teradata an einem neuen Fraud-Detection-System, das auf *AI Security* basiert. Dazu wurde ein Deep-Learning-System verwendet, um Unternehmensvorgänge zu analysieren. Zunächst wurde festgelegt, welche Daten verwendet und wie diese Daten analysiert werden sollen. Außerdem musste sichergestellt werden, dass die Daten dauerhaft für die Analyse verfügbar sind und dass die Mitarbeitenden die Ergebnisse optimal verwenden können.

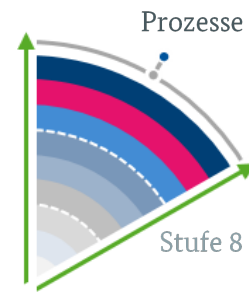
Das eingeführte Fraud-Detection-System auf AI-Basis hat die Falschmeldungen um 60 Prozent verringert. Es wird erwartet, dass eine Steigerung auf 80 Prozent durch das sich verbessernde System möglich ist. Gleichzeitig ist die Zahl der aufgespürten Betrugsfälle um 50 Prozent gestiegen.

4.4.3 Technologie- und Trendsteckbriefe

Im Folgenden werden die Steckbriefe für das Technologiefeld *Vernetzung* vorgestellt.

Technologie

Edge Computing



In a nutshell

Edge Computing beschreibt die Verlagerung von Rechenkapazität von zentralisierten Cloud-Servern auf sogenannte Edge-Knoten direkt an das Endgerät bzw. dessen lokales Netzwerk. Dabei werden große Datenmengen in den Edge-Knoten wie bspw. Personen-Endgeräte und lokale Server vorverarbeitet, bevor sie an die Cloud-Server übertragen werden. Edge Computing ist somit Teil eines verteilten Cloud-Systems (engl.: *Distributed Cloud*). Dadurch soll die Nutzung von Cloud-Ressourcen optimiert und der Traffic minimiert werden, da die Menge der zu verarbeitenden Daten erwartungsgemäß die Verarbeitungskapazität von Cloud-Servern übersteigt (s. Li et al. 2018, S. 96).

Anwendungen

Moderne Anwendungen fordern die Sammlung und Verarbeitung einer großen Menge an Daten in vernetzten Rechenzentren. Zum Handling der zu übertragenden Datenmengen, wird *Edge Computing* immer häufiger zur Vorverarbeitung eingesetzt. Im Zuge der Industrie 4.0 werden Prozesse auf der Basis von Daten automatisiert. Dort wird *Edge Computing* verwendet, um in IoT-Anwendungen die zu übertragenden Datenmengen zu verringern (s. Li et al. 2018, S. 96). Aus demselben Grund findet *Edge Computing* seinen Einsatz auch in anderen Szenarien, wie Smart-Home- oder Smart-City-Anwendungen (s. Li et al. 2018, S. 96), bei denen ähnlich viele oder auch sensible Daten anfallen. Spezifisch bedeutet dies, dass beispielsweise in Video-Analytics-Systemen empfangene Bilddaten in den Geräten selbst verarbeitet und nur die relevanten Ergebnisse, wie etwa die erkannten Objekte, an die *Cloud* gemeldet werden (s. Shi und Dustdar 2016, S. 80).

Potenziale

Durch die Funktionsweise der Edge-Computing-Technologie ergeben sich Potenziale, die sich vor allem aus der enormen Reduzierung der zu übertragenden Datenmengen erschließen. Dies ist durch die Vorverarbeitungsverfahren in den Edge-Knoten möglich (s. Li et al. 2018, S. 96). Dadurch ergeben sich deutlich schnellere Übertragungszeiten und eine Reduzierung der genutzten Netzwerk-Bandbreite (s. Yu et al. 2018, S. 6906–6911). Die geringere Beanspruchung der Rechenleistung von Endgeräten ist ein weiterer Vorteil, der sich durch die Verlegung der Datenverarbeitung in die Edge-Knoten ergibt. Daraus resultiert ein energieeffizienter Einsatz von *Edge Computing*, der die Laufzeit von mobilen Endgeräten maximiert (s. Yu et al. 2018, S. 6906–6911).

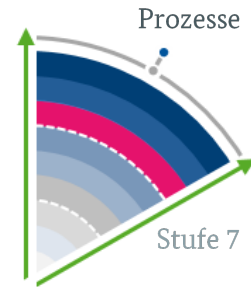
Herausforderungen

Schwierigkeiten liegen zum Beispiel noch in der Integration von verschiedenen Geräten, Plattformen oder Anforderungen in einer Edge-Computing-Umgebung, da beispielsweise die Kombination unterschiedlicher Programmiersprachen notwendig ist (s. Yu et al. 2018, S. 6906–6911). Unsicherheiten liegen auch mit Blick auf den Datenschutz vor. Datenschutzrelevante Informationen, die in Edge-Knoten verarbeitet werden, können potenziell durch die Nähe zu den Endnutzenden und deren individueller Informationssicherheit anfälliger sein als in abgesicherten Cloud-Server-Umgebungen (s. Yu et al. 2018, S. 6906–6911).

Technologie

Distributed Ledger

Technologien (DLT)



In a nutshell

Distributed Ledgers sind verteilte digitale Kontoführungssysteme zur gemeinsamen Nutzung, Replikation und Synchronisierung von Daten. Mit kryptografischen Verfahren ermöglichen *Distributed Ledger Technologien (DLT)* fälschungssichere Abbildungen von Transaktionen. Eine der bekanntesten *Distributed Ledger Technologien* ist die Blockchain, die ein Grundbaustein für *Kryptowährungen* ist (s. Brühl 2017, S. 135–140).

Anwendungen

DLT bilden die Möglichkeit, den Finanzsektor um *Kryptowährungen* wie Bitcoin zu erweitern (s. Brühl 2017, S. 135–140). Diese bieten verschiedene Vorteile wie eine dezentrale Struktur, die unter anderem Manipulation erschwert, und ein hohes Maß an Anonymität. *DLT* bieten sich auch dazu an, sie in die Datenspeicherung verschiedener Branchen einzubinden (s. Ølnes et al. 2017, S. 357–361). Energie, Logistik, Musik und Gesundheit besitzen teilweise schon Datenspeicherungskonzepte, die auf *DLT* basieren, um eine Verfälschung der Daten zu verhindern. Im *Internet of Things* können Probleme mit der Sicherheit und Privatsphäre behoben werden, indem die Dezentralisierung der Datenverwaltung durch *DLT* genutzt wird (s. Lamba et al. 2017, S. 5688).

Potenziale

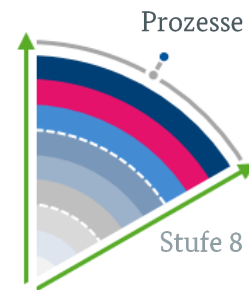
Mit *DLT* kann, wie es z. B. auch *Kryptowährungen* zeigen, eine Transaktionsintegrität ermöglicht werden, ohne zentrale Behörden in diese einbinden zu müssen (s. Benedict 2019, S. 195). Es gibt dadurch bei Datenbanken keinen Single-Point-of-Failure mehr, der eine Schwachstelle für das System darstellt. Da die *Distributed Ledger* autonom agieren und Transaktionen systemseitig getätigt werden, können auch Personalkosten eingespart werden (s. Ølnes et al. 2017, S. 357–361). Dass die *Distributed Ledger* autonom arbeiten können, ist auch den Konsensmechanismen zu verdanken. Diese sind für die Änderung von Informationen zuständig. Dieser Mechanismus und die Verteilung der Datenspeicherung an mehreren Orten erhöhen die Zuverlässigkeit der *DLT* (s. Ølnes et al. 2017, S. 357–361).

Herausforderungen

Die Dezentralität der *Distributed Ledger* bringt auch Herausforderungen mit sich: Da viele verschiedene Knoten zur Datenspeicherung benötigt werden, steigt je nach angewandtem Arbeitsnachweis der Energiebedarf durch die *DLT* an (s. Deshpande et al. 2017, S. 10). Gleichzeitig büßen *Distributed Ledger* Leistung zugunsten von Sicherheit und Authentizität ein, da Transaktionen von allen Knoten unabhängig verarbeitet werden müssen (s. Wunderlich et al. 2018, S. 1204). *DLT* können, je nach Design, anonyme Nutzende haben oder Nutzende mit einer Identität (s. Ølnes et al. 2017, S. 357–361). Die Entscheidung dafür muss für jeden Einsatz bedacht werden. Zu entscheiden ist, ob Missbrauch des Systems vorgebeugt oder eine anonyme Benutzung sowie eine gut geschützte Privatsphäre gewährt werden sollen.

Technologie

Generative Design



In a nutshell

Generative Design ist eine Entwurfsmethode, bei der Ingenieure oder Ingenieurinnen Produkte anhand von Anforderungen und definierten Rahmenbedingungen von einem Algorithmus oder künstlicher Intelligenz entwickeln lassen. In diesem iterativen Prozess können die Ingenieure und Ingenieurinnen die automatisch generierten Strukturen anpassen und mit zusätzlichen Bedingungen verfeinern. Durch die Generierung mittels Algorithmen werden Strukturen möglich, die für einen menschlichen Konstrukteur oder Konstrukteurin nicht intuitiv scheinen (s. McKnight 2017, S. 177–178).

Anwendungen

Generative Design wird im industriellen Kontext z.B. prominent bei der Airbus SE eingesetzt, welche die Technologie dafür genutzt haben, die Struktur einer Trennwand des A320 neu zu gestalten. Somit wurde eine Struktur erzeugt, die 95% weniger Rohmaterialien als eine herkömmliche Trennwand erforderte und dennoch alle Anforderungen erfüllte (s. McKnight 2017, S. 179–180). Neben der Luftfahrtindustrie wurde *Generative Design* bereits in der Automobilbranche, für medizinische Implantate oder für Leichtroboter eingesetzt (s. Wu et al. 2019, S. 2). In der Architektur und Stadtplanung wurden auch erste Experimente zur Straßen- und Verkehrsplanung durchgeführt (s. Koenig et al. 2020, S. 1010).

Potenziale

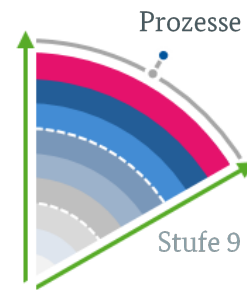
Generative Design erlaubt verschiedene Optimierungsrichtungen für den Entwicklungsalgorithmus. Theoretisch ist es möglich, die Stabilität einer Struktur zu optimieren, wobei das benötigte Maß an Stabilität als Restriktion dient, und der Materialeinsatz minimiert wird. Diese Materialeinsparungen sind nicht nur wirtschaftlich vorteilhaft für das produzierende Unternehmen, sondern resultieren im Fall der Airbus SE in Gewichtseinsparung und folglich geringeren Umweltbelastungen im Flugverkehr (s. McKnight 2017, S. 179–180).

Weiterhin werden ingenieurwissenschaftliche Fachkräfte dadurch entlastet, dass sie sich nun mehr auf die Anforderungen an ihr Produkt konzentrieren können und weniger Iterationen im Entwicklungsprozess durchlaufen müssen. Durch die Vermeidung von Routineaufgaben kann die Entwicklungsgeschwindigkeit erhöht und gleichzeitig die Kreativität gesteigert werden (s. Coors-Blankenship 2019, 1).

Herausforderungen

Durch die geänderte Herangehensweise an den Entwicklungsprozess müssen sich beteiligte Ingenieure und Ingenieurinnen grundlegend andere Fragen stellen. Da der Algorithmus keine menschlichen Gedankenmuster vorweist, muss die Fachkraft sich fragen, welche Informationen und Rahmenbedingungen für sein Vorhaben tatsächlich relevant sind. Dieses Umdenken kann Mehraufwand bedeuten, der die Effizienzgewinne wiederum reduziert (s. Nordin 2018, S. 25–26). Weiterhin muss gewährleistet werden, dass der Ingenieur oder die Ingenieurin die Funktionsweise, Schwachstellen und weitere Charakteristika der erzeugten Struktur versteht, um in Schadensfällen adäquat reagieren zu können.

Trend DevOps



In a nutshell

DevOps ist eine Kombination der englischen Wörter für Entwicklung (*Development*) sowie Betrieb (*Operations*)¹ und beschreibt eine Softwareentwicklungsmethode, die diese beiden Bereiche miteinander verbindet (s. A. Wahaballa et al. 2015, S. 211). Wichtiger Bestandteil von *DevOps* ist neben einer Kultur, die eine gemeinsame Vision zur Erleichterung der Zusammenarbeit zwischen den beiden Bereichen erzeugt (s. Ravichandran et al. 2016, S. 28), die Automatisierung von Entwicklungs- und Betriebsaufgaben (s. Hasselbring 2015, S. 6). Dadurch kann der Zielkonflikt zwischen einer schnellen Entwicklung und einem stabilen Betrieb gelöst werden (s. Ravichandran et al. 2016, S. 28).

Anwendungen

Mithilfe von *DevOps* können Softwareanwendungen automatisiert erstellt und getestet werden (s. AWS 2019). Zudem ermöglicht *DevOps* kontinuierliche und kurzzyklische *Software-releases* (s. AWS 2019). Es kann zur Entlastung der Mitarbeitenden von manuellen Konfigurationen mittels *API*-basierten Cloud-Modellen genutzt werden und dient der Einführung neuer kultureller Normen mittels Informationsaustausch und offener Kommunikation über *Bugtracking*- und Projektmanagementsoftware (s. AWS 2019).

Potenziale

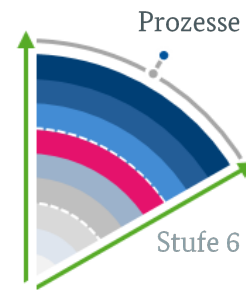
Ein Vorteil von *DevOps* ist die Verkürzung der Entwicklungs- und Produkteinführungszeit (s. Kasteleiner und Schwartz 2019, S. 212). Dabei werden mögliche Produktideen früh getestet und in die Produktion gegeben, was eine schnelle Rückmeldung über den Erfolg oder Misserfolg ermöglicht. Zudem wird durch die Nutzung der kurzen *Feedbackzyklen* das Lernen innerhalb der Organisation verbessert, sodass Bedürfnisse der Kundschaft immer besser verstanden werden (s. Kasteleiner und Schwartz 2019, S. 212). Ein weiteres Potenzial ist die Steigerung der Produktqualität durch den ganzheitlichen Prozessansatz (s. Agrawal und Rawat 2019, S. 1).

Herausforderungen

Der Wandel hin zu einer *DevOps*-Kultur geht einher mit einer organisatorischen Umstellung hin zu interdisziplinären Teams sowie der Implementierung von Werten wie *Ownership* und Verantwortlichkeit (s. AWS 2019). Die Mitarbeitenden müssen bei diesem Wandel ausreichend unterstützt werden und es fallen Kosten für Schulungen und Weiterbildungen der Angestellten an (s. Kasteleiner und Schwartz 2019, S. 212). Außerdem werden unter Umständen Investitionen in Technologien und die Infrastruktur benötigt, z. B. für neue Datenbanken oder die Implementierung neuer Schnittstellen (s. Kasteleiner und Schwartz 2019, S. 212).

Trend

Democratization of Knowledge



In a nutshell

Democratization of Knowledge beschreibt den Vorgang möglichst große Mengen an Wissen für möglichst viele Menschen zugänglich zu machen (s. Cearley et al. 2019, S. 17–18). Dies geschieht im Allgemeinen digital durch wissenschaftliche Datenbanken mit Open Access (s. Britt Holbrook 2019, S. 26).

Anwendungen

Die *Democratization of Knowledge* ermöglicht einen vereinfachten Veröffentlichungsprozess mit höherer Verfügbarkeit. Durch die Open-Access-Datenbanken muss die Veröffentlichung von wissenschaftlichen Arbeiten nicht den Filterprozess von Publizierenden und Fachzeitschriften durchlaufen, sondern kann direkt durch wissenschaftliche Mitarbeitende geschehen, die diese Arbeit erstellt haben (s. Britt Holbrook 2019, S. 26–28). Dies stellt für Recherchen eine größere Menge an Quellen zur Verfügung für sowohl berufliche als auch private Nutzung (s. Cearley et al. 2019, S. 17–18). Der Zugang zu diesen Quellen ist aufgrund des digitalen Formats in der Regel nicht örtlich beschränkt, weshalb sie weltweit von verschiedensten Personen zur Publikation und zum Konsum genutzt werden können (s. Mößner und Kitcher 2017, S. 6–8; Raza et al. 2007, S. 68–71; s. Inefuku 2017, S. 62).

Potenziale

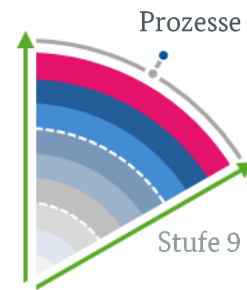
Die Potenziale der hieraus resultierenden Technologien reichen in sämtliche Bereiche des globalen Austauschs. Durch besseren Zugang zu verlässlichem Wissen haben in der Vergangenheit bereits Länder wie zum Beispiel Japan, Südkorea und China den Wohlstand der Gesellschaft vergrößern können (s. Inefuku 2017, S. 62). Durch *Democratization of Knowledge* könnten natürlich auch andere Länder und weniger wohlhabende Personengruppen profitieren. Im Idealfall führt dies dazu, dass alle Menschen die gleichen Voraussetzungen zum Erlangen von allgemeinem Wissen und Erhalt neuer Kenntnisse haben (s. Britt Holbrook 2019, S. 26–28; Raza et al. 2007, S. 68–71).

Herausforderungen

Auf dem jetzigen Level der Demokratisierung stellen sogenannte „Fake News“ bereits eine große Herausforderung dar. Ähnlich wie durch die Editierbarkeit von öffentlichen Enzyklopädien wie etwa Wikipedia können auf kostenlosen Plattformen wissenschaftliche Arbeiten von allen hochgeladen werden, ohne dass die Stichhaltigkeit von Quellen umfassend geprüft wird. Dies kann sich drastisch auf die Glaubwürdigkeit sowohl der jeweiligen Arbeit als auch der gesamten Datenbank auswirken (s. Britt Holbrook 2019, S. 26–28; Mößner und Kitcher 2017, S. 6–8). Die herkömmlichen Methoden der Veröffentlichung bieten neben der Qualitätsprüfung auch einen finanziellen Anreiz für die wissenschaftlichen Fachleute, den gegebenen Standards zu entsprechen. Ein potenzieller Druck, Veröffentlichungen möglichst kurzfristig zu publizieren, fördert allerdings den Vorzug von Quantität zu Qualität oder rationalisiert den Qualitätsanreiz unter Umständen sogar vollständig (s. Britt Holbrook 2019, S. 26–28).

Trend

Hyperautomation



In a nutshell

Der Begriff Automatisierung beschreibt die selbständige Steuerung und Regelung eines Prozesses durch ein technisches System (s. Hagedorn et al. 2016, S. 250). *Hyperautomation* (dt. *Hyperautomatisierung*) nutzt darüber hinaus *Machine Learning* und *Artificial Intelligence* zur Automatisierung von sämtlichen automatisierbaren Geschäftsprozessen, auch solche mit hoher Komplexität (s. Cearley et al. 2019, S. 3). Schlüsselkomponenten der *Hyperautomation* sind *Robotic Process Automation* (RPA) und *Intelligent Business Process Management Suites* (iBPMSs) (s. Cearley et al. 2019, S. 10).

Anwendungen

Anwendung findet *Hyperautomation* unter anderem in der Produktion. Mittels vernetzter Produkte werden Produktionsparameter automatisiert angepasst, was eine Steigerung der Flexibilität ermöglicht (s. Park 2017, S. 434). Ein häufiger Verwendungszweck ist die Vereinfachung von klassischen Bürotätigkeiten wie dem Personalwesen. Intelligente Analysetools prüfen Bewerber und Bewerberinnen intensiv und laden die besten Bewerbenden für ein Auswahlgespräch ein (s. Wilson und Daugherty 2018, S. 9). Auch das *Customer-Relationship-Management* bedient sich der *Hyperautomatisierung*. Bots verarbeiten einfache Anfragen der Kundschaft automatisiert und entlasten die Mitarbeitenden, die sich mehr Zeit für komplexe Anfragen nehmen können (s. Wilson und Daugherty 2018, S. 9). Eine weitere Anwendung ist die Vorauswahl von Investmentmöglichkeiten im Finanzwesen auf Basis von Echtzeit-Marktdaten (s. Wilson und Daugherty 2018, S. 9).

Potenziale

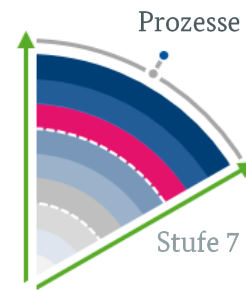
Ein Potenzial dieser Technologie ist die Steigerung der Automatisierungsmöglichkeiten in Unternehmen. Insbesondere sich häufig wiederholende Tätigkeiten oder Tätigkeiten mit ähnlichem Ablauf eignen sich für die *Hyperautomation* und können vereinfacht werden (s. Park 2017, S. 434). Außerdem steigert *Hyperautomatisierung* die Agilität durch schnelle und ganzheitlich automatisierte Prozessschritte sowie einen optimierten Informationsfluss zwischen den Schritten (s. Cearley et al. 2019, S. 3). Darüber hinaus führt es zu einer Verbesserung der Entscheidungsfindung und zu einer Unterstützung der Mitarbeitenden, z. B. mittels echtzeitfähiger Kennzahlen (s. Wilson und Daugherty 2018, S. 9).

Herausforderungen

Bei der Einführung von *Hyperautomatisierung* liegt die vorwiegende Schwierigkeit in der Umschulung von Mitarbeitenden. Klassische operative Arbeiten mit hohem repetitivem Anteil werden automatisiert und Mitarbeitenden müssen vermehrt steuernde Tätigkeiten übernehmen (s. Park 2017, S. 434). Damit eine solche Übernahme von neuen Tätigkeiten gelingt, muss *Hyperautomatisierung* unter der Berücksichtigung der Belegschaft eingeführt werden. Dies sorgt für die Akzeptanz neuer Lösungen und stellt die wirksame Unterstützung der Sicherheit von Mitarbeitenden (s. Cearley et al. 2019, S. 10).

Trend

Anywhere Operations



In a nutshell

Unternehmen bereiten sich heute darauf vor, auch nach der Covid-19-Pandemie ihre Vor-Ort-Belegschaft zunehmend remote arbeitsfähig zu machen. Über die Befähigung eigene Mitarbeitende remote arbeiten lassen zu können hinaus, meint *Anywhere Operations* eine weiterführende Dezentralisierung der Organisation (s. Bhat und Harvey 2021). Also die Remote-Arbeit von Mitarbeitenden durch sicheren Zugriff auf proprietäre Geschäftsanwendungen und -informationen, die Remote-Bereitstellung von Produkten und Dienstleistungen über eine verteilte Infrastruktur sowie die ortsunabhängige Zusammenarbeit mit Geschäftspartnern und Geschäftspartnerinnen, Stakeholdern und Kundschaft (s. Loyer 2020). Die Pandemie hat diesen neuen Grad der Zusammenarbeit um ein Vielfaches beschleunigt.

Anwendungen

Laut Gartner werden bis Ende 2023 40 % der Unternehmen *Anywhere Operations* einsetzen, um optimierte und gemischte virtuelle und physische Erlebnisse der Kundschaft und Mitarbeitenden zu liefern (s. Bhat und Harvey 2021). Solche Statistiken spiegeln sich in der Ausrichtung von Geschäftsmodellen in Richtung *Anywhere Operations* wider. Bis 2023 wird etwa eine Schließung von 40% der Bankfilialen in Europa erwartet, einhergehend mit einer Verlagerung in das Online-Geschäft und dem Aufbau digital getriebener *Anywhere Operations* (s. Pratz et al. 2021). Der sich abzeichnende Aufstieg von *Anywhere Operations* geht einher mit der beschleunigten Weiterentwicklung von Technologien und Trends im Bereich von Cybersecurity, Cloud- und Edge-Infrastruktur und Automatisierung (s. Loyer 2020).

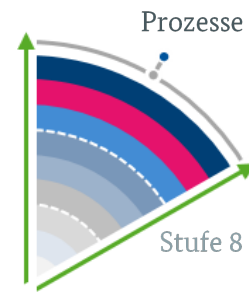
Potenziale

Die Ausrichtung auf *Anywhere Operations* als Geschäftsmodell von Organisationen kann Unternehmen einen enormen Wettbewerbsvorteil bieten, da es Geschäftswachstum in neuen Märkten ermöglicht, die Resilienz der Organisation stärkt sowie Sicherheit und Produktivität der Mitarbeitenden erhöht (s. Bhat und Harvey 2021). Erschlossen werden diese Potenziale durch den Einsatz von Technologie, Organisationsstrukturen, Prozessen, Fähigkeiten und Werkzeugen zur Befähigung einer dezentralen Belegschaft und Infrastruktur und einem ubiquitären Kundschaftsstamm (s. Moss 2021).

Herausforderungen

Bisher gibt es keine technischen Lösungen für ein vollständig dezentrales Unternehmensnetzwerk, die einem Spektrum von Nutzenden, Mitarbeitenden, Lieferanten und Lieferantinnen für Unternehmen sowie Endkundschaft und anderen einen sicheren Zugriff auf hochsensible Geschäftsdaten und Anwendungen ermöglichen (s. Loyer 2020). Eine einhergehende weitere zentrale Hürde ist die Anforderung an Cyber-Sicherheit, wenn Informationen im Sinne von *Anywhere Operations* dezentral verteilt werden sollen (s. Bhat und Harvey 2021).

Trend Experience Management



In a nutshell

Experience Management bezeichnet die Aktivitäten einer Organisation, die das Erlebnis bzw. die Erfahrung eines Stakeholders mit der eigenen Organisation messen und im nächsten Schritt verbessern. Das *Customer Experience Management (CEM)*, welches das Erlebnis der Kundschaft als wichtigste Anspruchsgruppe in den Fokus rückt, besteht schon seit Jahren in klassischen Industrien wie der Hotellerie und dem Einzelhandel (s. Goldhausen 2018, S. 41) und gewinnt mit der zunehmenden Digitalisierung und steigendem Datenaufkommen immer mehr Bedeutung in digitalen Geschäftsmodellen (s. Holmlund et al. 2020, S. 356).

Anwendungen

Das Konzept des *Customer Experience Management* ist ein bekanntes Konzept, das in herkömmlichen Industrien wie der Hotelindustrie und dem Einzelhandel in Form von Loyaltätsprogrammen aktiv Daten über die Kundschaft sammelt und gleichzeitig der Kundschaft Annehmlichkeiten zukommen lässt (s. Kandampully et al. 2018, S. 21). Das amerikanische Unternehmen Apple betreibt erfolgreich *CEM*, indem es sowohl in seinen physischen Stores einen großen Wert auf eine positive Erfahrung der Kundschaft legt als auch seine Hard- und Softwareprodukte aufeinander abstimmt, um der Kundschaft eine maximal bequeme Erfahrung zu ermöglichen. Eine weitere Form des *CEM* wird von Streaming-Plattformen betrieben, indem der Kundschaft immer wieder Inhalte vorgeschlagen werden, die ihr gefallen könnten (s. Torres Vega et al. 2018, S. 432).

Potenziale

Von einem ausgeprägten *CEM* erwarten sich Unternehmen, die Kundschaft und ihre Bedürfnisse besser zu verstehen. Dieses verbesserte Verständnis soll im nächsten Schritt ermöglichen, attraktivere Produkte für die Kundschaft zu erstellen, und diese somit langfristig zu binden (s. Holmlund et al. 2020, S. 356). In der heutigen, sich schnell entwickelnden zunehmend digitalisierten Wirtschaft haben Technologien und Trends der Datenverarbeitung ein immenses Potenzial, *CEM* zu unterstützen, da Unternehmen sie nutzen können, ein besseres und schnelleres Verständnis der Customer Journey zu erlangen und Entscheidungen zur Verbesserung der Customer Experience zu treffen (s. Holmlund et al. 2020, S. 357).

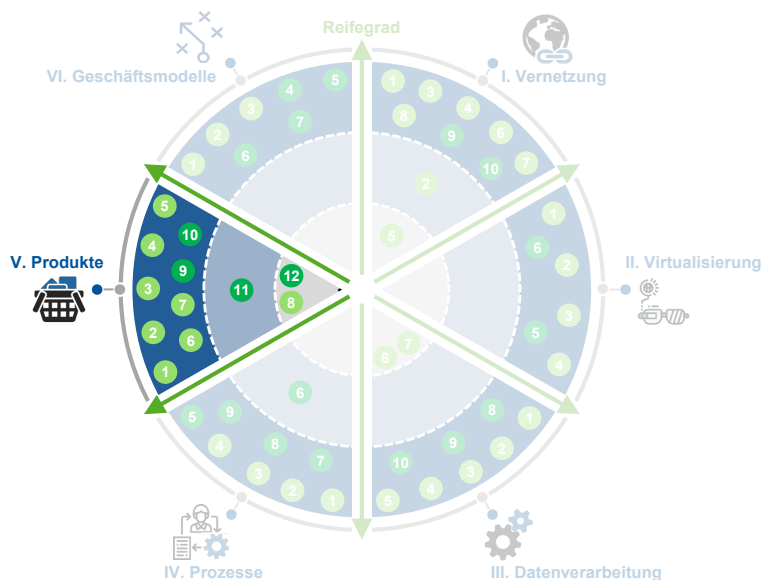
Herausforderungen

Nachdem die erste Hürde der tatsächlichen Datenbeschaffung überwunden ist, stehen Unternehmen oftmals vor der Herausforderung die enormen Datenmengen sinnvoll auszuwerten, sodass sich hilfreiche Erkenntnisse ableiten lassen (s. Holmlund et al. 2020, S. 363). Hierfür gilt es aus einer Menge an verfügbaren Machine-Learning-Algorithmen die Besten auszuwählen oder passende Algorithmen zu entwickeln, um die Kundschaft proaktiv ansprechen zu können (s. Torres Vega et al. 2018, S. 443).

4.5 Produkte

4.5.1 Beschreibung des Technologiefelds

Im Technologiefeld „Produkte“ werden physische Produkte, Dienstleistungen, Smart Devices und *Cyber-physische Systeme (CPS)* verortet. Dabei vereinen all diese Produkte eine integrierte Intelligenz, welche die Kommunikation der Produkte mit der Umwelt ermöglicht. Es werden allgemein solche Produkte betrachtet, die Merkmale im Sinne der Digitalisierung nutzen wie Datenverarbeitung und -analyse, Übertragungstechnologien, Mensch-Maschine-Schnittstelle, IT-Infrastruktur, Sensorik und Aktorik. Hierdurch verfügen diese Produkte im Gegensatz zu klassischen Produkten über einen erweiterten Leistungsumfang, der insbesondere der Endkundschaft eine spürbare Steigerung des Mehrwerts bieten soll. Gleichzeitig ermöglicht insbesondere die Vernetzung dieser Produkte einen Felddatenrücklauf, wodurch die Unternehmen in der Lage sind, aus den neuen gewonnenen Daten zu lernen und diese unter anderem zur Weiterentwicklung der Produkte zu nutzen.



Produkte

Technologien

- V.1. Kryptowährungen
- V.2. Cyber-physische Systeme (CPS)
- V.3. Digitale Assistenzsysteme
- V.4. 3D-Scan
- V.5. 3D-Druck
- V.6. Low-Code/No-Code Plattform
- V.7. System-on-a-Chip (SoC)
- V.8. Organ-on-a-Chip (OoC)

Trends

- V.9. App Stores und Marktplätze
- V.10. Autonome Roboter
- V.11. Human Augmentation
- V.12. Human-Multiexperience

Abbildung 4-6: Technologie- und Trendradar: Fokus Produkte

4.5.2 Anwendungsfall: Connected Consumer Products

Durch eine fortschreitende Globalisierung lassen sich jegliche Produkte vielerorts in ähnlicher Qualität herstellen. Eine beschleunigte Marktdynamik, die durch immer kürzere Produktionszyklen und steigenden Kostendruck angetrieben wird, verstärkt zusätzlich dieses Phänomen. Umso größer wird der Druck produzierender deutscher Unternehmen, durch innovative Produkte aus der Masse herauszustechen, um sich somit am globalen Markt durchsetzen zu können. Folglich werden zunehmend intelligente vernetzte Produkte (z. B. *Connected Consumer Products*) entwickelt, die einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Kundschaftsbindung leisten.

Connected Consumer Products (CCP) bestehen aus drei Komponenten: einer physischen Komponente, einer digitalen Komponente und einer Dienstleistungskomponente (Smart Service). Dank der Kombination der drei Elemente können durch Rückführung der Daten die intelligenten Produkte in hohem Maße individualisiert und personalisiert werden. Dies ermöglicht eine

verbesserte Bindung der Kundschaft, frühzeitige Fehlererkennung und -behebung sowie die Umsetzung von (digitalen) Geschäftsmodellen.

Connected Consumer Products sind zur Kommunikation mit ihrer Umgebung fähig. Sie sind in der Lage, sowohl Daten über sich selbst als auch Daten der Umwelt kontinuierlich aufzunehmen oder zu verarbeiten. Infolgedessen kann gewährleistet werden, dass die Produktion dieser Produkte sich immer im optimalen Betriebspunkt in Abhängigkeit zu ihrer Umwelt befinden. Durch die vielfältigen Attribute von CCP ergibt sich eine breite Anzahl an Einsatzszenarien. So können diese sowohl passive Tätigkeiten wie die Überwachung von Produktzuständen oder die Beobachtung des Nutzungsverhaltens einnehmen als auch proaktiv Updates installieren oder Upgrades (zusätzliche Leistungsumfänge) eigenständig integrieren.

Durch intelligente vernetzte Produkte werden diverse Nutzenpotenziale adressiert, die in klassischen Produkten in dieser Weise nicht vorzufinden sind. Diese Nutzenpotenziale werden durch die Möglichkeit des kontinuierlichen, wechselseitigen Austauschs zwischen Unternehmen und Produkt hervorgerufen. Die Unternehmen können so auf die Felddaten der Produkte zugreifen und hierüber das Verhalten der Nutzenden analysieren.

Auf Basis dieser Informationen können die Unternehmen die Weiterentwicklung und Optimierung ihrer Produkte deutlich zielgerichteter vornehmen. Die Felddatenrückführung trägt zur Verbesserung der weiteren Produktentwicklung bei, sodass die Kundschaft passiv in die Neu- oder Weiterentwicklung von Produkten einbezogen wird, wodurch eine Erhöhung der Zufriedenheit der Kundschaft erreicht werden kann. Des Weiteren wird durch die Felddatenrückführung das Erkennen und Beheben von Produktfehlern ermöglicht. Diese stetige Verbesserung der Produkte kann durch regelmäßige, im Hintergrund stattfindende Updates erreicht werden.

Ein weiteres Nutzenpotenzial ist die Möglichkeit des Produkts, mit der Endkundschaft zu kommunizieren. Durch die wechselseitige Kommunikation kann durch direktes Feedback des CCP eine fehlerhafte Nutzung des Produkts vermieden und der Konsument oder die Konsumentin in der Nutzung des Produkts unterstützt werden. Diese stärkere Orientierung an der Kundschaft erhöht infolgedessen die Zufriedenheit der Kundschaft in der Produktnutzung.

Durch die Etablierung von CCP in das Produktportfolio von Unternehmen werden diese dazu befähigt, neue Geschäftsmodelle zu realisieren. Dies kann beispielsweise in Form von Mehrwertdiensten (Smart Services) geschehen. Mehrwertdienste eröffnen der Kundschaft einen einfachen Zugang zu einem erweiterten Leistungsumfang. Ein Mehrwertdienst entsteht durch die Ableitung einer nutzenstiftenden digitalen Leistung aus den Felddaten eines intelligenten Produkts. Hierdurch kann die Kundschaft seinen Produktumfang individuell nach seinen Wünschen konfigurieren und bei Bedarf schnell und einfach ändern. Die Möglichkeit, schnellen Zugriff auf die Erweiterung des Leistungsumfangs zu haben, um somit das Produkt nach Belieben individuell zusammenstellen zu können, ist einer der ausschlaggebenden Gründe zum Einsatz von CCP. Weiterhin kann das Unternehmen nicht nur vom Verkauf der Produkte profitieren, sondern ebenfalls über ein Abonnement-Modell (*Subscription*) den Leistungsumfang der Produkte anbieten. Somit werden regelmäßige Einnahmen generiert und die Kundschaft wird dauerhaft an das Unternehmen gebunden.

Ein weiteres Beispiel bezüglich des Technologiefelds der Produkte ist der aktuelle Trend *NFT (Non-Fungible Token)* im Konsummarkt. Hier handelt es sich um nicht austauschbare, kryptografische Token, die aktuell mit digitaler Kunst gekoppelt werden, um diese fälschungssicher zu machen. Diese sogenannte Krypto-Kunst wird aktuell für hohe Summen auf diversen Portalen wie beispielsweise OpenSea oder auch Rarible vertrieben. Die Anwendung von NFT ist nicht nur auf

digitale Kunst beschränkt. Überall da, wo virtuelle Güter vertrieben werden können auch NFTs zum Einsatz kommen.

Fallbeispiel: Smartes Assistenzsystem

Amazon.com, Inc. ist ein US-amerikanischer Onlineversandhändler mit über 840.400 Mitarbeitenden (2020) und einem Umsatz von über 280 Milliarden US-Dollar (2019). Mit einem Börsenwert von 1,32 Billionen US-Dollar ist Amazon das drittwertvollste Unternehmen der USA. Nach eigenen Angaben gilt der Konzern als marktführendes Unternehmen des Online-Handels mit der weltweit größten Auswahl an Büchern, CDs und Videos. Aber auch Privatpersonen können über die Plattform eigene, neue wie auch gebrauchte Artikel anbieten. Neben dem Online-Handel vertreibt Amazon erfolgreich den *Amazon Kindle*, den *Amazon Fire HD*, die Set-Top-Box *Fire TV* sowie den HDMI-Stick *Fire TV Stick* und das Spracherkennungssystem *Echo*.

Das Spracherkennungssystem *Amazon Echo* ist ein intelligenter Lautsprecher mit dem internetbasierten intelligenten persönlichen Assistenzsystem *Alexa*. Durch eine Sprachsteuerung kann *Alexa* auf Dienste und Informationen zugreifen und so Befehle ausführen. Dabei lernt *Alexa* mit jedem Befehl mehr über die nutzende Person und kann infolgedessen die Kommunikation mit diesem stets optimieren. Durch die Interaktion mit den Nutzenden und die Smart-Home-Steuerung hat *Alexa* die Möglichkeit, private Informationen über die Nutzenden zu erfahren und erstellt auf Basis dessen ein Profil der nutzenden Person. So lernt *Alexa* beispielsweise, wie groß die Wohnung des Nutzers oder der Nutzerin ist, wie oft dieser oder diese zuhause ist oder auch welchen Hobbys und Freizeitaktivitäten dieser oder diese nachgeht. Hierdurch ist Amazon befähigt, der nutzenden Person individuelle Produktempfehlungen auf der Online-Handel-Plattform anzubieten und somit gezielt die Absatzzahlen zu erhöhen.

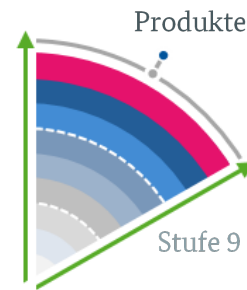
4.5.3 Technologie- und Trendsteckbriefe

Im Folgenden werden die Steckbriefe für das Technologiefeld *Vernetzung* vorgestellt.

Technologie

Cyber-physische

Systeme



In a nutshell

Cyber-physische Systeme (CPS) sind ein Verbund aus informations- und softwaretechnischen Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die mithilfe von Sensoren Daten erfassen und diese über Kommunikationstechnologien mit anderen Maschinen oder weiteren Datenquellen austauschen und über eingebettete Systeme (engl. embedded systems) auswerten. Diese Auswertungen werden wiederum genutzt, um die physische Aktorik zu steuern und zu optimieren (s. Drossel et al. 2018, S. 198). Der Begriff *CPS* ist eng verbunden mit dem *Internet of Things (IoT)* Konzept. Hier werden auch mit Sensoren ausgestattete Maschinen beschrieben, wobei hier der Fokus explizit auf der Kommunikation zwischen Geräten liegt, weshalb das *IoT* auch als zugrundeliegende Infrastruktur für *CPS* bezeichnet werden kann (s. Naoufel Boulila 2019, S. 22).

Anwendungen

Cyber-physische Systeme finden Anwendung im Stromnetz (Smart Grid) (s. Minerva et al. 2015, S. 71). Sie sammeln Informationen über Energieversorgende und Verbrauchende, um den Verbrauch und die Versorgung von Strom zu prognostizieren. Durch eine solche Vorhersage steigen die Effizienz und die Zuverlässigkeit des Netzes.

Eine weitere Verwendung ist die Nutzung von *CPS* in Gebäuden (Smart Buildings) (s. Minerva et al. 2015, S. 71). Durch die umfangreiche Aufnahme relevanter Daten wie Temperatur und Sonneneinstrahlung sowie die Vernetzung mit Sicherheitssystemen kann Energie eingespart und die Sicherheit gesteigert werden (s. Shih et al. 2016, S. 4).

CPS bilden die Grundlage für zahlreiche Anwendungen im Bereich Industrie 4.0 (s. Jordan et al. 2017, S. 1–4).

Potenziale

Das Potenzial von *CPS* ist abhängig von der Ausgestaltung des jeweiligen *CPS*. Im industriellen Umfeld lassen sich diese vor allem in die fünf folgenden Kategorien einteilen: Reduzierung der Prozesszeit, Verringerung von Ausschuss, Reduktion von Ressourcenverbrauch, Erhöhung der Zufriedenheit der Kundschaft und Automatisierung von Informationsgewinnung (s. Burggraf et al. 2018, S. 2). Außerdem eignen sie sich für die Unterstützung und Optimierung von Services durch Ferndiagnosen, wodurch das Reiseaufkommen von Service-Mitarbeitenden reduziert werden kann (s. Ahmadi et al. 2017).

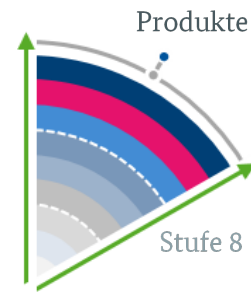
Herausforderungen

Durch ihre vielfältige Einsetzbarkeit und Nähe zum System werden *CPS* vermehrt Opfer von Cyber-Angriffen. Insbesondere aufgrund der Integration von physischen Prozessen und der damit einhergehenden realen Auswirkung solcher Angriffe muss die Sicherheit gewährleistet sein (s. Lanotte et al. 2017, S. 436). Eine weitere Herausforderung liegt in der Speicherung und Analyse großer Datenmengen, die bei der Implementierung dieser System anfallen (s. Griffor et al. 2017 December 14–16).

Technologie

Digitale

Assistenzsysteme



In a nutshell

Digitale Assistenzsysteme unterstützen Menschen bei ihren Aufgaben. Sie werden als intelligent bezeichnet, wenn sie über Sensoren oder die Einbettung in ein IT-System in der Lage sind, selbstständig auf Situationen zu reagieren. Bekannt sind Assistenzsysteme vor allem aus ihrer Anwendung in Kraftfahrzeugen, sie werden aber zunehmend auch in der Produktion eingesetzt (s. Beyerer et al. 2019, S. 87–89; Keller et al. 2019, S. 441–442; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2017, S. 14). Grundsätzlich wird zwischen physischer Assistenz und Informationsassistenz unterschieden (s. Reisinger et al. 2018, S. 100–102).

Anwendungen

Ob als klassisches Fahrzeug-Assistenzsystem wie zum Einparken, zum Spurhalten und als Auffahrwarnsystem in modernen Autos, Bussen und LKWs oder als Sprachassistenzsystem wie *Alexa* oder *Siri*, viele Assistenzsysteme lassen sich in unserem täglichen Leben wiederfinden (s. Bengler et al. 2014, S. 6; Reisinger et al. 2018, S. 100–102). Auch am Arbeitsplatz nimmt die Zahl der Anwendungen immer stärker zu. In vielen Unternehmen wird bereits auf *Assembly Assistance Systems* in der Herstellung und im Zusammenbau von Produkten vertraut (s. Keller et al. 2019, S. 441–442; Nunes 2019, S. 337–341). Im industriellen Umfeld werden *digitale Assistenzsysteme* aktuell schon z.B. in Form von Smart Glasses angewandt, um Informationsbeschaffungs- oder Suchzeiten zu reduzieren (s. Stockinger et al. 2020, S. 97; Danielsson et al. 2020, S. 7).

Potenziale

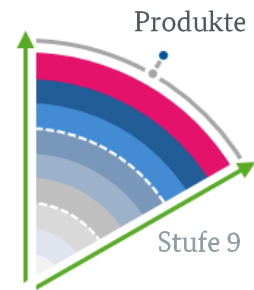
Durch Assistenzsysteme wird die Bedienung von Software bspw. durch neue Bedienungskonzepte wie Sprachsteuerung für sämtliche Nutzende vereinfacht, (s. Beyerer et al. 2019, S. 87–89; Nunes 2019, S. 337–341). Die unternehmerisch ansprechendsten Potenziale liegen derzeit in der Steigerung der Produktivität und Produktqualität bei gleichzeitiger Minimierung von Ausschuss. Dies gelingt durch effiziente Filterung nach den richtigen Informationen zur Durchführung der nächsten Prozessschritte, sowie durch direkte und fortlaufende Qualitätsprüfung durch das System (s. Beyerer et al. 2019, S. 87–89; Hold et al. 2017, S. 144–149; Keller et al. 2019, S. 441–442). In der Industrie können Assistenzsysteme die Mitarbeitenden-Produktivität steigern, indem sie einfache Aufgaben übernehmen oder Suchzeiten verkürzen. Außerdem wird sowohl die Anlerndauer als auch die Abhängigkeit von Erfahrungswissen reduziert (s. Merhar et al. 2019, S. 281).

Herausforderungen

Die Informationsfilterung stellt eine der wesentlichen Herausforderungen dar. Während eine zu starke Filterung der Daten relevante Informationen auslassen könnte (s. Beyerer et al. 2019, S. 87–89), kann eine zu geringe Filterung das vollumfängliche Optimierungspotenzial nicht ausschöpfen. (s. Beyerer et al. 2019, S. 87–89). Neben den technischen Herausforderungen bestehen insbesondere Herausforderungen durch die Interaktion mit dem Menschen. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von *digitalen Assistenzsystemen* ist die Akzeptanz der Mitarbeitenden, weshalb *digitale Assistenzsysteme* nur unter Einbeziehung der Mitarbeitenden eingeführt werden sollten (s. Merhar et al. 2019, S. 283–284).

Technologie

3D-Druck



In a nutshell

3D-Druck, auch *Additive Manufacturing (AM)* genannt, ist eine Technologie, die mithilfe von Informationen aus einem computergenerierten Design physische Objekte erstellt. Dabei werden in einem additiven Vorgang sukzessive Materialschichten aufgetragen, wodurch feste, dreidimensionale Strukturen entstehen (s. Noorani 2018, S. xvii).

Anwendungen

In den letzten Jahren gab es einen regelrechten Boom an 3D-Druck-Anwendungen, ob privat oder in der kommerziellen Nutzung. In der produzierenden Industrie erlauben 3D-Druck-Systeme sowohl leichte als auch komplexe Strukturen in kurzer Zeit herzustellen (s. Shahrubudin et al. 2019, S. 1291–1292). Außerdem ermöglicht *3D-Druck* schnell und kostengünstig Prototypen (Rapid Prototyping) oder Ersatzteile zu produzieren. Im Gesundheitswesen und der Medizin werden 3D-Drucker beispielsweise in der Forschung als kostengünstiges Mittel eingesetzt, um die natürliche Struktur der Haut für Testzwecke nachzustellen (s. Shahrubudin et al. 2019, S. 1291–1292). Aber auch im Krankenhausbetrieb wird der *3D-Druck* zur Vereinfachung der Operationsplanung anhand gedruckter Modelle oder durch individuell gedruckte Implantate eingesetzt (s. Bruns und Krettek 2019, S. 272).

Potenziale

Der *3D-Druck* ermöglicht die Herstellung von Objekten in kürzerer Zeit, ohne von großen Lieferketten abhängig zu sein. 3D-Druck-Verfahren sind dabei aber nicht nur auf die Erstellung von einfachen Strukturen limitiert sondern auch in der Lage, neuartige, komplexe Objekte wie geschlossene Strukturen, Kanäle, Gitter oder Häuserwände herzustellen (s. Ford et al. 2016, S. 1575). Außerdem ermöglicht das additive Vorgehen löchrige Strukturen zu drucken, die mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich wären. Dadurch bieten sich Potenziale für Materialeinsparungen und zur Wiederverwendung von Abfallmaterialien, die während der Herstellung angefallen und nicht verwendet wurden (s. Ford et al. 2016, S. 1575).

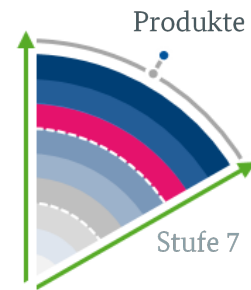
Herausforderungen

Aktuell wird die Verbreitung von 3D-Druckern in Serienproduktionen hauptsächlich durch die Prozessgeschwindigkeit, qualitative Herausforderungen und die Tatsache, dass nicht alle geometrische Formen problemlos gedruckt werden können, limitiert (s. Horvath und Cameron 2020, S. 321–334). Viele komplexe Strukturen lassen sich nur mit Hilfsstrukturen realisieren, die nachträglich entfernt werden müssen. Häufig ist eine Nachbearbeitung auch notwendig, um zum Beispiel die Oberflächenqualität oder Treppenstufeneffekte nachzubessern, die bei der additiven Fertigung von runden Formen entstehen (s. Ford et al. 2016, S. 1575). Durch die Verbreitung von 3D-Druckern in Privathaushalten entstehen neue Potenziale für Produktpiraterie, da für eine Produktkopie lediglich eine Druck-Anleitung (bzw. die entsprechende Datei) benötigt wird, die mithilfe von 3D-Scannern erzeugt werden könnte (s. Feldmann und Gorj 2017, S. 41).

Technologie

Low-Code/No-Code

Plattformen



In a nutshell

Low-Code/No-Code Plattformen beschreiben Entwicklungsumgebungen, welche die Erstellung von Programmabläufen ohne tiefgreifendes Wissen zur Programmierung mit klassischem Code ermöglicht (s. Vaishali S. Phalake und Shashank D. Joshi 2021; s. Pratt 2021). Realisiert wird dies durch im Voraus stark abstrahierten Programmlogiken, die der nutzenden Person mit vereinfachtem, leicht lesbarem Code oder auch mit Hilfe von Ablaufdiagrammen die Programmierung vereinfachen. Die Spezifizierungen Low-Code und No-Code beschreiben den Abstraktionsgrad der letztlichen Programmierung mittels vereinfachten Codes bis hin zu simplen grafischen Konfigurationen.

Anwendungen

Einsatz finden *Low-Code/No-Code Plattformen* vorwiegend als Tool-Baustein in Business IT-Systemen. Mittels tabellarischer oder grafischer Oberflächen können Endnutzende auf Basis der eigentlichen Systemdaten und -funktionen einfache Business Logiken wie Workflows und Formulare sowie Dashboards als Erweiterung zum Kernsystem erstellen (s. Yajing Luo et al. 2021). Vermehrt werden solche Plattformen auch zur Entwicklung von einfachen Applikationen mit geringer Komplexität in privatem sowie professionellem Umfeld eingesetzt.

Potenziale

Entwicklungsplattformen mit vereinfachter Programmierung ermächtigen Personen Anforderungen an Softwareentwickelnde im Programmmedium zu kommunizieren (s. Pratt 2021; Vaishali S. Phalake und Shashank D. Joshi 2021). Der Anforderungstransfer von fachlicher zu technischer Ebene wird durch frühzeitige Erkennung invalider Logiken, präziser Kommunikation der Vision und erste Prototypen verbessert. Perspektivisch können solche Plattformen den Endnutzenden auch zur eigenmächtigen Entwicklung von Software befähigen. Dies kann potenziell Entwicklungsaufwände reduzieren und der Erwartung der Nutzenden entsprechend präzisere Lösungen hervorbringen (s. Vaishali S. Phalake und Shashank D. Joshi 2021).

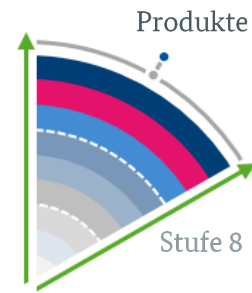
Herausforderungen

Low-Code/No-Code Plattformen stehen insbesondere bei Softwareentwickelnden in der Kritik, da sie suggerieren, die Programmierung begrenze sich auf die reine Verschriftlichung von Programmcode (s. Yajing Luo et al. 2021; Ashok 2021). In der Tat erfordert präzise und nachhaltige Programmierung eine korrekte Modellierung des zu lösenden Problems, die weiterhin logische Expertise bei den Anwendenden erfordert. Die daraus folgenden Herausforderungen liegen sowohl in der Problemabstraktion der oftmals unerfahrenen Nutzenden (s. Ashok 2021) als auch in der präventiven Integration geeigneter Schemen und Software-Paradigmen in solche Plattformen, welche die Erstellung nachhaltiger Logiken unterstützen (s. Michiel Overeem et al. 2021).

Technologie

System-on-a-Chip

(SoC)



In a nutshell

Ein *System-on-a-Chip (SoC)* ist ein Zusammenschluss der Funktionen eines elektronischen Systems in einen einzigen Chip (s. Geißler und Ostler 2018). Klassische Computer bilden Systemfunktionen wie Prozessor, Grafikkarte, Speicher, USB-Interface etc. auf einer Platine in Form mehrerer Chips ab, dagegen fasst ein SoC einen Großteil dieser Funktionen in einen einzigen integrierten Schaltkreis zusammen. Die tatsächlichen Funktionen des Chips sind dabei stark von der Anwendung abhängig und können je nach zu erfüllendem Zweck stark variieren (s. Ferreira et al. 2021; Puthoor und Lipasti 2021).

Anwendungen

Anwendungen finden SoC insbesondere in kompakten Geräten wie dem Einplatinencomputer Raspberry Pi oder auch in mobilen Endgeräten wie Smartphones. Dort werden aufgrund des begrenzten Platzes und oftmals spezifisch definierten Anwendungen viele Systemfunktionen in einen zentralen Chip zusammengefasst, wie Computer-Komponenten (s. Ortmeier 2020) oder Systemfunktionen wie Echtzeit-Video-Codierung (s. Deepthi Haridas 2021). Mit der steigenden Adaption von Chip-Entwicklung durch Elektronikherstellern finden sich SoCs in einer wachsenden Anzahl an digitalen Endgeräten. Prozessorherstellende Unternehmen wie Intel, AMD und Apple bieten vermehrt SoCs (bzw. SoC ähnliche *System-in-a-Package, SiP*) an, die CPU, GPU und auch Speicherfunktionen integrieren (s. Ruecker und Kuch 2021). Auch für Haushaltsgeräte und -maschinen werden vermehrt einfache elektronische Funktionen mit solchen massenproduzierbaren Chips abgebildet (s. Geißler und Ostler 2018).

Potenziale

SoCs dienen insbesondere der kompakteren Bauweisen von Endgeräten und der Smartifizierung kleiner Komponenten. Diese ermöglichen insbesondere den Funktionsumfang und die Rechenleistung kleinerer Geräte stark anzuheben. Durch die Zusammenfassung von mehreren Bauteilen in einen kompakten Chip, können mittels einer geeigneten Zusammenfassung verschiedener Anwendungsfälle Skaleneffekte realisiert werden (s. Ortmeier 2020). In Kombination mit standardisierter Chip-Architektur für verschiedene Endgeräte können neben Kosteneinsparungen auch Entwicklungsaufwände für die Endgeräte reduziert werden (s. Taylor Holmes et al. 2015).

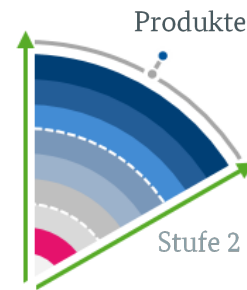
Herausforderungen

Mit der Zusammenfassung von Funktionalitäten in einen komplexeren Chip, stehen dem Anwendenden, also dem Entwickelnden des Endgerätes, weniger Optionen zur Individualisierung durch den Bezug unterschiedlicher Systemkomponenten zur Verfügung (s. Gray und Audsley 2012). Durch Wegfall modularer Bauweisen muss die Auslegung von Funktionalitäten immer in komplexeren Gesamtpaketen erfolgen, was folglich die präzise Auswahl erschwert. Weiterhin erfordert die Entwicklung und Fertigung von SoCs Expertise in der Chip-Fertigung. Dies erschwert den Wettbewerb kleinerer Herstellern, die keine Ressourcen für die Implementierung dieser Technologie besitzen (s. Arnold S. Berger 2020).

Technologie

Organ-on-a-Chip

(OoC)



In a nutshell

Organ-on-a-Chip (OoC) ist die Bezeichnung für eine biomimetische Technologie, also eine Technologie, bei der Phänomene der Natur in die menschgeschaffene Technik übertragen werden, die sich mit der Imitation von menschlichen Organen befasst (s. Mosig et al. 2017, S. 11–12). Hierfür wird Gewebe gezüchtet und mittels Mikrofluiden auf einem Chip am Leben gehalten. Durch weitere Substanzen wird das Gewebe stimuliert, sodass z.B. Erkenntnisse über die Reaktion gewonnen werden können (s. Wu et al. 2020, S. 1, 2020, S. 3; s. Zhang und Radisic 2017, S. 2396).

Anwendungen

OoC-Systeme werden vor allem in der Medikamentenentwicklung verwendet, wo sie die Phase zwischen vorklinischen Studien und Versuchen mit menschlichen Testpersonen überbrücken können (s. Mosig et al. 2017, S. 13; Franzen et al. 2019, S. 1720). Weiterhin können OoC-Systeme für Toxizitätsscreenings für jegliche Substanzen wie Nahrungsmittel, zum Aufstellen von Krankheitsmodellen und für personalisierte Medizin verwendet werden (s. Mosig et al. 2017, S. 13). Es gibt mittlerweile für diverse Organe, wie Lungen, Herz, Leber, Gehirn und Nieren separate OoC-Systeme (s. Mosig et al. 2017, S. 11–12; Wu et al. 2020, S. 7–8).

Potenziale

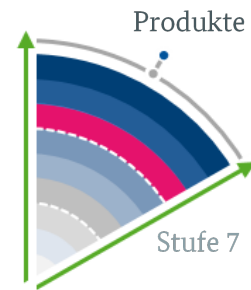
Großes Potenzial wird in der Reduktion von Forschungs- und Entwicklungskosten im Pharmabereich gesehen, da die hohen regulatorischen Anforderungen den Aufwand für Entwicklung in der Pharmaindustrie extrem steigen lassen haben (s. Franzen et al. 2019, S. 1720). Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass durch zusätzliche Versuchsmöglichkeit für Biotechnologie Tierversuche in erheblichem Maße reduziert werden könnten (s. Broll 2019, S. 49).

Herausforderungen

Um die aufgeführten Potenziale realisieren zu können, muss neben dem technologischen Fortschritt eine Regulatorik die Voraussetzungen schaffen, sodass diese Technologie effizient und kostensparend bzw. Tierversuch-reduzierend genutzt werden kann. (s. Franzen et al. 2019, S. 1724). Der nächste logische Schritt nach *OoC* ist es, die verschiedenen Organe zu kombinieren und einen ganzheitlichen *Human-on-a-chip* zu etablieren, der den menschlichen Organismus realistisch imitieren kann (s. Wu et al. 2020, S. 13–14).

Trend

Autonome Roboter



In a nutshell

Ein Industrieroboter ist ein Bewegungsautomat, der in mehr als einer Achse programmierbar ist und einen bestimmten Grad an Autonomie aufweist. Dabei hat ein Roboter die Aufgabe, sich innerhalb einer Umgebung zu bewegen, um einen bestimmten Zweck zu erfüllen (s. ISO 8373). Die Autonomie des Roboters kann bereits dadurch gegeben sein, dass er unabhängig von einer unmittelbaren menschlichen Steuerung agieren kann. Dabei ist es irrelevant, ob dies durch eine vorherige Programmierung oder eine selbstlernende künstliche Intelligenz realisiert wird. Der Grad der Automatisierung wird von Level 0 "keine Automatisierung", in dem die Menschen die vollständige Kontrolle über die Aufgabe haben, bis hin zu Level 5 "volle Automatisierung", bei dem kein Mensch mehr anwesend sein muss, unterschieden. Dazwischen lassen sich die Stufen "Menschlich unterstützte Automatisierung", "Partielle Automatisierung", "Bedingte Automatisierung" und "Hohe Automatisierung" verorten (s. Cearley et al. 2019, S. 36–39).

Anwendungen

Zu den Anwendungen von *Autonomen Robotern* zählen zum Beispiel eigenständig arbeitende Landtechnik (s. Fuchs 2018, S. 3) oder fahrerlose Transportsysteme (FTS), die in Produktionsstraßen für den Materialtransport weit verbreitet sind (s. Cearley et al. 2019, S. 36–39; Simoes-Costa und Bronner 2016, S. 1573). Weitere Verwendung finden *autonome Roboter* in der Unterstützung der Selbstständigkeit sowie der Pflege älterer Menschen (s. Meyer und Fricke 2020, S. 620).

Potenziale

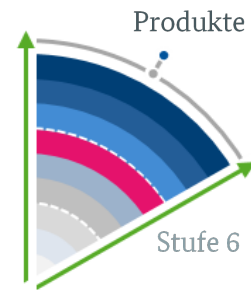
Autonome Roboter bieten das Potenzial, Aufgaben, die nicht mehr in ausreichendem Maße vom Menschen geleistet werden wollen oder können, zu übernehmen. Einerseits können Sie Aufgaben, bei denen nicht hinreichend Personal verfügbar ist, wie der Pflege, unterstützen und andererseits Aufgaben in Umgebungen, die für den Menschen zu gefährlich sind, übernehmen. (s. BMBF 2020; Meyer und Fricke 2020, S. 620). Beim Einsatz von autonomen Kraftfahrzeugen soll sowohl die Verkehrseffizienz als auch die Luftverschmutzung verbessert werden. Gleichzeitig wird mehr Sicherheit im Straßenverkehr garantiert (bis zu 90-prozentige Reduktion der Verkehrsunfälle) (s. Cearley et al. 2019, S. 36–39; Simoes-Costa und Bronner 2016, S. 1573).

Herausforderungen

Mit der zunehmenden Autonomie der eingesetzten Roboter wird neben der operationellen Sicherheit auch die Cyber-Sicherheit immer relevanter, da erstere ohne zweitere nicht garantiert werden kann (s. Krenn 2019, S. 309). Wenn es trotz der Sicherheitsvorkehrungen doch zu Schäden unter Beteiligung *autonomer Roboter* kommen sollte, stellt sich mit der Haftungsfrage eine weitere schwierige Fragestellung (s. Diekmann 2019, S. 1).

Trend

Human Augmentation



In a nutshell

Die Forschung an *Human Augmentation* (auch "Human 2.0") dient der Umsetzung von kognitiven und physischen Verbesserungen an Menschen sowohl durch körperexterne als auch körperintegrierte Technologien (s. Raisamo et al. 2019, S. 131–136; Panetta 2019). Als Beispiele können Exoskelette, smarte Kontaktlinsen/Linsenimplantate, automatische Insulinpumpen und NFC-Implantate genannt werden (s. Biswas et al. 2018 - 2018, S. 1–5).

Anwendungen

Smarte Kontaktlinsen oder Linsenimplantate können dafür genutzt werden, Menschen durch die Vergrößerung ihres Blickfeldes oder das gezielte Herausstellen eines Objekts im Blickfeld zu unterstützen. Exoskelette können eine höhere Arbeitsleistung und Präzision im Arbeitsumfeld ermöglichen und gleichzeitig Nacharbeit und Ausschuss reduzieren während der menschliche Arbeitende weniger belastet wird (s. Ras et al. 2017, S. 428–431; Biswas et al. 2018 - 2018, S. 1–5). *Human Augmentation* wird bereits häufig zur Wiederherstellung der Mobilität körperlich eingeschränkter Personen genutzt. Dies geschieht im Rahmen der Implantologie, Prothetik und Rehabilitation (s. Raisamo et al. 2019, S. 131–136).

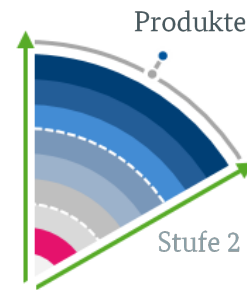
Potenziale

Die Herstellung von Prothesen kann in der Zukunft im medizinischen Bereich Nutzen bieten, da Prothesen mit aktiven Steuerungssystemen den physischen Bereich insbesondere von Menschen mit Beeinträchtigungen erweitern können (s. Daily et al. 2017, S. 14). Außerdem kann zukünftig die Vernetzung des Menschen erweitert und der Datenaustausch einfacher gestaltet werden, sodass physische Informationsträger oder Ausweisdokumente reduziert werden können. Zum Beispiel können Träger oder Trägerinnen eines NFC-Implantats digitale Visitenkarten durch reines Händeschütteln austauschen (s. Biswas et al. 2018 - 2018, S. 1–5) oder Türen öffnen. In Zukunft ist es denkbar dieses Potenzial für Ausweise, Zahlungsvorgänge oder sämtliche Vorgänge, die Passwörter erfordern auszuweiten (s. Zagel 2020, S. 24).

Herausforderungen

Das Szenario eines gläsernen Menschen, der anfällig für Cyber-Kriminalität würde, ist laut Datenschutzfachkräften eine wesentliche Herausforderung für *Human Augmentation* (s. Zagel 2020, S. 24). Diese Bedrohung sorgt für Vorbehalte der Menschen körpernahe Technologie zu nutzen, sodass eine Förderung der Akzeptanz eine weitere Herausforderung darstellt. Nach derzeitiger rechtlicher Lage und sozialem Verständnis dürfen Arbeitgebende von ihren Mitarbeitenden oder Bewerbenden nicht verlangen, eine Prothese oder ein Implantat in seinen/ihren Körper einsetzen zu lassen (s. Oertelt et al. 2017, S. 33).

Trend Human Multiexperience



In a nutshell

Human Multiexperience beschreibt eine zukünftige Lebensweise, in der Computer allgegenwärtig und multisensorisch sind. Der multisensorische Aspekt wird alle menschlichen Sinne emulieren, sowie technische Sensoren (Wärme, Feuchtigkeit, Radar etc.) beinhalten. In der Zukunft wird die heutige Wahrnehmung eines Computers antiquiert erscheinen. Es wird angestrebt, ebenfalls Gebäude, die wir bewohnen, als multisensorische Interfaces mit vielen Berührungspunkten auszulegen (s. Cearley et al. 2019, S. 13–17).

Anwendungen

Die Verarbeitung menschlicher Intentionen und deren Bereitstellung als maschinell erkennbare Signale kann in vielen Branchen genutzt werden. Die Intention kann in diesem Rahmen durch Gehirnsignale, Gesichtsausdruck, Sprache, Gesten, Augen-/Lippen-/Kopf-/Hand-/Fingerbewegungen und Laufmuster registriert werden (s. Mahmud et al. 2020 - 2020, S. 768–772). Dies passiert z. B. über Smartwatches und intelligente Kleidung (s. Cao et al. 2018, S. 5190–5191). Beispielhaft wurde das Eye-Ball-Tracking in der Vergangenheit vor allem dafür genutzt, um die menschliche Aufmerksamkeit auf Bildschirmen zu analysieren (s. Finnigan 2019, S. 1) und entsprechend Webseiten oder Lehrangebote zu optimieren (s. Finnigan 2019, S. 4; Narayana und Manikandan 2017, S. 536). Diese Analyse des menschlichen Verhaltens wird zunehmend auch für komplexere Aufmerksamkeitssituation wie der Navigation genutzt (s. Tian et al. 2019 - 2019, S. 426–427).

Potenziale

Im *Multitasking* wird eines der größten Potenziale gesehen. Die nutzende Person kann dementsprechend vollständig ohne Maus und Tastatur einer Maschine Befehle erteilen, die dann anhand vorprogrammierter Signale von ebenjener Maschine befolgt werden. Dieser Trend beschreibt den Übergang von Menschen, die sich mit Technologie auskennen, zu Technologie, die sich mit Menschen auskennt (s. Cearley et al. 2019, S. 13–17). Außerdem bietet z.B. Gestensteuerung den Vorteil physische Berührungen reduzieren zu können, was insbesondere nach den Erfahrungen der Corona-Pandemie in Zukunft von erhöhter Bedeutung sein wird (s. Iqbal und Campbell 2020, S. 51).

Herausforderungen

Bei der Programmierung von Algorithmen, die die oben genannten Signale auswerten können, ist es essenziell, die von Mensch zu Mensch unterschiedlichen Bewegungs- und Sprachmuster schnell und richtig auszuwerten. Dabei können bereits geringe Unterschiede in Tonhöhe, Dialekt, Hintergrundgeräuschen oder im Bewegungsradius einen großen Einfluss nehmen (s. Cao et al. 2018, S. 5190–5191; Mahmud et al. 2020 - 2020, S. 768–772). Zudem muss eine solche Software schnell arbeiten, kosteneffektiv sein, von der nutzenden Person anpassbar und einfach zu verstehen sein (s. Mahmud et al. 2020 - 2020, S. 768–772).

4.6 Geschäftsmodelle

4.6.1 Beschreibung des Technologiefelds

Das Technologiefeld „Geschäftsmodelle“ betrachtet daten- und plattformbasierte Geschäftsmodelle, die im Zuge der Digitalisierung ermöglicht werden. Darunter fallen insbesondere digitale, innovative Geschäftsmodelle, die den Nutzen von Kundschaft und Anbietenden steigern und die Auswirkungen von Digitalisierung ökonomisch nutzbar machen. Man spricht heute auch von einer infolgedessen resultierenden Data-Driven Economy, bei der Daten gesammelt, organisiert und ausgetauscht werden, um aus den gesammelten Informationen einen Wert zu schöpfen.

Allein aus dem heutigen Bedarf an IT-Ressourcen ergeben sich Geschäftsmodelle, die durch das Angebot der entsprechenden Ressource als Dienstleistung deren Verfügbarkeit steigern. *IaaS*, *PaaS* und *SaaS* (*Infrastructure* bzw. *Platform* bzw. *Software as a Service*) ermöglichen die Nutzung anspruchsvoller IT-Infrastrukturen, IT-Plattformen und Software, ohne den Bedarf der benötigten Expertise, um solche Leistungen selbst zu realisieren. Die Geschäftsmodelle *Shareconomy* und *User Designed* hingegen nutzen die digitalen Möglichkeiten, um mehrwertbringende Rollen in einem Unternehmen auf einen größeren und gestreuten Personenkreis auszubreiten. Die *Subscription-Economy* nutzt digitale Technologien zur Produktentwicklung oder als Vertriebskanal, um ein sich stetig verbesserndes Produkt subscriptionsbasiert anzubieten. Der steigenden Relevanz von

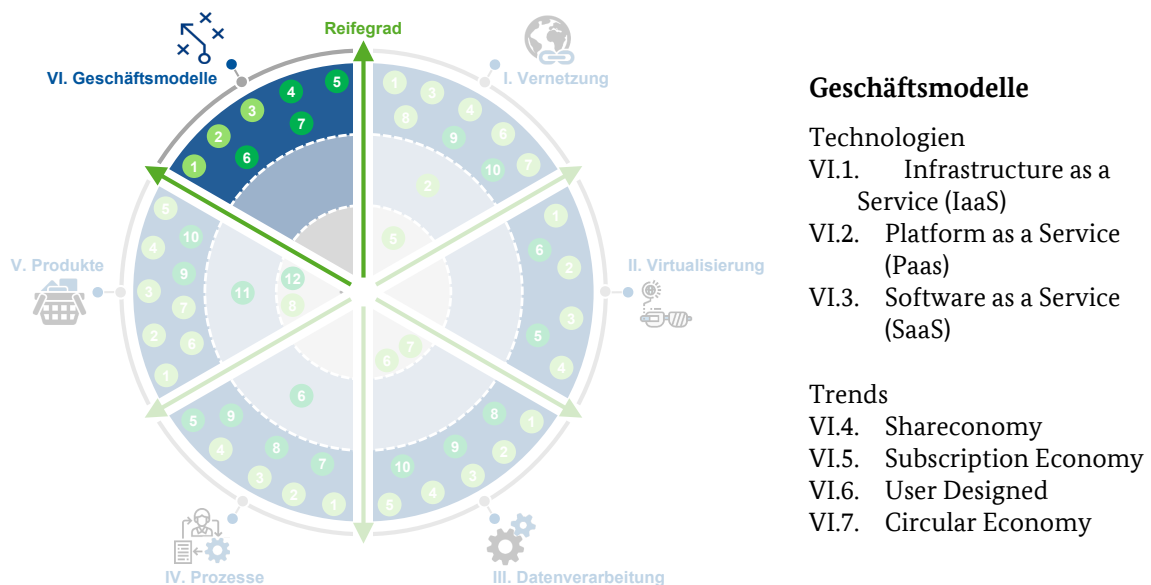


Abbildung 4-7: Technologie- und Trendradar: Fokus Geschäftsmodelle

nachhaltigem Wirtschaften wird insbesondere die *Circular Economy* gerecht, bei deren Umsetzung der Einsatz digitaler Technologien ein entscheidender Schlüsselfaktor sein kann.

4.6.2 Anwendungsfall: Virtuelle Kraftwerke

Die Aufgaben heutiger Kraftwerke gehen über die eigentliche Erzeugung und Bereitstellung von Energie hinaus. Ein Energienetz wird durch eine Vielzahl an Variablen beeinflusst: Auf der Erzeugerseite sind diese unter anderem gegeben durch die Art bzw. Technologie der Energieerzeugung, die Anschlussleistung eines Kraftwerks, die zeitliche Verfügbarkeit von Rohstoffen bzw. der aufgenommenen Energieform und den geographischen Standort im Netzwerk

selbst. Weitere Einflüsse entstehen durch Störungen im Netz und durch Schwankungen auf der Seite der Verbrauchenden, durch unvorhersehbare Verbrauchendenprofile und den Wandel von Technologien wie etwa der E-Mobilität. Um trotz aller Einflüsse eine verlässliche Energieversorgung zu garantieren, sind Kraftwerke dazu angehalten, neben der vertraglich geregelten Erzeugung von Energie auch oftmals entsprechende Regelleistungen flexibel bereitstellen zu können. Neben der Herausforderung, diese Regelung strikt einhalten zu können, sehen sich Kraftwerksbetreibende weiteren Schwierigkeiten ausgesetzt. Im Wandel von Technologien und einem wachsenden Umweltbewusstsein der Verbrauchenden steht eine Energiewende bevor, die von Kraftwerken mit konservativen Energieressourcen eine Umstrukturierung verlangt. Im stetigen Wettkampf am Energiemarkt sind solche massiven Investitionsbedarfe nicht ohne weiteres umsetzbar. Gleichmaßen können auch eine Aufstockung von bereitgestellten Leistungen oder die Erfüllung neuer gesetzlicher Richtlinien größere Herausforderungen für ein Kraftwerk darstellen.

Diese Herausforderungen rühren aus der Verkörperung eines Kraftwerks als eine einzelne große Entität in dem technisch und regulatorisch flexiblen Umfeld des Energiesektors. Daher werden heutzutage flexiblere Lösungen in Form eines virtuellen Kraftwerkes angestrebt. Ein virtuelles Kraftwerk beschreibt einen Verbund aus vielzähligen, kleineren Netzkomponenten, Erzeugenden, Verbrauchenden und Speichern, um in Gesamtheit die Funktionalität eines größeren Kraftwerks abbilden zu können. Durch eine Vielzahl orchestrierter Erzeugender können die benötigten Energiemengen dynamisch bereitgestellt werden. Gleichzeitig ermöglicht die Steuerbarkeit von Verbrauchenden und Speichern die bedarfsgerechte Bereitstellung positiver und negativer Regelleistungen. Die Entitäten können dabei sowohl durch industrielle als auch private Anbietende oder Erzeugende gestellt werden.

Der Vorteil des virtuellen Kraftwerks besteht dabei in der Flexibilität. Die genannten Herausforderungen können durch die Verwaltung kleinerer Entitäten besser bewältigt werden. Die Eingliederung weiterer bzw. der Ausschluss bestimmter Teilnehmender kann ohne größere Störung der restlichen Struktur unternommen werden. Damit ist die Aufstockung von bereitgestellter Leistung und die Abkehr von veralteten Energieformen nicht an eine generelle Umstrukturierung des Verbunds gekoppelt. Dies vereinfacht die Reaktion auf zukünftige rechtliche Regularien. Zusätzlich kann die Versorgungssicherheit des Energienetzes unterstützt werden. Ausfälle einzelner Teilnehmender verursachen aufgrund eines kleineren Anteils am Gesamtverbund einen geringeren Einfluss auf die Versorgung. Durch geeignetes Management können Regelleistungen nicht nur bereitgestellt werden, sondern durch Vorabplanung verhindert werden.

Die Problemstellungen größerer Kraftwerke werden mit dem Einsatz virtueller Kraftwerke durch einen Wechsel im Geschäftsmodell gemindert. Während ein klassisches Kraftwerk eine einzelne Interessengruppe am Energiemarkt vertritt, besteht das virtuelle Kraftwerk aus vielen kleineren Teilhabenden und erlangt somit die Möglichkeit, flexibler handeln zu können.

Das betrachtete Geschäftsmodell wird durch die sogenannte *Shareconomy* realisiert. In der hier beschriebenen Form zeichnet sich die *Shareconomy* durch den Zusammenschluss von verschiedenen Beteiligten mit unterschiedlichen Ressourcen und Handlungsräumen aus. Besitzende von Energieerzeugungsanlagen, etwa Photovoltaik-Anlagen, Windkraftanlagen oder kleineren Kraftwerken, können ihre kleineren Energiemengen zu wettbewerbsfähigen Preisen an den Markt bringen, da ihre Versorgungsleistung im Verbund kalkuliert ist. Besitzende von Speichern und Verbrauchende können ihre Ressourcen (bspw. Photovoltaik-Anlagen) für die Deckung der notwendigen Regelleistungen bereitstellen und darüber hinaus den Erzeugenden mit der Bereitstellung von Informationen für die Planung dienen. Auch regionale Gegebenheiten und kurzfristige Wechselhaftigkeiten, etwa unterschiedliche Sonneneinstrahlungen und Windstärken, können durch die geografische Streuung der Teilhabenden abgedeckt werden. Weiterhin besteht

die Möglichkeit der Hinzunahme bisher im Energienetz unbetrachteter Teilnehmenden, etwa von Beteiligten im E-Mobilitätssektor oder Vertretenden zukünftiger Technologien. Insgesamt werden die unterschiedlichen Ressourcen der teilhabenden Entitäten gebündelt und Synergieeffekte erzielt, um wirtschaftlich, flexibel und richtlinienkonform am Energiemarkt teilzunehmen.

Fallbeispiel: Next Kraftwerke GmbH

Das Geschäftsmodell der *Shareconomy* wird durch die Next Kraftwerke GmbH in Form eines virtuellen Kraftwerks umgesetzt. Der sogenannte Next Pool umfasst dezentrale Energieerzeugende und Verbrauchende in Europa an sieben verschiedenen Standorten. Die eingeschlossene Leistung umfasst über 7,1 TW aufgeteilt auf über 8.000 Anlagen.

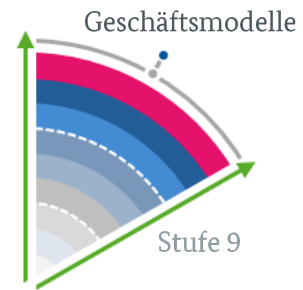
Die Teilnehmenden sind über abgesicherte Datenübertragungen an ein zentralisiertes Leitsystem angebunden. Somit können aktuelle Informationen über Anlagenverfügbarkeit und Energienetzdaten dem Leitsystem mitgeteilt werden, das wiederum nach Auswertung sämtlicher Daten Steuerungsbefehle übermittelt. Der Zusammenschluss ermöglicht kleineren oder planungsunsicheren Energiequellen, wie etwa erneuerbaren Energien, am Energiemarkt teilzunehmen. Der Mehrwert entsteht vorwiegend durch die flexible Orchestrierung der Teilnehmenden, welche die Ausnutzung günstiger Strompreise und schnelle Regelungen durch direkte Steuerung kleinerer Teilnehmenden ermöglicht. Bei einer Einführung von Smart Metern wird auch Privatanbietenden ermöglicht, sich als Verbrauchende dem Verbund anzuschließen und das Informationssystem zur Reduzierung der eigenen Kosten nutzen zu können.

4.6.3 Technologie- und Trendsteckbriefe

Im Folgenden werden die Steckbriefe für das Technologiefeld *Vernetzung* vorgestellt.

Technologie

Infrastructure as a Service (IaaS)



In a nutshell

Infrastructure as a Service (IaaS) ist eine Dienstleistung, die der Kundschaft Zugang zu den Ressourcen eines virtuellen Rechenzentrums ermöglicht (s. Belbergui et al. 2019, S. 21). Ein solches Rechenzentrum besteht unter anderem aus *Servern, Routern, und Firewalls* (s. Belbergui et al. 2019, S. 21). *IaaS* ist eine der drei Kategorien des *Cloud Computing* und stellt der nutzenden Person hochwertige Programmierschnittstellen (APIs) zur Verfügung (s. Berrezzouq et al. 2019, S. 60). Dies führt dazu, dass die nutzende Person keine eigene IT-Infrastruktur verwalten muss, sondern diese stattdessen anmietet (s. Naji et al. 2019, S. 267).

Anwendungen

Mit Hilfe von *IaaS* können Daten auf einer externen *Cloud* gespeichert, verarbeitet und bereitgestellt werden. Dies wird unter anderem in der *Video-on-Demand*-Branche genutzt. So werden z.B. Netflix-Filme in der *Amazon Web Services Cloud* gespeichert und bedarfsgerecht abgerufen (s. AWS 2020). Ein solcher Cloud-Service dient auch der Datenarchivierung für Unternehmen. Dabei stellen Anbieter flexibel Speicherplatz in der *Cloud* zur Verfügung und rechnen diese Leistung anhand der gespeicherten Terabyte pro Monat ab (s. AWS 2020). Neben reinen Speicheranwendungen wird ebenso Rechenkapazität, etwa provisionierte Prozessoren, für die Datenverarbeitung in einem zentralen Rechenzentrum bereitgestellt, die innerhalb weniger Minuten einsatzbereit sind (s. IBM 2020).

Potenziale

Die Potenziale für Nutzende von *IaaS*-Dienstleistungen liegen in der Verringerung der Beschaffungsausgaben und der Steigerung der Flexibilität der Infrastruktur (s. Belbergui et al. 2019, S. 21). Statt der Investition und dem Betrieb der Infrastruktur wird diese nach Bedarf angemietet und konfiguriert. Außerdem kann die Energieeffizienz durch eine optimale Serverauslastung auf Seiten des *IaaS*-Dienstleistenden verbessert werden (s. Naji et al. 2019, S. 267). Dies wird erreicht durch die Virtualisierung von Speichern, der Konsolidierung nichtbenötigter Infrastruktur, Energieeffizienz-Maßnahmen, die sich häufig erst in großen Rechenparks lohnen sowie durch Anreize zur Infrastrukturnutzung außerhalb von Stoßzeiten.

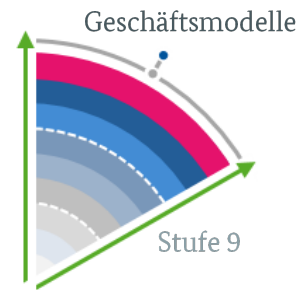
Herausforderungen

Aufgrund der Bereitstellung der Infrastruktur über die *Cloud* erfordert *IaaS* eine schnelle und stabile Internetverbindung (s. Belbergui et al. 2019, S. 21). Auch ein gutes IT-Teammanagement sowie anforderungsbedingte IT-Expertise bei der Kundschaft ist erforderlich, um die benötigte Infrastruktur passend zu konfigurieren und an bestehende Betriebssysteme anzupassen (s. Belbergui et al. 2019, S. 21). Die Auslagerung der IT-Ressourcen erhöht jedoch die Abhängigkeit zur Dienstleistung und erschwert einen eventuellen Wechsel des Dienstleistenden. Dieser ist mitunter nur unter hohem Aufwand möglich, da die verschiedenen *IaaS*-Anbietenden häufig keine standardisierten Schnittstellen zur Verfügung stellen (s. Belbergui et al. 2019, S. 21).

Technologie

Platform as a Service

(PaaS)



In a nutshell

Platform as a Service (PaaS) ist ein Bestandteil des *Cloud-Computings* und beschreibt eine Dienstleistung, bei der der Kundschaft eine virtuelle Plattform über das Internet bereitgestellt wird (s. Berrezzouq et al. 2019, S. 60; Belbergui et al. 2019, S. 22). Auf einer solchen Plattform erhält die nutzende Person Werkzeuge zu der Entwicklung, dem Angebot und dem Vertrieb eigener Anwendungen und Services (s. Belbergui et al. 2019, S. 22). Die Kundschaft von *PaaS* sind zumeist Softwareanwendungen entwickelnde Personen (s. Naji et al. 2019, S. 267).

Anwendungen

Ein Beispiel einer *PaaS*-Anwendung ist die „*Google App Engine*“, die zur Entwicklung und Bereitstellung von Web-Services genutzt wird (s. Naji et al. 2019, S. 267). Mit deren Hilfe können Entwickelnde eigene Anwendungen programmieren, ohne die notwendige Komponenten, wie z. B. Server, Entwicklungs-Tools und Testumgebung, selbst bereitzustellen. *PaaS* wird somit auch als Softwareentwicklungs-Plattform in der Automobilindustrie verwendet (s. Microsoft Azure 2020). Eine solche Plattform stellt Werkzeuge wie Java und Docker-Container bereit, mit deren Hilfe Fahrzeug-Software entwickelt wird. Eine weitere Anwendung ist die Durchführung von Datenanalysen mittels bereitgestellter Business-Intelligence-Tools (s. Microsoft Azure 2020). Die bei der *PaaS*-Nutzung anfallenden Daten werden mit *Data Mining* ausgewertet und für Prognosen und Entscheidungen zu Produktentwürfen genutzt.

Potenziale

Der Vorteil von *PaaS* liegt in der Vereinfachung der Entwicklung neuer Anwendungen. Dabei stellt der *PaaS*-Dienstleistende die Entwicklungsumgebung und die benötigte Infrastruktur bereit. Bei Bedarf können neue Werkzeuge oder weitere Infrastruktur flexibel ergänzt werden (s. Naji et al. 2019, S. 267). Die nutzende Person muss keine Infrastruktur verwalten, was Kosten und Komplexität reduzieren kann. Dies entlastet die nutzende Person und ermöglicht eine effizientere Entwicklung eigener Lösungen und Anwendungen (s. Microsoft Azure 2020). Mittels *PaaS* können „Pay per Use“-Modelle für die Nutzung der Plattform realisiert werden, sodass Nutzende nur die tatsächlich genutzten Ressourcen bezahlen müssen (s. Belbergui et al. 2019, S. 22).

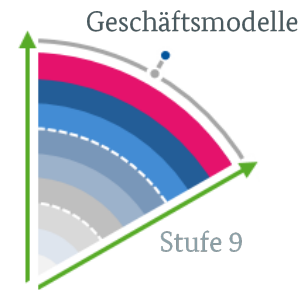
Herausforderungen

Aufgrund der Speicherung von Daten auf externen Servern besteht das Risiko des Kontrollverlusts von Anwendungen. So besteht kein Zugriff auf die Leistungen, wenn der Internetzugriff beim Anwendenden nicht gewährleistet ist (s. Belbergui et al. 2019, S. 22). Darüber hinaus verantwortet der Anbietende von *PaaS* die Sicherheitsanforderungen der Kundschaft, Datenverluste, Sicherheitsrisiken und sensible Daten abzusichern (s. Microsoft Azure 2020). Die durch das Plattformkonzept vernetzten Ressourcen erhöhen die Gefahr von Sicherheitslücken, die zu Datenmissbrauch oder Datenverlust führen können. Die Aufgabe des *PaaS*-Anbietenden, solche Sicherheitslücken zu vermeiden und zu beheben, muss von der Kundschaft kritisch evaluiert und mitigiert werden.

Technologie

Software as a Service

(SaaS)



In a nutshell

Software as a Service (SaaS) ist ein Bestandteil des *Cloud-Computings* und das höchste und umfangreichste Level der *Cloud-Services* (s. Berrezzouq et al. 2019, S. 60; Belbergui et al. 2019, S. 22). *SaaS* ist eine Dienstleistung, bei welcher die nutzende Person Zugang zu einem zentral verwalteten und verteilten Software-System erhält (s. Loukis et al. 2019, S. 38). Häufig werden *SaaS*-Dienstleistungen durch ein Abonnement angeboten, bei dem die Kundschaft eine monatliche Zahlung an den Anbietenden entrichtet (s. Loukis et al. 2019, S. 38). Außerdem erhält die nutzende Person die Möglichkeit, weitere Leistungen, wie z. B. Datenbackups, Schulungen und funktionale Upgrades, zu erwerben und zu nutzen (s. Floerecke 2018, S. 201–202)

Anwendungen

SaaS eignet sich besonders für die Bereitstellung einfacher Software-Anwendungen wie Mail- und Office-Anwendungen. In Unternehmen dient es aber zunehmend auch für komplexe Anwendungen wie ein ERP-System als On-Demand-Lösung aus der *Cloud* (s. IBM 2019). Beispielweise bietet SAP seine gesamten ERP-Software Lösungen nun auch als vollständig in der *Cloud* betriebenes *SaaS*-Produkt an. *SaaS* bietet spezieller auch Lösungen für Kollaborationsumgebungen zur Entwicklung neuer Softwareanwendungen bei verteilten Entwicklungsteams (s. Microsoft Azure 2020b). Dadurch erhalten Software-Entwickelnde Zugriff auf Unternehmensnetzwerke und können gleichzeitig an neuen Lösungen arbeiten.

Potenziale

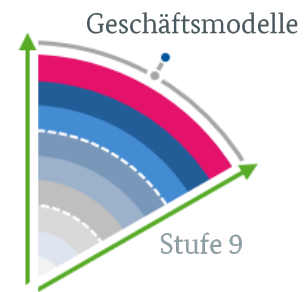
Potenziale von *Software as a Service* liegen insbesondere in einer Kostenreduktion und einer Verbesserung der Datensicherheit. Kosteneinsparungen werden aufgrund von Skaleneffekten realisiert, welche die spezialisierten Software-Dienstleistende aufweisen. Durch eine Bündelung der IT-Infrastruktur in zentralen Rechenparks sinkt der finanzielle Aufwand beim Einkauf der Infrastruktur und beim Betrieb der Rechenzentren (s. Loukis et al. 2019, S. 41–42). Auch die Datensicherheit sowie Betriebseffizienz können durch spezialisierte Anbietende, welche die Sicherheit laufend überwachen und Sicherheitsupdates umgehend ausrollen, verbessert werden (s. Rath et al. 2019, S. 1). Insbesondere für Unternehmen des Mittelstands, die nur begrenzte IT-Kompetenzen besitzen, kann sich ein Umstieg auf *SaaS* lohnen. Ein weiterer Vorteil besteht in der einfachen Integration und guten Skalierbarkeit. Wird ein erweiterter Leistungsumfang benötigt, kann dieser flexibel nachbestellt werden (s. Naji et al. 2019, S. 266).

Herausforderungen

Ein Problem der *SaaS*-Lösungen sind die hohen Wechselbarrieren zwischen Anbietenden aufgrund geschlossener Systeme und fehlender standardisierter Schnittstellen (Lock-in-Effekt) (s. Kroker 2020). Der Ersatz eines umfassenden *SaaS*-Produktes erfordert einen erhöhten Mehraufwand, der Kundschaft an den Anbietenden bindet. Zusätzlich bedarf *SaaS* einer Evaluation der Datensicherheit und des Datenschutzes. Oftmals besteht durch die Nutzung die Gefahr des Verlusts der Datenhoheit und eines möglichen Datenzugriffs ausländischer Regierungen, z. B. durch den amerikanischen Cloud-Act (s. Krcmar 2015, S. 213; Kroker 2020; Rutherford 2019, S. 1178).

Trend

Shareconomy



In a nutshell

Shareconomy, auch bekannt als *Shared Economy* oder *Sharing Economy*, ist ein wirtschaftliches Konzept, das durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht wird und auf der geteilten Nutzung digitaler Inhalte, physischer Güter oder der Teilnahme an kommerziellen, kulturellen oder sozialen Projekten basiert. So kann der Zugang zu ungenutzten, kapitalintensiven Investitionsgütern erleichtert werden (s. Ellwein et al. 2018; Kraus und Giselbrecht 2015, S. 80–82).

Anwendungen

Anwendungen der *Shareconomy* lassen sich in verschiedenen Branchen finden. Dabei lassen sich die Anwendungsbereiche in das Teilen von physischen Gütern wie Produktionsressourcen, Autos (Carsharing), E-Scooter oder Immobilien (Homesharing) und in das Teilen von digitalen Inhalten wie Software, Services, Informationen oder anderen immateriellen Gütern aufteilen (s. Ellwein et al. 2018; Kraus und Giselbrecht 2015, S. 80–82). Auch die gemeinschaftliche Finanzierung von Projekten (bspw. durch Crowdfinanzierung) reiht sich in das Konzept der *Shareconomy* ein (s. Kraus und Giselbrecht 2015, S. 80–82).

Potenziale

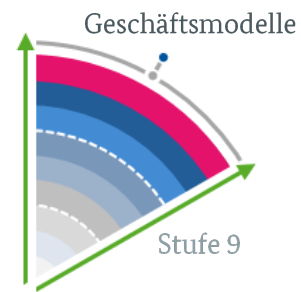
Die Verwendung von *Shareconomy*-Konzepten bietet geringe Einstiegskosten für neue Nutzende und Möglichkeiten, um aus privatem Eigentum ein Einkommen zu erzielen (s. Querbes 2018, S. 633). Außerdem stellt *Shareconomy* eine Chance zur Reduzierung der Leerlaufzeiten von Produktionsressourcen und Auslastungssteigerung durch Teilen von wenig genutzten Produktionsmaschinen dar (s. Ellwein et al. 2018). In ökologischer Hinsicht trägt das gemeinsame Benutzen von wenig beanspruchten Gütern zum Umweltschutz und der Steigerung der Nachhaltigkeit bei (s. Cui et al. 2019, S. 2).

Herausforderungen

Der unkontrollierte Umgang mit Sachgütern oder der Mangel an Vertrauen in die Qualität kann in der *Shareconomy* zu Unsicherheiten führen, die durch die Anonymität zwischen Ressourcenbesitzenden und -nutzenden ausgelöst werden (s. Wang et al. 2018, S. 155; Ellwein et al. 2018). Des Weiteren birgt das Konzept von einer *Shareconomy* das Risiko einer niedrigen Transaktionsfrequenz, wenn die Kundschaft nur selten das geteilte Gut benötigen (s. Tauscher und Kietzmann 2017); somit erlitten insbesondere die Carsharing und Homesharing Branchen unter den Einschränkungen während der Corona-Pandemie im Jahr 2020 erhebliche Rückgänge der Kundschaft (s. Kords 2021; Graefe 2020). Niedrige Wechselkosten zwischen Plattformen und der Konkurrenz zu klassischen Verkaufsmodellen können außerdem eine geringe Bindung der Kundschaft zu den eigenen Plattformen bedingen. Beispielsweise stehen Unternehmen in der Carsharing-Branche nicht nur in Konkurrenz zu anderen Carsharing-Angeboten, sondern auch zum klassischen Autoverkauf (s. Tauscher und Kietzmann 2017).

Trend

Subscription Economy



In a nutshell

Ziel des Subscription-Economy-Geschäftsmodells ist es nicht mehr, der Kundschaft einzelne Produkte oder Services zu verkaufen. Vielmehr erhält die Kundschaft Zugang zu einer sich konstant verbessernden Leistung. Im Gegenzug tätigt die Kundschaft regelmäßige Zahlungen an das Unternehmen (s. Schuh et al. 2019, S. 1–9; Jussen 2019).

Anwendungen

Mit der *Subscription Economy* ergibt sich eine Vielzahl von neuen Servicemöglichkeiten. So kann beispielsweise Mobilität durch eine flexible Auswahl von Fahrzeugen aus einer Flotte als Service angeboten werden (s. Schuh et al. 2019, S. 1–9; Gründerszene 2019). Auch Software kann als Service angeboten werden, indem die Kundschaft Zugang zu einem ständig aktualisierten, optimierten und zentral verwalteten Software-System erhält (s. Gründerszene 2019; Krcmar 2015, S. 213). Die stetige Aktualisierung der Leistungen wird u. a. durch die Auswertung des Nutzungsverhaltens der Kundschaft ermöglicht. Aber auch der klassische Versandhandel kann durch Abo-Angebote, also die wiederkehrende, an die Kundschaft angepasste, Lieferung von Produkten, vom Subscription-Economy-Geschäftsmodell profitieren (s. Ramkumar und Woo 2018). Des Weiteren können der Zugang zu Medienbibliotheken und Rabatte auf Online-to-offline-Dienstleistungen angeboten werden (s. Gupta 2019).

Potenziale

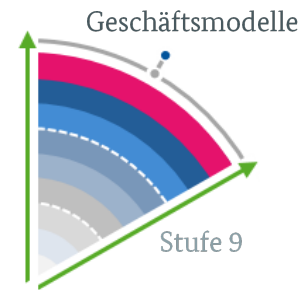
Subskriptionsmodelle sorgen für eine Angleichung der Interessen zwischen Kundschaft und Anbietenden und gehen häufig mit dem intensiven Sammeln von Daten einher wodurch Produkte und Dienstleistungen individuell und flexibel an die Bedürfnisse der Kundschaft und Wünsche angepasst werden können (s. Schuh et al. 2019, S. 1–9; Tzuo 2016). Bei einer konsequenten Umsetzung eines Subscription-Modells im Maschinen- und Anlagenbau kann außerdem durch die Nachfrageglättung über die Kundschaft die aktuell verhältnismäßig geringe Maschinenauslastung gesteigert werden, was insgesamt zu einem geringeren Ressourcenverbrauch führt (s. Schuh et al. 2020a, S. 4). Gleichzeitig ermöglicht die Flexibilität des Subscription-Modells der Kundschaft zu wachsen ohne vor großen Investitionsschwellen zu stehen (s. Schuh et al. 2020c, S. 603).

Herausforderungen

Das Leistungsangebot in der *Subscription Economy* geht über das bloße Produkt hinaus und wird für die Kundschaft komplexer. Das führt dazu, dass die Kundschaft die Preisstrukturen nur schwer durchschauen und zunächst ablehnend auf das Angebot reagieren kann (s. Schuh et al. 2019, S. 1–9). Für Unternehmen ergeben sich große Herausforderungen, denn fast jeder Aspekt ihres Leistungsangebots muss hinterfragt werden. Es ist eine grundlegende Änderung des Vertriebssystems notwendig, um von kurzfristigen Verkäufen auf den Lebenszykluswert der Kundschaft und jährlich wiederkehrende Einnahmen umzustellen (s. Schuh et al. 2019, S. 1–9). Weiterhin müssen Unternehmen eine permanente Leistungssteigerung Ihres Angebots anstreben, um die Kundschaft weiterhin im Subskriptionsmodell zu halten (s. Jussen und Frank 2019, S. 9–10).

Trend

User Designed



In a nutshell

Im Geschäftsmodell *User Designed* ist das Unternehmen nicht selbst in die Entwicklung seiner Produkte involviert (s. REMANE et al. 2017). Diese werden von der Kundschaft entworfen und vom Unternehmen beworben und vertrieben. Unternehmen profitieren dabei von Kostensenkungen in der Forschung und Entwicklung, während die Kundschaft nicht selbständig in eine Infrastruktur zur Realisierung ihrer Produkte investieren muss (s. Gassmann et al. 2017, S. 250–251).

Anwendungen

Anwendungen finden sich vorwiegend bei Produkten, die aufgrund ihrer Beschaffenheit eine individuelle Konfiguration ermöglichen oder deren Wertschöpfungsprozess auf Kreativität beruht. In der Technologiebranche findet sich ein Beispiel für ein User-Designed-Geschäftsmodell in Form von Plattformen wie App Stores, über die Dritte ihre entwickelten Anwendungen vertreiben können und folglich einen Mehrwert für das Gesamtsystem liefern. Weitere Beispiele für Anwendungen des Geschäftsmodells sind u. a. von der Kundschaft designte Lego-Modelle oder individuelle T-Shirts und Schuhe, die produziert und über die jeweiligen Online-Shops vertrieben werden. Auch Tattoo-Studios verwenden vermehrt die Designs von der Kundschaft weiter und bieten diese anderen an (s. Gassmann et al. 2017, S. 250–251).

Potenziale

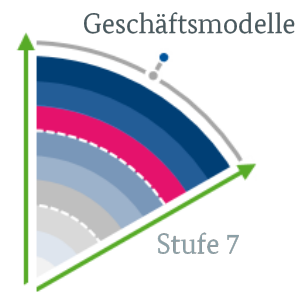
Für diese Kundschaft ergeben sich Potenziale, da diese persönlich in den vollständigen Wertschöpfungsprozess eingebunden werden kann. Er ist dann nicht mehr nur ein Konsumierender, sondern kann zugleich auch Designer/-in und Produzent/-in sein, sodass das Produkt mehr Relevanz für die Kundschaft aufweist und möglicherweise eine größere Kundschaft anspricht (s. Feldmann et al. 2019, S. 51). Dabei wird die Herstellung dieser hochindividualisierten Produkte durch Fortschritte in Technologien wie *3D-Druck*, *Lasercutten* und *CNC-Fräsen* ermöglicht (s. Gassmann et al. 2017, S. 250–251). Die vertreibenden Unternehmen erlangen durch dieses Geschäftsmodell nicht nur eine erhöhte Nähe zur Kundschaft, sondern erweitern kostengünstig ihren Kreis an Entwickelnden und schaffen so das Potenzial für neue Innovationen (s. Gassmann et al. 2017, S. 250–251).

Herausforderungen

Die Qualität des Produkts muss sichergestellt werden, die aufgrund des ausgelagerten Entwicklungsprozesses nicht immer den Standards des Unternehmens genügt (s. Gómez et al. 2018, S. 81). Im Falle eines App Stores kann dies etwa bedeuten, dass das Unternehmen die angebotenen Anwendungen zusätzlich auf Malware überprüfen muss. Zudem muss das Unternehmen kulturelle Unterschiede bei der Akzeptanz der Kundschaft von Produkten beachten (s. Song et al. 2017, S. 7–16). Gerade auf dem Weltmarkt ist es nicht einfach, einheitliche Produkte für alle Interessierten zu entwickeln und so können Produkte eventuell nur für bestimmte Länder angeboten werden. Eine Schwierigkeit besteht dazu noch beim Vertrieb von Luxusgütern, da Konsumierende im Luxussegment oftmals weniger Vertrauen in von anderer Kundschaft entwickelte Produkte haben (s. Song et al. 2017, S. 7–16).

Trend

Circular Economy



In a nutshell

Unter *Circular Economy* wird eine restaurative und regenerative Wirtschaftsform verstanden, die darauf abzielt, stets den höchsten Nutzen und Wert von Produkten, Komponenten und Materialien zu erhalten (s. Rajput und Singh 2020, S. 1). Es wird zwischen biologischen und technischen Kreisläufen unterschieden, wobei sich Unternehmen bei technischen Kreisläufen darauf fokussieren, ihre Geschäftsmodelle resilient auf die zunehmende Ressourcenknappheit vorzubereiten (s. Kristoffersen et al. 2020, S. 1). Dabei soll der Schwerpunkt des Geschäftsmodells vom reinen Verkauf der Produkte zu einer umweltschonenden Kombination aus Produkten und Dienstleistungen verschoben werden, in der Ressourcen mehrfach in den Produktionskreislauf integriert werden (s. Rajput und Singh 2020, S. 1–2).

Anwendungen

Das Konzept des *IoT* kann zur Informationsgenerierung im Sinne der *Circular Economy* genutzt werden und verschiedene Akteure der Wertschöpfungskette durch dynamische Regelkreise miteinander verbinden (s. Ranta et al. 2021, S. 4–5). Die *Circular Economy* wird weiterhin durch die Möglichkeiten der Datenverarbeitung und die Zunahme von Datenerfassungskapazitäten befähigt. Erhöhte Datenmengen und Datenqualität aus den betrieblichen Informationssystemen erleichtern die Entscheidungsfindung im Kontext der *Circular Economy* deutlich. Anwendungen werden bspw. bei der Wiederverwendung von Ersatzteilen und der Wiederaufbereitung von Motoren in der Automobilbranche untersucht (s. Pagoropoulos et al. 2017, 21–23).

Potenziale

Bei der zielgerichteten Umsetzung der *Circular Economy* verspricht der Einsatz digitaler Technologien großes Potenzial (s. Bjørnbet et al. 2021, S. 7–9). Die Einführung einer weniger linearen und stärker zirkulär geprägten Wirtschaftsform ist auf die Integration digitaler Technologien angewiesen. So können digitale Technologien durch das Verbinden der End-of-Life-Phase und der Produktion den Materialkreislauf schließen (s. Mao et al. 2018, S. 232–235). Auch lassen sich Materialien auf diese Weise in aufeinanderfolgenden Produktionszyklen wiederverwenden und so Abfälle und Ausschüsse auf ein Minimum reduzieren. Somit ergibt sich eine Zukunftsperspektive, die sich auf die Wiederherstellung des Wertes der verwendeten Ressource konzentriert und dadurch erheblich zum nachhaltigen Wirtschaften beitragen kann (s. Ghosh 2020, S. 2–4).

Herausforderungen

Das Gelingen einer zirkulären Wirtschaftsform hängt stark vom Reifegrad der unterstützenden digitalen Technologien ab (s. Rajput und Singh 2020, S. 13–16). Neben den technischen Voraussetzungen sind aber auch politische und gesellschaftliche Anpassungen notwendig. Die Politik kann Unternehmen dabei mit wirtschaftlichen Anreizen und Rahmenbedingungen unterstützen. Aus gesellschaftlicher Perspektive ist eine höhere Durchdringung und Akzeptanz zirkulärer Wirtschaftsformen notwendig (s. Reichel 2019, S. 109–110).

5 Fazit

Die Messung der Digitalisierung der deutschen Wirtschaft ist eine komplexe Aufgabe: Die Digitalisierung hat viele Facetten – von den grundsätzlichen technologischen Möglichkeiten und Varianten, über die Konzeption und Organisation digitaler Landschaften, bis hin zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Neuerungen und Veränderungen. Nicht alle sind in Bezug auf die Messung relevant, nicht alle haben den gleichen Erklärungsgehalt, nicht alle Facetten sind überhaupt messbar. Vor diesem Hintergrund hat das Team des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort in Deutschland“ erste Schritte der Identifikation, Strukturierung und Erfassung der verschiedenen Aspekte der Digitalisierung aus Sicht der deutschen Wirtschaft unternommen. Diese Studie behandelt mit dem Technologie- und Trendradar einen Kernpunkt des ersten Arbeitspakets im Projekt.

Mit dem Technologie- und Trendradar liegt eine Studie vor, die Steckbriefe der betrachteten Trends und Technologien umfasst. Insgesamt wurden durch die Informationsbeschaffung 218 Trends und Technologien identifiziert, die eine generelle Auswirkung auf die Digitalisierung der deutschen Wirtschaft haben oder voraussichtlich haben werden; 34 weitere wurden im Rahmen der aktuellen Überarbeitung betrachtet. Hiervon werden 46 Trends und Technologien mit einer höheren Relevanz bewertet; mit der Überarbeitung 2021 wurden 14 weitere aufgenommen. Die Ergebnisse werden in standardisierten Technologiesteckbriefen festgehalten. Diese beinhalten neben der Kurzbeschreibung der jeweiligen Technologie die Reifegradeinordnung, Anwendungsbeispiele in diversen Branchen sowie damit einhergehende Potenziale und aktuelle Hindernisse der Implementierung in der deutschen Wirtschaft. Insbesondere technische Implikationen mit weiteren Trends und Technologien werden durch die anwendungsfallbasierte Recherche für branchenspezifische Einsatzzwecke transparent.

Im weiteren Projektverlauf finden jährlich Aktualisierungen des Technologie- und Trendradars statt. Jene beinhalten nicht nur Überarbeitungen, die Entwicklungen der vorgestellten Technologien hinsichtlich ihrer Einstufung im spezifischen Reifegrad festhalten. Mit weiteren Neuheiten und Innovationen in der Digitalisierung werden in den kommenden Jahren auch neue gänzlich neue Trends und Technologien betrachtet und in die Studie eingepflegt. Somit dient diese als stets aktuelle Informationsquelle zum Technologiestand in der Wirtschaft.

6 Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- A. Wahaballa; O. Wahballa; M. Abdellatif; H. Xiong; Z. Qin (2015): Toward unified DevOps model. In: IEEE und M. Surendra Prasad Babu (Hg.): 2015 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS) // 5th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2014. 27-29 June 2014, China Hall of Science and Technology, Beijing, China ; proceedings. Piscataway, NJ: IEEE, S. 211–214.
- Adame, Toni; Carrascosa, Marc; Bellalta, Boris (2019): Time-Sensitive Networking in IEEE 802.11be: On the Way to Low-latency WiFi 7. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1912.06086v2>.
- Agrawal, P.; Rawat, N. (2019): Devops, A New Approach To Cloud Development & Testing. In: IEEE (Hg.): 2019 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT). 2019 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT): IEEE (1), S. 1–4.
- Ahmadi, Ahmadzai; Cherifi, Chantal; Cheuet, Vincent; Ouzrout, Yacine (2017): A review of CPS 5 components architecture for manufacturing based on standards. In: IEEE (Hg.): 2017 11th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA). Malabe, 06.12.2017 - 08.12.2017: IEEE, S. 1–6.
- Ahmed, Razi; Faizan, Muhammad; Anwer Irshad Burney (2019 - 2019): Process Mining in Data Science: A Literature Review. In: IEEE (Hg.): 2019 13th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS). 2019 13th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS). Karachi, Pakistan, 14.12.2019 - 15.12.2019: IEEE, S. 1–9.
- Ahson, Syed (Hg.) (2008): RFID handbook. Applications, technology, security, and privacy. [Online-ausg.]. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Aichele, Christian; Schönberger, Marius (2016): E-Business. In: Christian Aichele und Marius Schönberger (Hg.): E-Business, Bd. 45. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 1–34.
- AIMultiple (2021): Conversational User Interfaces: In-depth Guide [2021 update]. Online verfügbar unter <https://research.aimultiple.com/conversational-ui/>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2021, zuletzt geprüft am 06.07.2021.
- Akhtar, Muhammad Waseem; Hassan, Syed Ali; Ghaffar, Rizwan; Jung, Haejoon; Garg, Sahil; Hossain, M. Shamim (2020): The shift to 6G communications: vision and requirements. In: *Hum. Cent. Comput. Inf. Sci.* 10 (1). DOI: 10.1186/s13673-020-00258-2.
- Anukool, Waranont; Lim, Jongseok; Song, Yunheung; Ahn, Jaewook (2018): Quantum Computing Systems: A Brief Overview. In: *J. Korean Phys. Soc.* 73 (6), S. 841–845.
- Ardiny, Hadi; Khanmirza, Esmaeel (2018): The Role of AR and VR Technologies in Education Developments: Opportunities and Challenges. In: IEEE Staff (Hg.): 2018 6th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (IcRoM). Piscataway: IEEE, S. 482–487.
- Arif Wani, M.; Kantardzic, Mehmed; Sayed-Mouchaweh, Moamar (2020): Trends in Deep Learning Applications. In: Kantardzic et al. Wani (Hg.): Deep Learning Applications, Bd. 1098. Singapore: Springer, S. 1–7.
- Arnold S. Berger (2020): Systems on a chip. In: Debugging Embedded and Real-Time Systems, S. 171–187. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/343184844_Systems_on_a_chip.

- Ashok, Asokan (2021): Low-Code And No-Code In 2021: Are They As Useful As They Seem? In: *Forbes*, 13.05.2021. Online verfügbar unter <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/05/13/low-code-and-no-code-in-2021-are-they-as-useful-as-they-seem/>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Avram, M. G. (2014): Advantages and Challenges of Adopting Cloud Computing from an Enterprise Perspective. In: *Procedia Technology* 12 (0), S. 529–534. DOI: 10.1016/j.protcy.2013.12.525.
- AWS (2019): Was ist DevOps? Hg. v. Amazon Web Services (AWS). Online verfügbar unter <https://aws.amazon.com/de/devops/what-is-devops/>, zuletzt aktualisiert am 20.12.2019, zuletzt geprüft am 16.04.2020.
- AWS (2020): Netflix auf AWS. Hg. v. Amazon Web Services. Online verfügbar unter https://aws.amazon.com/de/solutions/case-studies/netflix/?trk=ec2_landing, zuletzt geprüft am 25.03.2020.
- AWS2 (2020): Datenarchivierung. Hg. v. Amazon Web Service. Online verfügbar unter https://aws.amazon.com/de/archive/?nc2=h_ql_sol_use_ar, zuletzt geprüft am 25.03.2020.
- Badkilaya, Srinivas K.; Bhat, Hari Prasad (2020): The Need for a System to Benefit the Implementation of Digital Twin, by Helping Visualize the Virtual Dynamics Remotely. In: Michael E. Auer und Kalyan Ram B. (Hg.): *Cyber-physical Systems and Digital Twins*, Bd. 80. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Networks and Systems), S. 38–50.
- Balakrishnan, Janarthanan; Dwivedi, Yogesh K. (2021): Conversational commerce: entering the next stage of AI-powered digital assistants. In: *Ann Oper Res*. DOI: 10.1007/s10479-021-04049-5.
- Balas, Valentina E.; Solanki, Vijender Kumar; Kumar, Raghvendra; Khari, Manju (2019): *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation*. Cham: Springer International Publishing (154).
- Bauernhansl, Thomas; Krüger, Jörg; Reinhart, Gunther; Schuh, Günther (2016): *WGP-Standpunkt Industrie 4.0*. Hg. v. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e.V. Darmstadt.
- Bechmann, Dominique; Chessa, Manuela; Cláudio, Ana Paula; Imai, Francisco; Kerren, Andreas; Richard, Paul et al. (Hg.) (2019): *Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*. Cham: Springer International Publishing (997), zuletzt geprüft am 26.02.2020.
- Belbergui, Chaimaa; Elkamoun, Najib; Hilal, Rachid (2019): Cloud Computing: Overview and Risk Identification Based on Classification by Type. In: Mostapha Zbakh, Mohammed Essaaidi, Pierre Manneback und Chunming Rong (Hg.): *Cloud Computing and Big Data: Technologies, Applications and Security*. Cham, 2019. Cham: Springer International Publishing, S. 19–34.
- Benedict, Gayan (2019): Challenges of DLT-enabled Scalable Governance and the Role of Standards. In: *JICTS* 7, 2019 (3), S. 195–208.
- Bengler, Klaus; Dietmayer, Klaus; Farber, Berthold; Maurer, Markus; Stiller, Christoph; Winner, Hermann (2014): Three Decades of Driver Assistance Systems: Review and Future Perspectives. In: *IEEE Intell. Transport. Syst. Mag.* 6 (4), S. 6–22. DOI: 10.1109/MITS.2014.2336271.
- Berreis, Thomas; Kuhn, Michael (2016): *Virtualisierung und Containerisierung*. Seminar "Neueste Trends im Hochleistungsrechnen". Online verfügbar unter https://hps.vi4io.org/_media/teaching/wintersemester_2015_2016/nthr-1516-berreis-virtualization_and_containerization-ausarbeitung.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Berrezzouq, Maryem; El Ghazi, Abdellatif; Abdelali, Zineelabidine (2019): Issues and Threats of Cloud Data Storage. In: Mostapha Zbakh, Mohammed Essaaidi, Pierre Manneback und Chunming Rong (Hg.): *Cloud Computing and Big Data: Technologies, Applications and Security*. Cham, 2019. Cham: Springer International Publishing, S. 60–72.

- Beyerer, Jürgen; Kühnert, Christian; Niggemann, Oliver (2019): Machine Learning for Cyber Physical Systems. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (9).
- Bhat, Manjunath; Harvey, Tony (2021): Top Strategic Technology Trends for 2021: Anywhere Operations. Hg. v. Inc. Gartner. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/en/doc/740658-top-strategic-technology-trends-for-2021-anywhere-operations>.
- Bisdikian, C. (2001): An overview of the Bluetooth wireless technology. In: *IEEE Commun. Mag.* 39 (12), S. 86–94. DOI: 10.1109/35.968817.
- Biswas, Dipon K.; Sinclair, Melissa; Hyde, Joshua; Mahbub, Ifana (2018 - 2018): An NFC (near-field communication) based wireless power transfer system design with miniaturized receiver coil for optogenetic implants. In: IEEE (Hg.): 2018 Texas Symposium on Wireless and Microwave Circuits and Systems (WMCS). Waco, TX, 05.04.2018 - 06.04.2018: IEEE, S. 1–5.
- Bjørnbet, Marit Moe; Skaar, Christofer; Fet, Annik Magerholm; Schulte, Kjersti Øverbø (2021): Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature. In: *Journal of Cleaner Production* 294, S. 126268. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126268.
- Bleck, Stefan (2004): Entwicklung einer Methodik zur integrierten Planung von Informationstechnologie-Einsatz und intermediären Informationsdienstleistungen im elektronischen Geschäftsverkehr. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2004. Aachen: Shaker (Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, 72).
- BMBF (2020): Zu gefährlich für Menschen? – Autonome Roboter helfen! - BMBF. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/zu-gefaehrlich-fuer-menschen---autonome-roboter-helfen-8953.html>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2021, zuletzt geprüft am 18.06.2021.
- Böcker, Stefan; Arendt, Christian; Wietfeld, Christian (2017): On the suitability of Bluetooth 5 for the Internet of Things: Performance and scalability analysis. In: IEEE (Hg.): 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). Montreal, QC, 2017: IEEE, S. 1–7.
- Božanić, Mladen; Sinha, Saurabh (2021): Mobile Communication Networks: 5G and a Vision of 6G. Cham: Springer International Publishing (751).
- Brandtzaeg, Petter Bae; Følstad, Asbjørn (2017): Why People Use Chatbots. In: Ioannis Kompatsiaris, Jonathan Cave, Anna Satsiou, Georg Carle, Antonella Passani, Efstratios Kontopoulos et al. (Hg.): Internet Science. Cham, 2017. Cham: Springer International Publishing, S. 377–392.
- Brauckmüller, Tim; Gutt, Eike; Kensy, Frank; Riewe, Janine; Westermann, Kai (2017): 5G. Aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen und Potenziale für den Zugang zu kommunaler Infrastruktur. Hg. v. Hessisches Ministerium für Wirtschaft Energie, Verkehr und Landesentwicklung. Online verfügbar unter https://www.breitband-in-hessen.de/mm/5G_Studie_final.pdf, zuletzt geprüft am 17.02.2020.
- Britt Holbrook, J. (2019): Open Science, Open Access, and the Democratization of Knowledge. Philosopher's Corner. In: *Science and Technology* 35 (3), S. 26–28. Online verfügbar unter <https://issues.org/wp-content/uploads/2019/06/Holbrook-Philosophers-Corner-SP19-ISSUES-26-28.pdf>.
- Broll, Christine (2019): Wenn das Plättchen im Herzschlag pulsiert. Fraunhofer IGB. Fraunhofer. Das Magazin.
- Brühl, Volker (2017): Bitcoins, Blockchain und Distributed Ledgers. In: *Wirtschaftsdienst* 97, 2017 (2), S. 135–142.
- Bruns, N.; Krettek, C. (2019): 3D-Druck in der Unfallchirurgie : Planung, Druck und Aufbereitung. In: *Der Unfallchirurg* 122 (4), S. 270–277. DOI: 10.1007/s00113-019-0625-9.

- Buchkremer, Rüdiger; Heupel, Thomas; Koch, Oliver (Hg.) (2020): Künstliche Intelligenz in Wirtschaft & Gesellschaft. Auswirkungen, Herausforderungen & Handlungsempfehlungen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Gabler (FOM-Edition, FOM Hochschule für Oekonomie & Management).
- Budzinski, Oliver (2016): Aktuelle Herausforderungen der Wettbewerbspolitik durch Marktplätze im Internet. Hg. v. Technische Universität Ilmenau. Institut für Volkswirtschaftslehre. Ilmenau. Online verfügbar unter https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2842216, zuletzt geprüft am 31.08.2020.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): 5G-Strategie für Deutschland. Eine Offensive für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für 5G-Netze und -Anwendungen. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/098-dobrindt-5g-strategie.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW) (Hg.) (2017): Sensor, Tablet, RFID: Digitale Technologien in der Produktion. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/digitale-technologien-in-der-produktion.pdf?__blob=publicationFile&v=13, zuletzt geprüft am 25.08.2020.
- Burggraf, Peter; Dannapfel, Matthias; Bertling, Matthias; Xu, Tingni (2018): Return on CPS (RoCPS): An Evaluation Model to Assess the Cost Effectiveness of Cyber-Physical Systems for Small and Medium-Sized Enterprises. In: 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). Honolulu, HI, 19.08.2018 - 23.08.2018: IEEE, S. 1–9.
- Burtchett, Nicole (2018): Political Norms and their impact on the security and value alignment of artificial intelligence, zuletzt geprüft am 18.04.2020.
- Buxbaum, Hans-Jürgen (2020): Mensch-Roboter-Kollaboration. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Buxmann, Peter; Schmidt, Holger (Hg.) (2019): Künstliche Intelligenz. Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg. 1. Auflage 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Cao, Ran; Pu, Xianjie; Du, Xinyu; Yang, Wei; Wang, Jiaona; Guo, Hengyu et al. (2018): Screen-Printed Washable Electronic Textiles as Self-Powered Touch/Gesture Tribo-Sensors for Intelligent Human-Machine Interaction. In: *ACS nano* 12 (6), S. 5190–5196. DOI: 10.1021/acsnano.8b02477.
- Cearley, David; Nick Jones; David Smith; Brian Burke; Arun Chandrasekaran; CK Lu (2019): Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. Hg. v. Inc. Gartner. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/>, zuletzt geprüft am 25.08.2020.
- Chadha, Neha; Gangwar, R. C.; Bedi, Rajeev (2015): Current Challenges and Application of Speech Recognition Process using Natural Language Processing: A Survey. In: *International Journal of Computer Applications* 131 (11), S. 28–31.
- Chen, Yan; Bellavitis, Cristiano (2020): Blockchain disruption and decentralized finance: The rise of decentralized business models. In: *Journal of Business Venturing Insights* 13, e00151. DOI: 10.1016/j.jbvi.2019.e00151.
- Chiaraviglio, Luca; Bianchi, Giuseppe; Blefari-Melazzi, Nicola; Fiore, Marco (2019): Will the Proliferation of 5G Base Stations Increase the Radio-Frequency "Pollution"? Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1912.00902v5>, zuletzt geprüft am 17.03.2020.

- Chui, Michael; Manyika, James; Miremadi, Mehdi (2018): Notes from the AI Frontier. Insights from hundres of Use Cases. Hg. v. McKinsey Global Institute.
- Cisco (2020): IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi. Technical white paper. Online verfügbar unter <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.pdf>.
- Clarke, Bertrand; Fokoue, Ernest; Zhang, Hao Helen; Hahn, Tim; Ebner-Priemer, Ulrich; Meyer-Lindenberg, Andreas (2018): Transparent Artificial Intelligence. A Conceptual Framework for Evaluating AI-based Clinical Decision Support Systems. Online verfügbar unter <https://ssrn.com/abstract=3303123>, zuletzt geprüft am 19.04.2020.
- Cláudio, Ana Paula; Bouatouch, Kadi; Chessa, Manuela; Paljic, Alexis; Kerren, Andreas; Hurter, Christophe et al. (2020): Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications. Cham: Springer International Publishing (1182), zuletzt geprüft am 27.02.2020.
- Colangelo, Eduardo; Hartleif, Silke; Kröger, Torsten; Bauernhansl, Thomas (2019): A Service-Oriented Approach for the Cognitive Factory – A Position Paper. In: IEEE (Hg.): 2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC) // The 1st International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication. ICAIIC 2019. Okinawa, Japan, February 11 (Mon.)-13 (Wed.), 2019. [Piscataway, NJ]: IEEE, S. 540–542.
- Collotta, Mario; Pau, Giovanni; Talty, Timothy; Tonguz, Ozan K. (2018): Bluetooth 5: A Concrete Step Forward toward the IoT. In: *IEEE Commun. Mag.* 56 (7), S. 125–131. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700053.
- Coors-Blankenship, Jesse (2019): Ein verbreiteter Irrtum: Topologie-Optimierung ist nicht dasselbe wie generatives Design. Online verfügbar unter <https://www.ptc.com/de/blogs/corporate/myth-dispelled-topology-optimization-is-not-true-generative-design>, zuletzt aktualisiert am 15.07.2021, zuletzt geprüft am 15.07.2021.
- Corcoles, Antonio D.; Kandala, Abhinav; Javadi-Abhari, Ali; McClure, Douglas T.; Cross, Andrew W.; Temme, Kristan et al. (2019): Challenges and Opportunities of Near-Term Quantum Computing Systems. In: *Proc. IEEE* (o. H.), S. 1–15. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2954005.
- Cui, L.; Y. Hou; M. Gao; Y. Yang (2019): Exploring the influencing factors of sharing economy sustainability based on a two-mode social network analysis. In: IEEE (Hg.): 2019 16th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). [Piscataway, New Jersey]: IEEE, S. 1–5.
- Daily, Mike; Oulasvirta, Antti; Rekimoto, Jun (2017): Technology for Human Augmentation. In: *Computer* 50 (2), S. 12–15. DOI: 10.1109/MC.2017.39.
- Dale, Robert (2016): The return of the chatbots. In: *Natural Language Engineering* 22 (5), S. 811–817. DOI: 10.1017/S1351324916000243.
- Damsaz, Mehrdad; Guo, Derek; Peil, Jeff; Stark, Wayne; Moayeri, Nader; Candell, Richard (2017): Channel modeling and performance of Zigbee radios in an industrial environment. In: 2017 IEEE 13th International Workshop 2017, S. 1–10.
- Daneshmand, Morteza; Helmi, Ahmed; Avots, Egils; Noroozi, Fatemeh; Alisanoglu, Fatih; Arslan, Hasan Sait et al. (2018): 3D Scanning: A Comprehensive Survey. In: *CoRR* abs/1801.08863 (1), S. 1–18.
- Danielsson, Oscar; Holm, Magnus; Syberfeldt, Anna (2020): Augmented reality smart glasses in industrial assembly: Current status and future challenges. In: *Journal of Industrial Information Integration* 20. DOI: 10.1016/j.jii.2020.100175.
- Deepthi Haridas (2021): Real time Compressed Video Encryption: Based on Quasigroup on System on Chip(SOC). Online verfügbar unter

https://www.researchgate.net/publication/353451197_Real_time_Compressed_Video_Encryption_Based_on_Quasigroup_on_System_on_ChipSOC.

- Demary, Vera; Rusche, Christian (2018): Zukunftsfaktor 5G: Eine ökonomische Perspektive. IW-Report, No. 45/2018. Institut der deutschen Wirtschaft (IW). Köln, zuletzt geprüft am 11.03.2020.
- Deng, Li; Liu, Yang (2018): Deep Learning in Natural Language Processing. Singapore: Springer Singapore.
- Derave, Thomas; Prince Sales, Tiago; Gailly, Frederik; Poels, Geert (2020): Defining sharing economy, marketplace and other service platform related concepts: A reference ontology approach. Department of Business Informatics and Operations Management, Ghent University.
- Desai, Nihal; Ananya, S. K.; Bajaj, Lalit; Periwal, Anupriya; Desai, Santosh R. (2020): Process Parameter Monitoring and Control Using Digital Twin. In: Michael E. Auer und Kalyan Ram B. (Hg.): Cyber-physical Systems and Digital Twins, Bd. 80. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Networks and Systems), S. 74–80.
- Deshpande, Advait; Stewart, Katherine; Lepetit, Louise; Gunashekar, Salil (2017): Distributed Ledger Technologies/Blockchain: Challenges, opportunities and the prospects for standards.
- Dhar, Payal (2020): The carbon impact of artificial intelligence. In: *Nat Mach Intell* 2 (8), S. 423–425. DOI: 10.1038/s42256-020-0219-9.
- Diekmann, Niels (2019): Haftungsfragen im Zusammenhang mit Mensch-Roboter-Interaktion.
- Dierksmeier, Claus; Seele, Peter (2018): Cryptocurrencies and Business Ethics. In: *J Bus Ethics* 152 (1), S. 1–14. DOI: 10.1007/s10551-016-3298-0.
- Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang; Grimm, Paul; Jung, Bernhard (2019): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Dorsemaine, Bruno; Gaulier, Jean-Philippe; Wary, Jean-Philippe; Kheir, Nizar; Urien, Pascal (2015): Internet of Things: A Definition & Taxonomy. In: NGMAST: The Ninth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies : proceedings. Hg. v. Khalid Al-Begain und Nidal Albeiruti. Piscataway, NJ: IEEE, S. 72–77.
- Drossel, Welf-Guntram; Ihlenfeldt, Steffen; Langer, Tino; Dumitrescu, Roman (2018): Cyber-Physische Systeme. In: Reimund Neugebauer (Hg.): Digitalisierung: Springer Berlin Heidelberg, S. 197–222.
- Duan, Kang-Kang; Cao, Shuang-Yin (2020): Emerging RFID technology in structural engineering – A review. In: *Structures* 28, S. 2404–2414. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.10.036.
- E. Sisinni; A. Saifullah; S. Han; U. Jennehag; M. Gidlund (2018): Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. In: *IEEE Trans. Ind. Inf.* 14 (11), S. 4724–4734. DOI: 10.1109/TII.2018.2852491.
- Ebert, Marina (2018): LTE und 4G: Das sind die Unterschiede. Hg. v. Inside digital. Online verfügbar unter <https://www.inside-digital.de/ratgeber/48714-mobilfunk-standards-lte-4g-5g-unterschied>, zuletzt geprüft am 20.04.2020.
- Elektronik Kompendium (2021): Virtualisierung. Was ist Virtualisierung? Hg. v. Elektronik Kompendium. Online verfügbar unter <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/1101011.htm>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2021, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Ellwein, Carsten; Schmidt, Alexander; Riedel, Oliver; Lechler, Armin (2018): Shareconomy in der Fertigungsindustrie. In: *ZWF* 113 (11), S. 775–778. DOI: 10.3139/104.112010.

- Falck, Oliver; Lindlacher, Valentin; Eschweiler, Wilhelm; Wössner, Dirk; Heinz, Michael (2019): Versteigerung der 5G-Lizenzen in Deutschland. Ein Meilenstein auf dem Weg in die digitale Zukunft? In: *ifo Schnelldienst* 72, 07.11.2019 (72), S. 3–14. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/185050/1/1040944655.pdf>, zuletzt geprüft am 17.02.2020.
- Feldmann, Carsten; Gorj, Anneliese (2017): 3D-Druck und Lean Production. Schlanke Produktionssysteme mit additiver Fertigung. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Feldmann, Carsten; Schulz, Colin; Fernströning, Sebastian (2019): Digitale Geschäftsmodell-Innovationen mit 3D-Druck. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Ferreira, Diego Stéfano Fonseca; Da Costa, Augusto Loureiro; Oliveira, Wagner Luiz Alves de; Ramirez, Alejandro Rafael Garcia (2021): System Level Design and Conception of a System-on-a-Chip (SoC) for Cognitive Robotics. In: *Robotics Software Design and Engineering [Working Title]*. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/353500216_System_Level_Design_and_Conception_of_a_System-on-a-Chip_SoC_for_Cognitive_Robotics.
- Finnigan, Evan (2019): Eye Gaze Tracking for Assistive Devices, S. 1–17. Online verfügbar unter <https://digitalassets.lib.berkeley.edu/techreports/ucb/text/EECS-2019-79.pdf>, zuletzt geprüft am 21.07.2021.
- Fiore, Dario; Thiel, Christian; Baldauf, Matthias (2020): Potenziale von Chatbots für den innerbetrieblichen IT-Support. In: *HMD* 57 (1), S. 77–88. DOI: 10.1365/s40702-019-00578-7.
- Fitzgerald, Joseph; Tilton, Brian; Swaminathan, Vijay (2018): Using 3D scanning to drive supply chain innovation. A series exploring Industry 4.0 technologies and their potential impact for enabling digital supply networks in manufacturing. Hg. v. Deloitte.
- Flamand, Olivia J.; Wisher, Aaron; Riley, Shannon (2020): Strategic Plan: Amazon. Online verfügbar unter <https://scholarworks.umt.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1330&context=utpp>, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Floerecke, Sebastian (2018): Success Factors of SaaS Providers' Business Models – An Exploratory Multiple-Case Study. In: Gerhard Satzger, Lia Patricio, Mohamed Zaki, Niklas Kühl und Peter Hottum (Hg.): *Exploring Service Science*, Bd. 331. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Business Information Processing), S. 193–207.
- Folkers, Andreas (2019): Steuerung eines autonomen Fahrzeugs durch Deep Reinforcement Learning. 1st ed. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (BestMasters).
- Ford, Simon; Despeisse, Melanie; Despeisse, Mélanie (2016): Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. In: *Journal of Cleaner Production* 137 (o. H.), S. 1573–1587. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.150.
- Franzen, Nora; van Harten, Wim H.; Retèl, Valesca P.; Loskill, Peter; van den Eijnden-van Raaij, Janny; IJzerman, Maarten (2019): Impact of organ-on-a-chip technology on pharmaceutical R&D costs. In: *Drug discovery today* 24 (9), S. 1720–1724. DOI: 10.1016/j.drudis.2019.06.003.
- Fraunhofer IPK (2017): Smarte Fabrik 4.0 – Digitaler Zwilling. Unter Mitarbeit von Fraunhofer IPK, zuletzt geprüft am 19.03.2020.
- Fuchs, Andreas (2018): Autonome Landtechnik. In: *ATZ Offhighway* 11 (2), S. 3. DOI: 10.1007/s35746-018-0023-1.
- Fumy, Walter (2017): Quantencomputer und die Zukunft der Kryptographie. In: *Datenschutz Datensich* 41 (1), S. 13–16. DOI: 10.1007/s11623-017-0717-z.

- Fuquan, Zhang (2018): The Opportunities and Challenges of Quantum Computing. In: *BJSTR* 6 (3), S. 5319–5321. DOI: 10.26717/BJSTR.2018.06.001360.
- Furini, Marco; Mirri, Silvia; Montangero, Manuela; Prandi, Catia (2020): Do Conversational Interfaces Kill Web Accessibility? In: IEEE (Hg.): 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC). 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC): IEEE, S. 1–6.
- García, Arturo S.; Fernando, Terrence; Roberts, David J.; Bar, Christian; Cencetti, Michele; Engelke, Wito; Gerndt, Andreas (2019): Collaborative virtual reality platform for visualizing space data and mission planning: Springer (78).
- Gassmann, Oliver; Frankenberger, Karolin; Csik, Michaela (2017): Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser.
- Geißler, Otto; Ostler, Ulrike (2018): Was ist ein System-on-a-Chip (SoC)? Online verfügbar unter <https://www.datacenter-insider.de/was-ist-ein-system-on-a-chip-soc-a-693472/>, zuletzt geprüft am 10.12.2020.
- Ghosh, Sadhan Kumar (2020): Circular Economy: Global Perspective. Singapore: Springer Singapore.
- Goasduff, Laurence (2019): Top Trends on the Gartner Hype Cycle for Artificial Intelligence, 2019. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-on-the-gartner-hype-cycle-for-artificial-intelligence-2019/>, zuletzt aktualisiert am 12.09.2019, zuletzt geprüft am 30.03.2020.
- Goldhausen, Kevin (2018): Customer Experience Management – Der Weg ist das Ziel. In: Andreas Rusnjak und Daniel Schallmo (Hg.): Customer Experience im Zeitalter des Kunden. Best Practices, Lessons Learned und Forschungsergebnisse. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 41–94.
- Gómez, María; Adams, Bram; Maalej, Walid; Monperrus, Martin; Rouvoy, Romain (2018): App Store 2.0: From Crowd Information to Actionable Feedback in Mobile Ecosystems. In: *IEEE Softw.* 34, 02.07.2018 (2), S. 81–89.
- Graefe, Lena (2020): Airbnb-Buchungen nach Wachstumsrate in ausgewählten Städten in Deutschland in 2020. Hg. v. Statista. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1154991/umfrage/airbnb-buchungen-in-deutschland-wachstumsrate/>.
- Gray, Ian; Audsley, Neil C. (2012): Challenges in software development for multicore System-on-Chip development. In: *Rapid System Prototyping (RSP), 2012 23rd IEEE International Symposium on*, S. 115–121. DOI: 10.1109/RSP.2012.6380699.
- Greenberg, Pierce; Bugden, Dylan (2019): Energy consumption boomtowns in the United States: Community responses to a cryptocurrency boom. In: *Energy Research & Social Science* 50, S. 162–167. DOI: 10.1016/j.erss.2018.12.005.
- Griffor, Edward R.; Greer, Chris; Wollman, David A.; Burns, Martin J.; Keerthi, Ch. Krishna; Jabbar, M. A.; Seetharamulu, B. (2017 December 14-16): Cyber Physical Systems (CPS): Security Issues, Challenges and Solutions. In: N. Krishnan und M. Karthikeyan (Hg.): 2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research. Coimbatore, India, 2017 December 14-16. Piscataway, NJ: IEEE, S. 1–4.
- Groggert, S.; Wenking, M.; Schmitt, R. H.; Friedli, T. (2017): Status quo and future potential of manufacturing data analytics – An empirical study. In: 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Singapore, 10/12/2017 - 13/12/2017: IEEE, S. 779–783, zuletzt geprüft am 2021.

- Grün, Frank-oliver (2020): Funkstandard im Fadenkreuz: Was ist eigentlich Thread? In: *DIGITAL-ROOM GmbH*, 14.11.2020. Online verfügbar unter <https://www.digitalzimmer.de/artikel/wissen/funkstandard-im-fadenkreuz-was-ist-eigentlich-thread/>, zuletzt geprüft am 08.07.2021.
- Gründerszene (Hg.) (2019): Subscription Economy: So abonnieren Unternehmen den Erfolg. Unter Mitarbeit von Ingo Hentschel. Online verfügbar unter <https://www.gruenderszene.de/business/subscription-economy-erfolg-geschaeftsmodell-nexnet-2019-11288>, zuletzt aktualisiert am 19.02.2019.
- GS1 Germany GmbH (2018): Technologieradar 2018. Frühwarnsystem für die Konsumgüterwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.gs1-germany.de/fileadmin/gs1/basis_informationen/trendradar2018.pdf, zuletzt aktualisiert am 07.2018, zuletzt geprüft am 03.02.2020.
- Guarda, Teresa; Leon, Marcelo; Augusto, Maria Fernanda; Haz, Lidice; La Cruz, Mariuxi de; Orozco, Walter; Alvarez, Jorge (2017): Internet of Things challenges. In: IEEE (Hg.): 2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Bd. 2017. Lissabon, Portugal, 21-24 Juni. IEEE. Piscataway: IEEE, S. 1–4.
- Gupta, Saurabh (2019): Signing up to the subscription economy. The race for recurring revenue in Asia Pacific. Online verfügbar unter <https://www.citibank.com/tts/insights/articles/article81.html>, zuletzt geprüft am 09.04.2020.
- HaddadPajouh, Hamed; Khayami, Raouf; Dehghantanha, Ali; Choo, Kim-Kwang Raymond; Parizi, Reza M. (2020): AI4SAFE-IoT: an AI-powered secure architecture for edge layer of Internet of things. In: *Neural Comput & Applic* 3 (6), S. 854. DOI: 10.1007/s00521-020-04772-3.
- Haddara, Moutaz; Staaby, Anna (2018): RFID Applications and Adoptions in Healthcare: A Review on Patient Safety. In: *Procedia Computer Science* 138, S. 80–88. DOI: 10.1016/j.procs.2018.10.012.
- Hagedorn, Jürgen; Sell-Le Blanc, Florian; Fleischer, Jürgen (2016): Handbuch der Wickeltechnik für hocheffiziente Spulen und Motoren. Ein Beitrag zur Energieeffizienz. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Haleem, Abid; Javaid, Mohd. (2019): 3D scanning applications in medical field: A literature-based review. In: *Clinical Epidemiology and Global Health* 7 (2), S. 199–210. DOI: 10.1016/j.cegh.2018.05.006.
- Harkut, Dinesh; Kasat, Kashmira; Harkut, Vaishnavi D. (Hg.) (2019): Artificial Intelligence - Scope and Limitations: IntechOpen. Online verfügbar unter <https://www.intechopen.com/books/artificial-intelligence-scope-and-limitations/introductory-chapter-artificial-intelligence-challenges-and-applications>, zuletzt geprüft am 31.08.2020.
- Härting, Ralf; Reichstein, Christopher; Laemmle, Patrick; Sprengel, Alexander (2019): Potentials of Digital Business Models in the retail industry – Empirical Results from European Experts. In: *Procedia Computer Science* 159 (1), S. 1053–1062. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.274.
- Hasselbring, Wilhelm (2015): DevOps. Softwarearchitektur an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Betrieb. Online verfügbar unter <http://eprints.uni-kiel.de/29215/1/2015-07-10Architekturen.pdf>, zuletzt geprüft am 16.04.2020.
- Havard, Nicolas; McGrath, Sean; Colin Flanagan; Ciaran MacNamee (2018): Smart Building Based on Internet of Things Technology. In: IEEE (Hg.): 2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST). Unter Mitarbeit von Tom Newe und Subhas Chandra Mukhopadhyay, 4-6 December. Piscataway, NJ: IEEE, S. 278–281.

- Heder, Mihály (2017): From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. In: *THE INNOVATION JOURNAL* 22 (2), S. 1–23.
- Hentschel, Raoul; Leyh, Christian (2018): Cloud Computing: Status quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen. In: Stefan Reinheimer (Hg.): *Cloud Computing*, Bd. 32. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Edition HMD), S. 3–20.
- Hof, Vincent von; Fuchs, Andreas; Kuchen, Herbert (2018): Ansätze zu Software-Virtualisierung für KMU - einer empirische Bestandsaufnahme. Hg. v. Förderkreis der Angewandten Informatik an der Westfälische Wilhelms-Universität Münster e.V. Online verfügbar unter <https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/angewandteinformatik/aktivitaeten/publikationen/document-iai.pdf>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Hold, Philipp; Erol, Selim; Reisinger, Gehard; Sihm, Wilfried (2017): Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems. In: *Procedia Manufacturing* 9 (1), S. 143–150. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.04.024.
- Holmlund, Maria; van Vaerenbergh, Yves; Ciuchita, Robert; Ravald, Annika; Sarantopoulos, Panagiotis; Ordenes, Francisco Villarreal; Zaki, Mohamed (2020): Customer experience management in the age of big data analytics: A strategic framework. In: *Journal of Business Research* 116, S. 356–365. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.01.022.
- Holzinger, Andreas (2018): Introduction to MACHINE Learning & Knowledge Extraction (MAKE). In: *MAKE* 1 (1), S. 1–20. DOI: 10.3390/make1010001.
- Horvath, Joan; Cameron, Rich (2020): *Mastering 3D Printing*. Berkeley, CA: Apress.
- Horvitz, Eric; Mulligan, Deirdre (2015): Policy forum. Data, privacy, and the greater good. In: *Science (New York, N.Y.)* 349 (6245), S. 255–260. DOI: 10.1126/science.aac4520.
- Hude, Marlis von der (2020): *Predictive Analytics und Data Mining*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- IBM (Hg.) (2019): IaaS, PaaS und SaaS – IBM Cloud-Servicemodelle. Online verfügbar unter <https://www.ibm.com/de-de/cloud/learn/iaas-paas-saas>, zuletzt aktualisiert am 05.01.2020, zuletzt geprüft am 06.01.2020.
- IBM (2020): Compute Services. Rechenleistung in der IBM Cloud. Online verfügbar unter <https://www.ibm.com/de-de/cloud/compute>, zuletzt geprüft am 25.03.2020.
- IBM (2021): IBM Quantum Computing. Computing von morgen - schon heute. Online verfügbar unter <https://www.ibm.com/de-de/quantum-computing>, zuletzt aktualisiert am 07.07.2021, zuletzt geprüft am 08.07.2021.
- Inefuku, Harrison W. (2017): Globalization, Open Access, and the Democratization of Knowledge. Online verfügbar unter https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=digirep_pubs, zuletzt geprüft am 16.07.2021.
- Iqbal, Muhammad Zahid; Campbell, Abraham (2020): The emerging need for touchless interaction technologies. In: *interactions* 27 (4), S. 51–52. DOI: 10.1145/3406100.
- Jain, Ruby; Tiwari, Nidhi; Yadav, Mukesh (2020): A COMPARISON STUDY OF WIFI 6 AND WIFI 5. Online verfügbar unter <http://www.jcreview.com/fulltext/197-1601985859.pdf>.
- Jordan, Felix; Bernardy, Anne; Stroh, Max-Ferdinand; Horeis, Johannes; Stich, Volker (2017): Requirements-Based Matching Approach to Configure Cyber-Physical Systems for SMEs. In: Dundar F. Kocaoglu (Hg.): *Technology management for the interconnected world*. [Piscataway, NJ]: IEEE, S. 1–7.

- Jussen, Philipp (2019): Mit Industrie 4.0 Beute machen. Nur verbunden mit Subscription-Geschäftsmodellen führt Industrie 4.0 zu langfristigem unternehmerischen Erfolg. In: *Unternehmen der Zukunft* 01/2019 (01), S. 6–11.
- Jussen, Philipp; Frank, Jana (2019): Mit Industrie 4.0 Beute machen – Nur verbunden mit Subscription-Geschäftsmodellen führt Industrie 4.0 zu langfristigem unternehmerischen Erfolg. In: *Unternehmen der Zukunft. Magazion für Betriebsorganisation in der digital vernetzten Wirtschaft* (Nr. 1), S. 7–11.
- Kabel, Peter (2020): Was sind NLP und NLG und wie funktionieren sie? In: Peter Kabel (Hg.): *Dialog zwischen Mensch und Maschine*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 39–63.
- Kainz, Andreas; Bürger, Manfred (2016): Die IoT-Kommunikation der Zukunft – LPWAN & LTE Evolution. In: *Elektrotech. Inftech.* 133 (7), S. 348–350. DOI: 10.1007/s00502-016-0432-8.
- Kandampully, Jay; Zhang, Tingting; Jaakkola, Elina (2018): Customer experience management in hospitality. In: *IJCHM* 30 (1), S. 21–56. DOI: 10.1108/IJCHM-10-2015-0549.
- Kanellakis, Christoforos; Nikolakopoulos, George (2017): Survey on Computer Vision for UAVs: Current Developments and Trends. In: *J Intell Robot Syst* 87 (1), S. 141–168. DOI: 10.1007/s10846-017-0483-z.
- Kasteleiner, Björn; Schwartz, Alexander (2019): DevOps. In: *Informatik Spektrum* 42 (3), S. 211–214. DOI: 10.1007/s00287-019-01173-2.
- Keller, Thimo; Bayer, Christian; Bausch, Phillip; Metternich, Joachim (2019): Benefit evaluation of digital assistance systems for assembly workstations. In: *Procedia CIRP* 81 (1), S. 441–446. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.076.
- Khurana, Nitika; Mittal, Sudip; Joshi, Anupam (2018): Preventing Poisoning Attacks on AI based Threat Intelligence Systems.
- Kim, Byeongseop; Kim, Myungsoo; Jeong, Jongpil (2020): Estimation of Greenhouse Gas Emissions in Cement Manufacturing Process Through Blockchain and SSL Based IoT Data Analysis. In: Osvaldo Gervasi, Beniamino Murgante, Sanjay Misra, Chiara Garau, Ivan Blečić, David Taniar et al. (Hg.): *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020*, Bd. 12250. Cham: Springer International Publishing (Lecture notes in computer science), S. 634–645.
- Kind, Sonja; Ferdinand, Jan-Peter; Jetzke, Tobias; Richter, Stefan; Weide, Sebastian (2019): Virtual und Augmented Reality. Status quo, Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen. In: *Arbeitsbericht* 180 (1), S. 1–115.
- Kivolya, Natalia (2020): Wie funktioniert die 3D-Scantechnologie? Online verfügbar unter <https://www.artec3d.com/de/learning-center/3d-scanning-technology>, zuletzt aktualisiert am 15.06.2021, zuletzt geprüft am 15.06.2021.
- Klein, Ulrich (2021): Thread Smart Home Funkstandard – Bedeutung, Produkte & Wissen. In: *homeandsmart.de*, 11.01.2021. Online verfügbar unter <https://www.homeandsmart.de/thread-ipv6-protokoll-funkstandard-smart-home>, zuletzt geprüft am 08.07.2021.
- Klostermeier, Robin; Haag, Steffi; Benlian, Alexander (2018): Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen. In: *HMD* 55 (2), S. 297–311. DOI: 10.1365/s40702-018-0406-x.
- Knyazev, Nikolay S.; Chechetkin, Victor A.; Letavin, Denis A. (2017): Comparative analysis of standards for Low-power Wide-area Network. In: *2017 Systems of Signal Synchronization 2017*, S. 1–4.
- Kocielnik, Rafal; Amershi, Saleema; Bennett, Paul N. (2015): Will You Accept an Imperfect AI? 2015. In: *2015 IEEE 21st International Conference on Parallel and Distributed Systems - ICPADS 2015*, S. 1–14.

- Koenig, Reinhard; Miao, Yufan; Aichinger, Anna; Knecht, Katja; Konieva, Kateryna (2020): Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems. In: *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 47 (6), S. 997–1013. DOI: 10.1177/2399808319894986.
- Kords, Martin (2021): Carsharing-Nutzer in Deutschland bis 2021. Hg. v. Statista. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/324692/umfrage/carsharing-nutzer-in-deutschland/>.
- Kostolani, Michal; Justin Murin; Stefan Kozak (2019): Intelligent predictive maintenance control using augmented reality. In: Miroslav Fikar und Michal Kvasnica (Hg.): *Proceedings of the 2019 22nd International Conference on Process Control (PC19)*. Hotel Sorea Trigan Baník, Štrbské Pleso, Slovakia, June 11-14, 2019. Piscataway, NJ: IEEE, S. 131–135.
- Kraus, Sascha; Giselbrecht, Clemens (2015): Shareconomy: Das disruptive Geschäftsmodell des Teilens. In: *ZfKE – Zeitschrift für KMU und Entrepreneurship* 63 (1), S. 77–93. DOI: 10.3790/zfke.63.1.77.
- Krauβ, Jonathan; Dorißen, Jonas; Mende, Hendrik; Frye, Maik; Schmitt, Robert H. (2019): Maschinelles Lernen in der Produktion - Anwendungsgebiete und frei verfügbare Datensätze. In: *I40M 2019* (4), S. 39–42. DOI: 10.30844/I40M_19-4_S39-42.
- Krcmar, Helmut (2015): *Informationsmanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Krenn, Willibald (2019): Sicherheit vernetzter, hochautomatisierter Roboter. In: *Elektrotech. Inftech.* 136 (7), S. 307–312. DOI: 10.1007/s00502-019-00746-z.
- Kreutzer, Ralf T.; Sirrenberg, Marie (2019): *Künstliche Intelligenz verstehen. Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey*. 1. Auflage 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kristoffersen, Eivind; Blomsma, Fenna; Mikalef, Patrick; Li, Jingyue (2020): The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. In: *Journal of Business Research* 120, S. 241–261. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.07.044.
- Kroker, Michael (2020): David gegen Jeff. Cloud Dienste. In: *WirtschaftsWoche* 2020, 30.03.2020 (14), S. 85–86. Online verfügbar unter <https://www.wiwo.de/my/technologie/digitale-welt/cloud-dienste-david-gegen-jeff/25683370.html?ticket=ST-5510-CxuDLnqELnOzIhbHfUSM-ap3>, zuletzt geprüft am 07.04.220.
- Krowicki, Paweł; Iskierka, Grzegorz; Poskart, Bartosz; Habiniak, Maciej; Będzka, Tomasz; Dybała, Bogdan (2019): Scanπ - Integration and Adaptation of Scanning and Rapid Prototyping Device Prepared for Industry 4.0. In: Chlebus et al. Burduk (Hg.): *Intelligent Systems in Production Engineering*, Bd. 835: Springer, S. 574–586.
- Lamba, A.; Singh, S.; Singh, B.; Dutta, N.; Rela Muni, S. S. (2017): Mitigating IoT Security and Privacy Challenges Using Distributed Ledger Based Blockchain (DI-BC) Technology. In: *International Journal For Technological Research In Engineering* 4, 2017 (8), S. 5687–6592. Online verfügbar unter <https://www.ijtre.com/images/scripts/2019061019.pdf>.
- Landaluce, Hugo; Arjona, Laura; Perallos, Asier; Falcone, Francisco; Angulo, Ignacio; Muralter, Florian (2020): A Review of IoT Sensing Applications and Challenges Using RFID and Wireless Sensor Networks. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (9). DOI: 10.3390/s20092495.
- Lanotte, Ruggero; Merro, Massimo; Muradore, Riccardo; Vigano, Luca (2017): A Formal Approach to Cyber-Physical Attacks. In: *IEEE Computer Security Foundations Symposium (Hg.): IEEE 30th Computer Security Foundations Symposium - CSF 2017*. 21-25 August 2017, Santa Barbara, California : proceedings, Bd. 2017. IEEE Computer Security Foundations Symposium; CSF. Piscataway, NJ: IEEE, S. 436–450.

- Leal-Taixé, Laura; Roth, Stefan (2019): Computer Vision – ECCV 2018 Workshops. Cham: Springer International Publishing (11130), zuletzt geprüft am 27.02.2020.
- Lebichot, Bertrand; Le Borgne, Yann-Aël; He-Guelton, Liyun; Oblé, Frédéric; Bontempi, Gianluca (2019): Deep-Learning Domain Adaptation Techniques for Credit Cards Fraud Detection. In: Navarin et al. Oneto (Hg.): Recent Advances in Big Data and Deep Learning. Proceedings of the INNS Big Data and Deep Learning Conference, INNSBDDL2019, Bd. 1. Genova, Italy, 16-18 April: Springer, S. 78–88.
- Lehner, Franz; Wildner, Stephan; Scholz, Michael (2008): Wirtschaftsinformatik. Eine Einführung. 2. Auflage. München: Hanser. Online verfügbar unter http://sub-hh.ciando.com/book/?bok_id=15480.
- Lemm, Steven; Blankertz, Benjamin; Dickhaus, Thorsten; Müller, Klaus-Robert (2011): Introduction to machine learning for brain imaging. In: *NeuroImage* 56 (2), S. 387–399. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.11.004.
- Lenz-Kesekamp, Vera; Weber, Tony (2018): Alexa Skills: Welche Chancen und Risiken sind damit verbunden? In: *Wirtsch Inform Manag* 10 (6), S. 18–25. DOI: 10.1007/s35764-018-0115-9.
- Letaief, Khaled B.; Chen, Wei; Shi, Yuanming; Zhang, Jun; Zhang, Ying-Jun Angela (2019): The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks. In: *IEEE Commun. Mag.* 57 (8), S. 84–90. DOI: 10.1109/MCOM.2019.1900271.
- Lewin, Marcus; Wallenborn, Markus; Fay, Alexander (2018): Technologieradar zur durchgängigen Datennutzung. Hg. v. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hamburg, zuletzt geprüft am 03.02.2020.
- Li, He; Ota, Kaoru; Dong, Mianxiong (2018): Learning IoT in Edge: Deep Learning for the Internet of Things with Edge Computing. In: *IEEE Network* 32 (1), S. 96–101. DOI: 10.1109/MNET.2018.1700202.
- Lin, Franz; Pomper, Axel (2017): Virtualisierte IT-Infrastruktur. Stolpersteine und Herausforderung bei der Virtualisierung. Hg. v. funkschau Business Netzwerk ITK. Online verfügbar unter <https://www.funkschau.de/datacenter-netzwerke/stolpersteine-und-herausforderung-bei-der-virtualisierung.137629.html>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2021, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Liu, Yu; Wang, Xudong; Du, Fengming; Yao, Man; Gao, Yali; Wang, Fuwang; Wang, Junyao (2017): Computer vision detection of mold breakout in slab continuous casting using an optimized neural network. In: *Int J Adv Manuf Technol* 88 (1-4), S. 557–564. DOI: 10.1007/s00170-016-8792-0.
- Liyanage, Madhusanka; Ahmad, Ijaz; Buy Abro, Ahmed; Gurtov, Andrei; Ylianttila, Mika (2018): Comprehensive guide to 5G security. Hoboken, NJ: Wiley. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/1912.00902.pdf>.
- Loukis, Euripidis; Janssen, Marijn; Mintchev, Ianislav (2019): Determinants of software-as-a-service benefits and impact on firm performance. In: *Decision Support Systems* 117, S. 38–47. DOI: 10.1016/j.dss.2018.12.005.
- Loyer, Mary (2020): Anywhere Operations. Major Strategic Trend in 2021. Hg. v. Tech Group, LLC. Online verfügbar unter <https://tgvt.net/anywhere-operations-strategic-trends/>.
- Mahmud, Saifuddin; Lin, Xiangxu; Kim, Jong-Hoon (2020 - 2020): Interface for Human Machine Interaction for assistant devices: A Review. In: IEEE (Hg.): 2020 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). 2020 10th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). Las Vegas, NV, USA, 06.01.2020 - 08.01.2020: IEEE, S. 768–773.

- Mao, Jiansu; Li, Chunhui; Pei, Yuansheng; Xu, Linyu (2018): Circular Economy and Sustainable Development Enterprises. Singapore: Springer Singapore.
- Martín-Sacristán, David; Monserrat, Jose F.; Cabrejas-Peñuelas, Jorge; Calabuig, Daniel; Garrigas, Salvador; Cardona, Narcís (2009): On the Way towards Fourth-Generation Mobile: 3GPP LTE and LTE-Advanced. In: *J Wireless Com Network* 2009 (1), S. 1–10. DOI: 10.1155/2009/354089.
- Mattioli, Dana (2020): Amazon Scooped Up Data From Its Own Sellers to Launch Competing Products. In: *The Wall Street Journal*, 23.04.2020. Online verfügbar unter <https://www.wsj.com/articles/amazon-scooped-up-data-from-its-own-sellers-to-launch-competing-products-11587650015>, zuletzt geprüft am 09.06.2021.
- Mc Gee, Kevin; Anandarajah, Prince; Collins, David (2019): A Review of Chipless Remote Sensing Solutions Based on RFID Technology. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 19 (22). DOI: 10.3390/s19224829.
- McKnight, Matthew (2017): Generative Design: What it is? How is it being used? Why it's a game changer. In: *KEG* 2 (2), S. 176. DOI: 10.18502/keg.v2i2.612.
- Mell, Peter; Grance, Timothy (2011): The NIST Definition of Cloud Computing. NIST Special Publication 800-145. Hg. v. National Institute of Standards and Technology. Online verfügbar unter <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>.
- Mennig, Julius; Hajek, Laura; Münder, Philipp (2020): 5G in Production. Hg. v. umlaut SE. Online verfügbar unter https://www.umlaut.com/uploads/documents/200331_Whitepaper_5GinProduction_umlaut.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2021.
- Merhar, Laura; Höllthaler, Georg; Berger, Christoph (2019): Digitale Assistenzsysteme für die Produktion: Von der Zielfindung bis zur Einbindung gemeinsam mit den Mitarbeitern. In: Christian K. Bosse und Klaus J. Zink (Hg.): *Arbeit 4.0 im Mittelstand*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 279–302.
- Mertens, Katharina (2019): Herausforderungen beim Einsatz von Datenanalytik für eine ressourceneffiziente Produktion. In: *Berg Huettenmaenn Monatsh* 164 (1), S. 26–30. DOI: 10.1007/s00501-018-0803-z.
- Meyer, Sibylle; Fricke, Christa (2020): Autonome Assistenzroboter für ältere Menschen zu Hause: Eine Erkundungsstudie : „Er ist immer für mich da – und ich auch für ihn“. In: *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 53 (7), S. 620–629. DOI: 10.1007/s00391-020-01795-2.
- Michiel Overeem; Slinger Jansen; Max Mathijssen (2021): API Management Maturity of Low-Code Development Platforms. In: *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling*, S. 380–394. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/352475466_API_Management_Maturity_of_Low-Code_Development_Platforms.
- Microsoft (2019): Was sind automatische Cloud-Telefonzentralen.
- Microsoft Azure (Hg.) (2020): Daimler embraces the cloud to innovate faster. Online verfügbar unter <https://customers.microsoft.com/de-de/story/daimler-manufacturing-azuredevtest>, zuletzt geprüft am 26.03.2020.
- Microsoft Azure 2 (Hg.) (2020): Was ist PaaS? Online verfügbar unter <https://azure.microsoft.com/de-de/overview/what-is-paas/>, zuletzt geprüft am 26.03.2020.
- Miethe, Sebastian; Krug, Silvia (2020): Evaluation of Interoperability Between Various Implementations of the Thread Protocol Stack. In: *Workshop on Tools and Concepts for Communication and Networked Systems (TCoNS)*.

- Minerva, Roberto; Abyi Biru; Domenico Rotondi (2015): Towards a definition of the Internet of Things (IoT). Hg. v. IEEE.
- Minerva, Roberto; Crespi, Noel (2017): Networks and New Services: A Complete Story. Cham: Springer International Publishing.
- Moehrle, Martin; Isenmann, Ralf (2002): Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen. Unter Mitarbeit von Martin G. Möhrle und Ralf Isenmann. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio: Springer.
- Mohatta, Shreyash; Perla, Ramakrishna; Gupta, Gaurav; Hassan, Ehtesham; Hebbalaguppe, Ramya (Hg.) (2017): Robust Hand Gestural Interaction for Smartphone Based AR/VR Applications, 24-31 March 2017. Smart Machines R&D Group, TCS Research, India.
- Monnappa, Avantika (2020): Data Science vs. Big Data vs. Data Analytics. Hg. v. Simplilearn. Simplilearn. Online verfügbar unter <https://www.simplilearn.com/data-science-vs-big-data-vs-data-analytics-article>, zuletzt geprüft am 15.04.2020.
- Mosig, Alexander; Loskill, Peter; Nawroth, Janna (2017): Organs-on-a-Chip: Neue Perspektiven in der Medikamenten-entwicklung und Personalisierten Medizin. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/alexander-mosig/publication/313798488_organs-on-a-chip_neue_perspektiven_in_der_medikamentenentwicklung_und_personalisierten_medizin/links/58a87dd3a6fdcc0e079102e6/organs-on-a-chip-neue-perspektiven-in-der-medikamentenentwicklung-und-personalisierten-medizin.pdf.
- Moss, Stephen (2021): Why Anywhere Operations Is a Strategic Trend for 2021. Hg. v. Insight. Online verfügbar unter https://www.insight.com/en_US/content-and-resources/tech-journal/spring-2021/why-anywhere-operations-is-a-strategic-trend-for-2021.html.
- Mößner, Nicola; Kitcher, Philip (2017): Knowledge, Democracy, and the Internet. In: *Minerva* 55 (1), S. 1–24. DOI: 10.1007/s11024-016-9310-0.
- Naji, Hala Zineb; Zbakh, Mostapha; Munir, Kashif (2019): A Review of Green Cloud Computing Techniques. In: Mostapha Zbakh, Mohammed Essaaidi, Pierre Manneback und Chunming Rong (Hg.): *Cloud Computing and Big Data: Technologies, Applications and Security*. Cham, 2019. Cham: Springer International Publishing, S. 264–283.
- Naoufel Boulila (2019): *Cyber-Physical Systems and Industry 4.0: Properties, Structure, Communication, and Behavior*.
- Narang, Sahil; Nalwa, Tarun; Choudhury, Tanupriya; Kashyap, Nirbhay (2018): An efficient method for security measurement in internet of things. In: S. K. Niranjan, J. Raja und A. R. Rajini (Hg.): *Proceedings of the 2018 International Conference on Communication, Computing & Internet of Things. IC3IoT 2018 : 15 - 17 Februray 2018, Dept. of Electronics and Communication Engineering, Sri Sairam Engineering College., Chennai, India. Piscataway, NJ: IEEE*, S. 319–323.
- Narayana, Sharath; Manikandan, Sushmita (2017): Smart learning through enhanced concentration and contextual search using eyeball tracker. In: *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS). 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*. Chennai, 01.08.2017 - 02.08.2017: IEEE, S. 532–536.
- Navarro-Ortiz, Jorge; Romero-Diaz, Pablo; Sendra, Sandra; Ameigeiras, Pablo; Ramos-Munoz, Juan J.; Lopez-Soler, Juan M. (2020): A Survey on 5G Usage Scenarios and Traffic Models. In: *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 22 (2), S. 905–929. DOI: 10.1109/COMST.2020.2971781.
- Neges, Matthias; Adwernat, Stefan; Wolf, Mario; Abramovici, Michael (2019): 3D Geometry Recognition for a PMI-Based Mixed Reality Assistant System in Prototype Construction. In:

- Burduk, Mazurkiewicz (Hg.) 2019 – Intelligent Systems in Production Engineering, Bd. 835, S. 3–11.
- Neugebauer, Reimund (Hg.) (2018): Digitalisierung: Springer Berlin Heidelberg.
- Nižetić, Sandro; Šolić, Petar; López-de-Ipiña González-de-Artaza, Diego; Patrono, Luigi (2020): Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future. In: *Journal of Cleaner Production* 274, S. 122–877. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122877.
- Noorani, Rafiq (2018): 3D printing. Technology, applications, and selection. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, zuletzt geprüft am 25.02.2020.
- Nordin, Axel (2018): Challenges in the industrial implementation of generative design systems: An exploratory study. In: *AIEDAM* 32 (1), S. 16–31. DOI: 10.1017/S0890060416000536.
- Norton LifeLock (2020): 2019 Cyber Safety Insights Report - Global Results. Prepared by The Harris Poll. Hg. v. Norton LifeLock. Online verfügbar unter https://now.symassets.com/content/dam/norton/campaign/NortonReport/2020/2019_NortonLifeLock_Cyber_Safety_Insights_Report_Global_Results.pdf?promocode=DEFAULTWEB, zuletzt geprüft am 29.07.2020.
- Nunes, Isabel L. (2019): Advances in Human Factors and Systems Interaction. Cham: Springer International Publishing (781).
- Oertelt, Nadja; Arabian, Adam; Brugger, E. Christian; Choros, Michael; Farahany, Nita A.; Payne, Samantha; Rosellini, Will (2017): Human by Design: An Ethical Framework for Human Augmentation. In: *IEEE Technol. Soc. Mag.* 36 (1), S. 32–36. DOI: 10.1109/MTS.2017.2654286.
- Ølnes, Svein; Ubacht, Jolien; Janssen, Marijn (2017): Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. In: *Government Information Quarterly* 34, 2017 (3), S. 355–364.
- Opara-Martins, Justice; Sahandi, Reza; Tian, Feng (2016): Critical analysis of vendor lock-in and its impact on cloud computing migration: a business perspective. In: *J Cloud Comp* 5 (1). DOI: 10.1186/s13677-016-0054-z.
- Orsolits, Horst; Lackner, Maximilian (2020): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Ortmeyer, Cliff (2020): Modularisierung der Systementwicklung: Dividende der Skaleneffekte. Hg. v. elektroniknet.de. Online verfügbar unter <https://www.elektroniknet.de/embedded/entwicklungstools/dividende-der-skaleneffekte.179448.html>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2021, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Oughton, Edward J.; Lehr, William; Katsaros, Konstantinos; Selinis, Ioannis; Bublely, Dean; Kusuma, Julius (2021): Revisiting Wireless Internet Connectivity: 5G vs Wi-Fi 6. In: *Telecommunications Policy* 45 (5), S. 102–127. DOI: 10.1016/j.telpol.2021.102127.
- Pagoropoulos, Aris; Pigosso, Daniela C.A.; McAloone, Tim C. (2017): The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review. In: *Procedia CIRP* 64, S. 19–24. DOI: 10.1016/j.procir.2017.02.047.
- Pan, Guanghui; He, Jia; Wu, Qin; Fang, Rui; Cao, Jiashuo; Liao, Deqing (2018): Automatic stabilization of Zigbee network. In: IEEE (Hg.): 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD): IEEE, S. 224–227.
- Panetta, Kasey (2019): Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/>, zuletzt aktualisiert am 21.10.2019, zuletzt geprüft am 18.04.2020.

- Pape, Jens (2006): RFID wird erwachsen. Deutschland sollte die Potenziale der elektronischen Identifikation nutzen. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. (Acatech bezieht Position, 1, Online-Ausg).
- Park, Sang-Chul (2017): The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies. In: *AI & Soc* 33, 07.12.2017 (3), S. 433–445.
- Pause, Daniel; Brauner, Philipp; Faber, Marco; Fischer, Markus; Hünnekes, Philipp; Petruck, Henning et al. (2019): Task-Specific Decision Support Systems in Multi-Level Production Systems based on the digital shadow. In: IEEE (Hg.): 2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS): IEEE, S. 603–608.
- Peters, Ralf; Nauroth, Markus (2019): Process-Mining. Geschäftsprozesse: smart, schnell und einfach: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Pinto, Viviana; Perotti, Alan; Cerquitelli, Tania (2019): Modeling Urban Traffic Data Through Graph-Based Neural Networks. In: Navarin et al. Oneto (Hg.): Recent Advances in Big Data and Deep Learning. Proceedings of the INNS Big Data and Deep Learning Conference, INNSBDDL2019, Bd. 1. Genova, Italy, 16-18 April: Springer, S. 216–225.
- Pistorius, Johannes (2020): Industrie 4.0 – Schlüsseltechnologien für die Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Pollari, Ian; Bekker, Carmen; Jowell, Colin (2019): The future of digital banking. KPMG. Online verfügbar unter <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/au/pdf/2019/future-of-digital-banking-in-2030-cba.pdf>, zuletzt geprüft am 18.04.2020.
- Pratt, Mary K. (2021): Low-code and no-code development platforms. Hg. v. Tech Target Online. Online verfügbar unter <https://searchsoftwarequality.techtarget.com/definition/low-code-no-code-development-platform>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2021, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Pratz, Andreas; Schöler, Lisa; Crijns, Jeroen; Gärtner, Johannes; Lippke, Christian; Zisopulu, Eliza (2021): Retail Banking Monitor 2021. Hg. v. PwC. Online verfügbar unter <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/financial-services/retail-banking-monitor-2021.html>.
- Preim, Bernhard; Dachselt, Raimund (2015): Interaktive Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Priese, Lutz (2015): Computer Vision. Einführung in die Verarbeitung und Analyse digitaler Bilder. 1. Aufl. 2015. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, zuletzt geprüft am 18.02.2020.
- Puthoor, Sooraj; Lipasti, Mikko H. (2021): Systems-on-Chip with Strong Ordering. In: *ACM Trans. Archit. Code Optim.* 18 (1), S. 1–27. DOI: 10.1145/3428153.
- Qadir, Zakria; Tafadzwa. Vincent; Rashid, Haroon; Batunlu, Canras (2018): Smart Solar Micro-Grid Using ZigBee and Related Security Challenges. In: IEEE Staff (Hg.): 2018 18th Mediterranean Microwave Symposium (MMS). 2018 18th Mediterranean Microwave Symposium (MMS): IEEE, S. 299–302.
- Qadri, Yazdan Ahmad; Nauman, Ali; Zikria, Yousaf Bin; Vasilakos, Athanasios V.; Kim, Sung Won (2020): The Future of Healthcare Internet of Things: A Survey of Emerging Technologies. In: *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 22 (2), S. 1121–1167. DOI: 10.1109/COMST.2020.2973314.
- Qiao, Xiuquan; Ren, Pei; Dustdar, Schahram; Liu, Ling; Ma, Huadong; Chen, Junliang (2019): Web AR: A Promising Future for Mobile Augmented Reality—State of the Art, Challenges, and Insights. In: *Proc. IEEE* 107 (4), S. 651–666. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2895105.
- Quarteroni, Silvia (2018): Natural Language Processing for Industry. In: *Informatik Spektrum* 41 (2), S. 105–112. DOI: 10.1007/s00287-018-1094-1.

- Querbes, Adrien (2018): Banned from the sharing economy: an agent-based model of a peer-to-peer marketplace for consumer goods and services. In: *Journal of Evolutionary Economics* 28 (3), S. 633–665. DOI: 10.1007/s00191-017-0548-y.
- Rahman; Mamun, Abdullah Al; Islam, Alma (2017): Programming challenges of chatbot: Current and future prospective. In: IEEE (Hg.): 2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC). 2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC): IEEE, S. 75–78.
- Raisamo, Roope; Rakkolainen, Ismo; Majaranta, Päivi; Salminen, Katri; Rantala, Jussi; Farooq, Ahmed (2019): Human augmentation: Past, present and future. In: *International Journal of Human-Computer Studies* 131 (1), S. 131–143. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2019.05.008.
- Rajput, Shubhangini; Singh, Surya Prakash (2020): Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production. In: *Journal of Cleaner Production* 277, S. 123–853. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123853.
- Ramkumar, Bharath; Woo, Hongjoo (2018): Modeling consumers' intention to use fashion and beauty subscription-based online services (SOS). In: *Fash Text* 5 (1), S. 1–22. DOI: 10.1186/s40691-018-0137-1.
- Ranta, Valtteri; Aarikka-Stenroos, Leena; Väisänen, Juha-Matti (2021): Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study. In: *Resources, Conservation and Recycling* 164, S. 105155. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105155.
- Ras, Eric; Wild, Fridolin; Stahl, Christoph; Baudet, Alexandre (2017): Bridging the Skills Gap of Workers in Industry 4.0 by Human Performance Augmentation Tools. In: Unknown (Hg.): Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '17. the 10th International Conference. Island of Rhodes, Greece, 21.06.2017 - 23.06.2017. New York, New York, USA: ACM Press, S. 428–432.
- Rasovic, Ivan; Mijanovic, Zoran (2020): Proposal of an industrial communication system based on ZigBee technology. In: 2020 24th International Conference 2020, S. 1–4.
- Rath, Annanda; Spasic, Bojan; Boucart, Nick; Thiran, Philippe (2019): Security Pattern for Cloud SaaS: From System and Data Security to Privacy Case Study in AWS and Azure. In: *Computers* 8 (2), S. 1–28. DOI: 10.3390/computers8020034.
- Ravichandran, Aruna; Taylor, Kieran; Waterhouse, Peter (2016): DevOps Foundations. In: Aruna Ravichandran, Kieran Taylor und Peter Waterhouse (Hg.): DevOps for Digital Leaders: Reignite Business with a Modern DevOps-Enabled Software Factory. Berkeley, CA: Apress, S. 27–47. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1842-6_3.
- Ray, Partha Pratim; Agarwal, Sneha (2016): Bluetooth 5 and Internet of Things: Potential and architecture. In: IEEE (Hg.): International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs)-2016. 3rd-5th October 2016 : IEEE conference proceedings. 2016 International conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs). Paralakhemundi, Odisha, India, 10/3/2016 - 10/5/2016. International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System; Institute of Electrical and Electronics Engineers; SCOPEs. Piscataway, NJ: IEEE, S. 1461–1465.
- Raza, Ahmad; Rashid Kausar, A.; Paul, David (2007): The social democratization of knowledge: some critical reflections on e-learning. In: *Multicultural Ed & Tech Jnl* 1 (1), S. 64–74. DOI: 10.1108/17504970710745210.

- RedHat (Hg.) (2018): Virtualisierung. Was ist Virtualisierung. Online verfügbar unter <https://www.redhat.com/de/topics/virtualization/what-is-virtualization>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2021, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Reichel, André (2019): Sustainability 4.0 – Über die Konvergenz von Nachhaltigkeit und Digitalisierung. In: Marco Englert und Anabel Ternès (Hg.): Nachhaltiges Management. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 105–119.
- Reisinger, Gerhard; Komenda, Titanilla; Hold, Philipp; Sihn, Wilfried (2018): A Concept towards Automated Data-Driven Reconfiguration of Digital Assistance Systems. In: *Procedia Manufacturing* 23 (1), S. 99–104. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.03.168.
- REMANE, GERRIT; HANELT, ANDRE; Tesch, J.; Kolbe, Lutz (2017): The Business Model Pattern Database – A Tool For Systematic Business Model Innovation. In: *Int. J. Innov. Mgt.* 21, 2017 (01), S. 1750004.
- Resch, Salonik; Karpuzcu, Ulya R. (2019): Quantum Computing: An Overview Across the System Stack. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/1905.07240v3>.
- Rittinghouse, John; Ransome, James (2016): Cloud Computing. 1st edition: CRC Press.
- ISO 8373, 11.2010: Roboter und Robotikgeräte – Wörterbuch (ISO/DIS 8373:2010); Deutsche Fassung prEN ISO 8373:2010.
- Rodriguez-Fernandez, Victor; Trzcionkowska, Agnieszka; Gonzalez-Pardo, Antonio; Brzychczy, Edyta; Nalepa, Grzegorz J.; Camacho, David (2020): Conformance Checking for Time Series-aware Processes. In: *IEEE Trans. Ind. Inf. o. Jg. (o. H.)*, S. 1. DOI: 10.1109/TII.2020.2977126.
- Rouse, Margaret (Mai, 2019): [Definition] fraud detection. Hg. v. Tech Target Online. Online verfügbar unter <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/fraud-detection#:~:text=Fraud%20detection%20is%20a%20set,or%20using%20stolen%20credit%20cards>.
- Ruecker, Julian; Kuch, Alexander (2021): System-on-a-Chip (SoC): Prozessoren für mobile Geräte. In: *teltarif.de*, 25.03.2021. Online verfügbar unter <https://www.teltarif.de/hardware/mobile-prozessoren.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Rumscheidt, Sabine (2020): Die Bedeutung von Marktplätzen/Plattformen für den deutschen Groß- und Einzelhandel. In: *ifo Schnelldienst* 73 (1), S. 64–69.
- Runkler, Thomas A. (2020): Data Analytics. Models and Algorithms for Intelligent Data Analysis. 3rd edition 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg.
- Russell, Stuart; Norvig, Peter (2020): Artificial Intelligence_ A Modern Approach (Pearson Series in Artificial Intelligence) (2020, Pearson). 4. Aufl. Online verfügbar unter <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9781292401171>.
- Rutherford, Miranda (2019): The CLOUD Act: Creating Executive Branch Monopoly over Cross-Border Data Access. In: *Bekeley Tech Law Journal* 2019, 2019 (34), S. 1178–1204.
- Safadinho, David; Ramos, João; Ribeiro, Roberto; Filipe, Vítor; Barroso, João; Pereira, António (2020): UAV Landing Using Computer Vision Techniques for Human Detection. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (3). DOI: 10.3390/s20030613.
- Sallaba, Milan; Esser, Ralf (2019): State of AI in the Enterprise. Ergebnisse der Befragung von 100 AI-Experten in deutschen Unternehmen. Hg. v. Deloitte.
- Samek, Wojciech; Montavon, Grégoire; Vedaldi, Andrea (Hg.) (2019): Explainable AI. Interpreting, explaining and visualizing deep learning. Cham: Springer International Publishing (Lecture notes in computer series Lecture notes in artificial intelligence, 11700).

- Sauter, Martin (2018): Long Term Evolution (LTE) und LTE-Advanced. In: Martin Sauter (Hg.): Grundkurs mobile Kommunikationssysteme. LTE-Advanced Pro, UMTS, HSPA, GSM, GPRS, Wireless LAN und Bluetooth. 7. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink Bücher), S. 205–294.
- Saxena, Navrati; Sengupta, Shamik; Wong, Kai-Kit; Roy, Abhishek (2013): Special issue on advances in 4G wireless and beyond. In: *J Wireless Com Network* 2013 (1), S. 1–3. DOI: 10.1186/1687-1499-2013-157.
- Schleichert, Olaf Peter; Engel, Michael; Hähnel, Dirk (2020): Data Analytics: So machen Sie aus Masse Klasse. Wie Big Data auch Ihrem Unternehmen Wettbewerbsvorteile verschafft. Hg. v. Deloitte. Online verfügbar unter <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/trends/data-analytics.html#>, zuletzt geprüft am 15.04.2020.
- Schmerer, Kai (2019): Bitkom: 100 Milliarden Euro Schaden pro Jahr durch Cyberangriffe. ZDNet. Online verfügbar unter <https://www.zdnet.de/88372729/bitkom-100-milliarden-euro-schaden-pro-jahr-durch-cyberangriffe/>, zuletzt geprüft am 29.07.2020.
- Schmid, Markus; Maier, Thomas (2017): Technisches Interface Design. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schuh, Gunther; Frank, Jana; Jussen, Philipp; Rix, Calvin; Harland, Tobias (2019): Monetizing Industry 4.0: Design Principles for Subscription Business in the Manufacturing Industry. In: IEEE (Hg.): Proceedings, 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). Sophia Antipolis Innovation Park, France, 17–19 June 2019. Piscataway, NJ: IEEE, S. 1–9.
- Schuh, Günther; Boshof, Julian; Dölle, Christian; Kelzenberg, Christoph; Tittel, Jonas (2020a): Subskriptionsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau, 2020.
- Schuh, Günther; Dolle, Christian; Tonnes, Christian (2018): Methodology for the derivation of a digital shadow for engineering management. In: IEEE (Hg.): 2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON). Evanston, IL, 28.06.2018 - 01.07.2018: IEEE, S. 1–6.
- Schuh, Günther; Hicking, Jan; Stroh, Max-Ferdinand; Benning, Justus (2020b): Using AI to Facilitate Technology Management – Designing an Automated Technology Radar. In: *Procedia CIRP* 93, S. 419–424. DOI: 10.1016/j.procir.2020.04.089.
- Schuh, Günther; Wenger, Lucas; Stich, Volker; Hicking, Jan; Gailus, Jonas (2020c): Outcome Economy: Subscription Business Models in Machinery and Plant Engineering. In: *Procedia CIRP* 93, S. 599–604. DOI: 10.1016/j.procir.2020.04.146.
- Schulz, Philipp; Wolf, Andreas; Fettweis, Gerhard P.; Waswa, Abubakar Matou; Soleymani, Dariush Mohammed; Mitschele-Thiel, Andreas et al. (2019): Network architectures for demanding 5G performance requirements. In: *IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE* 14 (2), S. 33–43, zuletzt geprüft am 11.03.2020.
- Sedkaoui, Soraya (2018): Data analytics and big data. Hoboken, London, UK: John Wiley & Sons Inc; ISTE Ltd (Information systems, web and pervasive computing series). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1815936>.
- Seebacher, Uwe (2021): Datengetriebenes Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Segura, Álvaro; García-Alonso, Alejandro (2019): Steel Tube Cross Section Geometry Measurement by 3D Scanning. In: López-Guede et al. Graña (Hg.): International Joint Conference SOCO'18-CISIS'18-ICEUTE'18, Bd. 771. San Sebastián, Spanien, June 6–8, 2018: Springer, S. 57–66, zuletzt geprüft am 28.02.2020.
- Shah, Parth B.; Luximon, Yan (2017): Review on 3D Scanners for Head and Face Modeling. In: Vincent G. Duffy (Hg.): Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk

- Management: Ergonomics and Design, Bd. 10286. 8th International Conference, DHM 2017. Vancouver, BC, Kanada, 9-14 Juli, 2017: Springer, S. 47–56.
- Shahraki, Amin; Abbasi, Mahmoud; Piran, Md Jalil; Taherkordi, Amir (2021): A Comprehensive Survey on 6G Networks: Applications, Core Services, Enabling Technologies, and Future Challenges. Online verfügbar unter <http://arxiv.org/pdf/2101.12475v2>.
- Shahrubudin, N.; Lee, T. C.; Ramlan, R. (2019): An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. In: *Procedia Manufacturing* 35 (1), S. 1286–1296. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- Shi, Weisong; Dustdar, Schahram (2016): The Promise of Edge Computing. In: *Computer* 49 (5), S. 78–81. DOI: 10.1109/MC.2016.145.
- Shi, Yuan; Zhou, Luying; Qu, Ting; Qi, Qian (2019): Strategic introduction of the marketplace channel considering logistics costs and product information. In: *Procedia CIRP* 83 (1), S. 728–732. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.100.
- Shih, Chi-Sheng; Chou, Jyun-Jhe; Reijers, Niels; Kuo, Tei-Wei (2016): Designing CPS/IoT applications for smart buildings and cities. In: *IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications* 1 (1), S. 3–12. DOI: 10.1049/iet-cps.2016.0025.
- Simoës-Costa, Marcos; Bronner, Marianne E. (2016): Reprogramming of avian neural crest axial identity and cell fate. In: *Science (New York, N.Y.)* 352 (6293), S. 1573–1576. DOI: 10.1126/science.aaf2729.
- Singh, Ravi Pratap; Javaid, Mohd; Haleem, Abid; Suman, Rajiv (2020): Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. In: *Diabetes & metabolic syndrome* 14 (4), S. 521–524. DOI: 10.1016/j.dsx.2020.04.041.
- Sistu, Srikanth; Liu, Qingzhi; Ozcelebi, Tanir; Dijk, Esko; Zotti, Teresa (2019): Performance Evaluation of Thread Protocol based Wireless Mesh Networks for Lighting Systems. In: *The 2019 International Symposium 2019*, S. 1–8.
- Software AG (Hg.) (2018): Technology Radar for IoT and Integration. Online verfügbar unter <https://techradar.softwareag.com/>, zuletzt geprüft am 28.10.2020.
- Song, Xiaobing; Zhang, Yinlong; Mittal, Vikas (2017): Consumers' Preference for User-Designed versus Designer-Designed Products: The Moderating Role of Power Distance Belief, zuletzt geprüft am 26.04.2020.
- Steven, Marion; Klünder, Timo; Augenstein, Christoph; Baumöl, Ulrike; Bilski, Nico; Brödner, Peter et al. (2020): Big Data. Anwendung und Nutzungspotenziale in der Produktion. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Stockinger, Christopher; Steinebach, Tim; Petrat, Deborah; Bruns, Robert; Zöllner, Ilka (2020): The Effect of Pick-by-Light-Systems on Situation Awareness in Order Picking Activities. In: *Procedia Manufacturing* 45, S. 96–101. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.078.
- Strohm, Thomas; Rölver, Robert (2018): Quantencomputing und andere Quantentechnologien. In: *Digitale Welt* 2 (4), S. 71–76. DOI: 10.1007/s42354-018-0133-z.
- Svoboda, Arnošt; Žižka, Jan; Dařena, František (2019): Text Mining with Machine Learning: Principles and Techniques: CRC Press.
- Sze, Vivienne; Chen, Yu-Hsin; Emer, Joel; Suleiman, Amr; Zhang, Zhengdong (2017 - 2017): Hardware for machine learning: Challenges and opportunities. In: IEEE CICC (Hg.): 2017 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC). 2017 IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC). Austin, TX, 30.04.2017 - 03.05.2017: IEEE, S. 1–8.

- Taeuscher, Karl; Kietzmann, Jan (2017): Learning from Failures in the Sharing Economy. In: *MIS Quarterly Executive* 16 (4), S. 253–263.
- Taylor Holmes; Andrew Passerelli; John Connor (2015): SoC Development and Prototype with VDK. In: 2015 16th International Workshop on Microprocessor and SOC Test and Verification (MTV), S. 10–14. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/306926498_SoC_Development_and_Prototype_with_VDK.
- ten Hompel, Michael; Bauernhansl, Thomas; Vogel-Heuser, Birgit (2020): *Handbuch Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tewes, Stefan; Niestroj, Benjamin; Tewes, Carolin (2020): *Geschäftsmodelle in die Zukunft denken. Erfolgsfaktoren für Branchen, Unternehmen und Veränderer*: Springer Gabler, zuletzt geprüft am 11.03.2020.
- Thiele, Carl-Ludwig; Diehl, Martin; Mayer, Thomas; Elsner, Dirk; Pecksen, Gerrit; Brühl, Volker; Michaelis, Jochen (2017): Kryptowährung Bitcoin: Währungswettbewerb oder Spekulationsobjekt: Welche Konsequenzen sind für das aktuelle Geldsystem zu erwarten? In: *ifo Schnelldienst* 70 (22), S. 3–20.
- ThoughtWorks (Hg.): *Technology Radar. An opinionated guide to technology frontiers* (22). Online verfügbar unter <https://assets.thoughtworks.com/assets/technology-radar-vol-22-en.pdf>, zuletzt geprüft am 28.10.2020.
- Tian, Peng; Wang, Yunjia; Lu, Ying; Zhang, Yunhong; Wang, Xingfeng; Wang, Yong (2019 - 2019): Behavior Analysis of Indoor Escape Route-Finding Based on Head-Mounted VR and Eye Tracking. In: 2019 International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). 2019 International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). Atlanta, GA, USA, 7/14/2019 - 7/17/2019: IEEE, S. 422–427.
- Toomey, Max (2017): Hitachi built an AI security system that follows you through a crowd. Online verfügbar unter <https://qz.com/958467/hitachi-built-an-ai-security-system-that-follows-you-through-a-crowd/>, zuletzt aktualisiert am 19.04.2017, zuletzt geprüft am 18.04.2020.
- Torres Vega, Maria; Perra, Cristian; Turck, Filip de; Liotta, Antonio (2018): A Review of Predictive Quality of Experience Management in Video Streaming Services. In: *IEEE Trans. on Broadcast.* 64 (2), S. 432–445. DOI: 10.1109/TBC.2018.2822869.
- Tosi, Jacopo; Taffoni, Fabrizio; Santacatterina, Marco; Sannino, Roberto; Formica, Domenico (2017): Performance Evaluation of Bluetooth Low Energy: A Systematic Review. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 17 (12). DOI: 10.3390/s17122898.
- Tsai, Chun-Wei; Lai, Chin-Feng; Chao, Han-Chieh; Vasilakos, Athanasios V. (2015): Big data analytics: a survey. In: *Journal of Big Data* 2 (1), S. 1–32. DOI: 10.1186/s40537-015-0030-3.
- Tzovaras, Dimitrios; Giakoumis, Dimitrios; Vincze, Markus; Argyros, Antonis (2019): *Computer Vision Systems*. Cham: Springer International Publishing (11754), zuletzt geprüft am 27.02.2020.
- Tzuo, Tien (2016): *The Subscription Economy: Putting an end to ownership*. Hg. v. ITProPortal. Online verfügbar unter <https://www.itproportal.com/2016/07/04/the-subscription-economy-putting-an-end-to-ownership/>, zuletzt geprüft am 09.04.2020.
- Unwala, Ishaq; Taqvi, Zafar; Lu, Jiang (2018): Thread: An IoT Protocol. In: 2018 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech). 2018 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech). Austin, TX, 04.04.2018 - 06.04.2018: IEEE, S. 161–167.

- Vaishali S. Phalake; Shashank D. Joshi (2021): Low Code Development Platform for Digital Transformation. In: Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2020), Intelligent Strategies for ICT, S. 689–697. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/353005077_Low_Code_Development_Platform_for_Digital_Transformation.
- van der Aalst, Wil (2018): Process Mining. Data science in action. 2. edition: Springer.
- Varshney, Upkar (2012): 4G Wireless Networks. In: *IT Prof.* 14 (5), S. 34–39. DOI: 10.1109/MITP.2012.71.
- Venkateswara, N.; Puviarasi, R. (2018): Simulation Of Zigbee Based Health Monitoring System For Patients Using Proteus. In: Dr. P. L. N. Ramesh und Dr. M. Moorthi (Hg.): 2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB). 2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB): IEEE, S. 1–4.
- Villa-Henriksen, Andrés; Edwards, Gareth T.C.; Pesonen, Liisa A.; Green, Ole; Sørensen, Claus Aage Grøn (2020): Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential. In: *Biosystems Engineering* 191, S. 60–84. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013.
- Waltersmann, Lara; Kiemel, Steffen; Stuhlsatz, Julian; Sauer, Alexander; Mieke, Robert (2021): Artificial Intelligence Applications for Increasing Resource Efficiency in Manufacturing Companies—A Comprehensive Review. In: *Sustainability* 13 (12), S. 66–89. DOI: 10.3390/su13126689.
- Wang, Shucui; Suo, Jiachen; Jianming Ma; Jinjun Yu (2018): Sharing Economy: China's Opportunities, Challenges and Suggestions on Governance. In: Zhong Chen (Hg.): 2018 International Conference on Social Science and Education Reform (ICSSER 2018), 2018/10: Atlantis Press, S. 154–159. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.2991/icsser-18.2018.36>.
- Wegner, Susan; Fischer, Sebastian (2019): 2.10 Künstliche Intelligenz in Deutschland und China – Vergleich der nationalen Strategien und Handlungsempfehlungen. In: Yu Zhang (Hg.): China und Deutschland: 5.0 / 战: 5.0. Berlin, Boston: De Gruyter, S. 149–160.
- Wendzel, Steffen (2018): IT-Sicherheit für TCP/IP- und IoT-Netzwerke. Grundlagen, Konzepte, Protokolle, Härtung. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Wilson, James; Daugherty, Paul R. (2018): Collaborative Intelligence: Humans and AI Are Joining Forces. Hg. v. Harvard Business Review (4). Online verfügbar unter https://www.accenture.com/t20180828T222720Z_w_/ae-en/_acnmedia/PDF-84/Accenture-Collaborative-Intelligence-2018.pdf, zuletzt geprüft am 16.04.2020.
- Wohlfeld, Denis; Weiss, V.; Becker, B. (2017): Digital Shadow – From production to product. In: Michael Bargende, Hans-Christian Reuss und Jochen Wiedemann (Hg.): 17. Internationales Stuttgarter Symposium. Wiesbaden, 2017. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 783–794.
- Wolf, Ronald de (2017): The potential impact of quantum computers on society. In: *Ethics Inf Technol* 19 (4), S. 271–276. DOI: 10.1007/s10676-017-9439-z.
- Wu, Jun; Qian, Xiaoping; Wang, Michael Yu (2019): Advances in generative design. In: *Computer-Aided Design* 116. DOI: 10.1016/j.cad.2019.102733.
- Wu, Qirui; Liu, Jinfeng; Wang, Xiaohong; Feng, Lingyan; Wu, Jinbo; Zhu, Xiaoli et al. (2020): Organ-on-a-chip: recent breakthroughs and future prospects. In: *Biomedical engineering online* 19 (1), S. 9. DOI: 10.1186/s12938-020-0752-0.
- Wunderlich, Stefan; Kessler, René; Beykirch, Marlon; Kölpin, Lars; Gómez, Jorge Marx (2018): Dezentraler Energiehandel mit der Blockchain – Hit or Miss? In: *HMD* 55, 07.07.2018 (6), S. 1204–1219.

- Xin, Yang; Kong, Lingshuang; Liu, Zhi; Chen, Yuling; Li, Yanmiao; Zhu, Hongliang et al. (2018): Machine Learning and Deep Learning Methods for Cybersecurity. In: *IEEE Access* 6, S. 35365–35381. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2836950.
- Xing, Yang; Lv, Chen; Wang, Huaji; Cao, Dongpu; Velenis, Efstathios; Wang, Fei-Yue (2019): Driver Activity Recognition for Intelligent Vehicles: A Deep Learning Approach. In: *IEEE Trans. Veh. Technol.* 68 (6), S. 5379–5390. DOI: 10.1109/TVT.2019.2908425.
- Yajing Luo; Peng Liang; Chong Wang; Mojtaba Shahin; Jing Zhan (2021): Characteristics and Challenges of Low-Code Development: The Practitioners' Perspective. In: 15th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/353273405_Characteristics_and_Challenges_of_Low-Code_Development_The_Practitioners%27_Perspective.
- You, Xiaohu; Wang, Cheng-Xiang; Huang, Jie; Gao, Xiqi; Zhang, Zaichen; Wang, Mao et al. (2021): Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts. In: *Sci. China Inf. Sci.* 64 (1). DOI: 10.1007/s11432-020-2955-6.
- Yu, Wei; Liang, Fan; He, Xiaofei; Hatcher, William Grant; Lu, Chao; Lin, Jie; Yang, Xinyu (2018): A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things. In: *IEEE Access* 6 (1), S. 6900–6919. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2778504.
- Zagel, Christian (2020): Service Innovation for Cyborgs – Human Augmentation as a Self-experiment. In: Jim Spohrer und Christine Leitner (Hg.): *Advances in the Human Side of Service Engineering*, Bd. 1208. Cham: Springer International Publishing (Advances in Intelligent Systems and Computing), S. 22–27.
- Zhang, Boyang; Radisic, Milica (2017): Organ-on-a-chip devices advance to market. In: *Lab on a chip* 17 (14), S. 2395–2420. DOI: 10.1039/C6LC01554A.
- Zhou, Longfei; Zhang, Lin; Fang, Yajun (2020): Logistics service scheduling with manufacturing provider selection in cloud manufacturing. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 65, S. 101914. DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101914.
- Zillner, T. (2016): ZigBee Exploited. The good, the bad and the ugly. In: *Magdeburger Journal zur Sicherheitsforschung* 1 (1), S. 700–704. Online verfügbar unter <http://www.sicherheitsforschung-magdeburg.de/publikationen/journal.html>.

