

3 Schlüsseltechnologien – Roadmaps

In einem projektinternen Prozess wurden zunächst ca. 30 Kandidaten für Schlüsseltechnologien der Digitalisierung gesammelt und nachfolgend priorisiert.⁹³ Für die acht ausgewählten Technologien (Digitale Plattformen, Big Data, Künstliche Intelligenz, Internet der Dinge, Industrie 4.0, Autonome Systeme, Blockchain und Quantencomputer) wurden die folgenden Technologiesteckbriefe und Anwendungsroadmaps ausgearbeitet.⁹⁴

3.1 Autonome Systeme

3.1.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Für die Begriffe Automatisierung und Autonomie gelten keine allgemeingültigen Definitionen.⁹⁵ Ursprünglich bedeutet Automatisierung die Über-

93 Teilschritte zur Auswahl der Schlüsseltechnologien der Digitalisierung:

1. Um als Schlüsseltechnologie gewertet zu werden, sollte eine Technologie zunächst zwei Kriterien erfüllen: i) Alleinstellungsmerkmal und ii) Breitenwirkung.
2. Auf Grundlage dieser Definition wurden ca. 15 Personen des erweiterten Projektteams befragt, welches aus ihrer Sicht zukünftige Schlüsseltechnologien der Digitalisierung sein werden.
3. Auf Basis der Rückmeldungen wurde eine geclusterte Liste von potenziellen Technologien inklusive einer Kurzbeschreibung erstellt.
4. Diese Liste wurde wieder an die ca. 15 Personen zurückgespielt, um eine Einschätzung zu der wirtschaftlichen Bedeutung und zum Einfluss auf die soziale Marktwirtschaft zu erhalten.
5. Die Ergebnisse wurden in einem internen Workshop rückgekoppelt.
6. Die finale, priorisierte Liste wurde mit dem Auftraggeber diskutiert und abgestimmt.

94 Stand der Informationen in diesem Kapitel ist Dezember 2019.

95 Als autonome Systeme werden teilweise auch verteilte, überwiegend ortsfeste Systeme definiert, wie z. B. das „Smart Home“, bei dem ein System aus verteilten, vernetzten Geräten mit einer intelligenten Steuerung autonom zur Optimierung bestimmter Zielgrößen eingesetzt wird (vgl. etwa Fachforum Autonome Systeme, 2017). Anwendungen dieser Art werden hier unter „Internet of Things“ ge-

tragung von (menschlichen) Aufgaben auf technische Systeme, die diese Aufgaben zunächst unter menschlicher Steuerung und dann im Rahmen der weiteren Entwicklungsschritte zunehmend eigenständig durchführen. Diese Entwicklungsschritte lassen sich in Automatisierungs- und Autonomiegraden genauer differenzieren. Im Bereich des automatisierten Fahrens hat sich dazu ein 5-Stufenmodell etabliert: 0 keine Automatisierung, 1 assistiert, 2 teilautomatisiert, 3 hochautomatisiert, 4 vollautomatisiert, 5 autonom. Mit jeder Stufe steigt die Übernahme der Steuerung durch das System. Gleichzeitig sinkt die Notwendigkeit für menschliches Überwachen oder Eingreifen, (vgl. Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012; Society of Automotive Engineers, 2016; Fachforum Autonome Systeme, 2017, S. 7).

Autonome Systeme werden für vielen Anwendungsbereiche in Betracht gezogen. Die größte Aufmerksamkeit zieht dabei wohl das autonome Fahren auf sich; aber auch autonome Drohnen könnten eine Fülle von Anwendungsszenarien ermöglichen. Daneben stehen besonders die Bereiche Haushalt sowie Gesundheit und Pflege im Blickpunkt.

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Entlastung des Menschen
- Freiheit von Ermüdung
- Geringere Fehler-, Ausfall- und Unfallquote
- Steigerung der Produktivität und Effizienz
- Steigerung der operationalen Flexibilität

Anwendungsbranchen

- Sämtliche Branchen

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- Waymo
- Tesla

fasst. Anwendungen autonomer Systeme in der Produktion und der Intralogistik werden hier unter Industrie 4.0 eingeordnet.

3 Schlüsseltechnologien – Roadmaps

- Uber
- Audi, VW
- Daimler-BMW-Allianz
- Mitglieder EuRobotics
- SPARC – The Partnership for Robotics in Europe
- Mitglieder VDMA Robotik + Automation
- International Federation of Robotics („IFR“)
- Robotic Industries Association, USA („RIA“)
- Japan Robot Association („JARA“)
- China Robot Industry Alliance („CRIA“)

Verwandte Technologien

- Automatisierungstechnik
- Künstliche Intelligenz
- Big Data
- Internet of Things; Sensorik und Aktorik
- Fernsteuerung, Fernwartung
- Exoskelette
- Mikro- und Nanoroboter
- Roboterschwärme
- Mobile Energieversorgung

Einschätzung

Automatisierung und Robotik sind heute und bereits seit längerem Schlüsseltechnologien in der Produktion. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Ausweitung der Fähigkeiten solcher Systeme in Richtung zunehmender Autonomie, viele zusätzliche Potentiale auch über die Produktion hinaus zu eröffnen. In dieser Hinsicht gibt es eine große Nähe zum Thema der Künstlichen Intelligenz, das in vielen Publikationen dementsprechend gemeinsam mit den autonomen Systemen behandelt wird. So wird etwa die Fähigkeit eines technischen Systems, ein Fahrzeug autonom zu steuern, als ein Grenzfall – im Sinne einer unteren Schranke – von künstlicher allgemeiner Intelligenz bezeichnet: denn eine KI, die sich dem Niveau menschenähnlicher Fähigkeiten angenähert hätte, sollte sicherlich wenigstens in der Lage sein, ein Fahrzeug ähnlich gut oder besser als ein Mensch zu steuern. Durch diese Überlegung wird zweierlei deutlich: Erstens, dass künstliche, technische Autonomie eine ebenso extrem große Anwendungs-

breite in Aussicht stellt wie Künstliche Intelligenz. Es ist dabei jedoch zu berücksichtigen, dass der Begriff „autonomes System“ sehr viele Assoziationen zulässt wie auch die verwandten Begriffe „intelligentes System“ oder „kognitives System“. Neben dem tatsächlichen, hohen Anwendungspotenzial bestehen auch viele unausgesprochene – teils überzogene – Erwartungen.

Zweitens wird deutlich, dass mit der Zielvorgabe Autonomie ein sehr hoher technischer Anspruch verbunden ist. Ähnlich wie bei Künstlicher Intelligenz wird hier davon ausgegangen, dass sich bei einem Zeithorizont von bis zu 15 Jahren Autonomie stets nur in jeweils eng umgrenzten Anwendungsfällen wird realisieren lassen. Dabei werden die Erfolgchancen möglicherweise von der Komplexität bzw. Kontrollierbarkeit der jeweiligen Umgebung abhängen. Dementsprechend gibt es die Erwartungen, dass Anwendungen auf der Schiene, in lebensfeindlichen Umgebungen, in der Luft, auf dem Wasser oder in einer Industriehalle aussichtsreicher sind, während Anwendungen in einem dynamischen urbanen Umfeld mit unbeteiligten Personen möglicherweise auch auf lange Sicht nicht realisierbar sein könnten.⁹⁶

Aufgrund des Teilthemas der autonomen Waffensysteme gibt es eine ausgeprägte geopolitische Dimension sowie Dual-Use-Fragestellungen.

Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken für Deutschland

Stärken

- Deutsche Hersteller führend in Teilgebieten wie Robotik und automatisiertes Fahren
- Deutsche Wissenschaft stark im Gebiet der Künstlichen Intelligenz
- Exzellente Forschungslandschaft
- Hohe wirtschaftliche Expertise bei Industrieautomatisierung, Sensorsystemen und Mechatronik
- Starker Mittelstand mit relevanten Anbietern von Komponenten

96 Es sei angemerkt, dass zumindest einzelne Beobachter die Frage der technischen Machbarkeit (im Blick auf das autonome Fahren) als nachgeordnet betrachten: *“For years, Silicon Valley giants and Detroit automakers alike have sold the public visions of a utopia featuring autonomous vehicles. That reality is still far off, but that hasn’t stopped companies from cashing in on repeated promises that suggest otherwise.”* sowie *“If Silicon Valley has established anything in the past decade, it’s that a bold promise, not profits, is the true path to success in the modern economy.”* (Luckerson, 2019).

Chancen

- Unterstützung der Mobilität von Menschen mit Einschränkungen
- Selbstbestimmte Lebensführung zuhause unterstützen, inklusive Gesellschaft ermöglichen
- Mobilität und Logistik sicherer, leistungsfähiger und nachhaltiger machen
- Effizientere Nutzung von Energie in Gebäuden
- Arbeit in lebensfeindlichen Umgebungen unterstützen oder ersetzen
- Große Wachstumspotenziale im Zusammenhang mit dem demographischen Wandel
- Deutschland als möglicher Leitanbieter autonomer Systeme

Schwächen

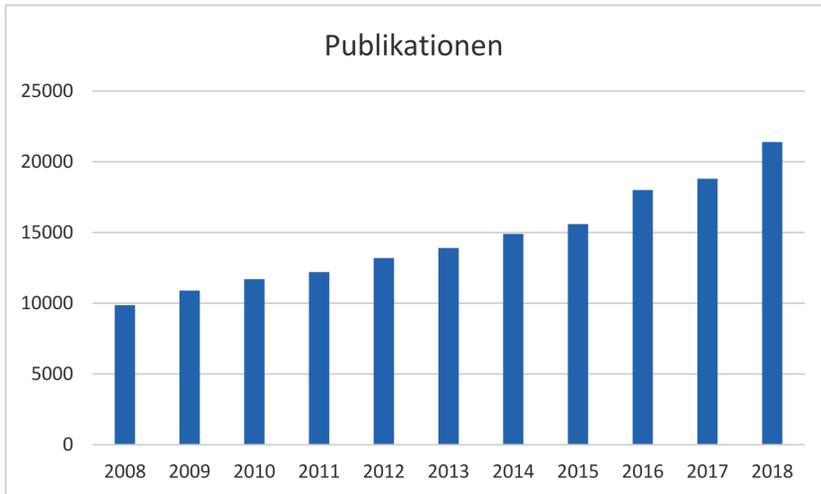
- Noch kein ordnender Rechtsrahmen in Bezug auf echte Autonomie
- *Privacy-by-design* noch nicht stark genug einbezogen
- Nutzung von anonymisierten und pseudonymisierten Daten noch nicht einfach genug

Risiken / Herausforderungen

- Mangelnde Akzeptanz autonomer Systeme
- Effizienz autonomer Systeme könnte Rebound-Effekte auslösen
- Interoperabilität verschiedener Systemwelten
- Gefahr von Cyberangriffen
- Autonomie des Menschen mit der Autonomie von Systemen in Einklang bringen
- Umgang mit möglicherweise fehlender Nachvollziehbarkeit komplexer technischer Prozesse
- Weiterbildung zur Beschäftigungssicherung nutzen.

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.1.1 Anzahl von Publikationen zu autonomen Systemen über die Zeit



Quelle: Google Scholar – Trefferzahl zu „autonomous systems“, eigene Darstellung.

3.1.2 Anwendungsroadmap

Der Breite möglicher Anwendungen entspricht die Breite von Formen und Ausprägungen autonomer Systeme beginnend mit dem autonomen Fahren im Straßenverkehr sowie weiteren autonomen Fahrzeugen im Schienenverkehr, Drohnen in der Luft sowie autonomer Wasserfahrzeuge. Autonome Systeme, bei denen nicht die Mobilität im Vordergrund steht, werden ansonsten oft nach dem jeweiligen Anwendungsfeld eingeordnet. Häufig angesprochen werden die Bereiche: Haushalt, Gesundheit und Pflege sowie gefährliche und menschenfeindliche Umgebungen.

Autonomes Fahren

Zum Bereich der autonomen Navigation werden in „A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics“ (vgl. Computing Community Consortium, 2016), ausgehend von möglichen Anwendungen in der Logistik, folgende Meilensteine benannt, siehe Tabelle 3.1.1.

Tabelle 3.1.1 Anwendungsroadmap Autonome Navigation

Autonome Navigation	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Logistik		TM1														
Logistik							TM2									
Logistik												TM3				

Quelle: vgl. Computing Community Consortium, 2016, eigene Darstellung

- TM1: Auf gut beleuchteten und markierten Straßen in beliebigen modernen Städten erreichen autonome Fahrzeuge eine sichere Fahrweise vergleichbar mit einem menschlichen Fahrer. Bei der Navigation auf einem Bergbau- oder Baugelände, beim Zurücksetzen an eine Verladestation, beim parallelen Einparken und bei Notbremsungen werden autonome Fahrzeuge menschlichen Fahrern überlegen sein (vgl. ebenda).
- TM2: Autonome Fahrzeuge können in jeder Stadt und auf ungeteerten Straßen fahren und verfügen über begrenzten Fähigkeiten, Flächen abseits von Straßen zu befahren, die menschliche Fahrer befahren können. Sie werden dabei so sicher sein, wie ein durchschnittliches von Menschen gefahrenes Fahrzeug. Die autonomen Fahrzeuge können mit unvorhergesehenem Verhalten (z. B. Liegenbleiben, Fehlfunktion) anderer Fahrzeuge umgehen (vgl. ebenda).
- TM3: Autonome Fahrzeuge können in jeder Umgebung fahren, in der auch Menschen fahren können. Fahrzeuge können eigenständig lernen, mit zuvor unbekanntem Szenarien (z. B. Extremwetter, Sensordegeneration) umzugehen (vgl. ebenda).

Die Studie „Neue autoMobilität II - Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft“ (vgl. Acatech, 2019), entwirft Zukunftsbilder der Mobilität, die mögliche Entwicklungen hin zu einem integrierten Mobilitätskonzept der Zukunft und deren Bezügen zu einem Zielbild automatisierter und vernetzter Mobilität 2030+ auf-

zeigen sollen. Einige dieser Zukunftsbilder werden im Folgenden knapp zusammengefasst wiedergegeben, vgl. Tabelle 3.1.2.

Tabelle 3.1.2 Anwendungsroadmap Autonome Mobilität

Autonome Mobilität	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+	
Mobilität																	Acatech1
Mobilität																	Acatech2
Mobilität																	Acatech3
Mobilität																	Acatech4
Mobilität																	Acatech5
Mobilität																	Acatech6

Quelle: vgl. Acatech, 2019, eigene Darstellung

- Acatech1: Kooperativer Mischverkehr – in ein altes, zuvor nicht vernetztes Auto wird ein kleines Gerät eingebaut, das Signale von anderen Fahrzeugen empfangen kann, die automatisiert und vernetzt sind. Dadurch wird das Fahrverhalten des alten Fahrzeugs optimal mit den anderen Fahrzeugen abgestimmt. Verkehrsleitdienste berücksichtigen Verkehrsstörungen und geben Empfehlungen für Ausweichrouten. Auch beim Einfädeln auf der Stadtautobahn kommunizieren die Fahrzeuge untereinander und ermöglichen ein kooperatives Einfädeln auch bei hoher Geschwindigkeit, bei dem jederzeit bekannt ist, welches Fahrmanöver momentan vereinbart ist und umgesetzt wird (vgl. ebenda).
- Acatech2: Als Teil einer neuen ländlichen Mobilität gibt es eine reaktivierte Gleisstrecke, die für automatisierte Züge genutzt wird. Es stehen Leihfahrräder und E-Scooter zur Anbindung an den Bahnhof zur Verfügung. Zudem wurde ein autonom fahrender Bürgerbus eingerichtet (vgl. ebenda).
- Acatech3: Die Fernverkehrsflotte eines Transportdienstleisters ist mit der neuesten herstellerübergreifenden Platooning-Technologie ausgerüstet, womit die Lkw die Strecke auf der Autobahn in hochautomatisierten Konvois zurücklegen können. Die Bildung erfolgt über einen Plattformdienst. Die Fahrerinnen und Fahrer können sich während der Fahrt im Konvoi um Dispositions- und Verwaltungsaufgaben kümmern (vgl. ebenda).

- Acatech4: Ein Stadtviertel wurde als Pilotquartier für automatisierte Mobilität ausgewählt. Die Tiefgaragen des Viertels dürfen von automatisierten Fahrzeugen genutzt werden – auch von den Fahrzeugen eines Carsharing-Anbieters. Die automatisierten Fahrzeuge können besonders eng geparkt werden, denn es wird vor der Garage ein- und ausgestiegen (vgl. ebenda).
- Acatech5: Zu Stoßzeiten zahlt sich besonders aus, dass beim automatisierten Fahren die Fahrzeuge im ständigen Austausch mit ihrem Umfeld befinden. Die vernetzten Fahrzeuge optimieren ihren Routen unter Verwendung einer prognosebasierten Steuerung des Verkehrs sowie durch eine intelligente Vernetzung der Ampeln (vgl. ebenda).
- Acatech6: Ein Mann kommt ins Straucheln und stürzt auf die Straße. Weil die Sicht verdeckt ist, können die Sensoren des auf der gleichen Straßenseite heranfahrenden Fahrzeugs den gestürzten Mann nicht rechtzeitig wahrnehmen. Ein entgegenkommendes vernetztes Fahrzeug warnt jedoch rechtzeitig (vgl. ebenda).

Autonome Systeme in der Pflege

Im Hinblick auf eine verbesserte Pflege zuhause werden die verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Robotern in Betracht gezogen: zur Unterstützung im Haushalt, zur Überprüfung der Einhaltung ärztlicher Anweisungen sowie als sozialer Mediator oder zur Telepräsenz um zwischenmenschliche Interaktionen zu steigern. In diesem Zusammenhang werden die folgenden Meilensteine benannt (vgl. Computing Community Consortium, 2016), siehe Tabelle 3.1.3.

Tabelle 3.1.3 Anwendungsroadmap Autonome Systeme in der Pflege

Autonome Systeme	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Pflege		TM1														
Pflege							TM2									
Pflege												TM3				

Quelle: vgl. Computing Community Consortium, 2016, eigene Darstellung

- TM1: Roboter können spezifische einmalige Aufgaben übernehmen (z. B. Gesundheitsinterviews) und dabei Normen menschlichen Verhaltens berücksichtigen einschließlich sozialer Distanz und dabei Gesten und nicht-verbale Hinweise sowie einfache sprachliche Inhalte verstehen (vgl. ebenda).
- TM2: In kontrollierten Umgebungen können Roboter autonom längere wiederholte Interaktionen aufrechterhalten auf Basis eines offenen Dialogs einschließlich Sprache, Gesten und Blicke in begrenzten Bereichen. Sie können verschriebene Therapien/Interventionen in präzise definierten Domänen verabreichen (vgl. ebenda).
- TM3: Roboter können über Wochen und Monate autonom verschiedene Interaktionen unterhalten in einer breiten Menge von Domänen (vgl. ebenda).

Autonome Roboter in der Chirurgie

Mit Blick auf die chirurgische Entfernung eines Tumors besteht die folgende Vision. Auf Basis der diagnostischen Bildgebung schlägt ein automatisches Planungssystem den besten Operationsansatz vor. Am Tag vor der Operation übt der Operateur den Eingriff mehrmals anhand einer patientenspezifischen Simulation. Ein System zur Bildgebung und Navigation unterstützt die Probedurchläufe und gibt haptisches Feedback. Während der OP verfolgt das Navigationssystem den Fortschritt und vermittelt einen optimalen Blick auf die Anatomie des Patienten in der Art eines digitalen Assistenten. Für diese Vision werden u. a. die folgenden Meilensteine erwartet (vgl. ebenda), siehe Tabelle 3.1.4.

Tabelle 3.1.4 Anwendungsroadmap Autonome Roboter in der Chirurgie

Autonome Systeme	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Chirurgie							TM1									
Chirurgie												TM2				

Quelle: vgl. Computing Community Consortium, 2016, eigene Darstellung

TM1: Intuitive Interaktion zwischen Mensch und Roboter. Die Mensch-Roboter-Schnittstelle schätzt die Absichten den Menschen ein, statt lediglich Kommandos auszuführen (vgl. ebenda).

TM2: Dem Kontext angemessenes haptisches Feedback an den menschlichen Operateur (vgl. ebenda).

Anwendungsbeispiele autonomer Systeme in der Rettung und in lebensfeindlicher Umgebung

In den Anwendungsszenarien der Plattform Lernende Systeme (vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019a; Plattform Lernende Systeme, 2019b), finden sich auch zwei Beispiele für autonome Systeme, die nachfolgend knapp zusammengefasst werden, vgl. Tabelle 3.1.5.

Tabelle 3.1.5 Anwendungsroadmap Autonome Systeme in der Rettung und in lebensfeindlicher Umgebung

Autonome Systeme	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Energie				Wasser												
Öffentlicher Sektor				Rettung												

Quelle: vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019a; 2019b, *eigene Darstellung*

Erläuterung: Die angegebenen Zeitfenster stellen dar, wann die betreffende Anwendung realisiert sein könnte.

Wasser: In einer Offshore-Windkraftanlage wird ein Unterwasserroboter zu Wartungsaufgaben genutzt. Der Roboter kann eigenständig zum Einsatzort navigieren und eine planmäßige Inspektion ausführen. Kleiner Reparaturen können ggf. sofort erledigt werden. Nach der ebenfalls eigenständigen Rückkehr werden die gewonnenen Daten ausgewertet (vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019b).

Rettung: Bei einem Großfeuer in einer Chemiefabrik ist die Lage unübersichtlich für die Werksfeuerwehr. Es werden selbstlernende Flug- und Bodenroboter eingesetzt, die die Lage erkunden, indem sie einsturzgefährdete Bereiche, die Präsenz von Gefahrstoffen und die Position von Opfern möglichst schnell erkennen und diese Lageinformationen in Echtzeit an die Einsatzkräfte und andere eingesetzte Roboter weitergeben (vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019a).

Quellen und weiterführende Informationen

- Acatech (2019), Neue autoMobilität II – Kooperativer Straßenverkehr und intelligente Verkehrssteuerung für die Mobilität der Zukunft, Projektstudie, verfügbar unter: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2019/09/acatech_Studie_NA_2_Web.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BDVA und euRobotics (2019), Strategic Research, Innovation and Deployment Agenda for an AI PPP: A focal point for collaboration on Artificial Intelligence, Data and Robotics, Second Consultation Release September 2019, verfügbar unter: <http://www.bdva.eu/sites/default/files/AI%20PPP%20SRIDA-Second%20Consultation%20Release-September%202019%20-%20Online%20version.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2012), Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung, *Forschung Kompakt*, 11/12(83), verfügbar unter: <http://www.bast.de/DE/Publikationen/Foko/2013-2012/2012-11.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Computing Community Consortium (2016), A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics – 2016 Edition, verfügbar unter: <https://www.cccb.org/2017/01/03/2016-robotics-roadmap-and-the-national-robotics-initiative-2-0/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Fachforum Autonome Systeme (2017), Autonome Systeme – Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Langversion Abschlussbericht, verfügbar unter: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/HTF_FF_Autonome_Systeme_Langversion_web_niedrig.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Luckerson, V. (2019), The Long and Lucrative Mirage of the Driverless Car, verfügbar unter: <https://www.theringer.com/tech/2019/5/16/18625127/driverless-cars-mirage-uber-lyft-tesla-timeline-profitability>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Plattform Lernende Systeme (2019a), Schnelle Hilfe beim Rettungseinsatz. Anwendungsszenarien für KI, verfügbar unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Anwendungsszenarien/TwoPager_Rettung.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Plattform Lernende Systeme (2019b), Unter Wasser autonom unterwegs: Anwendungsszenarien für KI, verfügbar unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Anwendungsszenarien/TwoPager_Unterwasser.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.

SAE International (2016), Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, verfügbar unter: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201609/; abgerufen am: 22. Juni 2022.

3.2 Big Data

3.2.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Der Begriff „Big Data“ wird in Deutschland oft als Sammelbegriff für moderne digitale Technologien verwendet. Erscheinungsformen wie Open Data, Cloud Computing oder Smart Data werden mit Big Data synonym verwendet oder doch zumindest in direkten Bezug gesetzt. Ebenso werden Analysekonzepte oder Felder wie Data Analytics, maschinelles Lernen oder sogar Künstliche Intelligenz mit Big Data in einem Atemzug genannt und auch Business Analytics/Intelligence („BA/BI“), statistische Methoden, Data Mining und „Predictive Analytics“ sind in der Wahrnehmung „Big Data“. Irrtümlicherweise werden unter Big Data zuweilen auch Technologien, Instrumente, Infrastrukturen oder Plattformen großer IT-Anbieter wie IBM, Oracle Cloud, SAP HANA oder Apache Hadoop oder Googles MapReduce verstanden. Big Data wird inzwischen sogar generischer als „vollkommen neue Ära digitaler Kommunikation und entsprechender Verarbeitungspraktiken“ (vgl. Radtke und Litzel, 2016) bezeichnet, deren technologiegetriebene Wechselwirkungen auf eine große gesellschaftliche Reichweite mit hoher Dynamik hinweisen. Eine Begriffsbestimmung und -eingrenzung scheint daher voraussetzungsreich, doch eine eindeutige Definition des Begriffs „Big Data“ liegt bislang nicht vor. Verschiedenen Begriffsklärungen gemein sind Aussagen in Bezug auf das Volumen, die Strukturiertheit und die angewendeten Technologien zur Auswertung von (Massen-)Daten. So bezeichnet der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (Bitkom) Big Data als „die Analyse großer Datenmengen aus vielfältigen Quellen in hoher Geschwindigkeit mit dem Ziel, wirtschaftlichen Nutzen zu erzeugen“ (vgl. Bitkom, 2012a). Der Ethikrat legt in einer 2017 veröffentlichten Stellungnahme zu Big Data im Gesundheitswesen folgende Arbeitsdefinition zugrunde:

„Big Data ist der Umgang mit großen Datenmengen, der darauf abzielt, Muster zu erkennen und daraus neue Einsichten zu gewinnen, und der hierzu angesichts der Fülle und Vielfalt der Daten sowie der Geschwindigkeit, mit der sie erfasst, analysiert und neu verknüpft werden, innovative, kontinuierlich weiterentwickelte informationstechnologische Ansätze nutzt“ (Deutscher Ethikrat, 2017). Das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnik („SIT“) beschreibt in seinem Begleitpapier zum Bürgerdialog über „Chancen durch Big Data und die Frage des Privatsphärenschutzes“ (2015): „Big Data hat häufig zum Ziel, Zusammenhänge zu erkennen und so bei Entscheidungen zu helfen“. Mit datengetriebenen Methoden der Erkenntnisgewinnung sollen Entscheidungsprozesse unterstützt werden, so dass nach Mayer-Schönberger (2015): „Big Data weniger eine neue Technologie denn eine neue oder jedenfalls signifikant verbesserte Methode der Erkenntnisgewinnung ist“. Isitor und Stanier (2016) verwenden das heute oft zitierte „3-V-Modell“ von Doug Laney (2001), nach dem Big Data über drei englischsprachige „V“ Begriffe charakterisiert werden kann:

- „Volume“: die Menge an Daten, die nicht mehr mit konventionellen Datenbanksystemen verarbeitet werden können
- „Velocity“: die Beschleunigung des Datenverkehrs und die Analyse der Daten in Echtzeit (wobei Echtzeit die ausreichende schnelle Verarbeitung je nach Anwendungsfall meint)
- „Variety“: die unstrukturierte bzw. polystrukturierte Beschaffenheit der Daten z. B. Text-, Bild- Audio- und Videodaten, Metadaten usw.

Verschiedene Quellen wie auch das Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssysteme („FOKUS“) erweitern die Definition auf fünf V-Begriffe (vgl. Eckert, Henckel und Hoepner, 2014) mit zusätzlich noch

- „Value“: Der wirtschaftliche Wert von Big Data für ein Unternehmen (nicht der Daten), der durch geeignete Analysen gewonnen werden kann.
- „Veracity“: Die Richtigkeit, Wahrhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sinnhaftigkeit von Daten und damit verbunden das Problem, dass das Ergebnis einer Big-Data-Analyse stark davon abhängt, welche Qualität die eingegebenen Daten haben und mit welcher Methode Daten verarbeitet und ausgewertet werden.

Weitere Begriffe wie z. B. „Visualization“ (vgl. DeVan, 2016), wurden im Laufe der Zeit zur Charakterisierung von Big Data hinzugezogen und das IT-Unternehmen QSC führt sogar neun V-Begriffe zur Charakterisierung von Big Data auf, wie die zusätzlichen Begriffe wie „Validity, Visibility, Viability, Volatility“ (vgl. qbeyond, 2016).

Die Begriffsbestimmung zeigt, dass Big Data als Sammelbegriff gesehen werden muss, für sowohl technische Lösungen und Anwendungen als auch für Anforderungen, Potenziale und Herausforderungen.

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Daten als Instrument der Entscheidungsfindung
- Steigerung der Effizienz
- Aufdecken von verborgenen Korrelationen in komplexen Systemen
- Beherrschung der Komplexität
- Intelligent vernetzte Produktion
- Ressourceneffizientes Wirtschaften
- Individualisierung von Anwendungen, Dienstleistungen und Produkten
- Verbesserte Prognosen

Anwendungsbranchen

- Öffentliche Verwaltung
- Handel und Logistik
- Fahrzeugbau
- Produktion
- Dienstleistungen
- Finanzdienstleistungen und Versicherungen
- Maschinenbau
- Informationswirtschaft (Informationstechnik, Telekommunikation, Medien)
- Elektrotechnik und Elektronik
- Gesundheitswesen
- Energie
- Medizin

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- Berlin Big Data Center („BBDC“)
- Competence Center for Scalable Data Services and Solutions („ScaDS“ Dresden/Leipzig)

- Fraunhofer Alliance Big Data
- Analysis, Access and Targeted Use of Large Data Quantities – Fraunhofer IAIS
- Intelligent Solutions for the Knowledge Society
- German Research Center for Artificial Intelligence
- FZI Research Center for Information Technology
- Supercomputing & Big Data – Forschungszentrum Jülich and Karlsruhe Institute of Technology
- Big Data Competence Centre – University of Applied Sciences Darmstadt
- Frankfurt Big Data Lab – Goethe University Frankfurt
- Big Data Innovation Center (SAP)
- Accenture
- Atos
- Capgemini
- Deutsche Telekom
- Fritz&Macziol
- LC Systems
- Robotron
- T-Systems
- jinit[
- IBM
- SAP
- The unbelievable Machine Company
- Microsoft
- MHP
- Telefónica Deutschland
- Nugg.ad
- Fujitsu

Verwandte Technologien

- Machine Learning/Künstliche Intelligenz
- Internet of Things/Industrie 4.0
- Kommunikationstechnologien
- Soziale Netzwerke
- Cloud Computing
- Autonome Systeme
- Smart Homes, smart Meter usw.
- Wearables

Einschätzung

Aufgrund der Vielschichtigkeit – auch in der Definition – von Big Data und der zunehmenden Erhebung und Verfügbarkeit von Massendaten, steigt künftig die Notwendigkeit große Datenmengen wertstiftend zu analysieren. Daten können aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen (Sensoren, Sozialen Medien, Telekommunikations-, Verbrauchs- oder Transaktionsdaten, Geschäftszahlen, Wartungs- oder Betriebsdaten in der Produktion etc.) und unterschiedliche Datentypen (Texte, Zahlen, Bilder, Video, Audio, Metadaten) umfassen und liegen daher in polystrukturierter Form vor. Zu den wichtigsten Treibern des Datenwachstums gehören die zunehmende (mobile) Internetnutzung, ubiquitäre Endgeräte wie z. B. Smartphones oder Wearables, die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in Alltagsgegenstände, die steigende Nutzungsintensität von Sozialen Netzwerken, aber auch die fortschreitende Digitalisierung von Produktion, Haushalt, Energieversorgung und Mobilität (Internet of Things) und sowie Dienstleistungen (Internet of Services). Schätzungen gehen davon aus, dass das weltweit verfügbare Volumen elektronischer Daten von ca. 33 Zettabytes im Jahr 2018 auf mehr als 175 Zettabytes im Jahr 2025 ansteigen wird.⁹⁷ Fast 30 Prozent der weltweiten Daten werden sogar in Echtzeit verarbeitet. Häufig werden Daten aus unterschiedlichen Quellen miteinander in Korrelation gebracht, indem sie Disziplin- oder Anwendungsübergreifend fusioniert werden und so neue, verborgene Relationen zwischen Datenpunkten entstehen. Obwohl Massendaten eine wichtige Voraussetzung für Industrie 4.0, Künstliche Intelligenz, autonome Systeme oder das Internet of Things sind, stehen den Möglichkeiten Gefahren und Risiken gegenüber. Die Erhebung, die sich aus fusionierten Daten ergeben (insbesondere bei einer zunehmenden Fusionierung bei großen Internetplattformen), erfordert eine Sensibilisierung von Bürgern und Unternehmen (siehe z. B. Social Scoring) und zeigen den großen Einfluss den Big Data auf Gesellschaft und Wirtschaft und als politisches Querschnittsthema hat.

97 Vgl. Redgate, 8. September 2021, What's the real story behind the explosive growth of data?, verfügbar unter: <https://www.red-gate.com/blog/database-development/whats-the-real-story-behind-the-explosive-growth-of-data>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Chancen/Herausforderungen bzw. Stärken/Schwächen Deutschland

Stärken und Chancen

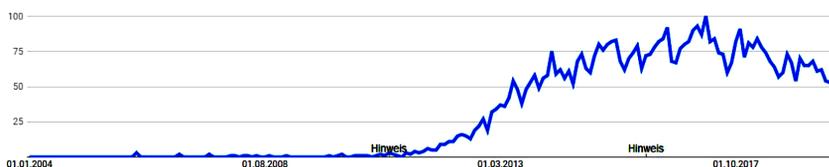
- nationale Allianzen und Kompetenzzentren
- DSGVO und andere strenge Instrumente zum Schutz der Bürger
- Schnellere und detaillierte Analysen ggf. sogar Echtzeit-Analysen
- Agilität
- Erzeugung von Transparenz in komplexen Systemen
- Entdecken unbekannter Zusammenhänge
- Vermehrt faktenbasierte Entscheide

Schwächen und Risiken

- International große Anbieter Google, Microsoft, Amazon, Facebook, IBM, Apple, Tencent, Baidu, Alibaba
- Bedrohung der Privatsphäre
- Überwachung
- Mangelnde Nachvollziehbarkeit bzw. intransparente Automatisierung von Entscheidungsprozessen
- Datenkapitalismus
- Zentralisierung von Datensilos bei einigen wenigen Anbietern/Plattformen, Datenmonopole
- Ungleichheiten und soziale Ungleichgewichte
- Datenschutz und Datensicherheit
- Unüberschaubarkeit/Komplexität
- Mangelnde Verhältnismäßigkeit
- Intransparenz durch Delokalisierung
- Erhöhte Manipulationsgefahr
- Risiko von Datenmissbrauch

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.2.1 Interesse am Thema „Big Data“ über die Zeit



Quelle: Google Trends, eigene Darstellung.

3.2.2 Anwendungsroadmap

In der Big Data-Studie „The Human Project“ will die Non Profit-Wissenschaftsstiftung Kavli von ca. 10.000 Einwohnern News Yorks per Smartphone App alle erdenklichen Daten über einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren erfassen.⁹⁸ Von den Teilnehmern aus allen Alters- und Gehaltschichten sollen Kreditkartendaten, Gehaltsschecks, Ergebnisse von Intelligenztests, ärztliche Untersuchungsergebnisse und auch soziale Aspekte des Lebens wie die Anzahl der Freunde und Kontakte oder die Berufs- und Wohnortwechsel erhoben werden. Man rechnet mit ca. 250 Gigabyte Daten pro Jahr und Teilnehmer. Erste Ergebnisse der Studie sollen ab 2020 vorliegen. Die Forscher erhoffen sich z. B. Erkenntnisse, ob Armut die Hirnentwicklung kleiner Kinder beeinflusst oder welche Umwelteinflüsse zur Entstehung von schweren Krankheiten beitragen.

Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie („BMWi“) geförderten Smart-Data-Projekt „iTESA – Intelligent Traveller Early Situation Awareness“ sollen Potenziale erarbeitet werden, die es Unternehmen und Reisenden ermöglichen, im Ernstfall schneller auf Reiserisiken und Ereignisse wie Naturkatastrophen, Epidemien oder Terroranschlägen zu reagieren. Hierfür analysiert iTESA mithilfe spezieller Datenanalysen und selbstlernender Algorithmen weltweit Quellen wie Internetseiten, soziale Netzwerke, Agentur- und Pressemeldungen sowie Nachrichten und Informationen von Behörden hinsichtlich möglicher Reiserisiken. Mit der Leichtathletik-EM 2018 in Berlin, den Olympischen Sommerspielen in Tokio 2020 und Fußball WM Katar 2022 sollen nun ausgewählte Einsatzmöglichkeiten ausgelotet werden.

Unternehmen wie IDC, Intel oder Cisco prognostizieren für das Jahr 2020 bis zu 200 Milliarden mit dem Internet vernetzte Gegenstände. Verknüpft man dies mit dem Ausblick, dass eine typische IoT-Monitoring-Applikation mit einer Gruppe von ca. 100 Sensoren ca. vier Petabyte Daten pro Jahr produziert, wird deutlich, dass das Speichern von Massendaten zunächst als Herausforderung erscheint. Die Deutsche Welle (DW) produziert täglich eine Vielzahl an Web-Videos und -Formaten für seine digitalen Angebote und stellte 2012 an eine Big Data Lösung hohe Anforderungen in Bezug auf Datenmenge, Verarbeitungsgeschwindigkeit und unterschiedliche Datenformate. Für das realisierte System (Hadoop/Hbase) resü-

98 Vgl. IT Zoom, 10. Juli 2017, The Human Project: 10.000 New Yorker teilen alle Daten, verfügbar unter: <https://www.it-zoom.de/it-director/e/the-human-project-10000-new-yorker-teilen-alle-daten-17240/>; abgerufen am: 11. November 2022.

miert die Fernsehgesellschaft, dass die implementierte Big Data-Lösung auch über große Datenmengen exzellent skaliert und nicht zu erwarten sei, dass das Projekt in den nächsten Jahren an Grenzen stößt. Tatsächlich skaliert Big Data (im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren und Technologien) per Definition mit großen Datenmengen. In einer Studie der International Data Corporation („IDC“), heißt es, dass Big Data und Metadaten (also „Daten über Daten“) künftig jeden Bereich des alltäglichen Lebens berühren werden. Im Jahr 2025 wird jeder Mensch auf der Erde mit vernetzten Geräten interagieren und dies bis zu fast 5.000-mal pro Tag – mit profunden Konsequenzen (vgl. IDC, 2017).

Verschiedene Untersuchungen weisen immer wieder auf die gesellschaftlichen Implikationen von Big Data hin und mahnen an, Maßnahmen und Regeln zum Schutz von Personendaten bzw. bei der Prävention von Daten-Missbrauch stärker in den Fokus zu nehmen (vgl. Jarchow und Estermann, 2015). Einzelne Stimmen warnen zudem vor einer unkontrollierten Eigendynamik der Systeme, insbesondere im Zusammenhang mit Künstlicher Intelligenz, wenn immer mehr Entscheidungen auf Daten und Algorithmen basieren, die niemand mehr richtig versteht oder beherrscht. In einer Untersuchung „Ten simple rules for responsible big data research“ (vgl. Zook et al., 2017), weisen mehrere Forscher von US-amerikanischen Universitäten, wie Informatiker, Soziologen, Juristen aber auch Mitarbeiter des Microsoft Research Labs in ihrer Studie auf mögliche Gefahren im Umgang mit Big Data hin und schlagen elementare Regeln zum Umgang mit Big Data vor.

Quellen und weiterführende Informationen

Bitkom (2012a), Leitfaden Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte, verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2012/Leitfaden/Leitfaden-Big-Data-im-Praxiseinsatz-Szenarien-Beispiele-Effekte/BITKOM-LF-big-data-2012-online1.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Bitkom (2012b), Germany – Excellence in Big Data, verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Germany-Excellence-in-Big-Data.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Corporate Europe Observatory (2017), Big Data is watching you. The industry lobby battle against ePrivacy, verfügbar unter: <https://corporateeurope.org/power-lobbies/2017/10/big-data-watching-you>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Deutscher Ethikrat (2017), Big Data und Gesundheit – Datensouveränität als informationelle Freiheitsgestaltung, verfügbar unter: <http://www.ethikrat.org/dateien/pdf/stellungnahme-big-data-und-gesundheit.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

- DeVan, A. (2016), The 7 V's of Big Data, verfügbar unter: <https://www.linkedin.com/pulse/7-vs-big-data-ashley-devan>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Eckert, K.-P., L. Henckel und P. Hoepner (2014), Big Data – Ungehobene Schätze oder digitaler Albtraum, verfügbar unter: <https://www.oeffentliche-it.de/documents/10181/14412/Big+Data+ungehobene+Sch%C3%A4tze+oder+digitaler+Albtraum>; abgerufen am: 11. November 2022.
- Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie (SIT) (2015), Chancen durch Big Data und die Frage des Privatsphärenschutzes, verfügbar unter: https://www.sit.fraunhofer.de/fileadmin/dokumente/studien_und_technical_reports/Big-Data-Studie2015_FraunhoferSIT.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- IDC (2017), Data Age 2025, Whitepaper, Sponsored by Seagate, verfügbar unter: <https://www.import.io/wp-content/uploads/2017/04/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Isitor, E. und C. Stanier (2016), Defining Big Data, *Proceedings of the International Conference on Big Data and Advanced Wireless Technologies*, Aufsatznr. 5, S. 1-6
- Jarchow, T. und B. Estermann (2015), Big Data: Chancen, Risiken und Handlungsbedarf des Bundes, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Kommunikation, verfügbar unter: https://www.bakom.admin.ch/dam/bakom/de/dokumente/informationsgesellschaft/big_data_chancenrisikenundhandlungsbedarfdesbundes.pdf.download.pdf/big_data_chancenrisikenundhandlungsbedarfdesbundes.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Laney, D. (2001), 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety, verfügbar unter: <https://web.archive.org/web/20120304154148/https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Mayer-Schönberger, V. (2015), Was ist Big Data? Zur Beschleunigung des menschlichen Erkenntnisprozesses, Beitrag in *Aus Politik und Zeitgeschichte (ApuZ)*, verfügbar unter: <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/202242/was-ist-big-data/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Qbeyond (2016), Die 9 V von Big Data, verfügbar unter: <https://blog.qbeyond.de/2016/08/die-9-v-von-big-data/>; abgerufen am: 22. Juni 2022
- Radtke, M. und N. Litzel (2016), Was ist Big Data?, verfügbar unter: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-big-data-a-562440/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Zook, M., S. Barocas, D. Boyd, K. Crawford, E. Keller, S. Peña Gangadharan, A. Goodman, R. Hollander, B. A. Koenig, J. Metcalf, A. Narayanan, A. Nelson und F. Pasquale (2017), Ten simple rules for responsible big data research, *PLOS Computational Biology*, 13(3), verfügbar unter: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005399>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

3.3 Blockchain

3.3.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Kaum ein IT-Thema hat in den vergangenen zwei Jahren für so viel Gesprächsstoff gesorgt wie die Blockchain⁹⁹ und das, obwohl die Blockchain auf Technologien und Konzepten basiert, die in der Informationstechnik schon seit vielen Jahrzehnten bekannt sind. Entwickelt wurde das technische Modell der Blockchain im Jahr 2008 im Rahmen der Kryptowährung Bitcoin (vgl. Nakamoto, 2008), mit dem Ziel, in einem Netzwerk mit unbekannter Teilnehmerzahl und bei Teilnehmern mit unbekannter Vertrauenswürdigkeit, ohne Intermediär (Vermittler) Vertrauen und Integrität aufrechtzuerhalten. Eine Blockchain ist dabei eine dezentrale Datenbank, die eine stetig wachsende Liste sämtlicher Transaktionen in Blöcken speichert, vergleichbar mit einer Kette, bei der am Ende ständig neue Elemente hinzugefügt werden (daher auch der Name „Blockchain“ also „Blockkette“). Ist ein Block vollständig, wird dieser unveränderlich an die Kette angehängt und der nächste erzeugt, wobei jeder Block eine Prüfsumme des vorhergehenden Blocks enthält. Neu ist die Art und Weise, wie eine Blockchain mehrere Konzepte und Technologien verknüpft, um Konsens und Vertrauen in einem verteilten System mit unbekannter Vertrauenswürdigkeit zu schaffen.

99 Der Begriff Blockchain wird in Anlehnung an die Blockchain-Strategie der Bundesregierung (vgl. BMWi und BMF, 2019) im vorliegenden Dokument synonym für Distributed-Ledger-Technologien verwendet. Unter Distributed-Ledger-Technologien werden allgemein dezentral verwaltete informationstechnische Systeme, wie Register oder Kontobücher verstanden, bei denen Werte ohne Intermediär zwischen den Teilnehmern ausgetauscht werden können.

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Dezentrale Speicherung
- Konsens ohne Intermediäre
- Zensursicherheit
- Manipulationssicherheit
- Transparenz/Vertraulichkeit
- Nachverfolgbarkeit/Nichtabstreitbarkeit
- hohes Automatisierungspotenzial

Anwendungsbranchen

- Energie
- Handel
- Finanzsektor
- Medien
- Versicherungen
- Logistik
- Medizin
- E-Government
- Internet der Dinge
- Wissenschaft/Bildung

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- Blockchain Bundesverband
- Blockchain Reallabor NRW
- IOTA Foundation
- IBM Food Trust
- Ripple
- Corda
- Hyperledger
- Enterprise Ethereum Alliance
- Enerchain
- Mobility Open Blockchain Initiative („MOBI“)

Verwandte Technologien

- Smart Contracts zur Automatisierung von Transaktionen
- Tokens als Instrument für ein neues Internet der Werte
- weitere Distributed Ledger Technologien wie Tangle, Hashgraph
- Künstliche Intelligenz bzw. autonome Systeme

Einschätzung

Obwohl bereits zahlreiche Unternehmen mit der Blockchain experimentieren und teilweise auch im Einsatz haben, befindet sich die Technologie in einer frühen Phase, in der die Erwartungen noch übersteigert sind. Das Versprechen, Werte manipulationssicher digital transferieren zu können, eröffnet jedoch viele neuartige Anwendungsperspektiven. Als Technologie hat Blockchain das Potenzial, zahlreiche etablierte Branchen und Geschäftsprozesse zu reformieren (vgl. Swan, 2015). Insbesondere das Internet der Dinge, Industrie 4.0, künstliche, vertrauenswürdige Intelligenz, sichere autonome Systeme und für jede andere Art autonom verknüpfter Dienste im Netz kann die Blockchain von hoher Relevanz sein. Die Blockchain kann vor allem dort ihren größten Nutzen ausspielen, wo es noch keine effizienten zentralen Systeme gibt, wo digitale Dienste ohne Intermediär automatisiert miteinander interagieren oder die Vertrauenswürdigkeit der Akteure hinterfragt werden muss. So ist bspw. Nicht zu erwarten, dass die Katasterämter der entwickelten Länder in den kommenden Jahren ersetzt werden, für das Katasterwesen in Entwicklungsländern könnte eine Blockchain-Lösung jedoch durchaus realistisch sein. Ebenso kann konstatiert werden, dass über zwei Milliarden Menschen weltweit ohne eigenes Bankkonto sind (vgl. Tapscott und Tapscott, 2016). Neben zahlreichen Kryptowährungen, die Internetseite Coinmarketcap listet derzeit über 2379 Kryptowährungen,¹⁰⁰ und Bestrebungen von Unternehmen wie Facebooks Libra denken auch Staaten über digitale (Krypto-)Währungen nach. Die Blockchain hat das Potenzial auch den globalen geldverkehr sozial inklusiver zu gestalten.

100 Vgl. CoinMarketCap, List of all Cryptocurrencies, verfügbar unter: <https://web.archive.org/web/20190615000000/https://coinmarketcap.com/all/views/all/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Chancen/Herausforderungen (bzw. Stärken/Schwächen Deutschland)

Stärken und Chancen

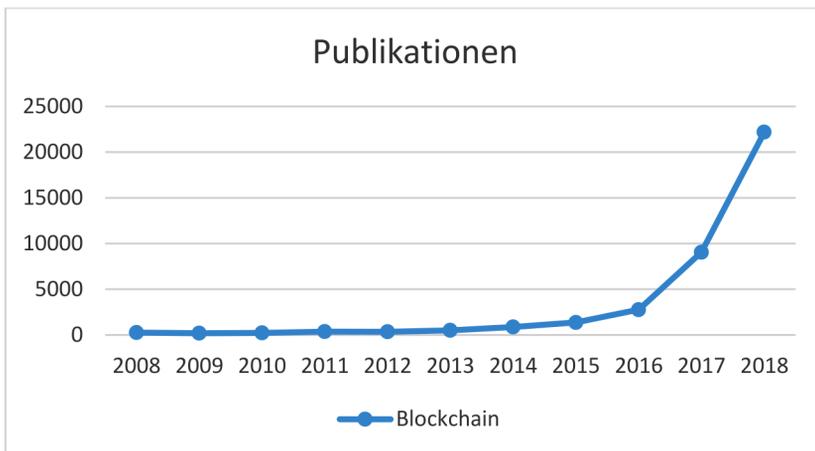
- nationale Blockchain-Strategie
- aktive Start-up-Landschaft
- steigendes Engagement deutscher Unternehmen
- Magnet für Fachkräfte und Unternehmen
- Ausbau der digitalen Souveränität der Bürger
- Mögliche Basistechnologie des Internet of Things
- Contra-Technologie und Chance für Deutschland sich gegenüber den großen zentralisierten Digitalen Plattformen wie Amazon, Google, Facebook usw. zu behaupten

Schwächen und Risiken

- ungeklärte regulatorische und rechtliche Fragen
- geringe Verbreitung in Forschung und Lehre
- strenge gesetzliche Vorgaben (wie z. B. DSGVO)
- Abwanderung des Know-hows in innovationsfreundliche Länder
- abstrakte Technologie die Aufklärungsarbeit erfordert

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.3.1 Anzahl von Publikationen zu Blockchain über die Zeit



Quelle: Google Scholar – Trefferzahl zu „blockchain“, eigene Darstellung.

3.3.2 Anwendungsroadmap

Die bei der Blockchain verwendeten Basistechnologien sind in der Informatik bereits seit Jahrzehnten bekannt. Seit den 1980er Jahren werden verteilte Datenbanksysteme und manipulationssensitive Datenstrukturen wie der Merkle-Tree diskutiert. In den 1990er Jahren wurden digitale Währungen wie DigiCash entwickelt, Echtheitsverifizierung per kryptografisch verketteter Blöcke bspw. Von Haber und Stornetta erforscht und die asymmetrische Kryptographie in Form von PGP vorgestellt. Die technische Basis einer Blockchain, die sog. Kryptographischen Hash-Funktionen wurden ebenfalls in den 1990er Jahren entdeckt, ebenso wie die Distributed-Ledger-Technologie (die sog. „Mutual Distributed Ledgers“ 1995) sowie dezentrale Architekturen und Peer-to-Peer-Systeme Ende der 1990er Jahre. Neu ist, dass alle diese Technologien vereint zu einem neuartigen System (der Blockchain) führten, das Integrität und Vertrauen in einem Netzwerk unbekannter Zuverlässigkeit, mit unbekanntem Teilnehmern und unbekannter Vertrauenswürdigkeit schafft.

Der Economist¹⁰¹ betitelte 2015 diesen Ansatz als „Vertrauensmaschine“, die Blockchain sei „eine fantastische Kette des Vertrauens“, die „die Wirtschaft auf den Kopf stellen könne“, und dem von Nakamoto (2008) vorgestellten Bitcoin wurde nachgesagt, eine Währung zu sein, die nur vom Vertrauen der Teilnehmer gedeckt sei. Dieses Vertrauen wurde vor allem durch die verwendeten Technologien und das zugrundeliegende Konzept geschaffen, das jede Transaktion unveränderlich, unfälschbar und öffentlich einsehbar macht. Inzwischen ist die Blockchain über die Bitcoin-Anwendung hinausgewachsen, da in den vergangenen Jahren deutlich wurde, dass im von Nakamoto beschriebenen verteilten Register nicht nur Transaktionen, sondern auch Eigentumsnachweise, Dokumente, Zeugnisse, medizinische Daten oder Verträge unveränderlich abgelegt werden könnten. Die Blockchain erfüllt somit nicht nur das Versprechen der drei klassischen Ziele der Informationssicherheit, der Schutz der Integrität, der Verfügbarkeit und der Vertraulichkeit, sondern sie verspricht auch höhere Prozessgeschwindigkeiten, stabilere Speicherung, bessere Methode für Analyse und Transparenz und den Verzicht eines Intermediärs (vgl. Camilleri et al., 2019). Laut einer Studie des Marktforschungsunternehmens Capgemini gelten Kosteneinsparungen, Nachverfolgbarkeit und Transpa-

101 Economist, 31. Oktober 2015, The Trust Machine, verfügbar unter: <https://www.economist.com/leaders/2015/10/31/the-trust-machine>; abgerufen am: 30. Juni 2022.

renz als die Top Treiber der Blockchain-Technologie (vgl. Caggemini Research Institut, 2018). Zu den Grundeigenschaften einer Blockchain-Anwendung zählen Eigenschaften einer verteilten, „add-only“-Datenbank mit mehreren schreibenden Parteien bei gleichzeitiger Abwesenheit von Vertrauen gegenüber den Parteien sowie der Notwendigkeit auf einen Intermediär zu verzichten und der konsensbasierten Validierung von Transaktionen (hierzu existieren zahlreiche Konsensverfahren, das bekannteste ist „Proof-of-Work“) (vgl. Caggemini Research Institut, 2018). Diese Eigenschaften werden in Gänze vor allem von Kryptowährungen erfüllt, andere Blockchain-Anwendungen erfüllen diese Zieleigenschaften nur partiell, indem sie je nach Anwendungsfall zwischen Typ der Blockchain (public/private und/oder permissioned/permissionless) (vgl. Camilleri et al., 2019), Konsensverfahren oder verwendeter kryptographischer Hash-Funktion (vgl. ebenda) unterscheiden. Die Blockchain-Technologie wurde basierend auf der Idee eines dezentralen, verteilten Systems entworfen, das zentrale Instanzen ablösen und Transaktionen direkt zwischen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Netzwerkes ermöglichen soll. Grundsätzliche Anwendungstypen der Blockchain sind der Nachweis einer Existenz, der Nachweis der Nichtexistenz, der Nachweis der Reihenfolge, der Nachweis des Zeitpunktes, der Nachweis der Identität, der Nachweis von Eigentum und/oder der Nachweis einer Urheberschaft.

Mit Blick auf zukünftige Anwendungen und Zeithorizonte bis zu deren Realisierung ist festzustellen, dass sich noch keine übergeordnete Fachcommunity gebildet hat, die mit einer Stimme Zielanwendungen und Zwischenschritte in einer Roadmap gebündelt hätte. Stattdessen ist eine Fülle von Pilotvorhaben mit teilweise auch langfristigen Anwendungsperspektiven zu beobachten, die im nachfolgenden exemplarisch zusammengefasst werden.

Zu den Anwendungsgebieten/-branchen zählen u. a. die Finanz- und Versicherungswirtschaft, E-Government, Handel und Logistik, die Energiewirtschaft, das Internet der Dinge/Industrie 4.0, die Entwicklungszusammenarbeit sowie Medien (vgl. Acatech, 2019, S. 11). Die Blockchain Strategie der Bundesregierung bezeichnet die Blockchain-Technologie als einen „Baustein für das Internet der Zukunft“ (vgl. BMWi und BMF, 2019). Mit der Blockchain-Technologie können jedwede Werte, Rechte und Schuldverhältnisse sowohl an materiellen als auch immateriellen Gütern durch Token (vgl. BMWi und BMF, 2019) repräsentiert und deren Handel und Transfer potenziell vereinfacht werden. Welche Auswirkungen diese Entwicklung weltweit haben wird, ist noch offen. Dies wird auch von dem Energieverbrauch der Blockchain abhängen, der in Einzel-

fällen signifikant ist. Hier fehlt an verlässlichen Abschätzungen über die klimarelevanten Auswirkungen einer Hochskalierung der Blockchain, so dass diesbezüglich noch großer Forschungsbedarf besteht.

Die Bundesregierung wird bis Ende 2021 Maßnahmen in mehreren Handlungsfeldern ergreifen. Als Werkzeug der Blockchain im Finanzsektor soll das deutsche Recht für elektronische Wertpapiere geöffnet und ein Gesetzentwurf zur Regulierung des öffentlichen Angebotes bestimmter Krypto-Token veröffentlicht werden. Zudem sollen Projekte und Reallabore gefördert werden, z. B. die Pilotierung einer Blockchain-basierten Energieanlagenanbindung an eine öffentliche Datenbank. Es sollen Blockchain-basierte Verifikationen von Hochschulbildungszertifikaten erprobt werden (vgl. Camilleri et al., 2019; BMWi und BMF, 2019) und vor allem nachhaltigkeitsbezogene Anforderungen bei der Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain-Technologie zu einem wichtigen Entscheidungskriterium gemacht werden. Ein weiteres Ziel ist die Schaffung verlässlicher Rahmenbedingungen. Bei digitalen Verwaltungsdienstleistungen pilotiert die Bundesregierung Blockchain-basierte digitale Identitäten und evaluiert weitere geeignete Anwendungen. Im Rahmen eines Blockchain-Ideenwettbewerbs der Bundesregierung wurden mögliche Anwendungen im Gesundheitswesen prämiert (vgl. BMWi und BMF, 2019, S. 11). So wurden Blockchain-basierte Lösungen vorgestellt, bei der Betäubungsmittelrezepte (bisher anfällig für Manipulation, Missbrauch und Diebstahl) in einer privaten Blockchain durch Arztpraxen, Apotheken und Aufsichtsbehörden gemeinsam digital verwaltet werden, um die Betäubungsmittelsicherheit in Deutschland zu erhöhen und Verwaltungsaufwand zu reduzieren. Ebenso sollen Patienteneinwilligungen und Arbeitsunfähigkeitsbescheinigungen nicht mehr umständlich und papierbasiert verwaltet werden, sondern verschlüsselt und fälschungssicher vom Arzt an Patienten, Arbeitgeber sowie Krankenkasse übermittelt werden. Mit diesen Gewinnern des Ideenwettbewerbes werden für die kommenden Jahre mögliche weitere Schritte eruiert.

Bei der Auswahl künftig zu fördernder Projekte durch die Bundesregierung werden maßgeblich die Prinzipien der Nachhaltigkeit, Zugänglichkeit und Transparenz der technologischen Lösungen in den Fokus rücken. Zudem sind Lösungen angestrebt, die die Vernetzung und den Wissenstransfer zwischen privatwirtschaftlichen, zivilgesellschaftlichen und öffentlichen Akteuren zulassen. Es wird untersucht, wie der Einsatz von Blockchain-Technologie zur Transparenz in Liefer- und Wertschöpfungsketten beitragen kann. Darüber hinaus sollen bis Ende 2020 Anwendungsmöglichkeiten der Blockchain-Technologie im Gesellschafts- und Genossen-

schaftsrecht untersucht werden. Die Bundesregierung wird sich mit den rechtlichen Rahmenbedingungen neuartiger Formen der Kooperation – auch zwischen Wettbewerbern – befassen. So stehen mit Smart-Contracts neuartige Formen der Zusammenarbeit bereit, die sich durch das Fehlen einer zentralen verantwortlichen Stelle und Smart-Contract-basierten Entscheidungsprozessen auszeichnen. („DAO“ – Dezentrale Autonome Organisationen).

Eine umfassende Studie der Deutschen Energieagentur („Dena“) (vgl. Dena, 2019a; Dena, 2019b) bescheinigt der Blockchain eine Eignung, die anstehende Transformationen von Energiesystem und Energierecht effektiv zu unterstützen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie soll als Teil der Blockchain-Strategie in den kommenden Jahren gemeinsam mit der Dena und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft untersucht werden, welche Prozesse im Energiesektor in Smart Contracts (vgl. BMWi und BMF, 2019) überführt werden können, mit dem Ziel eine öffentliche Plattform aufzubauen, die Anwendern und Entwicklern bei der Ausgestaltung von Smart Contracts unterstützt. Das so entstehende Smart Contracts-Register in der Energiewirtschaft soll exemplarisch für andere Wirtschaftssektoren stehen und als Basis für die Ausgestaltung und den Aufbau weiterer Register dienen.

Ebenfalls in der Blockchain-Strategie festgelegt, sollen bis 2021 technische Verfahren zur digitalen Identifizierung, Authentisierung und Verifikation von Geräten untersucht werden um das volle Potenzial der Blockchain-Technologie im Kontext des Internets der Dinge, Consumer IoT und Industrie 4.0 zu entfalten und so eine Basis für eine Entwicklung von Standards auf nationaler (z. B. mit dem DIN) und auf internationaler Ebene (ISO/TC 307) zu schaffen und aktiv für die Verwendung von offenen Schnittstellen zu werben. Ebenso sollen Blockchain-basierte digitale Identitäten pilotiert und geeignete weitere Anwendungen evaluiert. Darüber hinaus wird in einem Förderprojekt die Interoperabilität von sicheren digitalen Identitäten für Personen erprobt. Leuchtturmprojekte, die die Blockchain-Technologien beispielhaft in der Verwaltung zum Einsatz bringen, sollen in den kommenden Jahren gefördert und öffentlichkeitswirksam unterstützt werden. Die Bundesregierung beteiligt sich im Rahmen ihrer Initiative „Sichere digitale Bildungsräume“ beim EU-Projekt Europass. Dies umfasst auch die pilothafte Erprobung von „Digitally Signed Credentials“ (vgl. Europäische Kommission, 2019) für durchgängig digital verifizierte Kompetenzzertifikate und Arbeitszeugnisse (2019-2020). Im Rahmen des e-Government-Engagements soll bis zum Jahr 2025 die Anwendung der Blockchain-Technologie in der Fahrzeughaltung geprüft

werden. Es soll dabei der Frage nachgegangen werden, ob ein Blockchain-basiertes System dazu beitragen kann, Fahrzeugdaten beinhaltende Systeme miteinander zu verknüpfen, insbesondere im Hinblick auf die Administrierung von Verfügungsberechtigungen von Kraftfahrzeugen.

Schon jetzt werden verschiedene Reallabore gefördert wie bspw. Der Aufbau eines Blockchain-Reallabors im Rheinischen Revier.¹⁰² Im Blockchain-Reallabor werden Wissenschaft, Unternehmen und Start-ups zunächst fokussiert auf die Bereiche Energie, Daseinsvorsorge, Logistik, Industrie 4.0 und Finanzwirtschaft zusammenarbeiten. Der Start der Praxisprojekte ist für 2020 vorgesehen. Weitere Aktivitäten können beim von der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit („GIZ“) Februar 2018 gegründeten Blockchain Lab beobachtet werden.¹⁰³ Das Lab erschließt das transformative Potenzial der Blockchain und verwandten Technologien für eine Umsetzung der UN-2030 Agenda für nachhaltige Entwicklung. Mittlerweile wurden hierzu über 150 Anwendungsmöglichkeiten geprüft und vier Projekte identifiziert, in denen die Blockchain-Technologie eingesetzt werden soll. Zu den Anwendungsfeldern gehören Klimarisikoversicherungen, fälschungssichere Bildungszertifikate, intelligente Stromnetze sowie nachhaltige Lieferketten. Die Pilotprojekte werden nun geplant und umgesetzt. Zwanzig weitere Projekte werden aktuell vom Blockchain Lab beraten.

In einer Studie des Center of Social Innovation der Stanford Graduate School of Business (vgl. Galen et al., 2018), wurden 193 Organisationen, Initiativen und Blockchain-Projekte untersucht mit dem Ergebnis, dass 34 Prozent der untersuchten Projekte zwar in oder nach 2017 gestartet sind, aber 74 Prozent der Projekte sich noch der in Pilot- oder sogar Ideenphase befinden. Dementsprechend befindet sich die Technologie noch in der Frühphase der Anwendung, aber erste Auswirkungen sind ab dem laufenden Jahr 2019 zu erwarten. Ebenfalls wurde ermittelt, dass 20 Prozent der Projekte blockchainbasierte Lösungen liefern, zu denen es davor keine vergleichbaren Lösungen gab. 86 Prozent der Projekte bieten Verbesserungen gegenüber bisherigen bestehenden Lösungen. Der größte Vorteil der

102 Vgl. Landesregierung NRW, 02.09.2019, Land fördert mit 1,2 Millionen Euro den Aufbau eines Blockchain-Reallabors, verfügbar unter: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/land-foerdert-mit-12-millionen-euro-den-aufbau-eines-blockchain-reallabors-im>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

103 Vgl. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 14.08.2019, Blockchain-Technologie: Neue Lösungen für nachhaltige Entwicklung, verfügbar unter: <https://www.giz.de/de/mediathek/78035.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Blockchain besteht der Studie zur Folge in der Minimierung von Risiken und Betrug und der Verbesserung der Effizienz (vgl. Galen et al., 2018).

Das in Cleveland, USA ansässige Start-up Votem hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2025 ein globales System für sichere, nachvollziehbare Fernwahlen zu entwickeln (vgl. Galen et al., 2018, S. 24). Das Start-up SOLshare (Bangladesch) will mit der Blockchain ein dezentrales System für den Energiehandel aufbauen, bei dem Mikro-Produzenten erneuerbare Energien handeln und abrechnen können. Ein funktionsfähiger Pilot ist derzeit in der Anwendung, langfristiges Ziel für 2030 sind 10000 Mikro-Grids mit über einer Millionen Anwender (vgl. Galen et al., 2018, S. 38).

Ähnliche Reifegrade sind bei Anwendungen in der Wirtschaft zu beobachten. Obwohl bereits zahlreiche Unternehmen und Konsortien mit der Blockchain experimentieren (vgl. Acatech, 2019, S. 42) und teilweise auch im Einsatz haben, befindet sich die Technologie in einer frühen Phase.

Die großen US-Investmentbanken setzen auf Kooperationen und hoffen auf geschätzte Einsparungen von rund einer Milliarde Dollar pro Jahr. IT-Branchenriesen wie IBM (Hyperledger) und Microsoft (Azure) testen und pilotieren gemeinsam mit Kunden ebenfalls die Blockchain-Technik. Der Supermarktriese Walmart überwacht bereits seine Lieferketten per Blockchain, um bspw. Weniger Paletten durch menschliche Fehler zu verlieren. Bis Ende Januar 2019 mussten sich alle direkten Lieferanten des US-Detailhandels-Riesen Walmart an der Food Trust Blockchain von IBM beteiligen. Unterlieferanten, wie Unternehmen und Bauern, die keine direkte Geschäftsbeziehung zu Walmart haben, müssen bis Ende September 2019 bei Food Trust partizipieren.¹⁰⁴ Anbieter IBM und Unternehmen wie bspw. Der weltgrößte Lebensmittelkonzern Nestlé sehen in der Blockchain-Integration vor allem ein langfristiges Potenzial (vgl. Roy, 2019). Besonders mit Blick auf die Lieferketten-Initiative Chain of Origin sitze man bei Nestlé derzeit nicht so fest im Sattel, wie man dies gerne hätte. Ebenfalls Mitglied von IBMs Food Trust ist der Lebensmittel-Konzern Carrefour. Das in Frankreich ansässige Unternehmen betreibt mehr als 12.000 Filialen in 33 Ländern und will die Blockchain zunächst in den eigenen Läden testen. Im Jahr 2022 soll Carrefour die Technologie dann

104 Vgl. Wallstreet Journal, 24. September 2018, Walmart Requires Lettuce, Spinach Suppliers to Join Blockchain, verfügbar unter: <https://blogs.wsj.com/cio/2018/09/24/walmart-requires-lettuce-spinach-suppliers-to-join-blockchain/>; abgerufen am: 20. September 2019.

auf alle seine weltweiten Marken ausdehnen.¹⁰⁵ Für das Jahr 2025 sagt das Forschungs- und Beratungsunternehmen Gartner voraus, dass 20 Prozent der zehn weltweit führenden Lebensmittelhändler Blockchain für die Lebensmittelsicherheit und Rückverfolgbarkeit nutzen werden, um Transparenz in Bezug auf Produktion, Qualität und Frische zu schaffen.¹⁰⁶

Betrachtet man die bisherigen Beispiele, Pilotinitiativen und geplanten Projekte, so findet man einem Reifegrad vor, wie er in einer Studie zu Blockchain-basierten Logistikketten der Unternehmensberatung Capgemini und der Swinburne University of Technology als „2. Welle“ beschrieben wird (vgl. Capgemini Research Institut, 2018). Während der ersten Welle (2011-2018), der Sensibilisierungsphase, versuchen Akteure die Blockchain-Technologie und deren Implikationen zu verstehen. In der zweiten Welle, der Experimentierphase (2017-2020) untersuchen Unternehmen und Organisationen die Eignung und die prinzipielle Durchführbarkeit und engagieren sich in Konsortien. Während der dritten Welle, der Transformationsphase (2019-2025) beginnen erste Unternehmen mit der Transformation und integrieren die Blockchain in ihre Arbeits- und Verwaltungsprozesse.

Quellen und weiterführende Informationen

Acatech (2019), Blockchain, *acatech horizonte*, Acatech: München, Berlin, verfügbar unter: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/10/acatech-HORIZONTE_Blockchain.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.

BMWi und BMF (2019), Blockchain-Strategie der Bundesregierung, verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-strategie.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Camilleri, A., T. Werner, A. Hoffknecht und A. Sorge (2019), *Blockchain in der Hochschulbildung*, Edition Stifterverband: Essen.

105 Vgl. IBM Newsroom, 08.10.2018, IBM Food Trust Expands Blockchain Network to Foster a Safer, More Transparent and Efficient Global Food System, verfügbar unter: <https://newsroom.ibm.com/2018-10-08-IBM-Food-Trust-Expands-Blockchain-Network-to-Foster-a-Safer-More-Transparent-and-Efficient-Global-Food-System-1>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

106 Vgl. Gartner, 30. April 2019, Gartner Predicts 20% of Top Global Grocers Will Use Blockchain for Food Safety and Traceability by 2025, verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-04-30-gartner-predicts-20-percent-of-top-global-grocers-will>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

- Capgemini Research Institut (2018), Does blockchain hold the key to a new age of supply chain transparency and trust?, verfügbar unter: <https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2018/10/Digital-Blockchain-in-Supply-Cha-in-Report-3.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Dena – Deutsche Energieagentur (2019a), Blockchain in der integrierten Energiewende, verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_DE4.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Dena – Deutsche Energieagentur (2019b), Blockchain in der Energiewende, verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9165_Blockchain_in_in_der_Energiewende_deutsch.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Europäische Kommission (2019), Supporting transparency of skills and qualifications, Digitally-signed credentials, Factsheet, verfügbar unter: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/dsc_factsheet_for_ministries.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Galen, D. J., N. Brand, L. Boucherle, R. Davis, N. Do, B. El-Baz, I. Kimura, K. Wharton, J. Lee (2018), Blockchain for Social Impact: Moving Beyond the Hype, verfügbar unter: <https://www.rippleworks.org/blockchain/>; abgerufen am: 21. November 2022.
- Nakamoto, S. (2008), Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system, verfügbar unter: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Roy, S. (2019), Nestlé on propagating digital thinking & pioneering the use of blockchains, verfügbar unter: <https://techwireasia.com/2019/09/nestle-on-propagating-digital-thinking-pioneering-the-use-of-blockchains/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Swan, M. (2015) *Blockchain: Blueprint for a new economy*, O'Reilly & Associates: Sebastopol.
- Tapscott, D. und A. Tapscott (2016), *Die Blockchain-Revolution: Wie die Technologie hinter Bitcoin nicht nur das Finanzsystem, sondern die ganze Welt verändert*, Plassen Verlag: Kulmbach.
- VDI Technologiezentrum (2018), Blockchain – eine Technologie mit disruptivem Charakter, verfügbar unter: <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/blockchain-eine-technologie-mit-disruptivem-charakter>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

3.4 Digitale Plattformen

3.4.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Digitale Plattformen gehören zu den erfolgreichsten Geschäftsmodellen der 2010er Jahre – mit den Unternehmen Google, Amazon, Facebook oder Apple (GAFA) als hierzulande bekanntesten Unternehmen. Sieben der zehn weltweit wertvollsten Unternehmen gründen ihr Kerngeschäft an Produkten und Dienstleistungen auf Plattformen. Dabei fungieren sie als Intermediäre und bringen Angebot und Nachfrage effektiv zusammen. Die größten dieser Unternehmen haben ihren Unternehmenssitz in den USA oder in China, während es in Deutschland und Europa keine Plattformen mit ähnlich starker Marktmacht gibt.

Zwar können viele Unternehmen unter dem Begriff digitale Plattformen zusammengefasst werden, es gibt jedoch bedeutende Unterschiede. Digitale Plattformen können in die beiden Kategorien Innovationsplattform und Transaktionsplattform eingeteilt werden. Letztere stellen online Marktplätze bereit und ermöglichen die Interaktion zwischen den Nutzern (Beispiele sind: E-Commerce, Social Media oder Suchmaschinen). Innovationsplattformen hingegen ermöglichen die technologischen Grundbausteine für die Entwicklung komplementärer Produkte oder Services (bspw. Industriepattformen (wie IBM Watson IoT) oder Smartphone Apps). Hybride Plattformen, wie Apple oder SAP kombinieren diese beiden Typen innerhalb eines Unternehmens.

Digitale Plattformen basieren heute auf der Anwendung von „Cloud Computing“. Diese Anwendungen unterscheiden sich in „Infrastructure as a Service“ (IaaS), „Platform as a Service“ (PaaS) und „Software as a Service“ (SaaS). Unternehmen haben die Möglichkeit, virtuelle Ressourcen, wie Speicher oder Rechenleistung zu nutzen (IaaS), eine Plattform als Entwicklungs- oder Laufzeitumgebung zu verwenden (PaaS) oder mittels SaaS-Anwendungen zeit- und ortsunabhängig auf Daten und Services zuzugreifen. Dabei ist der Anbieter für die Wartung und Konfiguration der Software verantwortlich.

Um eine Plattform erfolgreich und wertschöpfend zu etablieren, müssen Anbieter es schaffen, eine kritische Nutzerzahl zu erreichen, damit Netzwerkeffekte und selbstverstärkende Wachstumsdynamiken einsetzen können. Dadurch ist es Plattformen möglich, einen immensen Mehrwert für die Nutzer zu generieren, wie es traditionelle Unternehmen kaum

vermögen. Dies kann dazu führen, dass sich ein marktdominierender Anbieter durchsetzt oder Monopole entstehen (winner-takes-it-all-or-most-Mechanismus). Bestehende Plattformen betten ihre Community (Kunden & Anbieter) nach Möglichkeit in ein Ökosystem ein, um durch Pfadabhängigkeiten einen Lock-in-Effekt zu erzielen und die Wechselkosten für Nutzer möglichst hoch zu halten (Single-Homing). In der Regel sind die Grenzkosten für das Größenwachstum einer Plattform sehr gering. Dieser Geschäftsansatz unterscheidet die GAFAs maßgeblich von traditionellen Unternehmen. Es handelt sich dabei nicht so sehr um die direkte Übertragung bestehender Produkte und Prozesse in eine digitale Form, vielmehr stellen Plattformen eine neue Form des Wirtschaftens in einer digitalen Umwelt dar.

Die Sammlung von umfassender Interaktionsdaten der immens großen Nutzergruppen ermöglicht es den Plattformen, sich Zugang zu angrenzenden Märkten zu verschaffen, in denen soweit möglich ebenfalls Plattform-Modelle aufgesetzt werden.

Lösungsversprechen / Erwartungen

- weiteres Wachstum der Marktführer
- globale Reichweite und damit Möglichkeit eines globalen Kundenkreises
- starkes Entwicklungspotential im B2B-Segment
- Marktführer stoßen in neue Geschäftsfelder vor
- technologischer Wettstreit fördert Innovationen, insb. Im Bereich KI
- deutlich gesteigerte Geschwindigkeit der Technologiediffusion
- Single-Homing: Ökosysteme einzelner Anbieter

Anwendungsbranchen

- Handel
- Finanzen
- Industrie/Industrie 4.0
- (Soziale) Medien
- Versicherungen
- Logistik und Transport
- Lebensmittel

- Immobilien und Unterkünfte
- Gesundheit
- E-Government

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- Amazon
- Alibaba, Baidu, Tencent
- Apple
- Google-Alphabet
- Facebook
- IBM
- Microsoft

Verwandte Technologien

- Blockchain
- Künstliche Intelligenz
- Autonome Systeme
- Industrie 4.0
- Big Data
- Cloud Computing

Einschätzung

Digitale Plattformen haben existierende Märkte verändert (Amazon den Handel, Airbnb die Hotellerie uvm.) und haben das Potential, weitere Märkte grundlegend zu verändern. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend auf mittelfristige Sicht fortsetzt und Märkte auf ein Plattform-Modell transformiert werden. Die meisten der digitalen Plattformen agieren derzeit im Business-to-Customer („B2C“) Bereich, es ist jedoch zu erwarten, dass durch technologische Fortschritte, beim Internet der Dinge und bei Industrie 4.0, die Bedeutung von digitalen Plattformen insbesondere im Business-to-Business („B2B“) Bereich stark wachsen wird.

Stärken und Schwächen in sowie Chancen und Risiken für Deutschland

Stärken

- aktive Start-up-Landschaft
- erfolgreiche Nischen-Plattformen¹⁰⁷

Chancen

- Marktführer stellen teilw. Infrastruktur oder Technologie zur Verfügung
- B2B relativ junger Markt ohne etablierte Marktmächte
- bekannte deutsche B2B-Plattformen sind SAP und Siemens
- steigendes Engagement deutscher Unternehmen
- mögliche Besetzung neuer Marktnischen
- gesetzliche Vorgaben (wie z. B. DSGVO) in Europa

Schwächen

- langfristige politische Strategie zum Umgang mit Plattformen fehlt
- geringe Erkenntnisse zu B2B-Plattformen
- Zugang zu Wagniskapital

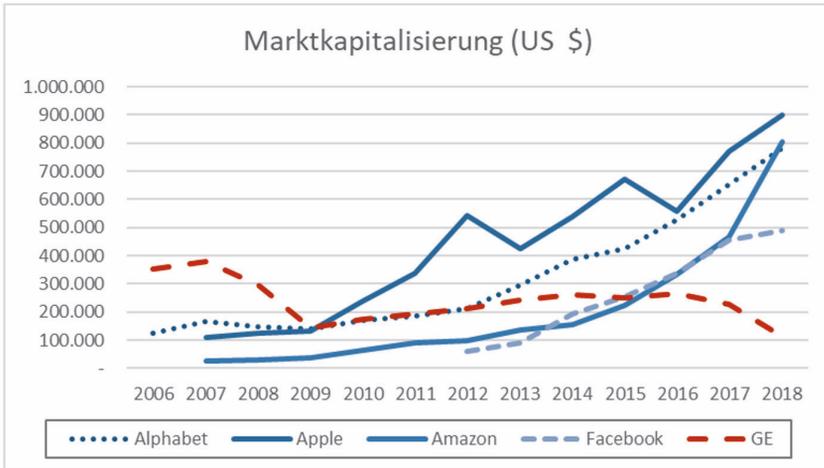
Risiken

- Netzwerkeffekte kommen First-Movern in den USA und Asien zugute
- größte Plattformen haben Ökosystem um sich herum entwickelt
- bisher kein vergleichbares Angebot europäischer B2C-Plattformen
- ungeklärte regulatorische und (steuer)rechtliche Fragen

107 Bspw. fahrrad.de, misterspex.de, zooplus.de.

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.4.1 Marktkapitalisierung ausgewählter Unternehmen über die Zeit



Quelle: Ariva, eigene Berechnung, eigene Darstellung

Zur Verdeutlichung der Dynamik der Entwicklung von digitalen Plattformen wird in Abbildung 3.4.1 die Entwicklung der Marktkapitalisierung der Unternehmen Alphabet (Google), Amazon, Amazon und Facebook dem Wert eines großen traditionellen Technologie-Unternehmens (General Electric) gegenübergestellt.

3.4.2 Anwendungsroadmap

Das Spektrum digitaler Plattformen zeichnet sich durch eine hohe Dynamik und schnelle Weiterentwicklung des Angebotes aus. Es wird erwartet, dass diese Trends auf mittlere Sicht anhalten werden (vgl. VDMA, 2018).

Aufgrund der vielfältigen Entwicklungsmöglichkeiten und Einflussfaktoren finden sich kaum konkrete, zeitliche Einschätzungen zu mittel- bis langfristigen Entwicklungen. Aus den Strategien einzelner Unternehmen lassen jedoch grundsätzliche Tendenzen ablesen.

Es scheint die Erwartung zu bestehen, dass digitale Plattformen auch in Zukunft neue Technologien hervorbringen und „anything as a service“ ermöglichen werden (vgl. Cusumano, Gawer und Yoffie, 2019).

Forschung und Entwicklung zu Digitalen Plattformen wird zu einem Großteil durch die jeweiligen Unternehmen selbst getrieben. Übergeordnete politische Strategien zu Forschung und Entwicklung digitaler Plattformen sind es dementsprechend kaum vorzufinden.

Für Unternehmen, die bisher keine dezidierte Digitalstrategie verfolgen, stellt es die Herausforderung dar, mit dem möglicherweise aufkommenden Wettbewerb durch Plattformen umzugehen. Für solche Unternehmen bieten sich die Möglichkeiten, eine Plattform selbst aufzusetzen, eine Plattformlösung zu kaufen oder sich einer bestehenden Plattform anzuschließen (vgl. Cusumano, Gawer und Yoffie, 2019).

B2C-Plattformen

Existierende Plattformen verändern durch steigenden digitalen Wettbewerb ihr Geschäftsmodell zunehmend in Richtung hybrider Plattformen und investieren in den Ausbau eines Ökosystems, um die Nutzer zu binden (vgl. Cusumano, Gawer und Yoffie, 2019; Obermaier, 2019). Die Plattformlogik mit ihren Netzwerkeffekten und winner-takes-it-all-or-most-Mechanismen hat zu einer Konzentration der Marktmacht geführt, die auf wenige Unternehmen verteilt ist. Die erzielten Gewinne wiederum ermöglichen es ihnen, in neue Technologien, Innovationen und Märkte zu investieren sowie erfolgreiche Start-ups aufzukaufen und somit die Konkurrenz klein zu halten und Marktdominanz auszubauen. Es ist hierbei von einem anhaltenden Trend auszugehen (vgl. Obermaier, 2019). Plattformen der neueren Generation führen das Innovationsfeld an. Investitionen erfolgen vor allem in die Technologien KI, Big Data, Cloud Computing und IoT-Technologien. Fortschritte in diesen Bereichen werden jedoch auch Dritten zur Verfügung und Weiterentwicklung gestellt – dies je nach Geschäftsmodell teilweise entgeltfrei (vgl. Cusumano, Gawer und Yoffie, 2019). Hieraus ergeben sich für Start-ups und nicht-digitale Unternehmen Potentiale, ihr eigenes digitales Geschäftsmodell auszubauen.

Projekte, die von den meisten der Big Nine (Amazon, Alibaba, Apple, Baidu, Google-Alphabet, Facebook, IBM, Microsoft, Tencent) aktuell stark vorangetrieben werden, sind Spracherkennung und Autonomes Fahren – Technologien, die radikale Veränderungen in Plattformökosystemen mit sich bringen werden und hier beispielhaft für die Strategien dieser B2C-

Plattformen stehen. Besonders weit vorangeschritten ist die Entwicklung von Muster- und Spracherkennung durch die verschiedenen Plattformunternehmen. Diese nutzen die Sprach- und virtuellen Assistenten, um ihre Geschäftsfelder und ihren Einfluss auszubauen und mittels zugehöriger Geräte näher an die Kunden heranzutreten. Der Wettstreit wird auch als „voice war“ bezeichnet.

Auf dem Gebiet des autonomen Fahrens ist die langfristige Strategie von bestehenden Plattformen, wie Uber oder Lyft die Veränderung des Geschäftsmodells hin zu dem Angebot von Transport als Service zusammen mit dem Angebot der Nutzung eigener Autos, Fahrräder und Scooter. Sowohl Technologie-Unternehmen als auch Automobilhersteller bewegen sich in eine ähnliche Richtung. Der Vorstandsvorsitzende des Unternehmens Lyft, Logan Green, formuliert den Anspruch: *„We are going to move the entire [car] industry from one based on ownership, to one based on subscription.“* (Cusumano, Gawer und Yoffie, 2019, S. 224). Während Lyft versucht, über eine Innovationsplattform Partnerschaften zu bilden, verfolgt Uber die Strategie, in die Entwicklung des autonomen Fahrens zu investieren. Ebenso hat Baidu die „open source self-driving platform“ „Apollo“ ins Leben gerufen, die zur Zusammenarbeit mit vielen Partnern der Automobilindustrie dient. Auch Alibaba stellt Cloud- und KI-Software im Bereich Mobilität zur Verfügung und kooperiert dabei u. a. mit Ford, Volvo und Bosch.¹⁰⁸ Die Alphabet-Tochter und Google-Schwester Waymo, die als ein Technologieführer im Bereich des autonomen Fahrens gilt,¹⁰⁹ plant, sich in Europa mit etablierten Automobilherstellern zusammenzuschließen. Anstatt selbst Autos zu bauen, will das Unternehmen die nötige Software und Hardware (wie Lidar, Radar und Kameras) für autonomes Fahren bereitstellen. In den USA kooperiert Waymo bereits mit Jaguar und Fiat Chrysler¹¹⁰.

108 Vgl. Alizila, 21. September 2018, Alibaba Unveils Mobility Tie-Ups with Bosch, Volvo, Ford, verfügbar unter: <https://www.alizila.com/alibaba-unveils-mobility-partnerships-with-bosch-volvo-ford/>; abgerufen am: 16. November 2022.

109 Vgl. Handelsblatt, 04. September 2019, Neuer Angriff aus dem Silicon Valley: Der stille Riese Waymo entert die IAA, verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/auto-von-morgen/automesse-neuer-angriff-aus-dem-silicon-valley-der-stille-riese-waymo-entert-die-iaa/24974652.html?ticket=ST-8147609-waSdelzevfuND0Mo2yI5-ap6>; abgerufen am: 16. November 2022.

110 Vgl. Handelsblatt, 28. Juni 2018, „Waymo ist nicht Google“ – der Chef der Roboter-Autos distanziert sich von dem Internetkonzern, verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/it-medien/autonomes-fahren-waymo-ist-nicht-google-der-chef-der-roboter-autos-distanziert-sich-von-dem-internetkonzern/22738192.html>; abgerufen am: 16. November 2022.

Neben dem Vorantreiben von neuen Sprachschnittstellen und dem autonomen Fahren kann die Einführung von Bezahlendiensten als langfristige Strategie der digitalen Plattformen betrachtet werden. Ein Feld auf dem fast alle der führenden Plattformen aktiv sind mit Angeboten wie Alipay, WeChat Pay, Apple Pay, Google Pay oder Facebook mit der geplanten Währung Libra.

Das Beispiel Amazon zeigt ebenfalls, wie divers die Unternehmensstrategien der Plattformen sein können und dass eine Digitalisierung jedes Sektors möglich scheint. So könnte eines der nächsten Ziele von Amazon die Telekommunikationsbranche sein, wie der Kauf von Boost Mobile nahezu legen scheint.¹¹¹

Diese verschiedenen Beispiele für Strategien und Kooperationen digitaler Plattformen belegen in ihrer Summe, wie radikal die Unternehmensstrategien digitaler Plattformen sein können, die so bestehende Märkte revolutionieren und sich über deren Grenzen hinwegsetzen. Auch können die so ausgelösten Disruptionen durch Plattformen die Dynamik ganzer Industrien verändern. Dabei macht es einen Unterschied, ob die Veränderung durch ein Produkt oder eine Plattform herbeigeführt wird. Produktbasierte Disruptionen verändern die Sektoren, während plattformbasierte Disruptionen über diese Grenzen hinausgehen und verschiedene Industrien beeinflussen. Die frühesten Beispiele der Werbeindustrie oder des Verlagswesens zeigen deutlich, wie existentiell und unwälzend diese Einflüsse ausfallen können (vgl. Vazquez Sampere, 2016).

Dem Gedanken der Vernetzung und der digitalen Plattformen scheinen keine Grenzen gesetzt zu sein. So wird bspw. Über die „Vernetzung von Wasser“ in der Form einer Vernetzung von Wasserversorgungssystemen nachgedacht: dazu würden etwa Systeme gehören, die automatische Undichtigkeiten in Wasserleitung erkennen und beheben, um zu einem sparsamen Umgang mit Wasser beizutragen (vgl. Schallmo und Rusnjak, 2017, S. 53). Dass digitale Plattformen immer für große, langfristige Visionen gut sind, zeigt ein Beispiel von Amazon, das als eine langfristige Mission den Weg ins Weltall bekanntgegeben hat. Dazu zählen der Bau von Raumfahrzeugen oder der Ressourcenabbau vom Mond, gesteuert durch das Tochterunternehmen Blue Origin.¹¹²

111 Vgl. Businessinsider, 31. Mai 2019, Amazon steigt offenbar in eine überraschende Branche ein — es zeigt, wie visionär Jeff Bezos ist, verfügbar unter:<https://www.businessinsider.de/tech/amazon-kauft-boost-mobile-jeff-bezos-2019-5/>; abgerufen am: 16. November 2022.

112 Vgl. www.blueorigin.com; abgerufen am: 21. November 2022.

B2B-Plattformen

Im B2B Bereich agieren bestehende Plattformen durch Cloud Computing und Dienstleistungen.¹¹³ Microsoft, Google und Amazon haben sich mit Cloud Lösungen bereits gut am Markt positioniert. Es wird aber erwartet, dass B2B-Plattformen nicht den Stellenwert, die Größe und die Marktmacht erlangen werden, wie dies im B2C-Bereich üblich ist, da die Unternehmen als Kundengruppe zu sehr heterogen sind. Dies wird insbesondere für den deutschen Markt so gesehen (vgl. VDMA, 2018). Hier plant bspw. Siemens, seine Position in der industriellen Dienstleistung mittelfristig auszubauen. Die Kerngeschäftsfelder sind dabei das Geschäft mit digitalen Industrieprozessen sowie Lösungen für künftige smarte Infrastruktur.¹¹⁴ Bosch setzt auf eine eigene IoT-Suite als Plattform für das Gerätemanagement sowie für Cloud Services. Da laut eigenen Angaben Datenschutzstandards bereits integriert sind, stellt dies einen Vorteil für deutsche und europäische Nutzer dar.

Für die Zukunft der Plattformökonomie am Beispiel des Maschinenbaus sieht eine Publikation des VDMA (2018) vier Szenarien als besonders wahrscheinlich an:

- Szenario 1: Dominanz der Infrastruktur-Anbieter (kein Bedarf für eine zusätzliche IoT-Plattformebene. Plattformkompetenz ist ausschlaggebend, nicht so sehr Industrie Ökosystem).
- Szenario 2: Dominanz der endkundenspezifischen Plattformen (Konzerne mit hochintegrierten Wertschöpfungsketten prägen Plattformlandschaft, konzernspezifische Plattformen).
- Szenario 3: Dominanz der industriellen Plattformen (mit eigenem Ökosystem, decken eine gewisse Anzahl an Branchensegmenten ab).
- Szenario 4: Koexistenz einer Vielzahl vernetzter Plattformen (Industriesegment-spezifische Plattformen etablieren und vernetzen sich – Kompensation fehlender kritischer Masse – gewisses Ökosystem).

113 Vgl. CB Insights, 16.08.2018, Google Strategy Teardown, verfügbar unter: <https://www.cbinsights.com/research/report/google-strategy-teardown/>; abgerufen am: 16. November 2022.

114 Vgl. Siemens, Über uns, verfügbar unter: <https://www.dc.siemens.com/vision2020plus/de>; abgerufen am: 16. November 2022.

Es wird vermutet, dass es in naher Zukunft zunächst eine große Zahl von Anbietern mit verschiedenen, digitalen Geschäftsmodellen geben wird, es dann aber zu einer Konsolidierung der Plattformlandschaft kommen und sich in der fernerer Zukunft eine Misch-Konstellation mit eigenen Plattformen einiger Endkunden oder Segmente sowie einigen Infrastruktur-Anbietern für andere Branchensegmente etablieren wird (vgl. VDMA, 2018).

Die genaue Entwicklung digitaler Plattformen wird wohl wenig vorhersehbar bleiben. Beispielhaft angeführt sei eine Selbstsicht von Google in einem Brief der Gründer an die Investoren: „*After 20-plus years, Google remains a company where anything can happen.*”¹¹⁵

Quellen und weiterführende Information

- Alphabet (2018), Founder’s letter, verfügbar unter: <https://abc.xyz/investor/founders-letters/2018/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Cusumano, M. A., A. Gawer und D. B. Yoffie (2019), *Business of Platforms*, Harper Business: New York.
- CB Insights (2018), Google Strategy Teardown: Google Is Turning Itself Into An AI Company As It Seeks To Win New Markets Like Cloud And Transportation, Research Report, verfügbar unter: <https://www.cbinsights.com/research/report/google-strategy-teardown/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Obermaier, R. (2019), *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation*, Springer: Wiesbaden.
- Schallmo, D., und A. Rusnjak (2017), *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen*, Springer Gabler: Wiesbaden.
- Vazquez Sampere, J. P. (2016), Why Platform Disruption Is So Much Bigger than Product Disruption, verfügbar unter: <https://hbr.org/2016/04/why-platform-disruption-is-so-much-bigger-than-product-disruption/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- VDMA (2018), Plattformökonomie im Maschinenbau, Roland Berger (Hrsg.), verfügbar unter: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_plattformoekonomie_de.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.

115 Vgl. Alphabet Investor Relations, ohne Datum, 2018 Founder’s Letter, verfügbar unter: <https://abc.xyz/investor/founders-letters/2018/>; abgerufen am: 16. November 2022.

3.5 Industrie 4.0

3.5.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Unter dem Begriff Industrie 4.0 werden Veränderungen in der industriellen Produktion beschrieben, die auf digital vernetzten und intelligenten Prozessabläufen entlang der gesamten Wertschöpfungskette basieren. Durch neue technologische Möglichkeiten – schnellere Computer, Internet der Dinge, Cloudlösungen, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, Künstliche Intelligenz – lassen sich Maschinen, Unternehmen, Prozessabläufe und Kundenbeziehungen global vernetzen. Industrielle Vorgänge lassen sich qualitativ besser, effizienter und ressourcenschonender gestalten, wodurch sich neue Marktchancen und auch neue Geschäftsmodelle eröffnen. Industrie 4.0 zielt darauf ab, eine neue Entwicklungsstufe industrieller Produktion zu erreichen. Beispielweise lässt sich zukünftig durch Vernetzung von Produktionsstätten erkennen, wo freie Kapazitäten zur Erfüllung eines Auftrags zur Verfügung stehen. Kundenaufträge lassen sich automatisch erfassen, werden freien Produktionsstätten zugeteilt und gleichzeitig gehen notwendige Bestellungen über eine Plattform an Lieferanten und Logistiker. Je nach Umfang des Auftrags werden weitere Unternehmen und Maschinenpools eingebunden. Eine umfassende Vernetzung kann sich auf die gesamte Lebensphase eines Produktes erstrecken, von der Idee über die Forschung, Entwicklung und Produktion, die nachfolgende Nutzung und auch Wartung, bis hin zum Recycling. In Industrie 4.0-Vorgängen wird versucht, möglichst frühzeitig alle Beteiligten der Wertschöpfungskette zu vernetzen. Um diese Entwicklung zu begleiten, zu unterstützen und von Anfang an damit eine strategische Allianz von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft zu verbinden, wurde vom BMWi die vom VDMA, Bitkom und ZVEI 2013 gegründete Plattform Industrie 4.0 durch eine Geschäftsstelle ergänzt, welche die Aktivitäten und Zusammenarbeit der Mitglieder organisiert und koordiniert.

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Stabilisierung der Arbeitsplatzsituation in der produzierenden Industrie
- Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit
- Konstruktiver Beitrag zum digitalen Strukturwandel in der Industrie
- Stärkere Vernetzung von Produkten und Produktionssystemen
- Effizienzsteigerung und Ressourceneinsparung
- Beschleunigung der industriellen Prozesse
- Verbesserung der industriellen Wandlungsfähigkeit für individuelle Kundenwünsche
- Erhöhung des Autonomiegrades und Entlastung der Arbeiter von monotonen Tätigkeiten
- Flexibilisierung der Abläufe
- Ermöglichung neuer Geschäftsmodelle und damit auch für KMU und Start-ups in Deutschland

Anwendungsbranchen

- IT
- Software
- Elektroindustrie
- Automatisierungsindustrie
- Logistik
- Maschinen- und Anlagenbau
- Produktion
- Handel

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- Plattform Industrie 4.0: Hat die Aufgabe, die Interessen der verschiedenen Akteure in den Bereichen Technologie- und Anwendungsszenarien, Standardisierung und Normung, IT-Sicherheit, Rechtsfragen und Datenschutz, neue Geschäftsmodelle sowie Arbeitnehmerbelange und Arbeitsorganisation zusammenzuführen. Aktuell greift die Plattform die zunehmenden Bedarfe nach Nachhaltigkeit, Interoperabilität und Souveränität auf und bindet diese in ihr Leitbild 2030 für Industrie 4.0 ein.

- Mittelstand Digital Kompetenzzentren
- Labs Network Industrie 4.0 („LNI4.0“)
- Standardization Council Industrie 4.0 („SCI“)
- Bitkom
- VDMA
- ZVEI
- VDI
- VDE
- DKE
- Industrial Internet Consortium („IIC“)
- Robot Revolution Initiative („RRI“)

Verwandte Technologien

- Robotik
- Sensorik
- Kommunikationstechnologien
- IT-Sicherheitstechnologien
- Künstliche Intelligenz
- Produktionstechnologien
- Industrial Internet of Things

Einschätzung

Industrie 4.0 stellt die Wirtschaft vor große Herausforderungen. Althergebrachte Geschäftsmodelle laufen Gefahr überholt zu werden, wenn neue Geschäftsmodelle den Markt erobern. Nur wer bei dieser Entwicklung rechtzeitig mitgeht, hat die Chance, in Zukunft auch weiterhin seinen Anteil am Markt zu behaupten und vielleicht sogar auszubauen. Aber auch für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stellen sich Herausforderungen. Sie müssen sich an veränderte Abläufe gewöhnen, Maschinen möglicherweise auch als Kollegen auffassen und sich regelmäßig weiterbilden. Generell wird sich mittel- bis langfristig die Art und Weise ändern, wie Arbeit im produzierenden Sektor erbracht wird. Das betrifft nicht nur die Produktion selbst, sondern auch die Entwicklungsabteilungen, das Personalmanagement, die Rechtsabteilung, den IT-Service, die Logistik bis hin zum Marketing und zur Geschäftsentwicklung. Industrie 4.0 wird aber auch das Arbeitsumfeld betreffen, sei es bei der Rahmensetzung und Gesetzgebung, bei der Normung und Standardisierung, bei Fragen der

Qualifizierung in Aus- und Weiterbildung oder auch in Gewerkschaften und Verbänden.

Stärken und Schwächen in sowie Chancen und Risiken für Deutschland

Stärken

- wissenschaftliche und wirtschaftliche Ausgangsposition
- Vernetzung über Plattformen, Kompetenzzentren und Allianzen
- Vorgaben zur Standardisierung und Normung
- Umfangreiche internationale Kooperationen
- Ausdifferenzierte und vernetzte Forschungs- und Industrielandschaft
- Existenz eines nationalen Programms zur Forschungsförderung
- Existenz umfangreicher Förder- und Unterstützungsmaßnahmen des BMWi

Chancen

- Schaffung neuer Märkte, national und global
- Aktivierung wertschöpfungsorientierter Kooperationen
- Umbau der Industrielandschaft hin zu Nachhaltigkeit, sozialer Integration und Souveränität
- Entwicklung neuer Geschäftsmodelle mit globaler Konkurrenzfähigkeit
- Vorreiterschaft in einer neuen digitalen Industriekultur

Schwächen

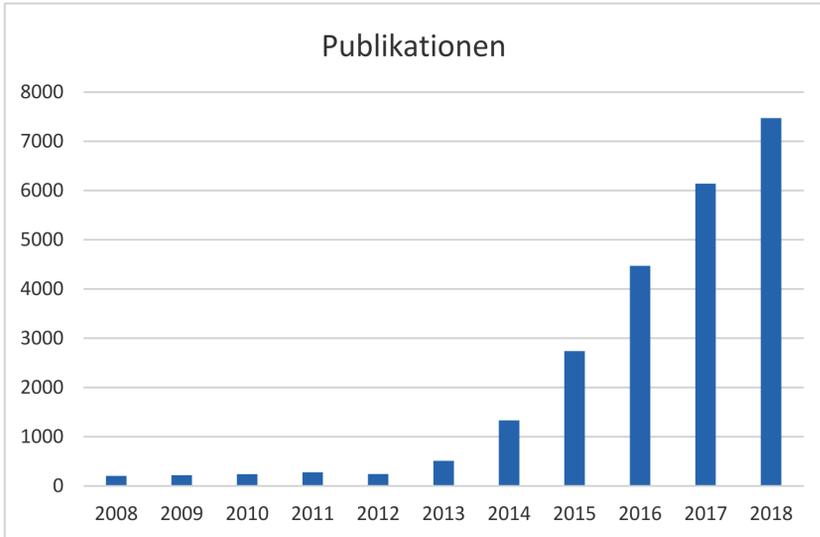
- Erst beginnende Fachkräftequalifizierung
- Bisher noch geringer Transfer in die industrielle Breite/KMU
- Akzeptanzprobleme bei Arbeitsplatzverlusten
- Fachkräftepotential (z. B. für KI) zukünftig nicht abgedeckt

Risiken / Herausforderungen

- Langfristig Gefahr der Überführung von Unternehmen in menschenarme Fabriken und damit der Erhöhung der Arbeitslosenzahlen, speziell in geringqualifizierten Segmenten
- Datensouveränität, Datenhoheit; Nutzung von Daten mit fragwürdiger Herkunft
- Gefahr der teilweisen Arbeiterüberwachung im industriellen Bereich

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.5.1 Anzahl von Publikationen zu Industrie 4.0 über die Zeit



Quelle: Google Scholar – Trefferzahl zu „Industrie 4.0“, eigene Darstellung.

3.5.2 Anwendungsroadmap

Die Plattform Industrie 4.0 hat in den vergangenen Jahren 10 Anwendungsszenarien vorgestellt, um neue Wege der Nutzung der Digitalisierung in der produzierenden Industrie aufzuzeigen (vgl. BMWi, 2016b). Diese Anwendungsszenarien für Industrie 4.0 beschreiben generell Abschnitte in der Wertschöpfung, die den Produktlebenszyklus, das Produktionssystem, das Auftragsmanagement und die Logistik, sowie Serviceangebote betreffen. Anhand dieser Anwendungsszenarien soll der Nutzen und die bestehenden Herausforderungen von Industrie 4.0 transparent gemacht werden. Die Szenarien beschreiben die zukünftigen Möglichkeiten in der Industrie 4.0 Welt, aber auch die Herausforderungen für die Wertschöpfung, das digitale Produzieren im Verlauf des Lebenszyklus einer Produktionsanlage oder auch bei der Umgestaltung der Arbeitsplatzsituationen. Neue Fragen der IT-Sicherheit, der Rechtslage bei Unternehmenskooperationen oder der Vertragsgestaltung, der nötigen technologischen

Entwicklungen oder bei der Kommunikation mit oder zwischen Maschinen werden mit diesen Szenarien ebenfalls angesprochen.

Die 10 Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 sind im Einzelnen:

Innovative Produktentwicklung („IPE“)

„Durch adäquate Einbindung aller relevanten Interessengruppen in den Engineering-Prozess und eine adäquate methodische Vorgehensweise wird das richtige Produkt richtig entwickelt.“ (ebenda, S. 24)

- Einbeziehung in den Engineering-Prozess: Kunden, unterschiedliche Engineering Disziplinen, Engineering-Services einschließlich Technologie-Lieferanten, Communities (z. B. Open Source Software, Crowdsourcing), Engineering-Werkzeug-Lieferanten und Provider von Kollaborationsplattformen
- Alle erforderlichen Kompetenzen (auch außerhalb des Unternehmens) können ad hoc in die Produktentwicklung eingebunden werden
- Disruptive Marktveränderungen können früher erkannt werden
- Durchgängige Gestaltung von Engineering-Prozessen, Unterstützung durch eine geeignete Engineering-Werkzeuglandschaft

2. Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion („SP2“)

„Virtuelle Produkte ermöglichen neue Formen der Zusammenarbeit in Engineering-Prozessen und die Automatisierung von Engineering-Tätigkeiten.“ (ebenda, S. 22)

- Durchgängige digitalisierte Datenketten (Synonym: Virtuelles Produkt) ermöglichen die Kollaboration entlang aller Wertschöpfungsschritte vom Engineering bis hin zur Produktion (Datendurchgängigkeit)
- Bei der Produktentstehung entlang der Engineering-Kette gewonnene Daten werden durchgängig als Eingabe für die Produktionsplanung und den Produktionsprozess genutzt
- Für die Produktion notwendigen Anforderungen (z. B. Programmier- und Projektieraufgaben) sowie die Aufwände für die Nutzerführung werden automatisch generiert

3. Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen („DDA“)

„Das Engineering einer Anlage – sowohl bei der Erstellung einer Anlage als auch während der Betriebsphase – ist immer stärker durch Änderungen, die dann entsprechende Engineering-Entscheidungen erfordern, geprägt.“ (ebenda, S. 26)

- Beim initialen Engineering-Prozess zur Errichtung einer Anlage entsteht ein integrierendes Anlagenmodell, das während der gesamten Lebensdauer der realisierten Anlage alle Vorgänge aus Engineering, Betrieb und Service der Anlage abbildet.
- Dieses Modell beinhaltet neben einem stets aktuellen Abbild der realen Anlage mit ihrem Entstehungs- und Lebensweg auch Randbedingungen, Kontextinformationen, mögliche Varianten, denkbare und getroffene Engineering-Entscheidungen sowie deren potenzielle und reale Auswirkungen
- Das Ziel ist es, ein dynamisches Anlagen-Engineering wird durch häufige und kurzfristige Änderungen von Anlagen mit Einbeziehung der erforderlichen Partner ermöglicht

4. Wandlungsfähige Fabrik („WFF“)

„Plug & Produce – adaptierbare Fertigungskonfiguration innerhalb einer Fabrik zur kurzfristigen Veränderung der Fertigungskapazitäten und Fertigungsfähigkeiten.“ (ebenda, S. 11)

- Schneller und unter Umständen auch weitgehend automatisierter Umbau einer Fertigung, sowohl im Hinblick auf geänderte Fertigungskapazitäten als auch geänderte Fertigungsfähigkeiten.
- Modularer und somit wandlungsfähiger Aufbau der Fertigung innerhalb einer Fabrik
- Notwendig: Intelligente und interoperable Module, die sich selbstständig an eine veränderte Fertigungskonfiguration anpassen, und standardisierte Schnittstellen zwischen diesen Modulen
- Szenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ hat Schwerpunkt bei flexibler Nutzung existierender Fertigungseinrichtungen durch intelligente Vernetzung. Hier liegt der Schwerpunkt bei der Wandlungsfähigkeit einer einzelnen Fabrik durch den (physischen) Umbau

5. Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion („MTI“)

„Zukünftige Formen der Interaktion zwischen Menschen und technischen Systemen in der Produktion.“ (ebenda, S. 10)

- Industrie 4.0 unterstützt den Menschen auf vielfältige Weise bei seinen verschiedenen Tätigkeiten in der Produktion
- Physische Assistenz durch Fähigkeitsverstärker
- Kontextbasierte, multimodale Assistenz bei der Diagnose von technischen Störungen und komplexen Arbeitsprozessen
- Ortsbezogene Wartungs- und Planungsassistenz
- Mobile, personalisierte und situationsadaptive Lernsysteme
- Interaktive Werkzeuge für die flexible Einsatzplanung

6. Auftragsgesteuerte Produktion („AGP“)

„Autonome und automatisierte Vernetzung von Produktionsfähigkeiten über die eigenen Fabrikgrenzen hinaus zur Optimierung der Produktion im Hinblick auf Kunden- und Marktanforderungen.“ (ebenda, S. 10)

- Flexible Fertigungskonfiguration, auftrags-spezifisch anpassbar an sich ändernde Markt- und Auftragsbedingungen durch Vernetzung über die eigenen Fabrikgrenzen hinweg
- Flexibilität und Dynamik bei der Einbindung von externen Produktionsstätten in den Produktionsablauf zur Optimierung von Produktionsketten
- Erfordert Standardisierung von Prozessschritten einerseits und Selbstbeschreibung von Fähigkeiten der Produktionsmittel andererseits
- Generelles Ziel ist die automatisierte Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung zur Einbindung aller benötigten Fertigungsschritte und Produktionsmittel (auch von extern) in den Produktionsablauf

7 Selbstorganisierende adaptive Logistik („SAL“)

„Erhöhung der Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit industrieller und logistischer Systeme in zunehmend volatilen und wandlungsfähigen Produktionsumfeldern.“ (ebenda, S. 14)

- Umfasst die gesamte Wertschöpfungskette der horizontalen Integration: Intralogistik, adaptive Distributionslogistik mit Zuliefer- und Aus-

lieferprozessen des Supply Chain Managements, Endkundenlogistik für das auszuliefernde Produkt

- Echtzeitorientierte Informationsverfügbarkeit ermöglicht das Zusammenspiel aller Akteure der inter- und extralogistischen Wertschöpfung und die Einbindung der Logistik in ein übergreifendes Ressourcenmanagement
- Als selbstorganisierendes System reagiert sie flexibel auf Produktionsanforderungen, Systemausfälle und Kundenprioritäten und bindet autonom agierende Transportfahrzeuge und Verladeeinrichtungen in die Prozessausführung ein

8. Value Based Services („VBS“)

„Prozess- und Zustandsdaten aus der Nutzung von Produktionsanlagen als Rohstoff für die Geschäftsmodelle und Services der Zukunft.“ (ebenda, S. 16)

- Service-Plattform (ggf. Intermediär) sammelt und analysiert Daten aus der Nutzung von Produkten oder Produktionseinheiten und bietet auf dieser Basis bedarfsgerechte individuelle Services an
- Im Fokus steht das Wertschöpfungsnetzwerk im Service, wenn Produkt- oder Produktionsdaten über eine IT-Plattform zur Verfügung gestellt werden
- Z. B. optimierte Wartung zum richtigen Zeitpunkt oder Bereitstellung der richtigen Prozessparameter für den aktuell geforderten Produktionsprozess
- Intermediär besetzt u.U. die Schnittstelle zwischen dem Maschinennutzer und dem Maschinenbauer

9. Transparenz und Wandlungsfähigkeit für ausgelieferte Produkte („TWP“)

„Automatische Erhebung nutzungsbezogener Daten über ausgelieferte Produkte zur Optimierung von Geschäftsprozessen, für neue Geschäftsmodelle und zur dynamischen Anpassung von Produkteigenschaften.“ (ebenda, S. 18)

- Kommunikationsmodule in Produkten liefern den Herstellern während des gesamten Produktlebenszyklus Informationen über Zustand und Nutzung ihrer Produkte
- Flexibilität und Konnektivität der Produkte erlaubt nachträgliches Umkonfigurieren und Aktualisieren, z. B. Betriebsdaten in Echtzeit erfassen

sen und Konfigurationen den aktuellen Einsatzbedingungen anpassen oder individualisierte After Sales Services, wie zustandsbasierte Wartung

- Produkteigenschaften stehen bei Auslieferung noch nicht endgültig fest und können sich sogar während der Lebenszeit des Produkts ändern, z. B. durch bedarfsgerechte und ggf. temporäre Freischaltung einzelner Funktionalitäten

10. Kreislaufwirtschaft („KRW“)

„Einem Produkt zugeordnete Herstellungs-, Montage-, Nutzungs- und Recycling-Informationen während des gesamten Lebenszyklus ermöglichen die effiziente Umsetzung und Etablierung einer Kreislaufwirtschaft.“ (ebenda, S. 29)

- Alle Materialien werden in geschlossenen Zyklen gehalten, mit dem Ziel Abfall grundsätzlich zu vermeiden
- Neue Geschäftsmodelle, z. B. „Product as a Service“ führen dazu, dass Hersteller im Besitz der Materialien/ Rohstoffe bleiben
- Kollaborative Design- und Engineering Prozesse, in denen Mitglieder der Supply Chain gemeinsam Produkte entwickeln und dabei schon an die einfache Zerlegung („Design for Disassembly“) und Wiederverwertung in weitere Lebenszyklen denken („What’s next“)
- Product-Passports beinhalten Herstellungs-, Montage-, Nutzungs- und Recycling-Informationen des Produkts bzw. einzelner Komponenten und werden vom intelligenten Produkt verwaltet
- Adaptive Logistik ermöglicht eine effiziente Reverse Logistic, die dafür sorgt, dass Produkte wieder zum Hersteller/ Recycler zurückgeführt werden können

Anhand der Anwendungsszenarien wurden vom ZVEI, dem Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 und der Arbeitsgruppe „Technologie- und Anwendungsszenarien“ der Plattform FuE-Themen erarbeitet, welche es in Form einer Roadmap zu bearbeiten gilt, um die Voraussetzungen für die Realisierung einer Industrie 4.0 zu schaffen (vgl. BMWi, 2016b). Die Kernthemen dieser Forschungsroadmap sind:

- Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke
- Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus
- Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme
- Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit
- Kontinuierliche Entwicklung von Querschnittstechnologien

Diese Kernthemen sind mit Detailthemen untersetzt, für die konkrete Ergebnisse und Realisierungszeiträume beschrieben und in der nachfolgenden Grafik (vgl. BMWi, 2016b) erkennbar sind. Eine ausführliche Darlegung zu diesen Kern- und Detailthemen findet sich in der Forschungsagenda der Plattform Industrie 4.0 (vgl. BMWi, 2016a). Ziel der Forschungsagenda ist es, durch gemeinsame Anstrengungen von Wirtschaft und Politik soll die gute Ausgangslage der deutschen Unternehmen bei Industrie 4.0 für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit genutzt und weiter ausgebaut werden.

Abbildung 3.5.2 Forschungsroadmap Industrie 4.0



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Quellen und weiterführende Informationen

- Acatech (2017), Industrie 4.0 und das Recht: Drei zentrale Herausforderungen, verfügbar unter: <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-und-das-recht-drei-zentrale-herausforderungen/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Anderl, R., J. Fleischer, A. Picard und Y. Wang (2015), Guideline Industrie 4.0 – Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses, verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/312040745_Guideline_Industrie_40_-_Guiding_principles_for_the_implementation_of_Industrie_40_in_small_and_medium_sized_businesses; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMWi (2014), Leitbild 2030 für Industrie 4.0. Digitale Ökosysteme global gestalten, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Kurzmeldungen/2019/2019-04-01-leitbild2030.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMWi (2016a), Forschungsagenda Industrie 4.0 – Aktualisierung des Forschungsbedarfs. Ergebnispapier, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/forschungsagenda-i40.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMWi (2016b), Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0. Ergebnispapier, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMWi (2017), Industrie 4.0 gemeinsam gestalten – Beitrag der Sozialpartner zu guter Arbeit, Aus- und Weiterbildung, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/sozialpartnerdialog.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMWi (2019a), Digitale Geschäftsmodelle für die Industrie 4.0. Ergebnispapier, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/digitale-geschaeftsmodelle-fuer-industrie-40.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMWi (2019b), Vorstudie zur Entwicklung einer bedarfs- und nutzergerechten Unterstützung von KMU bei der Einführung und Anwendung von Industrie 4.0. Forschungsbeitrag, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KMU-Vorstudie.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- DIN, Deutsches Institut für Normung (2018), Deutsche Normungsroadmap. Industrie 4.0. Version 3., verfügbar unter: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0/roadmap-industrie40-62178>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Vassiliadis, M. (2017), Digitalisierung und Industrie 4.0 – Technik allein reicht nicht. Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, verfügbar unter: https://epaper.bw-h.de/igbce/M-Vassiliadis_Digitalisierung_u_Industrie_4_0/; abgerufen am: 22. Juni 2022.

- ZVEI (2014), Industrie 4.0 – Whitepaper FuE Themen, verfügbar unter: <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/industrie-40-whitepaper-zu-forschungs-und-entwicklungsthemen/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- ZVEI (2017), Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement, Positionspapier, verfügbar unter: <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/industrie-40-mes-voraussetzung-fuer-das-digitale-betriebs-und-produktionsmanagement/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- ZVEI (2018), Software als Industrie 4.0-Komponente, Positionspapier, verfügbar unter: <https://www.zvei.org/positionspapier-software-als-industrie-40-komponente>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

3.6 *Internet der Dinge*

3.6.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Das „Internet der Dinge“ (Internet of Things, „IoT“) ist ein Sammelbegriff für verschiedene Technologien und keine eigene Technologie im strengen Sinne. Geprägt wurde der Begriff 1999 von Kevin Ashton am Massachusetts Institute of Technology („MIT“) (vgl. Zhang et al, 2020, S. 34). Die Internationale Fernmeldeunion der Vereinten Nationen bezeichnet das Internet der Dinge als weitreichende Vision mit technologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen (vgl. International Telecommunication Union, 2012). Es besteht aus einem Netzwerk von Dingen bzw. Geräten, die eingebettete Technik enthalten. Diese kommunizieren via Funkschnittstellen über das Internet, speichern und verarbeiten Daten, vermessen und interagieren aufgrund ihres eigenen Zustandes oder der Umgebungsbedingungen, als Teil eines anwendungsorientierten Gesamtsystems (vgl. ebenda). Die „Cisco Internet Business Solutions Group“ des Netzwerkausrüsters Cisco vereinfacht die inhaltliche Breite des Sammelbegriffs IoT durch den Zeitpunkt, an dem mehr Dinge mit dem Internet verbunden waren als Menschen auf der Erde lebten. Das war mit 6,5 Milliarden Geräten bereits zwischen 2008 und 2009 der Fall (vgl. Evans, 2011). Die OECD bezieht sich in ihrer Definition darauf, dass zum IoT gerade diejenigen Geräte und Dinge („devices and objects“) gehören, die mit dem Internet verbunden sind und ihren Zustand ohne aktive Beteiligung von Personen ändern. Das schließt Endgeräte des „traditionellen Internets“, wie menschenbediente Computer, Smartphones und Tablets aus (vgl. OECD, 2018, S. 5; für weitere Definitionen vgl. ebenda S. 10 und S. 17-19).

Als Weiterentwicklung wird das „Internet von Allem“ (Internet of Everything, „IoE“) bezeichnet, das die „intelligenten Dinge“ mit Prozessen, Daten und Menschen verknüpft (vgl. Taylor, 2013). In diesem Technologiesteckbrief wird das IoT in der industriellen Fertigung („Industrial IoT“) und in Industrie 4.0-Anwendungen nicht thematisiert.

Die „Kommunikation über das Internet“ geschieht zu unterschiedlichen Plattformen verschiedener Unternehmen. Es gibt kein einzelnes „Internet der Dinge“, sondern verschiedenste Konzepte, die sich nur teilweise überlappen. Sichtbar wird das bei den Akteuren, neben den großen IT-Playern wie Microsoft und IBM spielen auch klassische Industriekonzerne wie Siemens, Bosch, ABB oder General Electric eine Rolle. Auch etablierte, aber technologiegetriebene Telekommunikationsanbieter sind beteiligt, dazu Start-ups, die unabhängig von einem Bestandsgeschäft agieren können. Nicht nur das Internet mit seinen Rechenzentren und seiner weltweiten Vernetzung spielt eine Rolle, auch das sog. „Edge Computing“ (auch „Fog Computing“ als Gegensatz zu „Cloud Computing“), bei dem die Vernetzung zeitweise durchaus lokal am „äußeren Rand“ eines Sub-Netzwerks endet. Für Mobilfunkbetreiber und Netzwerkausrüster ist bedeutend, dass im IoT durchaus nur gelegentliche, kleine Datenmengen mit batteriefreundlich geringer Sendeleistung anfallen, während Netze wie LTE und 5G auf hohe Datenraten optimiert sind. Dementsprechend werden zusätzlich spezielle, schmalbandige Übertragungsstandards eingeführt. Netzwerkausrüster wie Ericsson prognostizieren nicht die Menge der IoT-Geräte selbst, sondern die Anzahl der mit Mobilfunknetzen verbundenen Geräte (vgl. Ericsson, 2018). Hinzu kommen diejenigen Geräte, die über Funkschnittstellen mit kurzer Reichweite, wie WLAN und Bluetooth, mit lokalen Rechnern des Edge Computing verbunden sind.

Für die Europäische Kommission hat das Internet der Dinge eine strategische Dimension für den sog. Digitalen Binnenmarkt (Digital Single Market, „DSM“), vor allem in Hinsicht auf Interoperabilität und die derzeitige Fragmentierung von Standards (vgl. Rohen, 2017, S. 1). Das zeigt sich z. B. an der Frage, ob Automobile über den Mobilfunkstandard 5G oder ein spezielles Automotive-WLAN vernetzt werden sollen.¹¹⁶

Die Prognosen zur reinen Anzahl der weltweiten „Dinge im Internet“ sind eher kurzfristig und uneinheitlich: Im Jahr 2020 sollten es mit Stand 2013 50 Mrd. Geräte sein (vgl. Taylor, 2013), für das gleiche Prognosejahr

116 Vgl. Golem, 17. Mai 2019, Wer hat Recht im Streit ums Auto-WLAN?, <https://www.golem.de/news/lte-v2x-vs-wlan-802-11p-wer-hat-recht-im-streit-ums-auto-wlan-1905-141306.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

wurden in späteren Schätzungen von 2017 und 2018 aber nur 20 Mrd. Geräte genannt.^{117,118} Im Jahr 2016 wurden für das Jahr 2025 75 Mrd. Geräte prognostiziert.¹¹⁹ In der Definition „über Mobilfunk verbundene Dinge“ wurden 2018 lediglich 4,1 Mrd. Geräte für 2024 geschätzt (vgl. Ericsson, 2018).

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Kontinuierliche Zustandsmeldungen („Condition Monitoring“) von Geräten und Maschinen, etwa auch bei öffentlicher Beleuchtung in einer Smart City
- Reduzierte Stillstandszeiten durch bedarfsgemäße Wartung von Geräten und Maschinen
- Verbesserter Warenfluss in der Logistik durch Selbstorganisation der Ware anstelle zentraler Steuerung
- Effizienzsteigerungen beim Warenumsatz im Handel
- Im Einzelhandel Marketingmaßnahmen auf Ladenverkaufsflächen und kassenlose Geschäfte
- Stauvermeidung, Parkplatzverwaltung, intelligente Routenplanung im Straßenverkehr
- Verkehrsleitsysteme, die auf Echtzeitdaten der Luftverschmutzung beruhen
- Realisierung intelligenter Stromnetze („Smart Grid“) durch dezentrale Vernetzung von Stromerzeugern (regenerative Kleineinspeiser), Netzkomponenten, Verbrauchern und Nutzern

117 Vgl. FAZ, 07. Februar 2017, 8,4 Milliarden vernetzte Geräte im Internet der Dinge, verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/netzwirtschaft/digitalisierung-8-4-milliarden-vernetzte-geraete-im-internet-der-dinge-14865654.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

118 Vgl. Gartner, 07. Februar 2017, Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016, verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

119 Vgl. Cisco, 19. Juli 2019, The future of IoT miniguide: The burgeoning IoT market continues, verfügbar unter: <https://web.archive.org/web/20190725000024/https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/future-of-iot.html>; abgerufen am: 11. November 2022.

- Verbesserte Systemstabilität und Versorgungssicherheit in Stromnetzen
- Hausautomation in Wohn- und Bürogebäuden vereinfacht den Alltag und spart Energie bei Beleuchtung und Raumlufttemperierung
- Höhere Ernteerträge durch bedarfsgerechte Bewässerung und Düngerversorgung mit hyperlokalen Zustandsmessungen in der Landwirtschaft
- Kontinuierliches Gesundheitsmonitoring für lückenlose Vorsorge in Hinsicht auf Herzfunktion, Bewegung, Blutdruck, Blutzucker u. a.

Anwendungsbranchen

- Handel
- Versicherungen
- Logistik
- Telekommunikation
- Informationstechnologie
- Verteidigung
- Medizin
- Produktion
- Chemische Industrie
- Bergbau
- Energie
- Wissenschaft
- Luft- und Raumfahrt
- Bauwesen
- Technische Gebäudeausrüstung
- Elektronik/Lifestyle

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- The Alliance for Internet of Things Innovation („AIOTI“), <https://aioti.eu/>
- Internet of Things Association („IOTA“), <https://www.smartex.com/IOTA/>
- IEEE¹²⁰ Internet of Things, <https://iot.ieee.org/>

120 Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA.

- IoT European Research Cluster („IERC“), <http://www.internet-of-things-research.eu/>
- European Commission, The Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology („DG CONNECT“), Unit E1 – Future Connectivity Systems
- Initiative für eine Verordnung „Forschung und Innovation – Europäische Partnerschaft für intelligente Netze und Dienste (Programm „Horizont Europa““, Annahme durch die Europäische Kommission geplant für Q1/2020 (vgl. Europäische Kommission, 2017).
- eco – Verband der Internetwirtschaft e.V., <https://www.eco.de/themen/internet-of-things/>

Verwandte Technologien

- Mikrocomputer, Mikroprozessoren, Mikrocontroller
- Mikroelektronik und Halbleitertechnik
- Sensoren und Aktoren, mikromechanische Systeme („MEMS“)
- Satellitennavigation (GPS/USA, Galileo/EU, GLONASS/RUS)
- Funktechnik, Hochfrequenztechnik, Kommunikationsprotokolle
- Energiespeicher, Mikrobatterien, Superkondensatoren, drahtlose Energieversorgung
- Entwicklung von Betriebssystemen, Firmware, Software und Apps
- Cloud-Computing, Datenspeicherung
- Datenanalyse, Big Data/Smart Data, Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen
- Industrie 4.0, Ubiquitous Computing, cyber-physische Systeme

Einschätzung

Das „Internet der Dinge“ existiert seit über zehn Jahren. Es war und ist hauptsächlich technikgetrieben. Die Voraussetzung für die Entwicklung energieautarker, vernetzter Sensoren waren Batterien mit hoher Energiedichte und Mikroelektronik mit sehr geringem Stromverbrauch. Dieser Aspekt trifft für Anwendungen in der Heimautomation weniger und im Automobil nicht zu, hier kann die Stromversorgung relativ problemlos durch die „übergeordnete Hülle“ der Dinge sichergestellt werden: Der intelligente Stromzähler befindet sich selbst an einer Stromleitung und im Automobil steht eine ausreichend dimensionierte Bordnetzatterie bereit, die bei Fahrten geladen wird.

Die Weiterentwicklung des IoT wird sich an den stetigen, technischen Fortschritten in Mikroelektronik, Sensorik, Aktorik und Rechenleistung orientieren, ebenso an der kommerziell verfügbaren Batterietechnik oder verbesserten Methoden des Energy Harvesting. Hier setzen Unternehmen mit ihren agilen Geschäftsmodellen an und werden Anwendungen in dem Pfad realisieren, der kurzfristig machbar ist. Mittelfristige Pläne werden nicht öffentlich kommuniziert, da sie das aktuelle Geschäftsmodell beeinträchtigen würden.

Die Infrastruktur ist von entscheidender Bedeutung für das Gelingen der Geschäftsmodelle in den äußerst verschiedenen Anwendungen. „Das Internet“ als solches ist ein etabliertes und zukunftssicheres Kommunikationsmedium, in das inzwischen andere Kommunikationsnetze wie Telefon und Fernsehen integriert sind. Das Internet der Dinge ist entweder auf den Internetzugang über Funkstrecken mit geringen Reichweiten angewiesen (WLAN, Bluetooth, ZigBee u. a.) oder auf den Internetzugang über Mobilfunknetze. Diese können kurzlebiger als die verbauten Sensoren sein, wie die in Deutschland geplante Abschaltung der 2004 kommerziell eingeführten UMTS-Mobilfunknetze in den nächsten Jahren zeigt. In den nicht einmal zwanzig Jahren des Standards wurde das Netz aufgebaut, Lücken beseitigt, vollständig verfügbar betrieben und wird wieder abgebaut werden. Die daraus folgende Dysfunktionalität einiger meist unsichtbarer, vernetzter Geräte wird das Vertrauen der Anwender schwächen.

Stärken und Schwächen in sowie Chancen und Risiken für Deutschland

Stärken

- Bewusstsein und Anwendung des IoT im Maschinen- und Anlagenbau vorhanden
- Konsumentenerfahrungen durchaus positiv, da bspw. Verkaufszahlen von Wearables und Smart Home-Equipment ohne Anlass zur Kritik

Chancen

- Datensicherheit und Privatheit können durch Politikgetriebene Gütesiegel gesteigert werden (vgl. Rohen, 2017, S. 3)
- Regulierung von Funkschnittstellen und Kommunikationsprotokollen ermöglicht breite, standardisierte Anwendungen
- Kostensenkung kann durch IoT-Anwendungen erreicht werden
- Nutzererfahrungen mit IT verbessern sich durch nahtlose Integration des Internets der Dinge

Schwächen

- Deutsche Unternehmen sind in der Entwicklung von IoT-Technologien im Rückstand. Unter den Top-50-Unternehmen mit der weltweit höchsten Patentaktivität befinden sich nur zwei deutsche Unternehmen, unter den Top-1.000 sind es 37 (vgl. Technologiestiftung Berlin, 2017, S. 39)
 - KMU nutzen digitale Technologien wie IoT nur im geringen Maß (vgl. Rohen, 2017, S. 5)
 - Standardisierung und Interoperabilität verbesserungswürdig (vgl. Rohen, 2017, S. 1)
 - Geringe Bewusstheit für das Thema IoT, da dieses eher „unsichtbar“ ist
- ### Risiken
- Abhängigkeiten von der Verfügbarkeit anderer Informationstechnologien, wie 5G-Mobilfunknetzen, Künstlicher Intelligenz und Cloud-Computing
 - Infrastruktur u. U. kurzlebiger als die Dinge im Internet¹²¹
 - Energieverbrauch steigt insgesamt¹²² (vgl. The Shift Project, 2019)
 - Durch ihre Schnittstellen sind IoT-Geräte vielfältig angreifbar (Security-Aspekte)¹²³
 - Zersplitterte, inkompatible Plattformen selbst innerhalb von Einzelbranchen
 - Integration von elektronischen IoT-Devices in Konsumentenprodukte wie Kleidung, Schuhe, non-Elektro führt zu Sondermüll, da die üblichen Entsorgungspfade nicht mehr genutzt werden können. Auch sind Hersteller und Konsumenten nicht sensibel für das Thema.

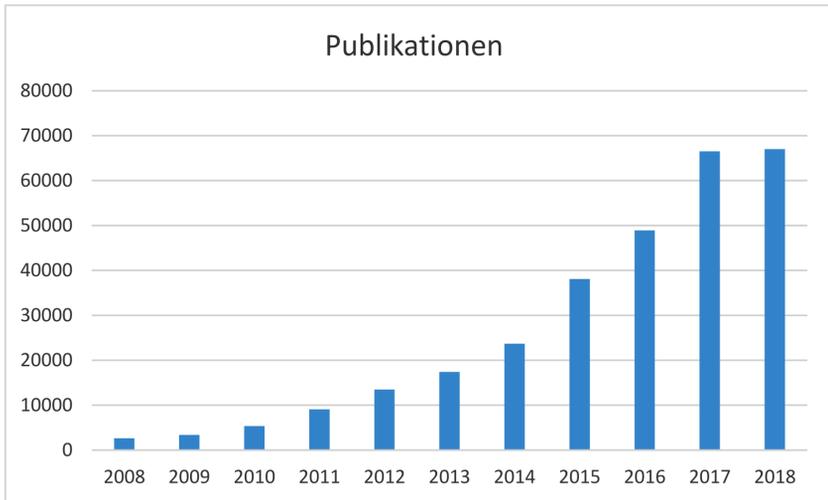
121 Vgl. Teltarif, 6. September 2019, Noch kein konkreter UMTS-Abschaltermin, verfügbar unter: <https://www.teltarif.de/telekom-umts-3g-abschaltung/news/77894.html>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

122 Vgl. Heise, 07. Juli 2014, Studie: Internet of Things frisst zunehmend Energie, verfügbar unter: <https://heise.de/-2250476>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

123 Vgl. Heise, 26. Dezember 2017, Botnetze können das Stromnetz sabotieren, verfügbar unter: <https://heise.de/-3927886>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.6.1 Anzahl von Publikationen zu Internet der Dinge über die Zeit



Quelle: Google Scholar – Trefferzahl zu „Internet of Things“, eigene Darstellung.

3.6.2 Anwendungsroadmap

Das Spektrum der Anwendungen des Internets der Dinge ist durch den Sammelbegriff-Charakter nicht wissenschaftlich einheitlich definiert, anhand der betrachteten Branchen gibt es jedoch nachvollziehbare Einteilungen mit geringen Überlappungen, wie etwa bei Persönlicher IoT am Menschen, die oft Gesundheitsanwendungen, aber auch Lifesteyleanwendungen dient (vgl. George, 2018).

- Vernetzte Straßenfahrzeuge, vernetzt untereinander („V2V“, Vehicle to Vehicle), vernetzt mit der Infrastruktur wie Lichtsignalanlagen („V2I“, Vehicle to Infrastructure)
- Transportwesen (Schienenverkehr, Flugverkehr), sowohl für Personens als auch Güterverkehr/Logistik
- Smart Cities
- Smart Buildings, Smart Living Environments
- Smart Energy Management
- Connected & Smart Home

- Persönliche IoT am Menschen: Wearables, wie Fitnessarmbänder, GPS-Tracker und Smart Watches sowie intelligenten Schmuck, Schuhe, Socken, Brillen und Helme
- Wearables für Gesundheits- und Lifestyleanwendungen
- Medizinanwendungen
- Smart Agriculture, Smart Farming and Food Security
- Stationärer Einzelhandel, Onlinehandel
- Produktion und Industrie 4.0 (siehe Abschnitt 3.5)

Die Prognosen der letzten Jahre werden für einen erstaunlich kurzfristigen Zeitraum bis maximal 2024 gegeben und beinhalten keine Roadmaps. Vermesan et al. Benennen im zentralen Kapitel 3.2 „IoT Strategic Research and Innovation Directions“ (vgl. 2017, S. 25-39) keinerlei Zeithorizonte. Die Liste der größten Herausforderungen in der „zukünftigen Forschung“ (vgl. ebenda, S. 38 f.) nennt recht allgemein und undatiert IoT-Architekturen entsprechend den Anforderungen; ein wissenszentriertes Netzwerk für IoT; das Antizipieren von menschlichem und maschinellen Verhalten zur sozialen Unterstützung durch IoT; IoT-Anwendungen mit Augmented und Virtual Reality; Autonomie für das IoT, um das Internet der autonomen Dinge zu entwerfen; Ende-zu-Ende-Verschlüsselung im IoT, auch, um Angriffe von außen abzuwehren; Lösungen zur Privatsphäre gemäß der Datenschutz-Grundverordnung; einige technische Konzepte wie Tolerierung von Signalverzögerungen und Software Defined Radios („SDR“) für die Funkschnittstellen.

Bacquet und Riemenschneider (vgl. 2018, S. 7-15) vermerken im nachfolgenden Band aus dem Jahr 2018 im Kapitel 2 „Future Trends in IoT“, dass IoT als disruptive Technologie zur Generierung neuer Ideen angesehen werden kann, die neue Services und Anwendungen erzeugen wird. Konkretisiert werden jedoch nur Schlüsseltechnologien als „Game Changer“ für IoT: Geräte der nächsten Generation, mit taktilen Sensoren und haptischem Feedback; Datenverarbeitung durch Edge-Computing; Datenzentrierte Architekturen; gemeinschaftsorientierte Geschäftsmodelle sowie eine resiliente und verlässliche Infrastruktur. Auch hier werden keine Jahresangaben zur möglichen Zielerreichung gemacht.

Die „The Alliance for Internet of Things Innovation“ („AIOTI“) veröffentlichte 2017 eine „AIOTI Strategy“, die von 2017 bis lediglich 2021 reicht und allein zum Thema Standardisierung Meilensteine „vor 2020“ und „nach 2020“ vorgibt. Weitergehende Angaben zu Jahren wie 2025 oder 2030 werden nicht gemacht (vgl. Alliance for Internet of Things Innovation, 2017).

Insgesamt sind Roadmaps, die langfristige Ziele in zeitgebundene Einzelschritte strukturieren, von den Akteuren nicht aufzufinden. Das mag auch daran liegen, dass es keine wesentlichen Meilensteine gibt, die zur Einführung des IoT-Konzepts und zur Umsetzung in Anwendungen zwingend nötig sind. Vielmehr wird bestehende Technologie inkrementell verbessert, was das Anwendungsspektrum für das Internet der Dinge technologiegetrieben erweitert. Dementsprechend stellen Cambridge Consultants daher wider Erwartung fest, dass unabhängig vom Hype um IoT lediglich ein langsamer Fortschritt stattfindet. Es gibt bereits verschiedene Standalone-Services mit einem starken Geschäft, beispielhaft Smart Meters, also intelligente Stromzähler. Die meisten Anwendungen werden sich aber erst verbreiten, wenn eine geeignete Infrastruktur vorhanden ist (vgl. Cambridge Consultants, 2017, S. 3).

Gartner verortet IoT-Plattformen im Gartner Hype Cycle gerade noch im „Gipfel der überzogenen Erwartungen“, kurz vor dem im Übergang zum „Tal der Enttäuschungen“ und sieht das „Plateau der Produktivität“ in fünf bis zehn Jahren erreicht, ausgehend vom August 2018.¹²⁴

Ebenfalls keine Roadmap, sondern eine Prognose aus dem Jahr 2017 für das Jahr 2024, geben Cambridge Consultants (vgl. ebenda) nicht für die Menge der IoT-Geräte selbst, sondern für die Anzahl der mit Mobilfunknetzen verbundenen Geräte, wie das bereits in der *Kurzbeschreibung* für Ericsson erwähnt wird. Während Ericsson für 2024 von weltweit 4,1 Milliarden verbundenen Geräten ausgeht (vgl. Ericsson, 2018), gehen Cambridge Consultants in ihrer Studie für das britische Office of Communications („Ofcom“; britische Medienaufsichtsbehörde) von etwas über 150 Millionen verbundenen Geräten in Großbritannien 2024 aus. Rund 85 Prozent davon entfallen auf die drei Bereiche Automotive, Konsumelektronik und schnelldrehende Produkte („Consumer electronics and FMCG“, Fast Moving Consumer Goods) sowie Versorgungsunternehmen (für Energie und Wasser). Im Bereich Automotive werden mehrere Anwendungen genannt: Automatischer Notruf, Connected Media, Assekuranz, Fahrzeug-Tracking und Flottenmanagement. Bei der Konsumelektronik und schnelldrehenden Produkte werden als Anwendung Wearables genannt, bei den Versorgungsunternehmen allein intelligente Stromzähler.

124 Vgl. Gartner, 20. August 2018, Gartner Identifies Five Emerging Technology Trends That Will Blur the Lines Between Human and Machine, verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-20-gartner-identifies-five-emerging-technology-trends-that-will-blur-the-lines-between-human-and-machine>; abgerufen am: 15. November 2022.

Erst mit großem Abstand auf diese drei Bereiche folgen Smart Cities, Logistik, Produktion, Gesundheitswesen und Landwirtschaft (vgl. Cambridge Consultants, 2017, S. 28 f.). Dabei wird für den Zeitraum 2016 bis 2024 eine jährliche Wachstumsrate von 36 Prozent unterstellt, die mit 13,3 Millionen verbundenen Geräten im Jahr 2016 startet (vgl. Cambridge Consultants, 2017, S. 5). Aussagen über 2024 hinaus treffen Cambridge Consultants nicht.

In der Summe sind, abgesehen von Einzelprognosen bis ins Jahr 2024, keine dedizierten Roadmaps für IoT-Technologien als auch spezielle IoT-Anwendungen aufzufinden, siehe Tabelle 3.6.1.

Tabelle 3.6.1 Anwendungsroadmap Internet der Dinge

Internet der Dinge	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Techn. Meilenstein	TM															

Quelle: vgl. Vermesan et al., 2017, eigene Darstellung

TM: Für IoT geeignete Architekturen; Antizipieren von menschlichem und maschinellm Verhalten zur sozialen Unterstützung durch IoT; Ende-zu-Ende-Verschlüsselung im IoT, auch, um Angriffe von außen abzuwehren; Lösungen zur Privatsphäre gemäß der Datenschutz-Grundverordnung; Software Defined Radios („SDR“) für die Funkschnittstellen; Tolerierung von Signalverzögerungen (vgl. Vermesan et al., 2017, S. 38 f.).

Einen Sonderfall stellt ein Abschlussbericht von PwC für die Europäische Kommission dar, in dem u. a. durch neue IoT-Geschäftsmodelle induzierte Veränderungen im Arbeitsmarkt und resultierende gesellschaftliche Auswirkungen untersucht werden. (vgl. Europäische Kommission, 2017, S. 206 ff.). Die erwarteten Arbeitmarkteffekte sind darin in den drei Zeitabschnitten Short-term effects (within five years), Medium-term effects (within a decade) und Long-term effects (10 years or more from now) gestaffelt, vgl. Tabelle 3.6.2 (vgl. Europäische Kommission, 2017, S. 214 ff.).

Table 3.6.2 Roadmap Arbeitsmarkteffekte Internet der Dinge

Internet der Dinge	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Medizin																
Gig Economy																
Selbstbed.																
Arbeitsplatz																
Einf. Aufgaben																
Pkw-Hersteller																
Pkw-Aftersales																
Lkw-Fahrer																

Quelle: vgl. (Europäische Kommission, 2017), eigene Darstellung

Medizin: IoT-Sensoren vermessen den Gesundheitszustand der Patienten außerhalb der Krankenhäuser und erlauben Ärzten eine vorbeugende Versorgung.

Gig Economy (aus dem Englischen „gig“ für Auftritt und „economy“ für Wirtschaft): Unternehmen wie Uber und Deliveroo nutzen Arbeitnehmer „on-demand“, sie kennen ihren Aufenthaltsort und versorgen sie kurzfristig mit Aufträgen. Trotz Automation sind menschliche Arbeitnehmer preiswerter, die Unternehmen haben weniger fixe und geringe variable Arbeitskosten.

Selbstbedienung: Obwohl schon heute Selbstbedienung Standard ist, wird in Selbstbedienungs-Ladengeschäften die Ware mit IoT-Technologien automatisch identifiziert und ohne Kassenspersonal bezahlt. Vorbild sind erste Amazon Go-Geschäfte in den USA.

Arbeitsplatz: Sensoren in und an den Arbeitsplätzen können durch das Tracking der Mitarbeiter in den Räumen bis zu 25 Prozent Energie sparen, weil Beleuchtung und Raumwärme bedarfsgerecht gesteuert werden. Durch Informationen über das Verhalten der Arbeitnehmer können Büroräume umgestaltet werden, um eine effiziente Kommunikation zu ermöglichen.

Einfache Aufgaben: durch IoT-Technologien können 90 Prozent der wiederkehrenden Aufgaben in öffentlicher Verwaltung und deren Kundendienst entfallen.

Pkw-Hersteller: Autohersteller werden ihre Geschäftsmodelle ändern und mehr auf Carsharing setzen, der private Autobesitz wird überflüssig. Durch IoT-Sensoren wissen die Autohersteller mehr über die Fahrer und ihr Risikoverhalten als die Versicherungsgesellschaften.

Pkw-Aftersales: Das Zusammenspiel aus effizienten, mit IoT ausgestatteten Pkw-Fabriken, geringerem Fahrzeugbedarf und autonomen Fahrzeugen, die weniger Unfälle haben, wird den Bedarf an Aftersales wie Reparaturen und Wartung deutlich reduzieren.

Lkw-Fahrer: Durch selbstfahrende Fahrzeuge wird Fahrpersonal in der Logistikbranche und im öffentlichen Verkehr arbeitslos werden.

Quellen und weiterführende Informationen

- AIOTI, Alliance for Internet of Things Innovation (2017), Strategy 2017-2021, verfügbar unter: https://aioti.eu/wp-content/uploads/2017/11/AIOTI_Strategy_2017-2021_V1.0_FINAL_WEB.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Bacquet, J. und R. Riemenschneider (2018), Next Generation IoT Platforms, in: Vermesan, O. und J. Bacquet (Hrsg.), Next Generation Internet of Things – Distributed Intelligence at the Edge and Human Machine-to-Machine Cooperation. River Publishers Series of Communication, River Publishers: Gistrup, Delft, S. 7-15, verfügbar unter: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Next_Generation_Internet_of_Things_Distributed_Intelligence_at_the_Edge_IERC_2018_Cluster_eBook_978-87-7022-007-1_P_Web.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Cambridge Consultants (2017), Review of latest developments in the Internet of Things, verfügbar unter: https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0007/102004/Review-of-latest-developments-in-the-Internet-of-Things.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Ericsson (2018), IoT connections outlook, verfügbar unter: <https://web.archive.org/web/20190428200330/https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2018/iot-connections-outlook>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Europäische Kommission (2017), Cross-Cutting Business Models for IoT, Report, verfügbar unter: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5e6cd2bb-113c-11e8-9253-01aa75ed71a1>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Europäische Kommission (2019), Forschung und Innovation – Europäische Partnerschaft für intelligente Netze und Dienste (2019), verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/initiatives/ares-2019-4972300_de; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Evans, D. (2011), The Internet of Things, Cisco Internet Business Solutions Group (2011), verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/inov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- George, S., G. Hunt und R. Malaviarachchi (2018), Vortrag: Microsoft IoT Overview, Vision and Roadmap. 7. Mai 2018, Microsoft Build 2018, verfügbar unter: <https://channel9.msdn.com/Events/Build/2018/BRK2154>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- IAM (2019), Patent litigation trends in the Internet of Things, verfügbar unter: <https://www.iam-media.com/patent-litigation-trends-internet-things>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

- International Telecommunication Union (2012), Overview of the Internet of things, verfügbar unter: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&cid=T-REC-Y.2060-201206-I!!PDF-E&type=items; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Li, S., L. D. Xu und S. Zhao (2018), 5G Internet of Things: A Survey, *Journal of Industrial Information Integration*, 10, 2018, S. 1-9, verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.01.005>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- OECD (2018), IoT measurement and applications, OECD Digital Economy Papers, No. 271, OECD Publishing: Paris, verfügbar unter: <https://doi.org/10.1787/35209dbfen>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Park, E., A. P. Del Pobil, und S. J. Kwon (2018) The Role of Internet of Things (IoT) in Smart Cities: Technology Roadmap-oriented Approaches, *Sustainability*, 10(59), verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1388>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Rohen, M (2017), IoT Driving Digital Transformation – Impact on Economy and Society, in: Vermesan, O. und J. Bacquet (Hrsg), *Cognitive Hyperconnected Digital Transformation – Internet of Things Intelligence Evolution*, River Publishers Series in Communication, River Publishers: Gistrup, Delft, S. 1-5, verfügbar unter: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Cognitive_Hyperconnected_Digital_Transformation_IERC_2017_Cluster_eBook_978-87-93609-10-5_P_Web.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- The Shift Project (2019), Lean ICT - Towards digital Sobriety, verfügbar unter: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Taylor, S. (2013), The Next Generation of the Internet, Cisco Internet Business Solutions Group, verfügbar unter: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/sp/Next-Generation-of-the-Internet.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Technologiestiftung Berlin (2017), IoT in Berlin, verfügbar unter: https://www.technologiestiftung-berlin.de/fileadmin/Redaktion/PDFs/Bibliothek/Studien/2017/170504_IoT-Report_Web.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Vermesan, O. et al. (2017), Internet of Things Cognitive Transformation Technology Research Trends and Applications, in: Vermesan, O. und J. Bacquet (Hrsg), *Cognitive Hyperconnected Digital Transformation – Internet of Things Intelligence Evolution*, River Publishers Series in Communication, River Publishers: Gistrup, Delft, S. 17-95, verfügbar unter: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Cognitive_Hyperconnected_Digital_Transformation_IERC_2017_Cluster_eBook_978-87-93609-10-5_P_Web.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Vermesan, O et al. (2018), Internet of Things Cognitive Transformation Technology Research Trends and Applications, in: Vermesan, O. und J. Bacquet (Hrsg.), *Next Generation Internet of Things – Distributed Intelligence at the Edge and Human Machine-to-Machine Cooperation*. River Publishers Series of Communication, River Publishers; Gistrup, Delft, S. 17-95, verfügbar unter: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Next_Generation_Internet_of_Things_Distributed_Intelligence_at_the_Edge_IERC_2018_Cluster_eBook_978-87-7022-007-1_P_Web.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Zhang, E. et al. (2020) The 10 Research Topics in the Internet of Things, 2020 IEEE 6th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC) Atlanta, GA, USA, S. 34–43, verfügbar unter: <https://doi.org/10.1109/CIC50333.2020.00015>; abgerufen am: 11. November 2022.

3.7 Künstliche Intelligenz

3.7.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

Die hochrangige Expertengruppe zu Künstlicher Intelligenz (KI) der Europäischen Kommission definiert KI als Systeme, die intelligentes Verhalten zeigen, indem sie ihre Umgebung analysieren und – mit einem gewissen Grad an Autonomie – Maßnahmen ergreifen, um bestimmte Ziele zu erreichen. KI-basierte Systeme können rein softwarebasiert sein, in der virtuellen Welt agierend (z. B. Sprachassistenten, Bildanalysesoftware, Suchmaschinen, Sprach- und Gesichtserkennungssysteme) oder KI kann in Hardware eingebettet sein (z. B. hochentwickelte Roboter, autonome Autos, Drohnen oder Anwendungen im Internet der Dinge) (vgl. Europäische Kommission, 2019, S. 1).

Nach Bitkom (vgl. 2018), ist dieser und vielen anderen Definitionen der KI gemein, dass sie auf Begriffe wie Intelligenz oder Kognition zurückgreifen, die ihrerseits unscharf definiert und in ihrer Fülle nur schwer zu fassen sind. Daher wird (vgl. ebenda) ein pragmatisches „Periodensystem der KI“ verwendet, das eine Zusammenstellung allgemeiner Fähigkeiten von KI bietet in den drei Kategorien: Bewerten, Folgern und Reagieren.

Bewerten: Spracherkennung, Stimmidentifizierung, Geräuscherkennung, Geräuschidentifizierung, Gesichtserkennung, Gesichtsidentifizierung, Objekterkennung in Bildern, Objektidentifizierung in Bildern, Extraktion von Informationen aus Texten, Objekt- und Situationserkennung aus Sensordaten, Erkennung von Tatsachen und Ereignissen aus der Analyse von Daten und Sensordaten.

Folgern: Vorhersagende Folgerungen, erklärende Folgerungen, synthetische Argumentationen zur Vorhersage oder Erklärung, Erstellung von Aktionsplänen, Problemlösung als Abfolge von Aktionen zur Erreichung eines Zielzustandes, Entscheidungsfindung als Auswählen eines Plans oder eines Lösungsweges, Sprachverstehen, Sprachgenerierung, Erkennen neuer Kategorien, Wissensverfeinerung in der Überarbeitung von Wissen oder Regeln, Erkennen von Beziehungen zwischen Merkmalen.

Reagieren: Steuern autonomer Fahrzeuge, die mit anderen Fahrzeugen interagieren; Steuern von Robotern, die mit Menschen interagieren; Manipulieren von Objekten, mit denen auch Menschen arbeiten; Kommunikation zwischen Mensch und Maschine unterstützen; Steuern anderer Maschinen.

Aus diesen Elementen lassen sich „Element-Tripel“ mit der Struktur Bewerten-Folgern-Reagieren zusammenstellen, die jeweils typische Verarbeitungsschritte eines KI-Anwendungsfalls beschreiben und zugleich allein aufgrund der Vielzahl an Kombinationen die Breite möglicher KI-Anwendungen verdeutlichen. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Auswahl und Zusammenstellung der Elemente als vorläufig anzusehen seien, so aber auch die Notwendigkeit einer statischen Definition überwunden werden könne (vgl. Bitkom, 2018, S. 22 f.).

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Technische Nachbildung kognitiver Fähigkeiten, die zuvor nur Menschen eigen waren
- Lernfähigkeit
- Stetige Zunahme der nachbildbaren kognitiven Fähigkeiten und der Leistungsfähigkeit der Nachbildungen einzelner kognitiver Fähigkeiten, jedoch als technologische Inselbegabungen
- Extreme breite Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten in der Summe aller Inselbegabungen

Anwendungsbranchen

Sämtliche Branchen

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten (Auswahl)

- Große Technologieunternehmen: Google, Microsoft, Amazon, Facebook, IBM, Apple, Baidu, Alibaba, Tencent
- Global Partnership on AI
- AI Strategy Advisory Committee, China
- AI Task Force, Indien
- The AI Initiative, USA

- AI Now Institute, USA
- Partnership on AI, USA
- OpenAI, USA
- Confederation of Laboratories for Artificial Intelligence Research in Europe („CLAIRE“), EU
- High-Level Expert Group on AI, EU
- Plattform Lernende Systeme, Deutschland

Verwandte Technologien

- Digitale Plattformen
- Big Data
- Autonome Systeme
- Neuromorphe Elektronik
- Neuronale Netze
- Maschinelles Lernen, Deep Learning

Einschätzung

Das Thema Künstliche Intelligenz hat in den gut siebzig Jahren seiner wechselvollen, modernen Geschichte verschiedene Phasen von Begeisterung und Ernüchterung durchlaufen. In den letzten gut zehn Jahren überwiegen Erfolgsgeschichten und Beispiele nützlicher, überzeugender Anwendungen. Als Gründe werden genannt die allgemeine Steigerung der Rechenleistung, die Entwicklung leistungsfähiger Spezialhardware, Cloud Computing sowie riesige Sätze von Trainingsdaten, die mit der globalen Verbreitung und Nutzung digitaler Plattformen für deren Betreiber verfügbar wurden, sowie der Durchbruch des maschinellen Lernens in der Form des sog. „deep learning“. Auch trägt der allgemeine Trend zur Digitalisierung zu einem Bedeutungszuwachs für die verschiedenen Formen der KI bei und setzt eine Art Selbstverstärkung in Gang. Denn in dem Maße, in dem die Digitalisierung alle Lebensbereiche durchdringt, fallen zunehmend entsprechende Massendaten an, die den Formen der KI neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnen, die ihrerseits Wirkung in eben all diese Lebensbereiche hinein entfalten können. Daher wird die wirtschaftliche Bedeutung der KI als immens betrachtet. Daneben spielen aber auch geopolitische Facetten des Themas eine große Rolle. Vor diesem Hintergrund ist ein globaler KI-Forschungs- und Technologie-Wettlauf entbrannt und es herrscht die Wahrnehmung hoher Dringlichkeit.

Es sollte in der Bewertung aber nicht übersehen werden, dass die erfolgreichen Formen der KI heute noch eng umgrenzte Fähigkeiten (Inselbegabungen) aufweisen und sehr große, validierte Datensätze zum Training benötigen und wohl auch in absehbarer Zukunft weiter benötigen werden. Dies kann einerseits als Einschränkung der konkreten Anwendungsmöglichkeiten betrachtet werden, andererseits kann darin aber auch die Chance gesehen werden, dass das globale Rennen offen ist und dass noch Raum und wirtschaftliches Potenzial für neue KI-Lösungen gegeben ist, die die genannten Begrenzungen zumindest teilweise überwinden können.

Stärken und Schwächen in sowie Chancen und Risiken für Deutschland

Stärken

- Differenzierte und leistungsfähige Forschungslandschaft
- Breit aufgestellte Wirtschaftsstruktur
- Technologieführerschaft in wichtigen Industriefeldern
- Existenz einer nationalen KI-Strategie

Chancen

- Zunehmende Anwendungen in der Wirtschaft
- Große Potenziale für Wertschöpfung der Zukunft
- Enorme Chancen für das stark mittelständisch geprägte verarbeitende Gewerbe
- Wertschöpfungspotenziale durch Datenaustausch zwischen mittelständischen Unternehmen
- Nutzung für die öffentliche Verwaltung

Schwächen

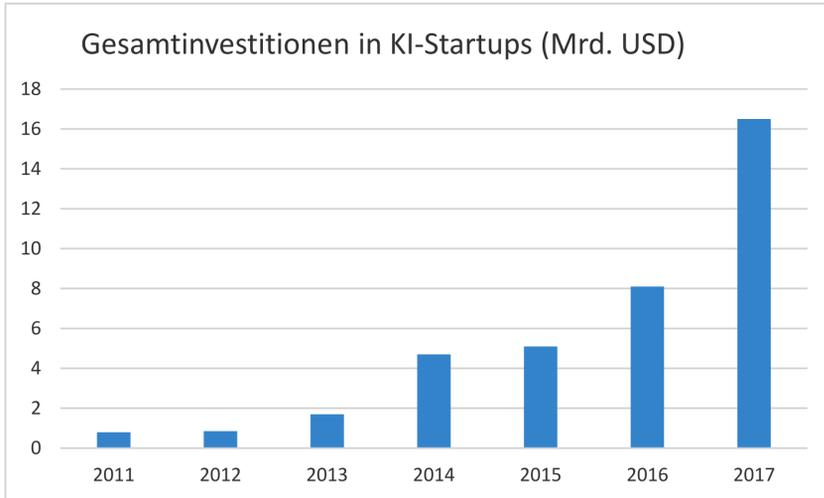
- Fehlende zeitliche Freiräume für Weiterqualifikationen der Belegschaft aufgrund hoher Auslastung in vielen KMU
- Kontroverse Wahrnehmung von KI in weiten Teilen der Bevölkerung

Risiken/Herausforderungen

- Hohe Investitionen der großen Digitalkonzerne
- Steigende öffentliche Investitionen in vielen Ländern weltweit
- Wachsender internationaler Wettbewerb um Talente, Technologien, Daten und Investitionen
- Strukturwandel von Wirtschaft, Arbeitsmarkt und Gesellschaft
- Transfer von neuen KI-Technologien in die Breite der Wirtschaft
- Anpassung gesetzlicher Rahmenbedingungen zur Nutzung der KI
- Kooperation zwischen Staat und Privatwirtschaft zum Aufbau vertrauenswürdiger Infrastrukturen zum Teilen von Daten

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.7.1 Gesamtinvestition in KI-Startups über die Zeit



Quelle: OECD-Schätzungen basierend auf Crunchbase-Daten (Juli 2018) (vgl. OECD, 2018), eigene Darstellung.

3.7.2 Anwendungsroadmap

Das Feld der Künstlichen Intelligenz zeichnet sich durch die Besonderheit aus, dass die oben genannten großen Technologieunternehmen nicht nur wirtschaftlich in der Anwendung der KI führend sind, sondern auch als führende Akteure in der Forschung gelten. Zwar gibt es Konferenzbeiträge und Publikationen dieser Unternehmen, die naturgemäß nur einen Teil der Forschungsarbeiten wiedergeben – mutmaßlich die Teile mit einem geringen unmittelbar erwarteten Anwendungs- und Produktbezug. Sie müssen überdies als Teil der breiteren Unternehmenskommunikation gewertet werden, die zudem insgesamt nur selten Aussagen zur langfristigen Ausrichtung bzw. konkrete mittel- bis langfristige Anwendungsziele enthält. Bei allen identifizierbaren Unternehmensaussagen ist zu berücksichtigen, dass sie mit dem wirtschaftlichen Interesse erfolgen, das jeweilige Unternehmen und dessen Produkte in einem guten Licht erscheinen zu lassen.

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden beispielhaft zwei öffentliche Äußerungen großer Technologieunternehmen und zwei Darstellungen zu Anwendungsvisionen aus dem Feld der öffentlich finanzierten KIForschung wiedergegeben, um die Bandbreite an vorliegenden Zukunftserwartungen zu umreißen.^{125, 126}

-
- 125 Die Themen allgemeiner künstlicher Intelligenz mit menschenähnlichen („artificial general intelligence“ – „AGI“) oder übermenschlichen Fähigkeiten („artificial superintelligence“ – „ASI“) werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Auch wenn diese beiden hypothetischen Formen der KI bereits heute hitzige Debatten auslösen, herrscht doch weitgehende Einigkeit, dass deren Realisierung in jedem Fall noch (wesentlich) mehr als fünfzehn Jahre in der Zukunft und damit außerhalb des Zeithorizontes dieser Untersuchung liegt.
- 126 Verwiesen sei auch auf einen Beitrag in der *Technology Review*, der die aktuelle Zukunftsbefassung mit KI kritisch reflektiert und sieben typische Fehler benennt: 1. Die Auswirkungen von Technologien (hier KI) werden kurzfristig häufig überschätzt, während langfristige Auswirkungen eher unterschätzt werden. 2. Es wird zur Skepsis geraten, bei Aussagen über zukünftige Technologien, die „magisch“ klingen. Wenn die Fähigkeiten einer zukünftigen Technologie sehr weit vom heutigen Stand der Technik entfernt sind, dann sind deren unvermeidliche Schwächen nicht präzise zu benennen. Dadurch wird es schwierig, die Zukunftsvorstellungen sachlich zu kritisieren. 3. In Bezug auf die Extrapolation der Fähigkeiten von KI-Systemen beobachtet der Autor eine Neigung, das menschliche Lernverhalten und die menschliche Aneignung von Kompetenzen auch auf die Entwicklung von KI-Systemen zu übertragen und auch hier eine natürlich vorgegebene Abfolge zu unterstellen, die aber nicht gegeben sei. 4. Im gleichen Sinne wird vor sog. Kofferbegriffen gewarnt – wie etwa dem Wort „Lernen“, das eine große Breite an Assoziationen transportiert für technische Systeme aber ganz anders realisiert wird als dies in Bezug auf das menschliche Lernen der Fall ist. 5. Es wird zudem darauf verwiesen, dass eine Gefahr darin besteht, exponentielle Entwicklungen zu lange fortzuschreiben. Konkret werden die durch „deep learning“ ermöglichten Erfolge als ein isoliertes Ereignis mit einem Vorlauf von 30 Jahren Forschung bezeichnet, von denen unklar sei, wie lange sie einen exponentiell erscheinenden Fortschritt aufrechterhalten können. 6. Es wird vor Hollywood-Szenarien gewarnt, die darauf beruhen, dass sich ein bestimmter Aspekt – bspw. die Realisierung von humanoiden Robotern – plötzlich ändert, während die restlichen Lebensumstände weitgehend unverändert bleiben, weil die Phantasie nicht ausreicht sich sämtliche weiteren Änderungen auch noch vorzustellen. Tatsächlich dauern solche und vergleichbare Entwicklungen dem Autor zufolge so lange, dass sich auch die weiteren Lebensumstände allmählich ändern und auch über eine längere Zeit Erfahrung im Umgang mit der neuen Technologie gesammelt und Fehlentwicklungen begegnet wird. 7. Schließlich wird darauf hingewiesen, dass nur die Verbreitung neuer Software sehr schnell geschieht, während bei allen Formen neuer Hardware wesentlich längere Lebenszyklen zum Tragen kommen, die auch die Verbreitungsgeschwindigkeit begrenzen. Vgl. dazu *Technology*

Google – AI First

In einem Vortrag kündigte der Vorstandsvorsitzende von Google einen Wechsel der Strategie des Unternehmens an, wonach in Zukunft statt bisher mobiler Anwendungen („Mobile first“) nun KI-Anwendungen („AI first“) an erster Stelle stehen und sämtliche Produkte aus der Perspektive der Verwendung von maschinellem Lernen und KI neu gedacht werden sollen (vgl. Pichai, 2017). Als ein konkretes Beispiel wird angeführt, dass in dem Kartendienst des Unternehmens KI-basierte Vorhersagen zur Parkplatzverfügbarkeit integriert werden sollen. Mit dem Strategiewandel soll ein radikales Umdenken erfolgen, wie Computer in Zukunft genutzt werden. Computer sollen sich demnach dem Lebensstil der Nutzer anpassen und nicht mehr Nutzer ihr Verhalten an den Computer. Genannt werden vier Attribute für den zukünftigen, übergangslosen und natürlichen Umgang mit dem Computer (i) dialogisch und sensorisch mit Sprache, Gesten und Blicken, (ii) als Teil der Umgebung unter Verwendung mehrerer Endgeräte, (iii) kontextabhängig sowie (iv) lernend und anpassungsfähig. Zeithorizonte, Teilschritte sowie weitere konkrete Produkte werden nicht genannt.

Microsoft – Buchpublikation: Künstliche Intelligenz

Mit dem Buch „The Future Computed. Die gesellschaftliche Bedeutung von Künstlicher Intelligenz“ (2018), möchte Microsoft eine Anregung geben zum Austausch und zum Nachdenken über die gesellschaftliche Bedeutung der KI. Im Vorwort wird die Frage aufgeworfen: „*Wie wird unser (...) Alltag in zwanzig Jahren aussehen?*“ (Microsoft, 2018, S. 7) und nachfolgend beantwortet mit der Einleitung: „*Wir bei Microsoft stellen uns eine Welt vor, die (...)*“ (ebenda). In der folgenden Tabelle 3.7.1 werden diese Vorstellungen knapp zusammengefasst, alle Aussagen beziehen sich auf das Jahr 2038, wobei keine näheren Angaben zu Zwischenschritten oder Prioritäten gemacht werden.

Review, 06. April 2017, Essay: Die sieben Todsünden der KI-Vorhersagen, verfügbar unter: <https://www.heise.de/tr/artikel/Essay-Die-sieben-Todsunden-der-KI-Vorhersagen-4003150.html?seite=all>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

Tabelle 3.7.1 Anwendungsroadmap Künstliche Intelligenz, Microsoft

Künstliche Intelligenz	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Medien, DL																MS1
Telekomm.																MS2
DL																MS3
DL																MS4
Mobilität																MS5
DL																MS6
Gesundheit																MS7
DL																MS8
Gesundheit																MS9
Log., Ges.																MS10
Gesundheit																MS11
DL																MS12
Recht																MS13

Quelle: vgl. (Microsoft, 2018), eigene Darstellung

- MS1: Sprachassistent weckt zur richtigen Zeit, stellt interessante Nachrichten vor, weist auf Termine hin, berücksichtigt die Verkehrslage bei der Erinnerung an Termine, bestellt Geburtstagsgeschenke und verabredet ein Treffen zum Mittagessen und reserviert dazu einen Tisch (vgl. ebenda).
- MS2: Arbeitsbesprechung in „mixed reality“ von zuhause (vgl. ebenda, S. 8).
- MS3: Automatische Übersetzung von gesprochenem Wort und Text bei einer Besprechung mit Präsentationen in die jeweilige Muttersprache aller beteiligten Personen (vgl. ebenda).
- MS4: Digitaler Assistent fasst Arbeitsergebnisse zusammen und überträgt Aufgaben in die Kalender der zuständigen Personen (vgl. ebenda).
- MS5: Fahrt mit einem fahrerlosen Auto ins Büro (vgl. ebenda).
- MS6: Digitaler Assistent fasst Informationen zusammen und erstellt Infografiken, beantwortet routinemäßige E-Mails, plant auf der Basis eines Projektplanes weitere Termine (vgl. ebenda).

- MS7: Intelligente Geräte überwachen persönlichen Gesundheitszustand (vgl. ebenda).
- MS8: Digitaler Assistent vereinbart ggf. Arzttermine und arrangiert Routineuntersuchungen und Impfungen (vgl. ebenda, S. 9).
- MS9: Telemedizin und personalisierte Medizin: Treffen mit Ärztin zum virtueller Gesundheitscheck, Mobilgeräte erfassen Gesundheitsdaten und senden sie an die Ärztin, Diagnose erfolgte KI-unterstützt und unter Berücksichtigung der individuellen physiologischen Merkmale (vgl. ebenda).
- MS10: Drohne liefert Medikamente innerhalb weniger Stunden (vgl. ebenda).
- MS11: Digitaler Assistent überwacht Genesungsprozess und vereinbart weitere Arztkontakte soweit erforderlich (vgl. ebenda).
- MS12: Digitaler Assistent plant nach Vorgaben Urlaub und erstellt nach Verfügbarkeit und dem persönlichen Budget individuelle Reisepläne (vgl. ebenda, S. 10).
- MS13: Eigene KI-Anwälte befassen sich mit KI-Recht und nutzen KI in ihrer Arbeit (vgl. ebenda, S. 13).

Öffentliche US-Roadmap des „Computing Community Consortium“ und der „Association for the Advancement of Artificial Intelligence“

Basierend auf früheren Publikationen (vgl. Stone et al., 2016; Computing Community Consortium, 2016; NITRD, 2019) und im Einklang mit diesen arbeitet die hier ausgewertete Roadmap (vgl. Computing Community Consortium, 2019) mit kurzen Geschichten, die zukünftige Anwendungsmöglichkeiten der KI beschreiben. Eine Auswahl dieser – als Vignetten bezeichneten – Geschichten ist im Folgenden knapp zusammengefasst, siehe Tabelle 3.7.2. Es wird auch eine Forschungsroadmap abgeleitet mit je einem ambitionierten Forschungszielbild für 2040 („stretch goal“) je technologischem Teilgebiet sowie Zwischenschritten in 5, 10 und 15 Jahren (vgl. ebenda). Diese technologischen Meilensteine werden hier nicht wiedergegeben, da nicht im Einzelnen dargestellt wird, welche unterschiedlichen Anwendungen je nach erreichtem Meilenstein ermöglicht werden.

Table 3.7.2 Anwendungsroadmap Künstlichen Intelligenz, Computing Community Consortium.

Künstliche Intelligenz	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Gesundheit																CCC/ AAAI1
Gesundheit																CCC/ AAAI2
Bildung																CCC/ AAAI3
Unternehmensber.																CCC/ AAAI4
Bildung																CCC/ AAAI5
Pharma																CCC/ AAAI6
Sicherheit																CCC/ AAAI7

(Quelle: vgl. ebenda, eigene Darstellung)

CCC/ AAAI1: Eine Patientin mit mehreren chronischen Krankheiten verwendet ein KI-System als persönlichen Assistenten. Das System überwacht die persönlichen physiologischen Gesundheitsdaten der Patientin, wertet aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse im Hinblick auf ihren Nutzen für die Patientin aus, gibt Empfehlungen für den Alltag und nimmt in natürlicher Sprache Einschätzungen der Patientin zu ihrem Befinden entgegen. Bei Arztbesuchen übermittelt das System unter Zustimmung der Patientin eine Zusammenfassung der Symptome und den Verlauf der Krankheitsbilder (vgl. ebenda, S. 17).

CCC/ AAAI2: In einem Krankenhaus werden die physiologischen Parameter aller Patienten auf einer Station durch ein KI-System überwacht, das auch erkennt, wenn für Patienten neue Untersuchungen bzw. Laborwerte sinnvoll sind. Dadurch ist es möglich, dass eine Krankenschwester eine Station von 50 Patienten überwacht. Wenn es zu einer Situation kommt, die eine Person nicht mehr alleine bewältigen kann, wird automatisch weitere Unterstützung angefordert (vgl. ebenda, S. 18).

- CCC/
AAAI3: Im Jahr 2035 sind Fabriken weitgehend automatisiert. Durch technische Fortschritte wird nun die Automatisierung bislang verbliebener manueller Tätigkeiten möglich. Um ihre loyalen Mitarbeiter halten zu können, nutzt ein Unternehmen ein KI-basiertes Fortbildungssystem zur Vermittlung von Fähigkeiten für neue Aufgaben in der Qualitätssicherung und im Management. Das System ist für jeden Nutzer personalisiert. Die Arbeitskräfte, die andernfalls entlassen würden, können nun für neue Aufgaben innerhalb des Unternehmens qualifiziert werden. Dies bietet den Vorteil gegenüber Neueinstellungen, dass die vorhandenen Arbeitskräfte die Produkte und Dienstleistung des Unternehmens bereits gut kennen (vgl. ebenda, S. 21).
- CCC/
AAAI4: Ein Unternehmen, das von komplexen Lieferketten abhängig ist, nutzt ein KI-Beratungssystem, um internationale Nachrichten auf mögliche Implikationen für die Stabilität der Versorgung mit benötigten Teilen zu analysieren. Eine Nachricht über Unruhen in einem Land wäre unbeachtet geblieben, weil zu diesem Land keine direkten Beziehungen bestehen. Das Beratungssystem macht jedoch deutlich, dass die Möglichkeit der Zunahme von Piraterie in der Region eine wahrscheinliche Folge der Unruhen ist, auf die das Unternehmen umgehend mit Vorsichtsmaßnahmen reagiert (vgl. ebenda, S. 18).
- CCC/
AAAI5: Ein kostenlos verfügbares KI-System zeigt einer arbeitslosen Person individuell zugeschnitten neue Karrierechancen auf und benennt jeweils fehlende Qualifikationen. Diese können in Online-Kursen mit einem KI-Assistenten erworben werden. Inzwischen ist es üblich, dass in Präsenzklassen mit menschlichen Lehrern ein KI-System die Beteiligung und Lernfortschritte der Schüler nachverfolgt und spezifische Hinweise gibt, welcher Schüler welche Art von Unterstützung benötigt (vgl. ebenda, S. 39).

CCC/
AAAI6: Aufgrund kontinuierlicher Investitionen in KI in den Bereichen Medizin, Chemie und Biologie ist im Jahr 2040 die Medikamentenentwicklung revolutioniert. Durch umfangreiche Datensammlung gibt es umfassende Informationen zu Gesundheit und Lebensgewohnheiten. Außerdem gibt es zuverlässige Modelle für den normalen Stoffumsatz im Körper und viele andere biologische Prozesse, so dass KI-Algorithmen für viele Erkrankungen Hypothesen zu den Ursachen aufstellen können. Ein Großteil der Medikamentenentwicklung lässt sich auf dieser Basis KI-gestützt im Rechner durchführen. Auch die klinische Erprobung der besten Kandidatenmoleküle erfolgt sehr schnell, weil es mit den umfangreichen Daten zu Patienten – bei vollständiger Wahrung der Privatsphäre und Anonymität – leichter ist, Personen für die Erprobung der Medikamente zu rekrutieren und die Erfolgsaussichten gegenüber heute drastisch erhöht wurden (vgl. ebenda, S. 61).

CCC/
AAAI7: Ein Wirbelsturm bedroht eine Großstadt. Ein KI-System, das die Daten von hunderttausenden von Kameras und Sensoren auswertet, hilft dabei die Evakuierung von 10 Millionen Menschen zu planen und durchzuführen. Das System ist darauf trainiert die Straßenkapazitäten bei normalem Verkehr abzuschätzen je nach Tageszeit und der prognostizierten Verteilung der Bevölkerung basierend auf vorliegenden Verhaltensdaten. Davon ausgehend wird die Verkehrssteuerung geplant unter Einbeziehung von Echtzeitdaten zur Wetterlage, dem Ausmaß an Überflutung, aktueller Baustellen und Verkehrsunfällen. Dabei können ebenfalls in Echtzeit Äußerungen der Bewohner in den sozialen Medien zu ihrer Lage mit einbezogen werden. Ein feindlicher Widersacher nutzt die Notsituation zu einem Cyberangriff, wobei automatisierte Fahrzeuge mit Malware angegriffen werden und in den sozialen Medien Bots Falschinformationen verbreiten. Jedoch erkennen die Sicherheitssysteme der Fahrzeuge die Inkonsistenzen zwischen den Nutzerbefehlen und den physischen Reaktionen der Fahrzeuge und die laufende Analyse der Stadt zu den sozialen Medien und löst kommunikative Gegenmaßnahmen aus, die bereits bei breiten Bevölkerungsschichten ihre Wirksamkeit gezeigt haben (vgl. ebenda, S. 65).

Plattform Lernende Systeme

Tabelle 3.7.3 Anwendungsroadmap Künstliche Intelligenz, Plattform Lernende Systeme

Künstliche Intelligenz	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
U-Beratung				PLS1												
Mobilität				PLS2												
Gesundheit				PLS3												

Quelle: vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019a; 2019b; 2019c, eigene Darstellung

Erläuterung: Die angegebenen Zeitfenster stellen dar, wann die betreffende Anwendung realisiert sein könnte.

- PLS1: Eine Unternehmensberaterin arbeitet im Zug auf dem Weg zu einem Kundentermin. Sie nutzt einen Information-Butler, den sie angewiesen hat, nur dringende Nachrichten weiterzuleiten, um ungestört arbeiten zu können. Eine neue Kostenschätzung für den anstehenden Termin leitet der Butler weiter und hat diese bereits so aufbereitet, dass sie sich schnell einen Überblick verschaffen kann. Mit Blick auf zwei neue Teilnehmenden befragt sie ihren Information-Butler zu näheren Informationen über deren Vorwissen. Daraufhin ergänzt sie ihre Präsentation noch um zwei Beispiele, die sie mit Unterstützung des Butlers zugeschnitten auf den beiden Teilnehmenden aussucht (vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019a).
- PLS2: Eine Frau lebt in einem Dorf in Brandenburg und hat am Nachmittag einen Termin im Zentrum von Berlin. Sie möchte dorthin mit ihrem Auto fahren und nutzt einen KI-basierten virtuellen Reiseassistenten. Aufgrund einer neu eingerichteten Baustelle auf der Autobahn prognostiziert das intelligente System eine verlängerte Fahrzeit, obwohl momentan noch kein Stau entstanden. Das System empfiehlt, mit dem zum nächsten Bahnhof zu fahren und dort den Zug nach Berlin zu nehmen.

Weiter empfiehlt das System für diese Fahrt eine kostenpflichtige Mitfahrgelegenheit anzubieten. Sie ist einverstanden. Die Abwicklung per Smartphone ist aufgrund der Personalisierung schnell, einfach und sicher. Der Zug nach Berlin ist an diesem Tag deutlich länger als sonst, weil auch die Deutsche Bahn auf die neue Autobahnbaustelle reagiert hat und für die zusätzlichen Fahrgäste weitere Wagen bereitstellt. So erreicht die Frau ihren Termin pünktlich, sicher und bequem (vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019b).

- PLS3: Ein Mann erkrankt im Jahr 2024 an Lungenkrebs. Der 65-jährige gehört zu den ersten Patienten, die mit der Unterstützung eines medizinischen KI-Assistenzsystems behandelt werden. Auf das System können alle behandelnden Ärztinnen und Ärzte zugreifen in allen Phasen der Behandlung – von der Vorsorge über die Diagnose und Therapie bis hin zur Nachsorge. Dadurch erhöhen sich die Überlebens- bzw. Heilungschancen deutlich (vgl. Plattform Lernende Systeme, 2019c).

Quellen und weiterführende Informationen

- Bitkom (2018), Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz – Ein Navigationssystem für Entscheider, verfügbar unter: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2018-12/181204_LF_Periodensystem_online_0.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Bundesregierung (2018), Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung, verfügbar runter: https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html?file=files/downloads/Nationale_KI-Strategie.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Computing Community Consortium (2016), A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics, verfügbar unter: <https://www.cccb.org/2017/01/03/2016-robotics-roadmap-and-the-national-robotics-initiative-2-0/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Computing Community Consortium (2019), A 20-Year Community Roadmap for Artificial Intelligence Research in the US, verfügbar unter: <https://www.cccb.org/2019/08/07/a-20-year-community-roadmap-for-ai-research-in-the-us-is-released/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Europäische Kommission (2019), High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. A definition of AI: Main capabilities and scientific disciplines, verfügbar unter: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=56341; abgerufen am: 22. Juni 2022.

- Microsoft (2018), The Future Computed. Die gesellschaftliche Bedeutung von Künstlicher Intelligenz, verfügbar unter: https://news.microsoft.com/cloudforgood/_media/downloads/the-future-computed-german.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- NITRD – Networking and Information Technology Research and Development (2019), The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan sowie Update (2019), verfügbar unter: <https://www.nitrd.gov/pubs/National-AI-RD-Strategy-2019.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- OECD (2018), Private Equity Investment in Artificial Intelligence. OECD Going Digital Policy Note, verfügbar unter: <https://www.oecd.org/sti/ieconomy/private-equity-investment-in-artificial-intelligence.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022
- Pichai, S. (2017), Ausschnitte aus einem Vortrag aus Anlass der Produktpräsentation von „Google Pixel 2“, verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=5WRJYEA-mwY>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Plattform Lernende Systeme (2019a), Information-Butler fürs Büro, verfügbar unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Anwendungsszenarien/TwoPager_Information-Butler.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Plattform Lernende Systeme (2019b), Intelligent vernetzt unterwegs, verfügbar unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Anwendungsszenarien/Factsheets_Carlas-Reise_1-5.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Plattform Lernende Systeme (2019c), Mit KI gegen Lungenkrebs, verfügbar unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Anwendungsszenarien/TwoPager_Onkologie.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Stone, P., R. Brooks, E. Brynjolfsson, R. Calo, O. Etzioni, G. Hager, J. Hirschberg, S. Kalyan Krishnan, E. Kamar, S. Kraus, K. Leyton-Brown, D. Parkes, W. Press, A. Saxenian, J. Shah, M. Tambe und A. Teller (2016), Artificial Intelligence and Life in 2030. One Hundred Year Study on Artificial Intelligence: Report of the 2015-2016 Study Panel, Stanford University: Stanford, CA, verfügbar unter: <https://ai100.stanford.edu>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

3.8 Quantencomputer

3.8.1 Technologiesteckbrief

Kurzbeschreibung

In heutigen Computern werden Informationen als eine Abfolge von Bits gespeichert und verarbeitet, die entweder den Wert Null oder Eins darstellen. In einem Quantencomputer dagegen werden Information zur Speicherung und Verarbeitung in miteinander verschränkte Quantenbits (Qubits) übersetzt, die mehrere Werte gleichzeitig in einer Überlagerung enthalten. Diese Quantenbits unterliegen den Gesetzen der Quantenme-

chanik, wonach Rechenoperationen sich auf alle enthaltenen Wertekombinationen zugleich auswirken. Damit ist schon ein einzelner Quantenprozessor von sich aus massiv parallel. Hierauf beruhen letztlich die Erwartungen einer deutlich gesteigerten Rechenleistung von Quantencomputern im Vergleich zu klassischen Computern.

Die Technologie des Quantenrechners ist Teil des größeren aber eng verwandten Feld der Quantentechnologien, zu dem auch die Quantenkommunikation und die Quantensensorik gehören.

Quantenkommunikation beschäftigt sich generell mit der Informationsübertragung in Quantensystemen. Quantenkommunikation mit kurzer Reichweite ist erforderlich im Zusammenhang mit Quantencomputern etwa, um Informationen innerhalb der Quantencomputerhardware zu transportieren oder um eine Kommunikation zwischen verschiedenen Quantencomputern zu ermöglichen. Quantenkommunikation befasst sich auch mit langen Übertragungstrecken von Hunderten von Kilometern. Dabei wird zusätzlich die Quantenkryptographie eingesetzt, die abhörsichere Kommunikationssysteme möglich macht. Dazu wird die Quanteneigenschaft ausgenutzt, dass sich unbekannte Quantenzustände nicht kopieren oder störungsfrei auslesen lassen. Etwaige Abhörversuche treten unweigerlich als Fehler in der Übertragung in Erscheinung und werden so entdeckt. Im bekanntesten Beispiel wird die Quantenkommunikation zur Verteilung eines kryptographischen Schlüssels verwendet, mit dem die Daten verschlüsselt und über klassische Kommunikationskanäle gesendet werden.

Quantensensorik bezeichnet die Erforschung und Entwicklung von Quantensystemen zur Messung physikalischer Eigenschaften wie bspw. Magnetische und elektrische Felder, Druck, Position, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Schwerkraft und Temperatur. Dabei wird ausgenutzt, dass Quantenzustände eine extreme Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen, wodurch Messungen wesentlich genauer möglich sind als mit klassischen Technologien.

Lösungsversprechen / Erwartungen

- Exponentielle Beschleunigung bestimmter Berechnungen
- Abhörsichere Kommunikation
- Ultrapräzise und ultraempfindliche Messungen

Anwendungsbranchen

- Handel
- Finanzen
- Versicherungen
- Logistik
- Telekommunikation
- Informationstechnologie
- Verteidigung
- Medizin
- Pharmazie
- Chemische Industrie
- Energie
- Bergbau
- Wissenschaft
- Luft- und Raumfahrt

Akteure, Konsortien bzw. Aktivitäten

- Google, Intel, Rigetti, D-Wave, IBM, Microsoft
- EU Quantum Technologies Flagship
- Quantentechnologien – Rahmenprogramm der Bundesregierung
- US National Quantum Initiative
- MEXT – Quantum Leap Flagship Program, Japan
- National Laboratory for Quantum Information Sciences, Hefei, China (geplant)
- Quantum Canada
- UK National Quantum Technologies Programme
- IEEE Rebooting Computing Initiative

Verwandte Technologien

- Neuromorphe Elektronik
- Spintronik
- Supraleitende Elektronik
- Mikroelektronik mit 2D-Materialien wie Graphen

Einschätzung

Quantencomputer versprechen eine exponentielle Beschleunigung bei der Ausführung bestimmter Berechnungen gegenüber dem Stand der Technik. Zudem sind Quantencomputer der einzige bekannte Ansatz, der eine solche Beschleunigung in Aussicht stellt. Aufgrund technischer und wissenschaftlicher Fortschritte in den vergangenen Jahren ist derzeit zu beobachten, dass weltweit große Forschungsprogramme aufgelegt werden und das Feld eine hohe Aufmerksamkeit und Dynamik erlebt. Dabei spielt es auch eine Rolle, dass weltweit mit einer permanenten Zunahme an Bedarf nach Datenverarbeitung gerechnet wird, während zugleich die Entwicklungsdynamik der konventionellen Elektronik nachlässt, so dass eine Offenheit für neue Architekturen und Systeme wie Quantencomputer und darüber hinaus zu erkennen ist.

Die abhörsichere Übertragung von Daten durch Quantenkommunikation, das langfristige Potential mit Quantencomputern heutige Verschlüsselungsstandards zu brechen sowie Anwendungen in der Erdbeobachtung, der Satellitenkommunikation und -navigation geben dem Feld sicherheitspolitische Relevanz und eine geopolitische Dimension.

Stärken und Schwächen in sowie Chancen und Risiken für Deutschland

Stärken

- wissenschaftliche Ausgangsposition
- Forschungs- und Technologieinfrastruktur
- Fachkräftebasis
- Ausdifferenzierte und vernetzte Forschungslandschaft
- Enge Vernetzung mit Unternehmen
- Existenz eines nationalen Programms zur Forschungsförderung

Chancen

- Technologietransfer von quantentechnologie-basierten Anwendungen in den Markt
- Schaffung neuer Märkte
- Entwicklung neuer Technologien für Regierungsaufgaben

Schwächen

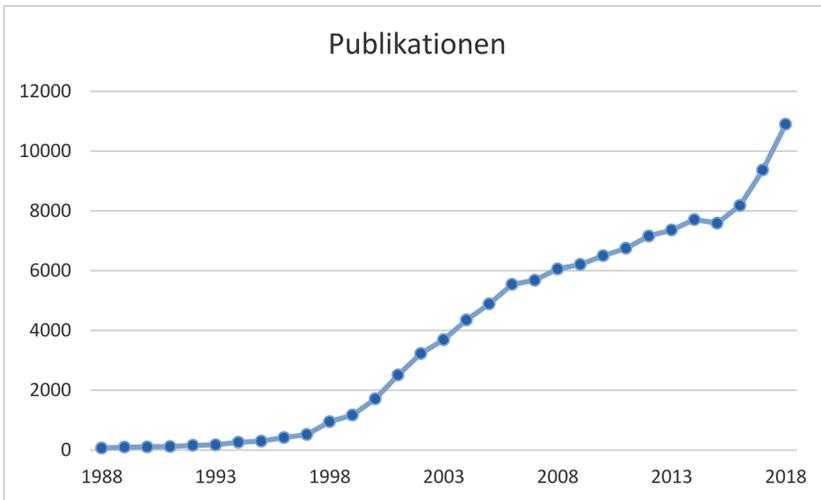
- Industrielles Engagement
- Zugang zu Wagniskapital
- Marktorientierung

Risiken

- Abwanderung von Fachkräften

Indikator für Dynamik

Abbildung 3.8.1 Anzahl von Publikationen zu *Quantencomputern* über die Zeit



Datenquelle: Google Scholar – Trefferzahl zu „quantum computing“, eigene Darstellung.

3.8.2 Anwendungsroadmap

Aufgrund der einzigartigen technischen Möglichkeiten von Quantentechnologien wird die Erwartung geäußert, dass Durchbrüche in diesem Feld eine ähnlich große Bedeutung für viele Bereiche des Lebens haben könnten, wie dies mit dem Aufkommen der Satellitentechnik oder später mit dem Beginn der Digitalisierung in den 1990er-Jahren gegeben war (vgl. BMBF, 2018).

Allerdings werden kurzfristig keine großen wirtschaftlichen Erfolge erwartet (vgl. Crane et al., 2017). Einige Stimmen halten das Feld noch für so jung und die genauen Anwendungsperspektiven für so offen, dass Aus-

sagen zu Zeithorizonten vermieden werden sollten (vgl. in diesem Sinne NASEM, 2019, S. 86; IEEE, 2018).¹²⁷

Quantencomputer Anwendungen

Forschung und Entwicklung zu Quantencomputer kann in weiten Teilen als noch recht grundlagennah betrachtet werden. Für mittelfristig erreichbar erscheinende Quantencomputer sind derzeit noch keine kommerziell relevanten Anwendungen bekannt (NASEM, 2019, S. 83).

Es wird daher als wichtiger Meilenstein angesehen, dass entweder solche Anwendungen identifiziert werden oder dass wissenschaftlich der praktische Nachweis gelingt, dass Quantencomputer bei wenigstens einem Beispiel tatsächlich heutigen Berechnungsverfahren substanziell überlegen sind. Im günstigsten Fall werden in einigen Jahren erste kommerziell interessante Anwendungen für dann verfügbare Quantenrechner identifiziert. Mit den dann erzielten Überschüssen ließen sich weitere Investitionen in die Forschung finanzieren, so dass die Hoffnung geäußert wird, dass es so zu einer positiven Verstärkung käme, wie sie auch bei der konventionellen Elektronik und Moores Gesetz in Gang gekommen ist (vgl. ebenda, S. 19). Im schlechtesten Fall gelingt dies nicht und ein Quantenvorteil kann nicht sicher nachgewiesen werden. Dann wäre mit Auslaufen der jetzt beginnenden öffentlichen Förderprogramme auch vorläufig mit einem Ende der Forschungsdynamik zu rechnen und damit auch mit einer entsprechenden Verzögerung der technischen Fortschritte sowie der Realisierung etwaiger Anwendungen (vgl. ebenda, S. 178).

Ein Quantencomputer, der in der Lage wäre, die heute üblichen Verschlüsselungen zu brechen, wird heute als ein erst langfristig (frühestens in mehr als zehn Jahren) zu erreichendes Ziel betrachtet und bildet nicht mehr die primäre Motivation, zumal es erfolgversprechende Ansätze für neue Verschlüsselungsansätze gibt, die auch dem Angriff eines Quantencomputers standhalten sollen. Es wird aber auf eine auch in wirtschaftlicher Hinsicht hohe Dringlichkeit verwiesen, bereits jetzt mit der Aufstellung neuer Internetstandards zu beginnen, weil von einem Zeithorizont

127 *“In fact, QC has been on Gartner’s list of emerging technologies 11 times between 2000 and 2017, each time listed in the earliest stage in the hype cycle, and each time with the categorization that commercialization is more than 10 years away (...)”* (NASEM, 2019, S. 158).

von mehr als zehn Jahren ausgegangen wird, bis diese neuen Standards in der Praxis umgesetzt werden (vgl. ebenda, S. 108).

Für staatliche Stellen, Geheimdienste und das Militär spielt die Fähigkeit zur Entschlüsselung von Nachrichten – auch nachträglich – sowie die abhörsichere Datenübertragung eine besonders große Bedeutung. Vor diesem Hintergrund ist es prinzipiell möglich, dass es Entwicklungen in diesem Feld gibt, die der Öffentlichkeit gar nicht oder zunächst nicht bekannt werden (vgl. ebenda, S. 157).

Als Beispiele für mögliche Anwendungen von Quantencomputern werden genannt die schnelle Suche in großen Datenbanken, die Routenplanung und Optimierung großer logistischer Systeme (vgl. BMBF, 2018). Daneben werden weitere mögliche Anwendungen auch in der Künstlichen Intelligenz, dem maschinellen Lernen und der Mustererkennung gesehen (vgl. ebenda).

Quantencomputer wird die Möglichkeit zugeschrieben, bedeutende Erkenntnisse über chemische Reaktionen und Phasenübergänge zu eröffnen, die einer systematischen und prädiktiven Berechnung mit konventionellen Rechnern nicht zugänglich sind. Solche Ergebnisse könnten auch kommerzielle Anwendungen finden in Bereichen wie Energiespeicherung, Gerätedisplays, Pharmazeutika, und Industriekatalysatoren – bspw. Für die Stickstofffixierung zur Produktion von Kunstdünger oder die Bindung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre und damit gerade auch Themen sehr hoher gesellschaftlicher Relevanz adressieren (vgl. NASEM, 2019, S. 86). Weitere Anwendungen enthält Tabelle 3.8.1.

Table 3.8.1 Anwendungsroadmap Quantencomputer

Quantencomputer	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+	
Techn. Meilenstein	TM1: Demo. Quantenvorteil																
Techn. Meilenstein						TM2: Prototyp Quantensimulator											
Werkstoffe						WS1: neue komplexe Materialien											
Werkstoffe											WS2: variabler Quantensim.						
Pharmazie																	Ph1: Q-Sim.
Div. Branchen																	Div: Univ. QR

Quelle: vgl. Europäische Kommission, 2017; de Touzalin et al., 2016, eigene Darstellung

Erläuterung: Die angegebenen Zeitfenster stellen dar, wann die betreffende Anwendung auf den Markt kommen könnte.

- TM1: Demonstration eines Quantenvorteils: Bei der Lösung wichtiger wissenschaftlicher Probleme – etwa aus dem Feld des Quantenmagnetismus – gelingt es, einen prinzipiellen Vorteil eines Quantencomputers zu demonstrieren (vgl. Europäische Kommission, 2017).¹²⁸
- TM2: Prototyp eines Quantensimulators: mit der Fähigkeit Probleme zu lösen, die sich von konventionellen Supercomputern nicht lösen lassen, einschließlich von Problemen der Quantenchemie, beim Design neuer Materialien und bei Optimierungsproblemen wie sie auch im Kontext der Künstlichen Intelligenz auftreten (vgl. ebenda).
- WS1: Entwicklung und Design neuer komplexer Materialien (vgl. de Touzalin et al., 2016).

128 Ein indirekter Nachweis eines Quantenvorteils wurde im September 2019 behauptet vgl. Science, 27. September 2019, Top stories – siehe Absatz: Quantum computer bests all conventional computers in first claim of ‘supremacy’, verfügbar unter: <https://doi.org/10.1126/science.aaz6611>; abgerufen am: 18. November 2022, nachfolgend allerdings in Zweifel gezogen, vgl. Science, Breakthrough of the year – siehe Absatz: Quantum supremacy attained, verfügbar unter: <https://vis.sciencemag.org/breakthrough2019/finalists/>; abgerufen: am 18. November 2022.

- WS2: Variabler Quantensimulator für eine Vielfalt von Phänomenen des Quantenmagnetismus und der Quantenelektrizität (vgl. ebenda).
- Ph1: Quantensimulator für die Dynamik chemischer Reaktionen zur Unterstützung der Medikamentenentwicklung (vgl. ebenda).
- Div: Universeller Quantencomputer, der die Rechenleistung klassischer Rechner übertrifft (vgl. ebenda).

Quantenkommunikation Anwendungen

Sichere Kommunikationswege sind eine wichtige Basis des heutigen Wirtschaftens. Quantenkommunikation bzw. die Quantenschlüsselübertragung werden als sicher angesehen, weil Abhörversuche aufgrund von Datenverlusten auffallen würden (vgl. BMBF, 2018). Technische Lösungen für die Quantenschlüsselübertragung sind seit einiger Zeit für bestimmte Nischenmärkte wie im Banksektor kommerziell verfügbar (vgl. ebenda). Für die Erschließung eines breiteren Marktes stellt die Einschränkung auf ca. 100 km Reichweite in Glasfasern ein starkes Hemmnis dar. Freiluft- oder Satellitenübertragung können helfen, um größere Distanzen zu erreichen (vgl. ebenda). Als entscheidender Meilenstein wird aber die Entwicklung eines Quantenrepeaters angesehen, der die Aufgabe hat, die zu übertragenden Quantenzuständen aufzufrischen, ohne sie dabei auszulesen, weil sie den quantenmechanischen Gesetzen zufolge dadurch zerstört würden. Zu Anwendungen vgl. Tabelle 3.8.2.

Table 3.8.2 Anwendungsroadmap Quantenkommunikation

Quantenkomm.	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+
Telekomm.	TK1: Pkt-V															
Telekomm.	TK2: Q-Sat-Verb.															
Telekomm.				TK 3												
Telekomm.					TK4: Quantennetze > 1000 km											
Telekomm.													TK5: Q-Repeater			
Telekomm.															TK6: Q-Internet	

Quelle: vgl. de Touzalin et al., 2016; Crane et al., 2017; Europäische Kommission, 2017, eigene Darstellung

Erläuterung: Die angegebenen Zeitfenster stellen dar, wann die betreffende Anwendung auf den Markt kommen könnte.

- TK1: Sichere Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (vgl. de Touzalin et al., 2016).
- TK2: Satellitengestützte Quantenübertragung (vgl. Crane et al., 2017).
- TK3: Kosteneffektive und skalierbare Geräte und Systeme für Verbindungen zwischen und innerhalb von Städten, die von Endnutzern inspirierte Anwendungen demonstrieren sowie skalierbare Lösungen für Quantennetzwerke von Geräten und Systemen, z. B. von Quantensensoren und –prozessoren (vgl. Europäische Kommission, 2017).
- TK4: Entwicklung von Netzwerken auf Basis von verschränkten Quantenzuständen großer Reichweite (> 1000km) mit einem Protokoll, das die neuartigen Möglichkeiten ausnutzt, die die Quantenkommunikation eröffnet (vgl. Europäische Kommission, 2017; de Touzalin et al., 2016; Crane et al., 2017).
- TK5: Quantenrepeater mit Verschlüsselung und Abhördetektion (vgl. de Touzalin et al., 2016).
- TK6: Sicheres Europaweites Internet, bei dem Quantenkommunikation mit klassischer Kommunikation verschmilzt (vgl. ebenda).

Quantensensorik

Anwendungen im Bereich der Quantensensorik wird am ehesten das Potenzial zugeschrieben auf lange Sicht auch neue Massenmärkte eröffnen zu können, vgl. Tabelle 3.8.3, insbesondere weil es in diesem Bereich zumindest einen Ansatz gibt, der auch bei Raumtemperatur funktionieren kann.

Diskutiert werden u. a. ultrapräzise Gravimeter, die sich im Bergbau zum Auffinden von Bodenschätzen einsetzen lassen würden, verbesserte optische Abbildungen („quantum enhanced imaging“) mit erhöhter Auflösung, Quantenlithografie zur Erzeugung sehr kleiner Strukturen sowie Anwendungen in der Verteidigungstechnik, der industriellen Messtechnik mit hoher Präzision, der Medizin, der Erdbeobachtung und der Navigation (vgl. BMBF, 2018).

Tabelle 3.8.3 Anwendungsroadmap Quantensensorik

Quantensensorik	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035+	
Energie	EN: Atomuhren-Netz-Synch																
Div. Branchen				Div1													
Mobilität/Bau					Mo/Bau: Masse												
Div. Branchen								Div2									
Mobilität										Mob: Navi							
Konsumenten																	Kons: Mobil.

Quelle: vgl. de Touzalin et al., 2016; Europäische Kommission, 2017, eigene Darstellung

Erläuterung: Die angegebenen Zeitfenster stellen dar, wann die betreffende Anwendung auf den Markt kommen könnte.

- EN: Präzisere Atomuhren zur Synchronisation zukünftiger intelligenter Netze einschließlich von Energienetzen (vgl. de Touzalin et al., 2016).
- Div1: Integrierte Quantensensoren und bildgebende Systeme auf Prototypenniveau mit ersten kommerziellen Produkten (vgl. Europäische Kommission, 2017).

- Mo/Bau: Quantensensoren für Massenanwendungen einschließlich des Automobilbaus und des Bausektors (vgl. de Touzalin et al., 2016).
- Mob: Tragbare, quantenbasierte Geräte zur Navigation (vgl. de Touzalin et al., 2016).
- Div2: Kommerzielle Quantensensoren und große Quantensensornetze einschließlich der erforderlichen Infrastruktur wie dem Europäischen Frequenztransfernetzwerk zur Erdbeobachtung mit Fähigkeiten jenseits klassischer Systeme sowie kommerzielle Biosensoren (vgl. Europäische Kommission, 2017).
- Kons: Integration von Quantensensoren mit Konsumentenanzwendung inkl. Mobilgeräten (vgl. de Touzalin et al., 2016).

Quellen und weiterführende Informationen

- Acin, A. (2015), Quantum Technologies Roadmap, verfügbar unter: <https://qt.eu//pp/uploads/2018/04/QT-Roadmap-2016.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Acín, A., I. Bloch, H. Buhrman, T. Calarco, C. Eichler, Jens Eisert, D. Esteve, N. Gisin, S. J. Glaser, F. Jelezko, S. Kuhr, M. Lewenstein, M. F. Riede, P. O. Schmidt, R. Thew, A. Wallraff, I. Walmsley und F. K. Wilhelm (2018), The quantum technologies roadmap: A European community view; *New Journal of Physics*, 20, verfügbar unter: <https://doi.org/10.1088/1367-2630/aad1ea>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Bassi, A. und M. Paternostro (2019), Quantum Technologies in Space, Policy White Paper, verfügbar unter: http://www.qtspace.eu/sites/testqtspace.eu/files/other_files/QT%20In%20Space%20-%20White%20Paper%20Final_0.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BCG (2018), The Next Decade in Quantum Computing – and How to Play, verfügbar unter: <https://www.bcg.com/de-de/publications/2018/next-decade-quantum-computing-how-play>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- BMBF (2018), Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt, Rahmenprogramm der Bundesregierung, verfügbar unter: <https://www.quantentechnologien.de/fileadmin/public/Redaktion/Dokumente/PDF/Publikationen/Rahmenprogramm-Bundesregierung-Quantentechnologie-2018-bf-C1.pdf>; abgerufen am: 16. November 2022.
- Crane, K. W., L. G. Joneckis, H. Acheson-Field, I. D. Boyd, B. A. Corbin, X. Han und R. N. Rozansky (2017), Assessment of the Future Economic Impact of Quantum Information Science, IDA Science & Technology Policy Institute, verfügbar unter: <https://www.jstor.org/stable/resrep22837>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

- Deutsche Industrie (2017), Förderung von Quantentechnologien, Positionspapier der Deutschen Industrie, verfügbar unter: http://www.photonikforschung.de/media/quantentechnologien/pdf/Quantentechnologie_bf.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- de Touzalin, A., C. Marcus, F. Heijman, I. Cirac, R. Murray und T. Calarco (2016), Quantum Manifesto for Quantum Technologies, verfügbar unter: https://qt.eu/app/uploads/2018/04/93056_Quantum-Manifesto_WEB.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Europäische Kommission (2017), High-Level Steering Committee: Quantum Technologies Flagship Final Report, verfügbar unter: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=46979; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- IEEE (2018), International Roadmap for Devices and Systems 2018 Edition - Cryogenic Electronics and Quantum Information Processing, verfügbar unter: <https://irds.ieee.org/editions/2018>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Kania, E. B. und J. K. Costello (2018), Quantum Hegemony? China's Ambitions and the Challenge to U.S. Innovation Leadership, Center for a New American Security, verfügbar unter: https://s3.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNASReport-Quantum-Tech_FINAL.pdf?mtime=20180912133406; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Lewis A. M., M. Krämer und M. Travagnin (2016), Quantum Technologies: Implications for European Policy, Issues for debate, verfügbar unter: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC101632>; abgerufen am: 22. Juni 2022
- Lewis, A. M. (2017), The Impact of Quantum Technologies on the EU's Future Policies, Part 1 Quantum Time, Science for Policy Report, verfügbar unter: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC105213/jrc105213.pdf>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Lewis, A. M., C. Ferigato, M. Travagnin und E. Florescu (2018), The Impact of Quantum Technologies on the EU's Future Policies, Part 3 Perspectives for Quantum Computing, Science for Policy Report, verfügbar unter: publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110412/quantum_computing_report_v5.4.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Lewis, A. M. und M. Travagnin (2018), The Impact of Quantum Technologies on the EU's Future Policies, Part 2 Quantum communications: from science to policies, Science for Policy Report, verfügbar unter: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC107386/jrc_report_quantumcommunications.pdf; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- NASEM – National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019), *Quantum Computing: Progress and Prospects*, The National Academies Press: Washington, DC, verfügbar unter: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/25196/quantum-computing-progress-and-prospects>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- UKRI, UK Research and Innovation (2015), Quantum Technologies Strategic Advisory Board: National strategy for quantum technologies, verfügbar unter: <https://www.epsrc.ac.uk/newsevents/pubs/quantumtechstrategy/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.

3 Schlüsseltechnologien – Roadmaps

- UKRI, UK Research and Innovation (2015), Quantum Technologies Strategic Advisory Board: A roadmap for quantum technologies in the UK, verfügbar unter: <https://www.epsrc.ac.uk/newsevents/pubs/quantumtechroadmap/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- UKRI, UK Research and Innovation (2016), A perspective of UK Quantum Technology prepared by and for the UK Quantum Technology Community: UK Quantum Technology Landscape 2016, verfügbar unter: <http://uknqt.epsrc.ac.uk/files/ukquantumtechnologylandscape2016/>; abgerufen am: 22. Juni 2022.
- Wehner, S., D. Elkouss und R. Hanson (2018), Quantum internet: A vision for the road ahead, *Science*, 362(6412), verfügbar unter: <http://science.sciencemag.org/content/362/6412/eaam9288>; abgerufen am: 22. Juni 2022.