Cognitive Finance Institute FERI®

Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze

Die Treiber der Disruption in künstlicher Intelligenz und Digitalisierung

Cognitive Comment

„ [...] Technologie ist keine von außen wirkende Kraft, über die wir keine Gewalt hätten. (...) wir sollten den tiefgreifenden technologischen Wandel als eine Einladung betrachten, darüber nachzudenken, wer wir sind und wie wir die Welt sehen.“

Die Vierte Industrielle Revolution (Klaus Schwab), Seite 13.

Bad Homburg, November 2019

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

Zukunftsforscher, Vordenker und Wissenschaftler sind sich einig: die kommenden 15 Jahre werden durch enorme Fortschritte und revolutionäre Entwicklungen im Bereich neuer Technologien geprägt sein. Dies gilt speziell auf dem Gebiet der Computer- und Kommunikations-Technik. Dort entwickeln sich äußerst innovative und zugleich disruptive Technologien, die in wenigen Jahren exponentielle „Megatrends" von großer Tragweite auslösen werden.

Die Summe dieser Entwicklungen wird das bisherige Bild von „Digitalisierung" massiv verändern und beschleunigen. Der „Megatrend Digitalisierung" steht damit selbst vor einer einschneidenden Disruption mit völlig neuen Spielregeln.

Im Fokus der neuen Trends steht das Phänomen der „Künstlichen Intelligenz" (KI), das sich aktuell stark beschleunigt und rasant wachsen wird. Speziell in China durchdringt KI bereits weite Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft. Daraus erwachsen klare strategische Vorteile, die das Land schnell zum Weltmarktführer bei KI machen werden.

Neben dem „Megatrend KI" treten weitere innovative Themen hervor, die mit den Stichworten „5G" und „Internet of Things" umschrieben werden können. Hier geht es um eine breite Vernetzung verschiedenartigster Bereiche in Wirtschaft und Gesellschaft auf der Grundlage extrem schneller Mobilfunknetze und (teil)autonomer Geräte und Roboter. Diese Technologie ermöglicht ein breites Spektrum völlig neuer Anwendungen und Geschäftsmodelle, wie Telemedizin, Virtual Reality und autonomes Fahren.

Auch das Stichwort „Quantum Computing" steht für massive Disruption heutiger Digitaltechnologie: Ein „Quantencomputer" basiert auf Prinzipien der subatomaren Quantenmechanik und ermöglicht Anwendungen, die in Punkto Rechenleistung und –geschwindigkeit selbst heutige Supercomputer um ein Vieltausendfaches übertreffen werden.

Die Summe dieser neuen Trends wird erhebliche Disruptionen auslösen und weitreichende Veränderungen in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik nach sich ziehen.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen als „Cognitive Comment" dazu beitragen, diese Entwicklungen besser zu verstehen, deren wichtigste Treiber frühzeitig zu erkennen und daraus erwachsende Chancen und Risiken klarer wahrzunehmen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Analyse in zwei Teilen vorgelegt:

Während Teil I primär den Bereich „KI" erforscht, behandelt Teil II die Themen „Quantum Computing", „superschnelle Datennetze" und „Internet of Things".

Wir wünschen disruptive Lektüre!

Dr. Heinz-Werner Rapp

Gründer & Leiter Steering Board
FERI Cognitive Finance Institute

Dr. Torsten von Bartenwerffer

Member of the Steering Board
FERI Cognitive Finance Institute

INHALT

Teil I (bereits in separater Publikation erschienen):

Teil II:

1. EXECUTIVE SUMMARY 1
2. EINFÜHRUNG 2
3. QUANTEN-COMPUTER ALS „GAME CHANGER“ 3
   - 3.1 EINE (ZU) KURZE GESCHICHTE DES COMPUTING 3
   - 3.2 QUANTENMECHANIK ALS RADIKALER „QUANTENSPRUNG“ 7
   - 3.3 „SCHRÖDINGERS KATZE“ STATT „MOORE´S LAW“ 13
   - 3.4 „THE NEW GAME“: REVOLUTION STATT EVOLUTION 18
4. INTERNET OF THINGS ALS „INTERFACE“ 20
   - 4.1 SMARTE DINGE UMGEBEN UNS 20
   - 4.2 NICHT AUF SAND GEBAUT – DER IOT STACK 24
     - 4.2.1 PHYSISCHE EBENE – DIE REALE WELT 24
     - 4.2.2 GATEWAYS 26
     - 4.2.3 VIRTUELLE EBENE – DIE DIGITALE WELT 27
   - 4.3 ZUKÜNFTIGE HERAUSFORDERUNGEN DES IOT 28
   - 4.4 DIE SCHLEICHENDE DISRUPTION? 30
5. SUPERSCHNELLE KOMMUNIKATIONSNETZE ALS „BESCHLEUNIGER“ 34
   - 5.1 KLEBSTOFF UND KATALYSATOR 35
   - 5.2 5G – NICHT NUR DRAHTLOS! 42
   - 5.3 WER HAT 5G ENTWICKELT? 43
   - 5.4 DYNAMISCHE VERNETZUNG UND INTERNET OF THINGS 43
   - 5.5 SCHACHSPIELEN DER WELTMÄCHTE 46
   - 5.6 WIE IST DAS THEMA ZU SPIELEN? 50
6. FAZIT 51

LITERATURVERZEICHNIS 52

1. EXECUTIVE SUMMARY

Bereits im ersten Teil dieser Analyse wurde festgestellt, dass die Digitalisierung selbst verschiedene Phasen durchläuft. Die vierte und damit bisher tiefgreifendste disruptive Phase dieser Entwicklung beginnt gerade. Künstliche Intelligenz und die zu erwarteten singulären Entwicklungsschritte werden ganze Industrien nachhaltig verändern. Insbesondere die zu erwartende Disruption von spezialisierten, intelligenten Maschinen (spezialisierte KI) zu universell intelligenten Maschinen (generelle KI) besitzt eine unglaubliche Sprengkraft.

Der zweite Teil dieser Analyse widmet sich drei Trends, welche die disruptive Phase der Digitalisierung unterstützen: Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Datennetze – es folgt eine Einführung in die Themenfelder inklusive einem kurzen technischen Hintergrund, Beispiele zum aktuellen Entwicklungsstand und erste Implikationen für eine differenzierte Entwicklung neuartiger Geschäftsmodelle.

***Quantencomputer** – werden als „Game Changer" eine neue Dimension an Rechenleistung bereitstellen, sie besitzen eine unglaubliche Leistungsfähigkeit und können hochkomplexe Rechenprobleme lösen. Waren Quantencomputer bis vor kurzem noch reine Laborübungen, experimentelle Aufbauten, die eng definierte Aufgaben verrichteten, werden deren Einsatzmöglichkeiten nun generalisiert.*

***IoT** – Der Brite Kevin Ashton gilt als Begründer des Begriffes „Internet of Things" (Internet der Dinge), kurz: IoT. Im Internet of Things vernetzen sich physische und virtuelle Gegenstände oder deren Repräsentationen miteinander und arbeiten durch Informations- und Kommunikationstechniken zusammen. Das Internet of Things ist die Schnittstelle, welche die virtuelle Welt der KI für uns Menschen erfahrbar macht. Ein Beispiel hierfür sind „Smart Appliances" wie Amazons Alexa.*

***5G** – 5G bedeutet nichts anderes als 5. Generation. Gemeint ist damit die 5. Generation von Mobilfunknetzen. Dies impliziert, dass bereits 4 Vorgänger ausgerollt wurden. Die neuen Möglichkeiten von 5G werden zu Wachstum und Produktivitätszuwachs in verschiedensten Branchen führen.*

Im Laufe der Analyse wird immer wieder auch auf die geopolitischen Implikationen der disruptiven Digitalisierung referenziert. Ein Wettrennen der Weltmächte, allen voran zwischen USA und China, dessen Ausgang noch nicht entschieden ist.

2. EINFÜHRUNG

Der erste Teil dieser Analyse beschäftigte sich mit dem Disruptor Künstliche Intelligenz.[1] Im hier vorliegenden zweiten Teil wird auf eine Auswahl unterstützender Megatrends und den damit einhergehenden Potentialen eingegangen. Diese Trends stehen nicht nur für sich allein, sondern entfalten sich symbiotisch und unterstützend mit dem Disruptor „Künstliche Intelligenz". Sie sind notwendige Bedingungen, damit die vierte Phase der Digitalisierung ihr disruptives Potential voll entfalten kann. In dieser Studie werden folgende Themen im Vordergrund stehen:

- **Quantencomputer** – die als „Game Changer" eine neue Dimension an Rechenleistung bereitstellen
- **Internet of Things** – die Schnittstelle, welche die virtuelle Welt der KI für uns Menschen erfahrbar macht
- **Superschnelle Kommunikationsnetze** – die als Entwicklungs-Beschleuniger den nötigen Datenaustausch für die Anwendungen von Morgen gewährleisten

Diesen drei Trends liegt eine gewisse Fraktalität[2] inne, welche sich innerhalb der Entwicklung selbst und auch in Bezug auf den Disruptor KI zeigt. All diesen Bereichen liegt ein induktives Prinzip inhärent zugrunde, von einer speziellen, eng ausgerichteten Anwendung zur Generalisierung, wodurch ein immenser Impuls erzeugt wird. Doch erst die Verbindung aller Megatrends führt als Gesamtentwicklung zu einer ungeheuren disruptiven Kraft.

- Technologiekonvergenz und technologische Verstärkung führen dazu, dass ohnehin schon exponentielle Entwicklungen einen singulären Charakter bekommen und zu echten Brüchen innerhalb eines Ökosystems führen („Wurmlochprinzip").[3]

[1] Vgl. Rapp (Künstliche Intelligenz, 2019).
[2] Mandelbrot (1982, Nature).
[3] Einstein et al. (1935, Relativität), S.73b.

3. QUANTENCOMPUTER ALS „GAME CHANGER“

Zunächst widmet sich die Analyse dem Thema Quantencomputer und zeigt, anhand von grundlegenden Prinzipien, wie sich das Thema in den Gesamtkontext der Analyse einfügt. Darüber hinaus erfolgt ein Ausblick in die Zukunft, wie diese noch junge Technologie die technologische, soziale, politische und wirtschaftliche Umwelt verändern wird. Quantum Computing als exponentielle Basistechnologie wird sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten als „Game Changer“ erweisen, d.h. als eine technologische Entwicklung, die neue Regeln schreiben wird.

3.1 EINE (ZU) KURZE GESCHICHTE DES COMPUTING

„***Wenn die sechs Monteure die 400 Zentner schwere Denkapparatur zum Leben erweckt haben, wird das Frankfurter Battelle-Forschungsinstitut – ein gemeinnütziges Institut, das Forschungsaufträge der Industrie ausführt – über das größte und schnellstdenkende Elektronengehirn Europas verfügen.***“

Dieses Zitat wirkt allein durch die Gewichtsangaben altertümlich, nicht jedoch durch das „denkende Elektronengehirn“ – ein Wunsch der offensichtlich die Menschen schon lange treibt. Tatsächlich sind die Zeilen aus dem Spiegelartikel vom 10. Oktober 1956 entnommen. Der hier beschriebene Univac I (kurz für Universal Automatic Computer) der Firma Remington-Rand war ein Meilenstein des modernen Computings.[4] Der Univac ist Anfang der 60er Jahre im Umfeld der heutigen Northrop Grumman entstanden. Schon in der Vergangenheit war die Beziehung zwischen militärischen Interessen und Spitzentechnologie erkennbar.

- Der Univac ist insofern bemerkenswert, als dass er eine der ersten Rechenanlagen war, die neben spezifischen Berechnungen um mathematische Problemstellungen so programmiert werden konnte, dass er auch allgemeine Fragestellungen beantworten konnte.

Die ersten Computer und Rechenmaschinen in der Geschichte vor dem Univac hatten einen sehr eng eingegrenzten Anwendungsbereich bzw. waren speziell konzipiert.[5] Beispiele für diese spezialisierten

[4] Vgl. dazu: Spiegel (1956, Roboter).

[5] Für eine interessante Zusammenstellung der Protagonisten der Geschichte der Computer-Hardware vor 1950 siehe auch: Wikipedia (2019, hardware).

Computer finden sich viele: Vom Rechenschieber „Abakus“ bis zur „Turingbombe“.[6]

Die Möglichkeit, durch „Programmierung“ neue Maschinen bzw. Anwendungsfelder aus einer generalisierten Hardware zu determinieren, war ein riesiger Fortschritt und hat die Entwicklung der Maschinen stark geprägt.

- Die Unterscheidung zwischen Hard- und Software ist eine entwicklungsspezifische Errungenschaft des Universal-Computers.

Nun bricht ein neues Computing-Zeitalter an: Ein kürzlich erschienener Artikel berichtet, dass die Bundesregierung in den kommenden beiden Jahren 650 Millionen Euro investieren möchte, um einen Quantencomputer-Hub in Deutschland zu errichten. Dieses Vorhaben geschieht in Zusammenarbeit mit IBM und der Fraunhofer-Gesellschaft. Das zunächst zu installierende IBM Q System One, wäre der erste auch kommerziell verwendbare Quantencomputer in Europa.[7] Schon anhand der Investitionssumme wird klar, welche Rolle dieser neue Forschungs-und Entwicklungszweig in den nächsten Jahren spielen wird. Natürlich ist Deutschland nicht allein beteiligt, sondern ist Teil eines globalen Quantencomputer-Wettrennens, wie im Folgenden noch aufgezeigt wird.

- Auch die Nutzung der quantenmechanischen Effekte erfolgt nach dem induktiven Prinzip: Schon seit den 60er Jahren sind Laser und Magnet-Spin-Tomographien bekannt. Neu ist die generalisierte Nutzung quantenmechanischer Effekte für immer weiter gefasste Aufgabenbereiche.

Waren auch Quantencomputer bis vor kurzem noch reine Laborübungen, experimentelle Aufbauten, die eng definierte Aufgaben verrichteten, wird deren Einsatz nun generalisiert. Nicht nur in Deutschland kommt das Quantumcomputing in die Phase der „Late Stage R&D“ – und entwickelt sich aus dem Labor zur kommerziellen Nutzung. Dieser Pfad ist typisch für viele technologische Neuerungen und ist mit dem Prinzip der Generalisierung natürlich auch ein Grundpfeiler der Wissenschaft an sich.

[6] Die „Turing Bombe“ ist eine elektromechanische Maschine, welche von der Britischen Armee zur Entschlüsselung der mit der Kryptographiemaschine „Enigma“ chiffrierten deutschen Funksprüche eingesetzt wurde. Es existiert im Film „Enigma“ aus dem Jahre 2001 eine spannende, jedoch in ihrer Liebe zu historischen Details sehr unbekümmerte Darstellung der Entwicklung der Turing Bombe rund um Ihren Namensgeber Alan Turing.

[7] Handelsblatt (2019, Quantencomputer)

Exponentielle Entwicklungen

Der Mensch ist ein lineares Wesen, an Linearität gewöhnt: Linearität bedeutet, dass mit Veränderung der einen Größe, sich eine andere dazu proportional mitverändert. Beispiele: *Wenn ich ein Brötchen kaufe, kostet das einen Euro, wenn ich zwei Brötchen kaufe, kostet das zwei Euro; wenn ich mit einer Tankladung 1000 Kilometer weit fahren kann, komme ich mit der gleichen Fahrweise bei zwei Tankladungen doppelt so weit.* Der Grund, warum uns die Linearität so nahe liegt, ist vermutlich aber im linearen Voranschreiten der Zeit zu sehen – die Variable, die uns am meisten beherrscht (obwohl die Zeit nur linear zu verlaufen SCHEINT, siehe Einsteins Relativitätstheorie).

Natürliche und auch technologische Entwicklungen laufen hingegen oft exponentiell ab. Sie beginnen langsam. Zunächst ist die Entwicklung sehr schwach ausgeprägt und wird von uns bzw. der Art und Weise wie das Gehirn Informationen verarbeitet, daher oft als unwichtig weggefiltert. Irgendwann aber wird ein "Tipping Point" erreicht, sodass eine Entwicklung explosionsartig – oder exponentiell – voranschreitet. Beispiele dafür sind u.a. Bevölkerungswachstum, die Adaption des Internets bzw. die Entwicklung von Rechenleistung von Computern.

In der Technologie gibt es als „Schwester der Exponentialität“ zusätzlich das Phänomen der Kombinatorik, wo Netzwerkeffekte zu einer Explosion der Möglichkeiten führen: *Wenn zwei Leute ein Handy haben, gibt es eine Möglichkeit für ein gemeinsames Telefonat, wenn 1000 Leute ein Handy haben existieren bereits eine halbe Million möglicher Gesprächskombinationen.*

Der Mensch kann grundsätzlich exponentielle oder kombinatorische Effekte nur schwer erfassen, da beide gegen die lineare menschliche Intuition gehen. Diese mangelnde Wahrnehmung führt häufig zu Überwältigung, Ignoranz oder Fehleinschätzungen.

Besonders wichtig für exponentielle Entwicklungen und mitunter auch ein Hemmschuh im Zusammenhang mit Computern ist die Geschwindigkeit, mit der mathematische Operationen durchgeführt werden können. Quantencomputer könnten ein Schritt dazu sein, Rechenleistung fast unbegrenzt zur Verfügung stellen zu können. Dies ist entscheidend, denn oft war in der Vergangenheit die fehlende Rechenleistung der Flaschenhals des technologischen Fortschritts:

Alan Turing beispielsweise entwickelte schon 1953 eines der ersten Schachprogramme. Die Berechnungen dazu musste er allerdings noch per Hand vornehmen. Es gab weder einen passenden Computer, noch war ein zeitnahes Spiel möglich, da Turing eine halbe Stunde benötigte, einen – zugegebenermaßen noch sehr schwachen künstlichen Spieler und dessen Spielzug zu berechnen. Das Computerschach heute ist dank

cleverer Algorithmen und enormer Rechenleistung nicht zu vergleichen.[8] Die Spielstärke von künstlichen Spielern überragt diejenige von Menschen bei weitem.[9] AlphaZero, ein von Google entwickelter Schachcomputer, erreichte mit einer Kombination aus Rechenleistung und Algorithmen innerhalb von drei Tagen im Eigenstudium eine Spielstärke, die jedem menschlichen Gegner überlegen ist. Der gleiche Computer spielt neben klassischem Schach übrigens auch Go und japanisches Schach – mit der gleichen Perfektion.

- Rechenleistung ist der Schlüssel fast zu allen Technologien der modernen Gesellschaft

Das Moore'sche Gesetz[10] kam bereits im ersten Teil dieser Analyse zur Erwähnung. Es beschreibt eine exponentielle Zunahme der Transistoren pro Fläche Computerchip und damit als Ableitung auch eine Verdoppelung der Rechenleistung alle 18 Monate. Dieser empirisch abgeleitete Zusammenhang ist bisher mit einer erstaunlichen Genauigkeit eingetroffen, insbesondere unter dem Aspekt, dass das „Gesetz" vor über 50 Jahren postuliert wurde.

Die Leistung des Supercomputers Cray-2 von Cray Research aus dem Jahre 1985 machte damals die Maschine für fünf Jahre zum schnellsten Supercomputer der Welt. Seine maximale theoretische Höchstleistung mit vier Prozessoren von 1.9 GigaFlops[11] [12] pro Sekunde überbietet das Mobiltelefon S10 von Samsung aus dem Jahr 2019 – je nach Anwendung – zwischen 4 und 24 Mal. Der Cray-2 kostete ca. 32 Millionen inflations-adjustierte USD, das S10 heute ca. 600 USD, also 0.002% davon.[13]

Die exponentielle Verfügbarkeit roher Rechenleistung hat dazu geführt, dass – ähnlich Turings Schachspiel – gewisse Anwendungen und Operationen überhaupt erst automatisierbar, bzw. in endlicher Zeit durchführbar wurden. Auch beispielsweise neuronale Netze wurden konzeptionell lange entwickelt, bevor sie durch die entsprechende Rechenleistung operationalisierbar wurden.

[8] Vgl. dazu ausführlich und weiterführend: Chess Base (2019, Schachprogramm).
[9] Oder sind de-facto unbesiegbar, wie die Software AlphaGo Zero, siehe Wikipedia (2019, AlphaGo Zero).
[10] Moore (1965, Moore´s Law).
[11] Ein Gigaflop sind eine Milliarde Fliesskomma-Operationen.
[12] Wikipedia (2019, Cray-2).
[13] Vgl. dazu exemplarisch: Fortune (2016, Kosten).

3.2 QUANTENMECHANIK ALS RADIKALER „QUANTENSPRUNG“

Irgendwann stößt das Moore'sche Gesetz an seine physikalischen Grenzen. Zwar kann der Aufbau von Computerchips noch verbessert werden, aber die Miniaturisierung wird von der Physik ausgebremst – und damit auch die Portabilität von Rechenleistung!

Die Gründe sind einerseits, die sich entwickelnde Hitze in den Computerchips und andererseits in den nächsten 5-10 Jahren auch die Grenzen der Materie. Aktuelle Mikroprozessoren arbeiten mit 14-Nanometer-Technologie. Manche Firmen, wie die chinesische Huawei auch mit 7-Nanometer-Technologie, aber bei spätestens 2 Nanometer kleinen Strukturen wird Schluss sein: Die Größe der Strukturen wird dann unter 10 Atomen betragen. Spätestens an dieser Stelle wird die Grenze von der normalen Physik in die Quantenphysik endgültig durchbrochen.[14]

- Konsequenz: Die Rechenleistung der Anwendungen der Zukunft kann nicht mehr lokal stattfinden, oder sogar im Handy in der Tasche, sondern im Labor oder in der „Cloud“. Dies ist entscheidend, wenn später auf Internet of Things und Mobilfunktechnologien eingegangen wird.

Quantumcomputing wird ein „Game Changer“ sein. Eventuell werden Technologiefirmen wie AMD, Intel oder TSM versuchen die alte Technologie zu verlängern und deshalb einige Umwege nehmen, z.B. über 3D Chips[15] oder sogenannte Microswitches, aber das Zeitalter der Quantencomputer beginnt. Es beginnt jetzt. Obwohl Quantencomputer aktuell noch in den Hochsicherheits-Rechenzentren von IBM, Google oder Alibaba stehen, läuft die wirtschaftliche und technologische Vorbereitung auf Hochtouren. China baut gerade am „National Laboratory for Quantum Information Sciences“ in Heifei, in welches umgerechnet weit über 10 Milliarden USD investiert werden.[16] Auch die USA haben 2018 den sogenannten National Quantum Initiative Act verabschiedet – allerdings „nur“ mit Mitteln von einer Milliarde USD für die nächsten 4 Jahre.[17]
Im Oktober 2018 verkündete auch die EU, in den nächsten 10 Jahren eine Milliarde Euro bereitstellen zu wollen, für Projekte bezüglich quantenbasierter Sensoren, Quantentechnologie und Quantencomputern.[18]

[14] Waldrop (2016, Grenzen).
[15] Vgl. dazu generell: Live Science (2015, 3D Chips).
[16] technode (2018, China).
[17] Science Mag (2018, Quantum Initiative Act).
[18] NZZ (2018, EU).

Auf einer ersten Ebene verspricht man sich vom Einsatz quantenbasierter Computer einen signifikanten Gewinn an Rechengeschwindigkeit: Klassische Computer arbeiten sequenziell, laufen quasi ein „Kochrezept" von Anweisungen nacheinander ab. Quantencomputer arbeiten simultan, d.h. betrachten die möglichen Lösungen eines Problems gleichzeitig. Für einige Problemstellungen, wie etwa die Primfaktorisierung einer Zahl sind exponentielle Geschwindigkeitsvorteile realisierbar (z.B. durch den Shor'schen Algorithmus). Es wird geschätzt, dass ein klassischer Supercomputer für die Primfaktorzerlegung einer 10-tausend-stelligen Zahl Milliarden von Jahren braucht. Ein Quantencomputer braucht dazu Minuten.

- Die Bedeutung effizienter Quantenalgorithmen für heutige Kryptographie-Verfahren, welche auf Primzahlenzerlegung basieren, ist enorm. Diese würden in Zukunft ähnlich einfach zu lösen sein, wie heutzutage die Enigma Maschine aus dem 2. Weltkrieg.[19] Auch ein Gegenmittel ist schon gefunden: Die Verfügbarkeit quantenbasierter Chiffrierschlüssel liegt bereits sehr nahe.

Auch ganz andere Errungenschaften, wie beispielsweise Krypto-Währungen, wären durch die Rechenleistung neuer Quantenalgorithmen, in der aktuellen Form nicht mehr brauchbar und müssten umstrukturiert werden.[20] Mining und die Berechnung von Transaktionsblöcken müssten neu aufgesetzt werden, da die Rechenleistung eines Quantencomputers die Prozesse auf denen die Blockchain aufbaut, durcheinanderbringen würde. In diesem Zusammenhang waren auch über viele Jahre hinweg die Regierungen die primären Nutzer von Quantentechnologie. Doch heute hat der internationale Entwicklungswettbewerb für zivile Anwendungen, ebenso wie für militärische, begonnen.

Viele der heute bekannten Quantenalgorithmen bringen es auf exponentielle bzw. quadratische Geschwindigskeitshöchstleistungen oder immerhin auf einen Geschwindigkeitszuwachs in der Größe der Wurzel der Problemgröße. Ein weiteres, bekanntes Beispiel ist der für einige Machine-Learning Verfahren nützliche Grover Algorithmus.[21] Machine Learning ist mehr oder minder reine lineare Algebra. Die Zeit, die klassische Algorithmen für Matrizenberechnungen brauchen, steigt quadratisch mit deren Komplexität. Was passiert, wenn der erwähnt Datenfundus, in Teil 1 dieser Analyse, sich alle zwei Jahre verdoppelt? Für den nächsten Schritt der KI braucht es dringend die Möglichkeiten des Quantumcomputings. Algorithmen auf Quantenbasis werden im Sinne einer Technologiekonvergenz das Machine Learning revolutionieren und uns einen Schritt näher an eine universelle künstliche Intelligenz bringen.

---

[19] Math World (2019, RSA Number).
[20] Vgl. dazu ausführlich und weiterführend: Aggarwal et al. (2017, Bitcoin).
[21] Wikipedia (2019, Grover).

Im Geschwindigkeitsunterschied relativ zur Problemgröße liegt ein wichtiges Merkmal von Quantencomputern, denn sie sind nicht „universell schneller" als klassische Computer. Zum heutigen Forschungsstand werden Quantencomputer klassische Computer auch nicht ersetzen, sondern komplementieren: Der nötige Overhead für Berechnungen von Problemstellungen ist groß, sodass bei einfachen Problemen klassische Computer im Vorteil sind. Erst bei riesigen und komplexen Problemen bringen Quantencomputer einen enormen Vorteil.

Anders ausgedrückt: *Wenn Sie zwei Meter weit kommen wollen, ist die Anschaffung und der Start einer Mondrakete vermutlich ineffizient.*

- Vielmehr als ein Ersatz klassischer Computer durch Quantencomputer, ist in Zukunft vom Modell der Hybrid-Quantum-Classical Computation auszugehen. Quantencomputer erfüllen dabei enorm schnell Spezialaufgaben – ähnlich den heutigen GPUs[22] in klassischen Computern.

Quantencomputer öffnen tatsächlich die Tür zur Lösung völlig neuer Problemstellungen. Sie sind anders als nur ein schnellerer Computer: Quantencomputer können Probleme lösen, die für klassische Computer tatsächlich **unmöglich** in endlicher Zeit zu lösen sind.

Quantenprobleme

Im Mai 2018 veröffentlichten Ran Raz und Avishay Tal ein Paper, in dem ein Problem beschrieben wird, das nur von Quantencomputern zu lösen ist.[23] Dieses Problem gehört zu der Klasse der BQP (bounded-error quantum polynomial time).[24] Es geht grob darum, nachzuweisen, ob zwei Zufallssequenzen durch eine Fourrier-Transformation miteinander verbunden werden können. Das klingt intuitiv erstmal relativ nutzlos, allerdings ist diese Art von Sandbox-Problem typisch in der Entwicklung derart neuartiger Technologien.

- **Quantum Supremacy** ist die Fähigkeit von Quantencomputern, Probleme zu lösen, welche klassische Computer in der Praxis (d.h. mit endlich zu Verfügung stehender Zeit) nicht lösen können.[25]

[22] Deren spezielle Fähigkeiten werden beispielsweise zum Mining von Bitcoins eingesetzt.
[23] Vgl. dazu ausführlich und weiterführend: Raz (2018, Oracle).
[24] Proceedings of Symposium on the Theory of Computing, 1993. Special issue on Quantum Computation of the Siam Journal of Computing, Oct. 1997. E. Bernstein https://dl.acm.org/citation.cfm?id=264404.
[25] Boixo et al. (2018, Quantencomputer).

Die beiden Grundbedingungen für Quantum Supremacy sind einerseits exponentielle Komplexität der Problemstellung und zweitens akkurate (im Sinne von fehlerfreie) Berechnungen durch den Quantencomputer. An dieser Stelle wird klar, warum die führenden Technologienationen, USA und China an der Spitze, keine Kosten- und Ressourcenaufwände scheuen, um das Wettrennen um die ersten wirklich universal einsetzbaren Quantencomputer zu gewinnen. Insgesamt sind global Investitionen von ca. 15 Milliarden USD für die nächsten fünf Jahre vorgesehen. 10 Milliarden USD kommen dabei allein aus China. Die Nation, die sich hier den Vorsprung sichert, erschließt sich den Weg zur Technologieführerschaft für die kommenden Jahrzehnte. Erst vor kurzem stellte Google den Sycamore Chip vor, der ein Sandbox-Problem in 3 Minuten (statt 10 Tausend Jahren mit herkömmlichen Computern) löst. Die Zeit bezeichnet diesen Chip als Äquivalent zum Flugzeug der Gebrüder Wright.[26]

Quantencomputer sind essentiell: Ohne Quantum Supremacy und die Erfüllung beider Bedingungen werden fundamentale Fragen in Chemie und Physik, aufgrund der den Phänomenen unterliegenden Quantenprozesse, nicht beantwortet werden können.[27] Schon heute arbeiten die großen Pharmakonzerne der Welt an ersten Lösungen. Rechenleistung allein reicht nicht aus, wenn es darum geht, die Physik als solche zu simulieren. Es braucht Simulationen, welche sich exakt so verhalten wie die Natur. Das liefern Quantenansätze.

Richard P. Feynman postulierte schon früh die Existenz und grundsätzliche Arbeitsweise von Quantencomputern, ohne eine Ahnung davon zu haben, wie diese Computer letztendlich gebaut werden könnten. Er erkannte die Notwendigkeit von Quantencomputern zur Simulation natürlicher Prozesse schon sehr früh. Um es mit seinen Worten zu sagen:

[...] nature isn't classical, dammit, and if you want to make a
simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical.[28]

Mit dem Voranschreiten der Technologie werden nun auch erste kommerzielle Spieler im Markt sichtbar. Der „Quantensprung“, der Quantencomputer, von der Grundlagenforschung zur sogenannten Late Stage

[26] Zeit (2019, Lösung Quantencomputer).
[27] Neill et al. (2018, blueprint).
[28] Freynman (1981, Simulation).

R&D, also Forschung mit direktem kommerziellem Bezug, ist unterwegs. Eine gute Übersicht der Firmen, die sich mit kommerziellen Applikationen beschäftigen gibt der Quantumcomputing-Report.[29]

Quantensprung

Der Begriff des Quantensprungs hat seinen Weg in den Sprachgebrauch vieler gemacht. Gemeint ist damit ein großer Fortschritt, eine sehr signifikante Veränderung oder ein Wagnis, um sich auf völlig unbekanntes Gebiet zu begeben. Echte Quantensprünge sind allerdings nicht groß – und kommen viel häufiger vor, die begriffliche Konnotation vermuten lässt.

Einfach gesagt, ist ein Quantensprung ein unmittelbarer Wechsel eines Elektrons innerhalb eines Atoms oder Moleküls von einem Energiezustand in einen anderen. Diese Energiezustände sind im Bohr'schen Atommodell diskret, d.h. es gibt keine Zwischenstufen. Die Vorstellung eines diskreten Radius mit dem ein Elektron um einen Atomkern kreist, gilt heute als falsch. Ob es Quantensprünge tatsächlich so gibt und sie nicht nur ein Effekt quantenmechanischer Messprozesse sind, wird heute bezweifelt. Die Physik benutzt daher seit langem den Begriff "Übergang" statt "Quantensprung".

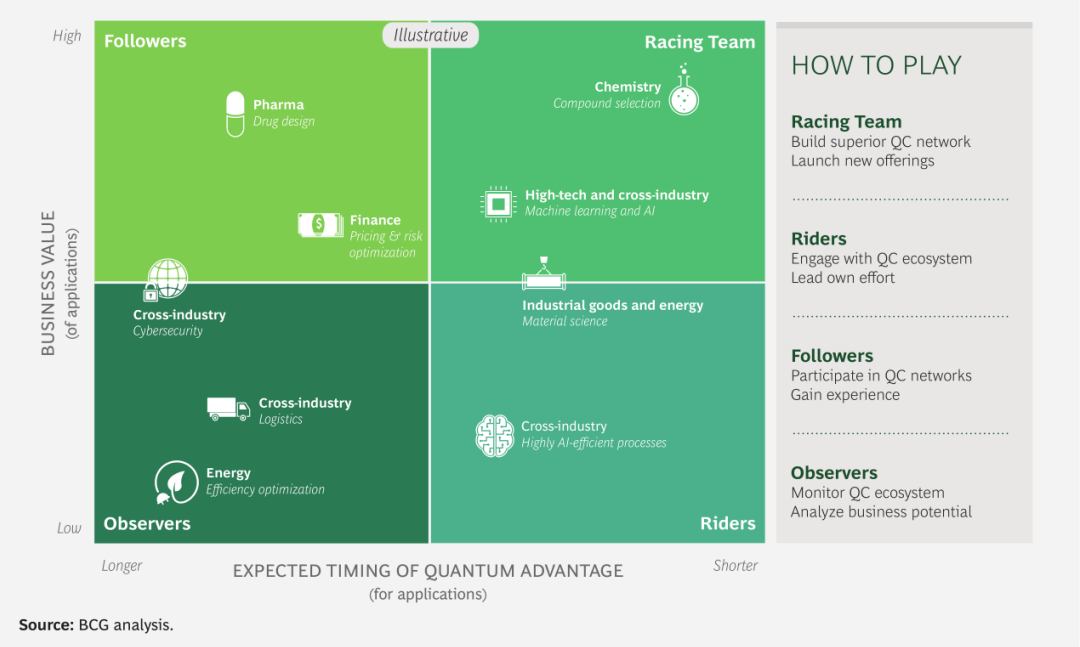
In der realen Welt ist der Begriff „Quantensprung“ – anders als sich das im Sprachgebrauch eingebürgert hat – tatsächlich ähnlich zu deuten und inhaltlich viel näher an seiner physischen Interpretation als vermutet werden darf. „Quantensprünge“ mögen uns als disruptiv sprunghaft erscheinen, da hier exponentielle Prozesse von der (sub)linearen Phase in eine exponentielle Bewegung übergehen (der sogenannte „Tipping Point“). Dem Menschen, der nicht für die Wahrnehmung exponentieller Prozesse „ausgelegt“ ist, kann dieser Moment durchaus als singulärer Sprung ohne Zwischenhalte vorkommen.

Damit ist das Bild zwischen dem sprachlichen Quantensprung und der Physik wieder stimmig – allerdings anders als intuitiv vermutet.

Die Boston Consulting Group schätzt, dass der Markt für Quantencomputer in den nächsten 20-30 Jahren auf ca. 300 Milliarden USD wachsen wird. Erste Anwendungsfelder werden sich – wie erwähnt – bspw. in der pharmazeutischen Industrie finden (Simulation von Wirkstoffen und Molekülzusammenhängen), aber auch in den Bereichen Machine Learning, Logistik und Finanzdienstleitungen.

[29] Quantumcomputing Report (2019, Firmen).

Abb. 1: Faktoren für ein Quanten-Geschäftsspiel



Quelle: Boston Consulting Group, 2018

Schließlich gibt es auch Wissenschaftler, welche postulieren, dass die Simulation eines menschlichen Gehirns aufgrund der darin stattfindenden Prozesse quantenmechanisch sein müsste. Der bekannteste Vertreter dieser (allerdings umstrittenen) Theorie ist der Physiker und Mathematiker Sir Roger Penrose. Nach seiner Theorie führen Quantenphänomene im Gehirn zur Entwicklung von dem, was man „Bewusstsein“ nennt. Seine Theorie steht im Widerspruch zu seinen Kritikern, die behaupten, dass das Gehirn nur ein (sehr komplexes) neuronales Netzwerk sei, welches prinzipiell auch mit klassischen Computern (mit enormer Rechenleistung) simuliert werden könne.[30]

[30] Vgl. dazu ausführlich und weiterführend: Penrose (2016, Gehirn).

3.3 „SCHRÖDINGERS KATZE“ STATT „MOORE’S LAW“? – EINE TECHNISCHE EINFÜHRUNG

Wenn es gelingt, durch Quantenalgorithmen nicht nur bei Einzelfällen, sondern generell einen mit der Problemgröße exponentiellen (oder sogar überexponentiellen) Geschwindigkeitssprung zu erreichen, wäre das radikal. Überdies wurde bereits dargestellt, dass es Probleme gibt, welche sich praktisch nur mit Quantencomputern lösen lassen. Um genauer zu verstehen, warum dies so ist, empfiehlt sich ein Blick in die prinzipiellen technischen Details eines Quantencomputers und was diesen von einem klassischen Computer so maßgeblich unterscheidet:

Klassische Computer sind im Prinzip eine Summe von Schaltern, die entweder auf „ein“ oder „aus“ stehen können. In den Anfängen waren diese Schalter aus Röhren, wie beispielsweise beim deutschen Zuse Z22, später dann aus Transistoren – welches die Miniaturisierung überhaupt erst vorangetrieben hat. Auf theoretischer Ebene heißen die Schalter „Bits“.

- Bei Quantencomputern heißen die Schalter QuantumBits oder kurz: Qubits. Diese richten ihre Zustände nach quantenmechanischen Prinzipien. Sie haben außer „ein“ und „aus“ unendlich viele Zwischenzustände. Dabei sind drei Elemente wichtig: Superposition, Entanglement und Interferenz.

Superposition bedeutet, dass solange der diskrete Zustand eines Qubits nicht gemessen wird, dieser Schalter eine Zwischenposition zwischen „an“ und „aus“ hat. Einzig Wahrscheinlichkeiten für einen Zustand, „an“ oder „aus“, wenn eine Messung stattfinden würde, können gegeben werden. Das Prinzip der Superposition wird sehr schön im berühmten Gedankenexperiment zu Schrödingers Katze veranschaulicht.

Schrödingers Katze

Erwin Schrödinger war ein österreichischer Physiker und Wissenschaftstheoretiker. Zusammen mit Paul Dirac erhielt er im Jahr 1922 den Nobelpreis für Physik. Schrödinger war die Bohr'sche Idee der Quantensprünge ein Dorn im Auge. Schrödigers Gedankenexperiment mit der Katze überträgt die Systematik der Quantenmechanik auf die makroskopische Welt: Eine Katze in einer Kiste wird durch einen Zufallsprozess irgendwann durch Gift getötet. Doch: Solange niemand in die Kiste hineinschaut (eine Messung durchführt), befindet sich die Katze in Superposition, d.h. eben nicht in einem diskreten Zustand von lebendig oder tot, sondern in einer Zwischenposition, die nur durch Wahrscheinlichkeiten für beide Zustände gekennzeichnet ist. Die Katze ist lebendig UND tot. Von solchen „Katzenzuständen" spricht man auch im Rahmen des Quantumcomputings. Dafür gibt es verschiedene Interpretationen wie die Kopenhagener Deutung, die viele-Universen-Interpretation oder die Ensembletheorie. Feynman bringt das Unverstehen der Quantenmechanik sehr schön auf den Punkt: *The "paradox" is only a conflict between reality and your feeling of what reality "ought to be."*[31]

Doch: Kann das wirklich sein? Ist die Katze wirklich tot UND lebendig? Gemäß der Dekohärenztheorie des deutschen Physikers Dieter Zeh „funktioniert" die Quantenwelt im makroskopischen Rahmen nicht. Darum kommt sie uns intuitiv unsinnig vor. Als Antwort auf eine berühmte Behauptung Einsteins, dass Gott nicht würfle (im Bezug auf die Quantenmechanik), erwidert Stephen Hawking: *"[...] not only that God does play dice, but that he sometimes confuses us by throwing them where they can't be seen."*[32]

Entanglement oder Verschränkung heißt, dass die Qubits nicht unabhängig voneinander Werte annehmen, sondern voneinander abhängen können. Dieses Entanglement erhöht die Informationsdichte in den Qubits gegenüber ihren klassischen Verwandten exponentiell. Diese Informationsdichte ist das wichtigste Element des Leistungsversprechens der Quantencomputer.

Interferenz schließlich führt dazu, dass ein Quantencomputer probabilistische Ergebnisse liefert. Die Programmierung einer Quantencomputer-Variante über die sogenannten Quantum Gates funktioniert so, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der die korrekte Antwort auf eine Rechenoperation geliefert wird, durch Amplitudenverstärkung möglichst erhöht wird. Das bedeutet, dass der Quantencomputer mit mehr Recheniterationen die Wahrscheinlichkeit auf das eine richtige Ergebnis bis auf 100% erhöhen kann, aber

[31] Feynman (1963, Quantenmechanik).
[32] Hawking (1994, Zeit und Raum).

auch früher mit „einigermaßen“ hoher Wahrscheinlichkeit schon ein richtiges Ergebnis liefert. Insbesondere bei Aufgaben, wo nicht das eine richtige Ergebnis, sondern auch ein gutes Ergebnis ausreicht, ist dies interessant.[33]

Zwei wichtige Anwendungsgebiete von Quantumcomputing sind das sogenannte Quantum Annealing und Universal Gate Computing. Im Bereich Quantum Annealing hat sich insbesondere die Firma D-Wave hervorgetan. Ihr aktueller Quantencomputer verfügt über 2048 Qubits. Quantum Annealing ist – einfach gesagt – eine Metaheuristik zum Auffinden von lokalen Energieminima. Dies wird insbesondere für Probleme, die als „Finde das Minimum (oder das Maximum multipliziert mit minus Eins) von etwas“ formuliert werden können, nützlich. *Prinzipiell muss man sich das so vorstellen, dass eine Quanten-Murmel eine Kugelbahn hinunterrollt und dabei automatisch irgendwann den niedrigsten Punkt erreicht, der damit eine mögliche Lösung des Problems ist.*

Universal Gate Computing ist näher an dem Bild des Programmierens eines klassischen Computers. Hier werden durch diese Gates logische Rechenoperationen an Qubits durchgeführt. Bereits bevor irgendeine Hardware für Quantencomputer verfügbar war, theoretisierten Richard Feynman und David Deutsch über die Funktionsweise der Quantum Gates mit Hilfe bekannter linearer Algebra. Durch die Gates konnten verschiedene Algorithmen in die Quantencomputer programmiert werden. Dieser Pfad des Quantumcomputings führt (anders als das Quantum Annnealing) in die Richtung von Quantum Supremacy.[34]

Die Quanten selbst, also die Bausteine mit denen „gerechnet“ wird, sind Ionen oder subatomare Partikel, wie beispielsweise Elektronen und Photonen. Dabei benötigen einige Verfahren, um zu funktionieren, Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt, andere arbeiten auch bei Zimmertemperatur. Die Leistungsparameter der verschiedenen Implementationen sind beispielsweise die Lebensdauer der Qubits, die Schaltzeit der Gates oder die Anzahl der möglichen Verbindungen der Qubits untereinander.

- Quantencomputer, wie sie aktuell implementiert werden, sind sehr anfällige Maschinen. Die wissenschaftliche Kompetenz und Verfahren der Fehlerkorrektur gab es in den Anfängen der klassischen Computer. Irgendwann funktionierten diese aber so gut, dass dies fast keine Rolle mehr

[33] vor allem bei Optimierungsaufgaben, wie sie beispielsweise in der Finanzwelt vorkommen, bringt dies große Vorteile.
[34] Wolfram Alpha bietet die Möglichkeit per Internet mit diesen Gates zu experimentieren: Wolfram Alpha (2011, Gates).

spielte. Bei den heutigen Quantencomputern kehrt diese Disziplin zurück und es muss ein riesiger Aufwand für Fehlerprüfung und Korrektur in diesen empfindlichen Maschinen betrieben werden.

Die Rechenleistung der heutigen Quantencomputer hängt neben den Fehlerkorrekturmechanismen maßgeblich von der Anzahl der verwendeten Qubits ab. Abgesehen von der Fehlerproblematik würden man mit mehr Qubits einen exponentiell leistungsfähigeren Quantencomputer erhalten. D-Wave hat für Ihren Quantum Annealer 2020 eine Anzahl von 5000 Qubits angekündigt. Diesem Computer wird das Potential für neuartige Anwendungen bei D-Wave Kunden beispielsweise in der Autoindustrie, Verteidigung, KI und in der Forschung bei verschiedenen Universitäten attestiert.

Bei D-Wave entsteht auch die Software „Leap“, welche es Programmierern ermöglicht, ohne Kenntnisse der unterliegenden Physik ihre Algorithmen in Quantenprogramme zu übersetzen. Diesen Pfad kennt man vom klassischen Computing – Wer weiß schon, wie genau ein Computer funktioniert?

Auf der Seite der Quantum Gate Computers arbeitet Google an einem 72 Qubit Chip mit einer Fehlerrate <0.5%, der auf den Namen Bristlecone hört.[35] Die Firma Intel verfügt über Tangle Lake, einen Chip mit 49 Qubits[36], Microsoft arbeitet an einer skalierbaren Quantum-Infrastruktur[37] und IBM stellt mit dem System One einen ersten kommerziellen Quantencomputer mit 20 Qubits zur Verfügung.[38] Letzterer wird, wie erwähnt, aktuell gerade in Deutschland installiert. Aber auch China ist sehr aktiv: Alibaba hat einen 11 Qubit Cloud Computing Service unter dem Namen „Aliyun“ und auch Tencent und Baidu arbeiten an eigenen Quantencomputern.

In diesem Rennen um Qubits ist die Frage, ob das Moore’sche Gesetz auch in diesem Umfeld noch Bestand hat. Selbstverständlich ist die Interpretation der Regel bezogen auf die Ableitung der sich alle 18 Monate verdoppelnden Leistungsfähigkeit eines Computers – denn rechnende Transistoren gibt es in den Quantencomputern keine mehr.

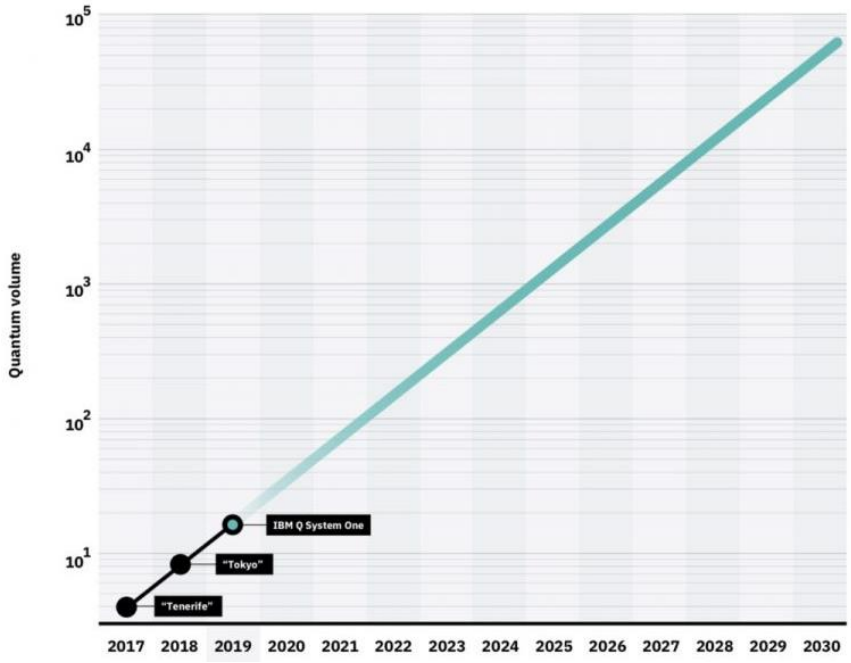
[35] Google AI Blog (2018, Bristlecone).
[36] Intel (2018, Qubit Prozessor).
[37] Microsoft (2019, Quantum).
[38] IBM (2019, Research).

Sobald sich um die Quantencomputer eine echte kommerzielle Industrie entwickeln wird, die skalierbare Quantenchips produziert, ist davon auszugehen, dass auch die Moore'sche Regel dem induktiven Gesetz folgt und sein quantenbezogenes Äquivalent finden wird. IBM hat kürzlich ein Leistungsmaß für Quantencomputer namens „Quantum Volume"[39] vorgeschlagen – welches sowohl die Performanz der Gates als auch die Leistungsfähigkeit der Fehlerkorrekturmechanismen berücksichtigt. Auch wenn diese als „Gesetz" bezeichnete Regel sich noch nicht „beweisen" konnte, wie das Moore'sche – ist man dennoch auf einem guten Weg.

Auf ähnliche Ideen kommt auch ein Paper von Aggrawal und Divesh, welches aufgebaut aus Subdimensionen der Leistungsfähigkeit von Quantencomputern, wie Qubits, Overhead oder Quantum Gate Frequenz, deren Potenz berechnet.[40]

- Die Exponentialität bleibt also erhalten – und damit mindestens eine sinngleiche Variante des Moore'schen Gesetzes.

Abb. 2: Exponentielle Wachstumsprognose von Quanten-Rechenleistung



Quelle: IBM, 2014

[39] Cross (2018, Quantum Volume).
[40] Aggarwal (2017, Bitcoin).

3.4 "THE NEW GAME": REVOLUTION STATT EVOLUTION

Quantencomputer verfügen über eine radikal andere Funktionsweise als klassische Computer, wodurch auf vielen Ebenen ein Bruch zu erwarten ist. Erste Sensationsmeldungen von unglaublichen Geschwindigkeitsfortschritten bei Berechnungen sind erst der Anfang von dem, was uns erwartet. Zwei Aspekte auf dem Weg zur Entwicklung von Quantencomputern erscheinen zusätzlich sehr interessant:

Erstens werden Quantencomputer symbiotisch mit klassischen Computern zusammenarbeiten und diese vermutlich niemals ersetzen. Es entsteht hier also ein grundsätzlich neues Element. Neben den erwähnten Großfirmen, welche über die Ressourcen verfügen, die die Entwicklung von Quantencomputern vorantreiben, sind insbesondere spezialisierte Firmen interessant, welche die Aufteilung von Aufgaben zwischen Quantencomputern und herkömmlichen Computern besonders gut regeln und verwalten können.

Zweitens wird es, bevor Quantum Supremacy erreicht wird (was vermutlich einige Jahre in der Zukunft liegt), um das Thema „Quantum Advantage“ gehen. Die Positionierung der heute großen weltpolitischen Blöcke USA, China, Europa und bis zu einem gewissen Grad auch Russland ist entsprechend:

- Insbesondere die USA und China sind am Wettrennen um Quantum Advantage beteiligt, da es sich hier um eine Enabler-Technologie handelt, die für andere technologische Entwicklungen grundlegend ist. Bis vor kurzem war noch China mit zwei (klassischen) Supercomputern führend, dann eroberte die USA, mit dem „Summit“ und „Sierra“, wieder beide Spitzenplätze vor den Chinesischen „Sunway TaihuLight“ und „Tianhe-2A“ zurück.

Werden die nächsten Schritte Evolution oder Revolution sein? Bei Quantumcomputing liegt eine typische exponentielle Entwicklung vor. Die heutigen Maschinen sind noch komplex, fehleranfällig und teuer. Vor allem aber sind sie spezialisiert. Ende des 17. Jahrhunderts hätte niemand sagen können, welchen Einfluss die Ausbreitung der Dampfmaschine oder die industrielle Revolution haben würde – oder in den 90er Jahren, welchen Einfluss das Internet auf uns ausüben würde. Beim Quantumcomputing hat man es tatsächlich mit einer Entwicklung entlang dieser historischen Einflussdimensionen zu tun. Dies unterstützt klar die These der vierten, disruptiven Phase der Digitalisierung.

Die Konkurrenz verschiedener Forschungsgruppen weltweit ist groß, insbesondere um Patente und akademische Würden. Gleichzeitig hat auch die Late Stage R&D, der Schritt aus der Forschung in die Kommerzialisierung, bereits begonnen. Auch hier werden voraussichtlich, nach dem induktiven Prinzip, in

den nächsten Jahren riesige Fortschritte erzielt.[41] Dennoch: Aufgrund Ihrer technischen Komplexität und Anfälligkeit werden Quantencomputer vermutlich für immer in Rechenzentren eingesperrt bleiben.

Die Folgen der Entwicklung des Quantumcomputings werden weitreichend und übergreifend sein: Bereits früh werden Bereiche der Gesellschaft und Politik aktiv betroffen sein. Dies zeigt beispielsweise die Quanten-Flaggschiff Initiative der Europäischen Kommission[42], welche die Entwicklung in Europa vorantreiben soll.

Quantumcomputing wird sich mit zunehmendem Reifegrad auf viele Bereiche auswirken. Zunächst auf die Wissenschaft: Mathematische Theorien basieren heute auf komplexen Lösungen und formalen, in der Regel geschlossenen, Beweisen. Quantumcomputing könnte dazu führen, dass heuristischer Beweisführung mehr Gewicht zukommt. Dies wird zu neuartigen Formen von Hypothesentests – und entsprechenden Erkenntnissen führen.

In einer nachgelagerten Phase wird es die Möglichkeiten geben, bestehende Probleme zu lösen, beispielsweise die Proteinfaltung in der organischen Chemie oder die universelle Sprachübersetzung. Das größte disruptive Potential liegt allerdings in der Ermöglichung des Sprungs zur generellen KI. Microsoft hat bereits nachgewiesen, dass Algorithmen, welche auf Quantenprinzipien basieren, die Geschwindigkeit des maschinellen Lernens um mehrere hunderttausend Prozent beschleunigen.[43] BCG schätzt die Produktivitätsgewinne durch Quantencomputer auf jährlich 450 Milliarden USD für die nächsten Jahrzehnte.[44]

[41] Economist (2017, Technology Quarterly).
[42] Quantum Flagship (2019, Quantum Computing)
[43] Microsoft (2018, Algorithmen).
[44] Boston Consulting Group (2019, Value).

4. „INTERNET OF THINGS“ ALS INTERFACE

Internet of Things (IoT) – das Internet der Dinge ist ein Thema, welches schon länger auf der technologischen Agenda steht. Der Euphorie ist allerdings inzwischen eine gewisse Ernüchterung gefolgt: Die Zeiten, in der jeder darüber sprach, dass der, an das Internet angebundene, Kühlschrank die Milch von allein nachbestellt, sind jedenfalls vorbei.

Doch der Schein trügt. Die voranschreitende Veränderung und die Durchdringung der Welt mit Smarten Dingen läuft im Hintergrund ab. Internet of Things und die dynamische Vernetzung von Ressourcen in der Cloud (Virtualisierung) und Edge Computing werden zu Standards.

- IoT bringt die digitale und reale Welt zusammen – es ist das Interface, welches KI und zukünftig Quantencomputer in die reale Welt bringt; das Interface zwischen der technischen Umwelt und den Menschen.

4.1 SMARTE DINGE UMGEBEN UNS

Die Geschichte [45] des „IoT“ beginnt lange vor dem Internet, im Jahr 1912. Damals wurden zum ersten Mal in einem Kraftwerk in Chicago Telefonleitungen genutzt, um Daten an eine entfernte Leitzentrale zu übertragen. Das Ganze hieß damals in Ermangelung des Internets nicht Internet of Things, sondern Telemetrie.[46] Mit dem Start des Sputnik-Satellits am 4. Oktober 1957 läutete die damalige Sowjetunion die Weltraum-Telemetrie ein, die mit den heutigen Datennetzen wieder ein wichtigerer Teil des IoT wird. Die Tatsache, dass Daten über ein Medium übertragen und woanders verarbeitet werden, ist – zunächst einmal – nichts Neues.

In den 1980ern entwickelte sich die Maschine-zu-Maschine Kommunikation weiter unter dem Begriff Scada (Supervisory Control and Data Acquisition). Darunter versteht man das Überwachen und Regeln technischer Prozesse mit einem Computersystem.[47]

[45] Zennaro (2013, Geschichte IoT).
[46] Unter Telemetrie versteht man die Übertragung von Messwerten eines Sensors zu einer räumlich getrennten Stelle.
[47] Wikipedia (2019, Scada).

- Das streng genommen erste echte IoT-Objekt war ein Getränkeautomat, der 1982 von Wissenschaftlern um den Studenten David Nichols an der Carnegie Mellon University in den USA an das Internet angeschlossen wurde.[48]

Der berühmte Kühlschrank mit Internetanschluss stammt von LG und wurde im Jahre 2000 vorgestellt.[49] Von da an hat sich die IoT-Entwicklung rasant und in viele Richtungen beschleunigt. Zu den Meilensteinen dabei zählen das iPhone, das selbstfahrende Auto Waymo von Google/Alphabet, das Gerät Echo von Amazon und viele weitere.

Die Gartner Group schätzt, dass Menschen im Jahr 2020 ungefähr von 20 Milliarden Smarte Dinge umgeben sein werden. In dieser Definition handelt es sich jedoch „nur" um Objekte des täglichen Lebens, wie Lichtschalter, Smartwatches oder Flugzeugtriebwerke[50] – ohne Universalmaschinen wie PCs, Kleincomputer oder Smartphones.

Was das heutige IoT maßgeblich von den ersten telemetrischen Anwendungen aus dem Anfang des letzten Jahrhunderts unterscheidet, ist vornehmlich die Verwendung der TC/IP Protokolle (des „Internets"). Weitere Treiber der Entwicklung sind Standardisierung, günstig verfügbare Rechenleistung, Miniaturisierung und die breite Verfügbarkeit von Cloud-Computing Ressourcen.

Das IoT ist heute durch drei grundlegende Eigenschaften[51] geprägt, welche die Struktur des IoT ausmachen:

- **Interkonnektivität**: Die Objekte des IoT können die weltweite Kommunikations-, IT und Informationsinfrastruktur erreichen und sich mit dieser verbinden.

- **Heterogenität**: Das IoT ist überaus heterogen und benutzt verschiedenartige Hardware, Software und Kommunikationsinfrastrukturen.

[48] IBM (2018, First IoT).
[49] Das Gerät, „der LG Internet Digital DIOS" kostete ca. 50 Millionen USD Entwicklungskosten und war ein Flop. Er verkauft sich bis heute nur sehr schlecht.
[50] Gartner Group (2017, Leading IoT).
[51] International Telecommunication Union (2012, IoT).

- **Dynamischer Status**: Der interne Zustand der IoT-Geräte verändert sich laufend. Beispielsweise von online zu offline oder von senden zu empfangen. Auch die Anzahl, der Ort oder die Geschwindigkeit des Datentransfers ändert sich fortwährend.

IoT

Der Brite Kevin Ashton gilt als Begründer des Begriffs „Internet of Things" (Internet der Dinge), kurz: IoT.[52] Im Internet of Things vernetzen sich physische und virtuelle Gegenstände oder deren Repräsentationen miteinander und arbeiten durch Informations- und Kommunikationstechniken zusammen. Das IoT ist eine sogenannte „heterogene Technologie", bei den verschiedenen Objekten, Technologien und Protokolle zusammenarbeiten. Dabei hat sich das Spektrum dieser Objekte von relativ einfachen „Funketiketten" (RFIDs) ohne eigene Logik bis hin zu vollständigen Mikrocomputern weiterentwickelt, die ihrerseits einen Teil ihrer Logik von anderen physischen oder virtuellen IoT-Teilnehmern beziehen. Ein Beispiel hierfür sind „Smart Appliances" wie Amazons Alexa.

Cisco definiert:[53]

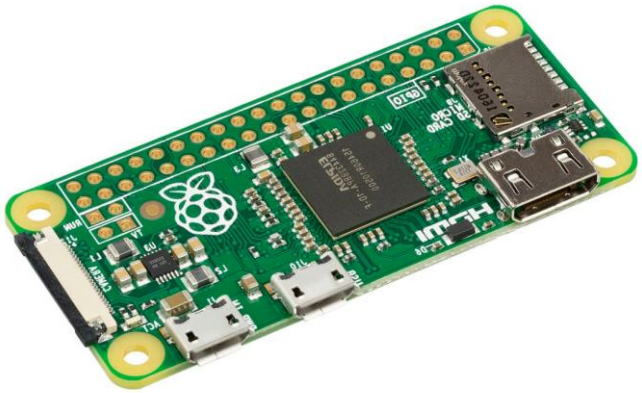
"The Internet of Things (IoT) is the network of physical objects accessed through the Internet, as defined by technology analysts and visionaries. These objects contain embedded technology to interact with internal states or the external environment. In other words, when objects can sense and communicate, it changes how and where decisions are made, and who makes them."

Nicht alle Objekte des IoT sind gleich. Die Bandbreite reicht von einfachen Sensoren bis zu autonomen Fahrzeugen. Tatsächlich aber verschwimmt die Grenze zwischen passiven, „dummen" Dingen und agierenden, „smarten" Dingen im IoT immer mehr. Dies hat mit der Miniaturisierung und der günstiger werdenden klassischen Rechenleistung zu tun. Breiter gefasste Definitionen als die der Gartner Group zählen daher nicht nur „Alltagsobjekte" mit einer Internetverbindung zum IoT, sondern auch höherwertige Objekte, d.h. solche mit einer eigenen Rechenlogik, wie Kleincomputer.

[52] Ashton (2009, IoT Thing).

[53] Cisco (2013, IoT Definition).

Abb. 3: Raspberry pi Zero - Kleincomputer für 5 USD mit der Leistung eines Laptops vor 8 Jahren

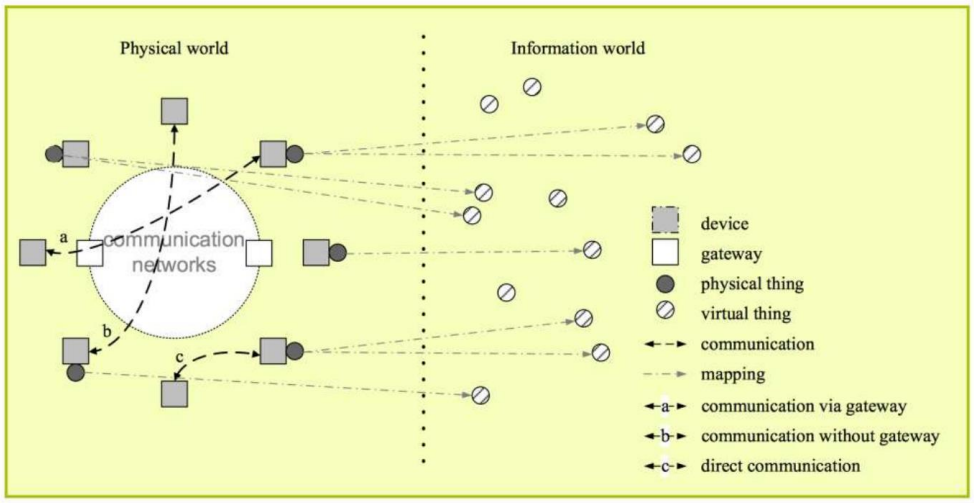


Quelle: Wikipedia (Kleincomputer), 2010

IoT-Geräte können indes sehr komplex werden. Während beispielsweise eine Smartwatch im Allgemeinen eine überschaubare Anzahl von Sensoren hat, können diese bei einer Fabriksteuerung für Co2-Emissionen in die Tausende gehen.

Die erste Phase des IoT war geprägt durch eine Betonung auf den digitalisierten Datenverkehr von einem Sensor zu einem zentralen Speicher. Die zweite, zukünftige Phase, die gerade beginnt, wird sehr viel stärker auch eine zwei-Weg Kommunikation miteinschließen. IoT schlägt eine Brücke zwischen der physischen und der digitalen Welt, wie die unten stehende Grafik verdeutlicht – das beginnt mit physischen Geräten: Die physische Ebene als Repräsentation des IoT in der natürlichen Umgebung ist klar mit dem Begriff der Hardware verbunden.

Abb. 4: Technischer Überblick über IoT



Quelle: International Telecommunication Union, 2012

4.2 NICHT AUF SAND GEBAUT – DER IOT STACK

Grundsätzlich denken die meisten Menschen bei IoT nur an die direkt sichtbaren Geräte, welche die physische Repräsentation des IoT ausmachen. Die Kette an Prozessen, Hard-, Software und Verbindungen, die dem IoT zugrunde liegen, bleiben unter der Oberfläche verborgen – einem Eisberg gleich. Dabei sind diese eigentlich entscheidend – aber aufgrund der Heterogenität sehr viel schwerer zu erfassen.

Dieser Schichtaufbau wird in der Fachsprache „IoT Stack“[54] genannt. Dazu gehören:

- Die physische Ebene, die objekthafte Repräsentation des IoT Objektes in der realen Welt
- Der Gateway, die dynamische Vernetzung zwischen physischer und virtueller Ebene
- Die virtuelle Ebene, wo grundsätzlich die Verarbeitung der aufgenommenen Daten, quasi die virtuelle Repräsentation des IoT Objektes stattfindet

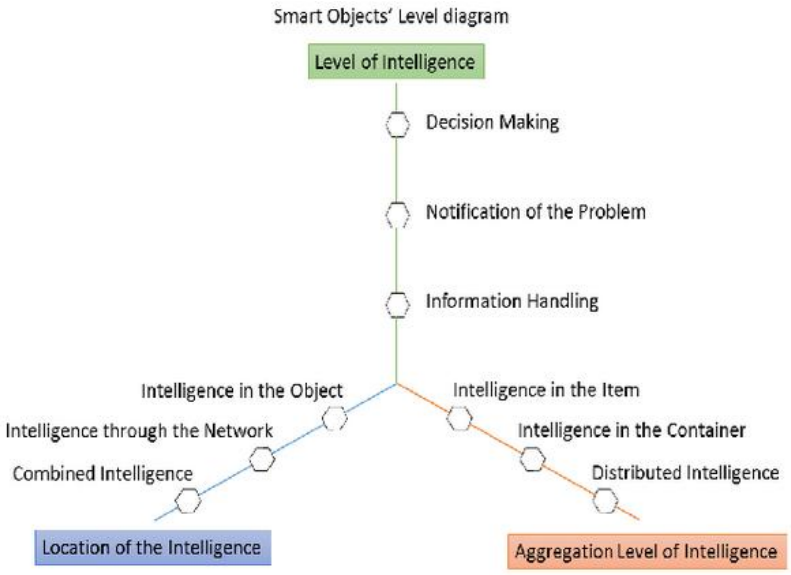
Die letzten beiden Themen münden dabei direkt in die anderen beiden Schwerpunkte dieser Analyse.

- Bei den Gateways wirken die superschnellen Datennetze als Beschleuniger für die Ausbreitung des IoT in Geschwindigkeit (Datendurchsatz) und Masse (Anzahl der vernetzbaren IoT-Geräte). Sie entfernen ein wichtiges „Bottleneck“ – siehe folgendes Thema.
- Auf der virtuellen Ebene ist dies die Datenverarbeitung und die zukünftigen Möglichkeiten des Quantumcomputings und der künstlichen Intelligenz – siehe vorheriges Thema.

Die „Smartheit“ von IoT-Geräten kann dabei anhand von drei Dimensionen klassifiziert werden: Intelligenz (wie autonom agiert das Objekt), Ort der Logik (im Objekt selbst oder im Verbund mit anderen Objekten oder der Cloud) und Aggregationslevel (kann die Intelligenz des Objekts in mehrere offensichtliche physische Teile untergliedert werden). Hier wird diese Klassifizierung von Cristian González García et al., in abgewandelter Form und mit Bezug auf die drei Ebenen des IoT Stack Modells, angewendet.

[54] Es gibt viele verschiedene Varianten, welche auf spezielle Aspekte des IoT und der unterliegenden Prozessverarbeitung miteingehen. Die hier gewählte, einfache Variante des Modells genügt aber, um die Implikationen und den Zusammenhang mit den anderen Teilen dieser Analysen ausreichend zu beleuchten.

Abb. 5: Klassifizierung von Intelligenz basierend auf Meyer´s Klassifizierung



Quelle: Cristian González García, Daniel Meana-Llorián et al., 2017

4.2.1 Physische Ebene – die reale Welt

Nicht alle Objekte des IoT sind gleich und unterscheiden sich nach der Qualität der innenliegenden Logik in passive „dumme" Objekte und agierende „smarte" Objekte. Alle sind dennoch vernetzt und qualifizieren sich dadurch als Teil des IoT.

Auf der untersten Stufe dieser IoT-Logik befinden sich Identifikationstags, sogenannte Funketiketten oder RFIDs.[55] Diese verfügen weder über Sensoren noch eine eingebaute Logik, sondern dienen lediglich zur maschinenlesbaren Identifizierung von Gegenständen, beispielsweise von Postpaketen oder Parktickets. Diesen Teil der primitiven Digitalisierung darf man allerdings nicht unterschätzen. RFIDs spielen heute eine wichtige Rolle, auch wenn sie technologisch unspektakulär sind. IDTechEx, ein spezialisiertes Research-Haus beispielsweise schätzt, dass der RFID-Markt allein in den nächsten Jahren zwischen 11 und 14 Milliarden USD ausmachen wird.[56]

Auf der nächsten Stufe befinden sich Sensoren/Aktoren. Teilweise mit einfacher Verarbeitung der Daten und als Teil eines Regelmechanismus für Maschinen. Ein Sensor ist dabei ein Gerät, welches eine oder mehrere

[55] Englisch für: radio-frequency identification.
[56] IDTechEX (2018, Analysis RFID Industry).

physische Größen messen kann, beispielsweise Licht, Temperatur, Beschleunigung, Druck etc. und dies maschinenlesbar umwandelt, d.h. in elektrische Impulse. Ein Sensor kann aber auch komplexere Daten aus seiner Umwelt wahrnehmen, beispielsweise ein CCD-Chip, der ein Video aufzeichnet. Die Sensoren werden hier häufig ergänzt durch Aktoren, die ein Feedback in die physische Welt zurückgeben können.

Darauf folgen Sensoren/Aktoren, welche Teile von Geräten mit einer eigenen Verarbeitungslogik sind, beispielsweise eine DSLR Kamera mit Internetverbindung oder ein System zur Heimautomatisierung. Die Unterscheidung zu einfachen Sensoren liegt darin, dass Daten bis zu einem gewissen Grad vor Ort interpretiert werden können und ein Teil der Verarbeitung, die Generierung sogenannter Events, lokal stattfindet.

Auf der letzten, höchsten Stufe des IoT befinden sich Systeme, welche mit Sensoren und Aktoren sowie einer eigenen Verarbeitungslogik teilautonome Entscheidungen treffen können. Für gewisse Operationen kann jedoch ein Teil ihrer Logik wieder an ein übergeordnetes System ausgelagert werden, beispielsweise in einer Cloud. Hier liegt die Zukunft. IoT-Geräte auf dieser Stufe sind beispielsweise autonom fahrende Autos oder mobile Robotics-Anwendungen bis hin zu zukünftigen Robotern mit der Fähigkeit, über Quanten-basiertes Cloud-Computing die Stufe generalisierter Kl zu erreichen.

- Die Konvergenz zwischen KI, Quantum Computing und IoT potenziert disruptive Sprengkraft.

4.2.2 Gateways

Der zweite Blick gilt der Verbindung zwischen dem IoT-Gerät und dem Internet, bzw. der Cloud-Ressource bei höherwertigen Anwendungen: dem Gateway.

IoT-Geräte können durch eine Reihe von Methoden mit der virtuellen Ebene verbunden sein, dazu gehören Wifi, Bluetooth, Satellit, Niedrigenergie Funknetzwerke (LPWAN), indirekte Mesh-Networks[57] über andere IoT-Geräte oder auch Ethernet-Verbindungen. Am attraktivsten erscheint natürlich eine kabellose Netzwerkverbindung. Abhängig davon, ob ein IoT-Gerät stationär oder mobil ist, muss dieses gewisse

[57] Bei Mesh Networks ist jeder Netzwerkknoten mit mindestens einem anderen verbunden. Daten werden zwischen den Knoten weitergereicht, bis zum Ziel.

Eigenschaften bezüglich Zuverlässigkeit, Stromverbrauch, Datendurchsatz und Sicherheit gewährleisten. Jede der genannten Varianten hat damit Vor- und Nachteile, muss also anwendungsspezifisch ausgewählt werden. Das Ziel bleibt aber immer, eine Datenverbindung zur Cloud herzustellen.

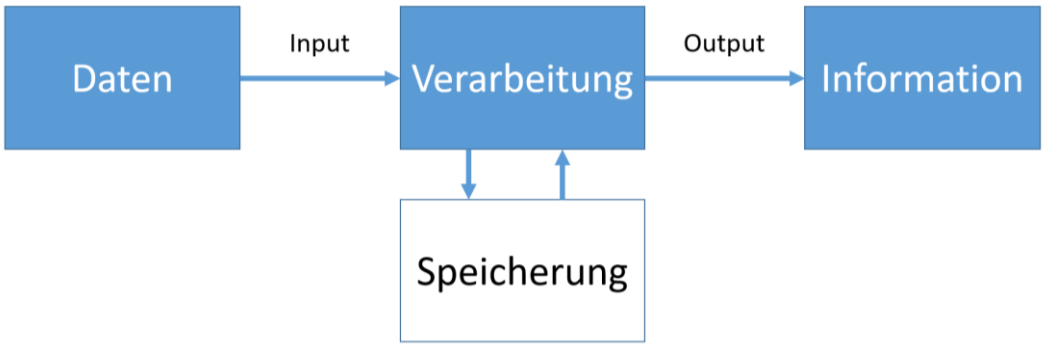
- Eine Technologie, die alle wünschenswerten Eigenschaften besitzt, ist die Mobilfunktechnologie der 5. Generation, welche ausführlich im nächsten Teil der Analyse behandelt wird.

4.2.3 Virtuelle Ebene - die digitale Welt

McKinsey schätzt, dass 90% aller Daten, welche in der Welt existieren, in den letzten beiden Jahren „produziert" worden sind.[58] Viele davon stammen aus dem IoT-Umfeld. Sobald die Daten über den Gateway in der virtuellen Ebene angelangt sind, werden sie von einer Software verarbeitet. Das physische IoT Objekt wird durch seine Daten und eine abstrahierte Anzahl an Services repräsentiert. Grundsätzlich erfolgt die Verarbeitung auf der virtuellen Ebene einem einfachen Modell: Daten aus der physischen Ebene werden mittels Verarbeitungsprozessen zu Informationen umgewandelt.

Die Verarbeitung erfolgt nach einem strukturell einfachen Datenverarbeitungszyklus, wobei wie erwähnt, die Verarbeitung selbst beliebig komplex sein kann und sich beim Thermostat von einem (teil)autonom handelnden Roboter stark unterscheidet.

Abb. 6: Verarbeitungsprozess von Daten



Quelle: Eigene Darstellung

[58] McKinsey (2018, Digital strategies fail).

Bezüglich des Ortes der Verarbeitung ist insbesondere das Edge-Computing von Interesse. Edge-Computing ist eine Datenverarbeitung möglichst nahe am IoT-Gerät, d.h. vor oder am Rande der Cloud. Verarbeitungsressourcen müssen dabei ebenfalls nicht physisch vorhanden sein, sondern können virtualisiert im Netzwerk zusammengezogen werden, wo sie benötigt werden. Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang die Virtualisierung von Verarbeitungsressourcen nahe des Gateways.

4.3 ZUKÜNFTIGE HERAUSFORDERUNGEN DES IOT

Mit der globalen Skalierung und dem Wachstum des IoT entstehen eine Reihe neuer Herausforderungen. Dies betrifft einerseits die physische Seite der Geräte, aber auch die virtuelle Ebene, die Cloud.

Auf der **physischen Seite** sind vor allem drei Problemfelder von Interesse:

1. **Device Management**

Die meisten Hersteller von IoT-Geräten haben Probleme mit der Instandhaltung ihrer Geräte, die oft tausende von Sensoren oder höherwertigen Strukturen umfassen. All diese Geräte müssen beispielsweise mit Firmware Updates zum Erhalt Ihrer Funktion und zum Schutz gegen Hacker ausgerüstet werden.

2. **Fehlende Standardisierung**

Von den zehntausend IoT-Geräten haben die meisten ihren eigenen Standard und ihre eigenen Steuerungsoptionen. Das erhöht Anfälligkeit, Aufwand und Angreifbarkeit. Zusätzlich befinden sich die IoT-Geräte im Zustand konstanter, teils sprunghafter Weiterentwicklung unter enormem Zeit- und Kostendruck.

3. **Compliance**

Es muss sichergestellt werden, dass die IoT-Geräte richtig funktionieren, einerseits wegen Business- oder rechtlichen Anforderungen, andererseits aufgrund von Vorgaben der Applikation sowie Nutzererwartungen.

Aus diesen drei Bereichen ergeben sich auch Potentiale für Firmen, bzw. Investitionen in Unternehmen, die das IoT vorantreiben. Beim Device Management gilt es, konsistente, verfügbare und sichere Datenbanken und Management-Systeme für den Betrieb der Geräte aufzubauen. Aufgrund der explodierenden Zahlen der IoT Geräte, keine leichte Aufgabe. Hier sind Datenbank-Entwickler und Spezialfirmen gefragt, die hardwarenahe Software entwickeln und warten können. Die Standardisierung bevorzugt Großunternehmen, die über Marktmacht verfügen, um diese Standards zu setzen. Dies gilt umso mehr, als dass diese Standards nicht national etabliert werden, sondern sich global durchsetzen müssen. Die zwei Bestandteile des Bereichs Compliance eröffnen Potentiale für Firmen, die die Schnittstelle zum Benutzer (kurz UX) beherrschen – und selbstverständlich auch rechtliche Aspekte.

Die Herausforderungen des IoT **seitens der Cloud** werden gut durch Eric Brewers CAP Theorem[59] beschrieben. Brewer definiert drei Eigenschaften eines verteilten Systems, von denen nur zwei jeweils erfüllt werden können:

- Konsistenz (Consistency): Alle Devices haben Zugriff auf die identischen Daten
- Verfügbarkeit (Availability): Alle Devices können Informationen aus der Datenbank lesen oder in die Datenbank schreiben
- Ausfalltoleranz (Partition): Das System funktioniert, auch wenn Teile der Datenbank oder Datenverbindungen ausfallen

Dies ist entscheidend: In Zukunft und mit dem Aufkommen von KI und teilautonomen Robotern werden immer mehr IoT-Geräte große Datenbanken mit rechenintensiven Machine-Learning Funktionen benötigen. Deren Informationen müssen schnell und zuverlässig abgerufen werden können. Das bedeutet, diese Datenbanken müssen ständig aktuell, fehlertolerant und konsistent gehalten werden.[60]

IoT Systeme sind daher großen Gefahren im laufenden Betrieb ausgesetzt - und mit der Durchdringung der Welt resultiert dies auch in immer größeren Unfallrisiken: Wenn der IoT Stack, d.h. entweder die physische oder virtuelle Ebene nicht funktionieren, kann dies zu zusammenhängenden, systemkritischen Risiken führen:[61]

Convoy-Effekt: Wenn IoT-Geräte, die Gateways oder die Cloud-Anwendung zu langsam sind, türmen sich mit der Zeit die zu verarbeitenden Anfragen auf und das System verliert jegliche Chance auf Realtime request/response Funktionalität. Reaktionen und Verarbeitung in Echtzeit sind äußerst wichtig für viele kritische Anwendungen der Zukunft, man denke beispielsweise an autonome Fahrzeuge.

Die Folge des Convoy-Effekts sind sogenannte **Reboot storms**: Sobald das Gesamtsystem in eine kritische Überlastungsphase kommt, stürzen Prozesse, Events und Verbindungen ab. Um irgendwie wieder funktionieren zu können starten sich die IoT-Geräte neu – in alten Cloud-Umgebungen kann die gesamte

[59] Gilbert S. and Lynch N. (2002, CAP Theorem), S. 51-59.

[60] Die frühen Programmierer des IoT sahen die Cloud als ein verteiltes Computersystem, aus dem man nach Belieben Rechenkapazität für eigene gekapselte Anwendungen mieten konnte. Allerdings skalieren diese Lösungen schlecht. Viele neuartige Businessmodelle und Anwendungen, wie beispielsweise Atlas von MongoDB versuchen, diese Probleme zu lösen.

[61] Cornell University (2019, Risk IoT-System).

Struktur abstützen – ein Supergau für IoT-Anwendungen, von denen kritische Maschinen oder gar Menschenleben anhängen.

Selbst wenn der Totalabsturz vermieden werden kann, sind die Folge von Convoy-Effekten oft dennoch sogenannte **Inconsistency storms**: den verteilten Datenbanken liegen plötzlich alte Daten vor, was dem Gesamtsystem zusätzlich zu schaffen macht.

Auf der Cloud-Seite arbeiten tausende Menschen daran, diese Probleme zu lösen oder zumindest die Risiken zu mitigieren: Während die beschriebenen Probleme intuitiv als überschaubar angesehen werden können, muss man sich die Bandbreite der Durchdringung der Welt mit Geräten, die zum IoT gehören, vor Augen führen: Je mehr das Alltags-Leben von IoT abhängt, desto größer wird die Gefahr durch operationelle Probleme, Ressourcen-Engpässe, aber auch Sicherheitsaspekte.

Schon heutzutage hört man immer häufiger von Cyberattacken und Cyberwarfare.[62] Je stärker das IoT alle Aspekte des Lebens durchdringt, desto größer werden die Gefahren. Forbes schätzt, dass die Ausgaben für Cybersecurity im 2019 allein ca. 125 Milliarden USD betragen werden.[63]

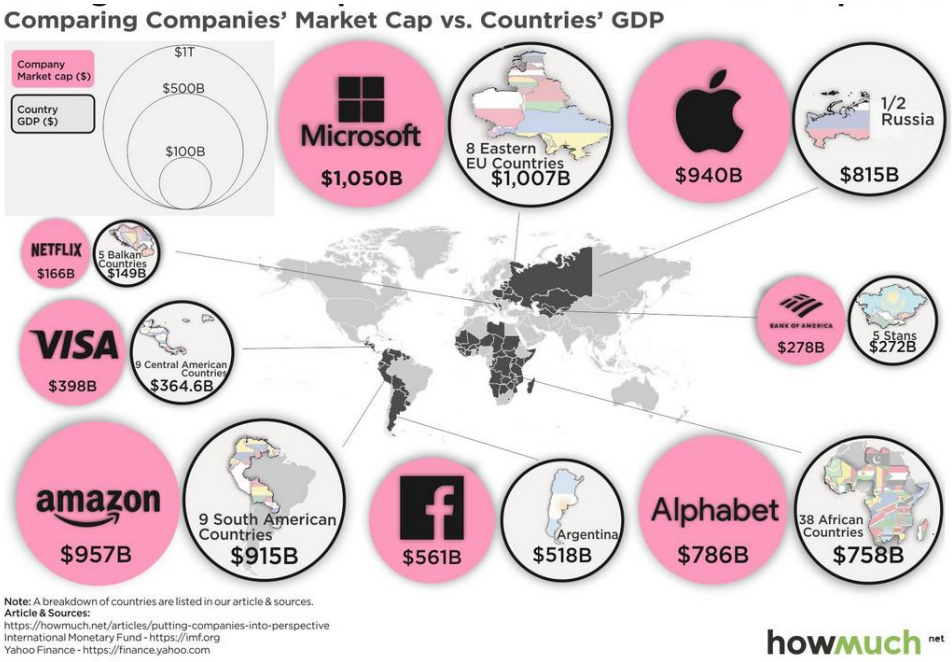
4.4 DIE SCHLEICHENDE DISRUPTION?

Die Durchdringung der Welt mit IoT vollzieht sich schleichend. Stellt man dieses „Gefühl“ den ungeheuren Zahlen gegenüber, in denen IoT-Geräte schon heute in der Welt vorkommen, so kann man behaupten, dass es sich auch hier um eine exponentielle Entwicklung handelt.

IoT und die damit einhergehenden Möglichkeiten, verändern nicht nur einzelne Industrien, sondern auch die Industrie-Grenzen nachhaltig. Es geht nicht länger um einzelne Produkte, sondern die Leistungsfähigkeit industrieller Systeme. Diese Entwicklung begünstigt die Monopolbildung. Einzelne Firmen erreichen so die gleiche Marktkapitalisierung wie das Bruttosozialprodukt ganzer Länder:

[62] Für eine ausführliche Diskussion zu diesem Thema vgl. Gazula (2017, Cyberwarfare).
[63] Forbes (2019, Cybersecurity).

Abb. 7: Übersicht zur wirtschaftlichen Schlagkraft von US Unternehmen



Quelle: Howmuch, 2019

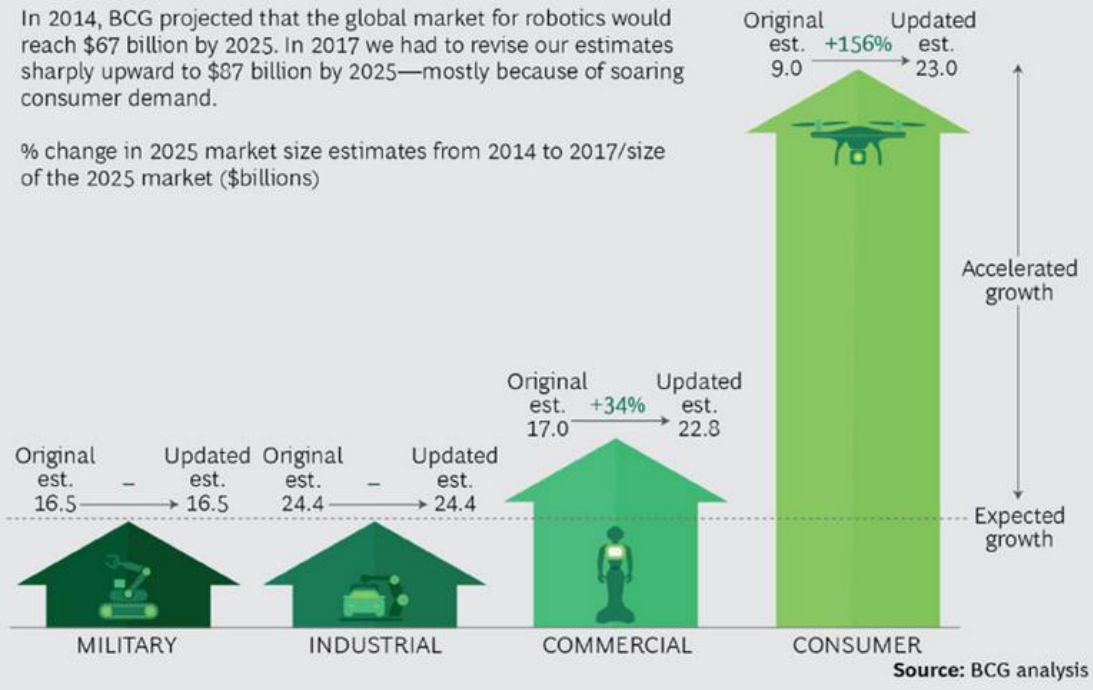
Auf politischer Ebene wird IoT zu einem immer größeren Einflussflussfaktor. Philip Howard, Professor am Oxford Internet Institute, argumentiert:

"By 2020 there will be some 30bn devices connected to the Internet, and political power over the 8bn people on the planet will rest with the people who control those devices." [64]

Die Konsequenzen aus dem IoT sind also auf vielen Ebenen riesig – dabei sieht man gerade einmal die Anfänge von mobile Robotics, (teil)autonome IoT Systeme, welche die Klasse der „dummen" Sensoren weit hinter sich lassen und enormes Wachstum erfahren – mehr als erwartet, wie der Robot Report bezüglich einer Studie von BCG feststellt. Sie werden es sein, die zusammen mit KI das Leben von Morgen bestimmen.

[64] Howard (2015, Influence), S. 224.

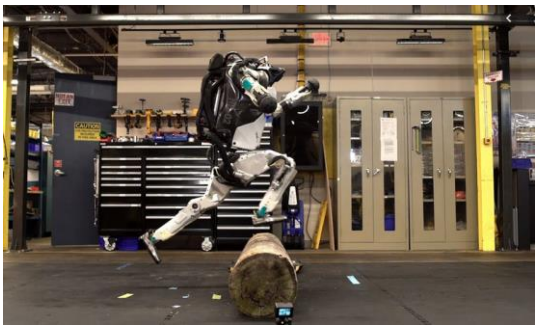
Abb. 8: Robotik-Markt wächst stärker als erwartet



Quelle: BCG, 2017

Einen Blick in die Zukunft gibt die Firma Boston Dynamics. Sie kommt ursprünglich aus der Verteidigungsindustrie und hat inzwischen mehrfach den Besitzer gewechselt. Heute gehört die dem japanischen Telekommunikations- und Medienkonzern Softbank. Sie hat sich spezialisiert auf Mensch- und tierähnliche Roboter. Der bekannteste menschenähnliche Prototyp hört auf den Namen „Atlas“.

Abb. 9: Autonomer Roboter Atlas



Quelle: BostonDynamics, 2018

Neben den ursprünglichen Herausforderungen von Bewegungsabläufen, stehen heute autonome Navigation und die Durchführung von Aufgaben mit Maschine zu Maschine Kollaboration im Vordergrund. Seit kurzem bietet Boston Dynamics auf Ihrer Website einen Roboterhund namens „Spot“ an, der autonom durch

verschiedenste Terrains laufen kann (inklusive Treppen) und auch fähig ist, in Kollaboration mit anderen „Hunden“ beispielsweise Türen zu öffnen.

Doch IoT geht auch einfacher und ist ein Beispiel für die Ubiquität des Themas. Eine Krankenschwester aus Norwegen hatte folgende Idee: Kinder mit schweren Krankheiten werden im Krankenhaus oft isoliert und vereinsamen dadurch. Ist die Krankheit geheilt, fällt der Weg zurück ins Leben oft sehr schwer und führt mitunter zu langzeitigen Schädigungen. Karen Dolva gründete mit zwei Kollegen das Startup No Isolation. Dieses baut Kommunikationshilfen, um die unfreiwillige Einsamkeit und soziale Isolation in der Gesellschaft zu reduzieren.[65] Dazu entwickelt *No Isolation* Roboter, die die Augen, Ohren, aber auch den Mund des Kindes in der sozialen Gruppe (beispielsweise im Klassenzimmer) vertreten. Das Kind kann somit am gewohnten Umgang mit Klassenkameraden und Freunden teilnehmen.

Abb 10: Roboter AV1 des Startups No Isolation in Aktion

Quelle: Noisolation

In Zukunft ist davon auszugehen, dass Anwendungen im Bereich von Virtual und Augmented Reality diese vergleichsweise einfache IoT-Idee perfektionieren. Schon heute ist es mit Geräten wie der Hololens 2 von Microsoft möglich, die virtuelle und reale Welt mithilfe sogenannter Hologramme zu verbinden. Diese

[65] Noisolation (2019, Isolation)

Technologie hat ein enormes Potential und wird, so darf vermutet werden, beizeiten das Smartphone ersetzen.

IoT ist die Zukunft. IoT saugt das Wohnzimmer, IoT überwacht den Blutdruck. IoT wird das Leben erleichtern, Straftaten verhindern oder mittels Sensorik und Regelwerken Kohlendioxid-Emissionen reduzieren. Gerade in Kombination mit KI und Edge-Computing sind in naher Zukunft große Fortschritte zu erwarten, da durch intelligente, ausgelagerte Algorithmen die Funktionalität und Nützlichkeit von IoT-Geräten massiv erhöht werden kann. Die Kehrseite ist, dass mit zunehmender Durchdringung auch die Gefahren steigen. Es können Menschenleben gefährdet, der Ruf von Firmen in Sekunden ruiniert oder Millionen von EUR Marktkapitalisierung mit einem Schlag verloren gehen.

5. SUPERSCHNELLE KOMMUNIKATIONSNETZE ALS „BESCHLEUNIGER“

In den vorangegangenen Kapiteln dieser Analyse wurde über KI als Disruptor, Quantumcomputing als Game Changer und über IoT als Interface gesprochen. Dabei ist auch schon die Thematik „Datenübertragung“ zur Sprache gekommen. Obwohl die simplen, nicht smarten IoT Geräte (Sensoren) nur wenig Bandbreite benötigen (man schätzt, dass 75% aller Industriesensoren weniger als 1 Megabyte an Daten pro Monat erzeugen), so explodiert dennoch die schiere Anzahl dieser einfachen „Dinge“ mit der fortschreitenden Digitalisierung – und auch die Zahl höherwertiger, datenintensiver IoT-Objekte steigt rasant. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **Massive IoT**. Die bisherigen drahtlosen Kommunikationsnetze sind hierfür nicht ausgelegt und ein Flaschenhals für die Entwicklung des IoT, insbesondere mobiler Robotik und der KI.

Es wird zukünftig ein Datennetz benötigt, welches gleichermaßen schnell, skalierbar, sicher und versatil ist – ein Übertragungs-Medium zur Verbindung der Laborwelt von Datencentern, KI und physischen Cloud-Ressourcen mit der realen Welt. Die Welt der smarten Dinge, die uns schon heute umgeben, aber in Zukunft noch viel stärker umgeben werden. Dieses Datennetz und der Beschleuniger für alle in dieser Analyse behandelten Trends wird die Mobilfunktechnologie ab der 5. Generation (kurz: 5G) sein.

5.1 KLEBSTOFF UND KATALYSATOR

Was ist 5G eigentlich? 5G bedeutet nichts anderes als 5. Generation. Gemeint ist damit die 5. Generation von Mobilfunknetzen. Dies impliziert, dass bereits 4 Vorgänger ausgerollt wurden. Beim ersten privaten Mobilfunknetz stand die Sprachtelefonie an einziger Stelle. Es handelte sich um eine analoge Technologie, mit klobigen Telefonen und koffergroßen Batterien. 1997 startete 2G, die zweite Mobilfunkgeneration, dieses Mal digital, wesentlich kleiner und mit einer Übertragungsrate von maximal 100Kbit/Sekunde (6.25 Kbyte/Sekunde) – die Übertragung der Daten einer Compactdisk (CD) – inzwischen auch schon antiquiert – hätte unter optimalen Bedingungen ca. 29 Stunden gedauert. Bei 2G ging es daher um Sprache und nur um ganze einfache digitale Dienste, wie SMS.

- Es scheint so, als ob die ungeraden Mobilfunkgenerationen (1G/3G/5G) immer einen revolutionären Sprung darstellen würden, während die geraden Mobilfunkgenerationen (2G/4G) nur inkrementelle Verbesserungen sind. Die Nutzungszeit beträgt jeweils ca. 20 Jahre, d.h. 10 Jahre Aufbau und 10 Jahre Betrieb, bis der technische Standard völlig ersetzt wird. Aktuell diskutiert man über die Abschaltung der 3G Netze.

Mit den nächsten Ausbaustufen, EDGE und 3G kam die erste Revolution im Mobilfunk: Apples erstes Smartphone, am 9. Januar 2007 von Steve Jobs vorgestellt, veränderte die Welt. Das iPhone war ein radikal neues Gerät und die Basis für jedes Smartphone heute. Per UMTS/HSPA Standard ermöglichte 3G maximal 42Mbit/Sekunde, also ca. 5MByte/Sekunde. Für aufwändiges Streaming und Tablets reichte dies allerdings noch nicht – und so brachte 4G mit LTE und LTE Advanced schließlich ein Gigabit/Sekunde oder ca. 125 Mbyte/Sekunde.

Nun könnte man sich fragen, ob die genannten Datenraten nicht gut genug sind für sehr, sehr viele Anwendungen. Dazu ist folgendes zu sagen: Alle Werte gelten nur unter Laborbedingungen, im realen Einsatz sind die Datenübertragungsraten viel geringer. Daneben gelten die Raten nur für den Download, der Upload von Daten ist erheblich langsamer. Nicht nur die Datenrate, sondern auch die Anzahl eingebundener Geräte ist bei der aktuellen Technologie 4G begrenzt. Die Anwendungen der Zukunft werden mehr benötigen: Mehr Datendurchsatz, mehr Reaktivität, mehr Geräte (nicht unbedingt Mobiltelefone) pro Raumeinheit. Die Tatsache, dass heutige Anwendungen vielleicht mit dem 4G-Netz (sofern es ausgebaut ist) zurechtkommen, heißt nicht, dass man auch Zukunftstechnologien darauf aufbauen könnte – von denen man heute nicht weiß, welche Anforderungen sie haben werden. Der Mensch unterschätzt notorisch das Potential exponentieller

Entwicklungen: So soll Thomas J. Watson, ehemaliger Chef von IBM einmal gesagt haben: „Ich glaube, dass es auf der Welt einen Bedarf von vielleicht fünf Computern geben wird.“[66]

Schon heute sind die Grenzen herkömmlicher, auch drahtgebundener, Übertragung an einigen Stellen erreicht. Moderne UHD-II Fernseher lösen das Bild mit ca. 33 Millionen Bildpunkten auf. Falls sich diese Technologie verbreitet, ist die Volumengrenze für die Zuspielung individueller Fernsehinhalte in Haushalte durch heutige Methoden überschritten. 5G wäre eine Alternative, insbesondere wenn Inhalte zusätzlich digital aufbereitet werden müssen (durch Edge Computing), beispielsweise für die Skalierung niedrig auflösender Inhalte. Der Fernseher könnte durch verbaute 5G Modems und Router für die Haushalte sogar eine Renaissance als private Verbindungszentrale erleben. Firmen wie Samsung und Huawei arbeiten bereits daran.

Um zu zeigen, wie viel mächtiger als bisherige Lösungen 5G sein wird, sind vor allem drei Merkmale wichtig:[67]

- Datenraten bis 10 Gbit/Sekunde – 5G ist damit das drahtlose Äquivalent zur Glasfaser
- Weltweit über 1000 Milliarden Mobilfunkgeräte gleichzeitig ansprechbar – genug für massive IoT Anwendungen
- Latenzzeiten bis unter 1 Millisekunde – ein Bruchteil der aktuellen Technologie und Bedingung für Realtime oder near Realtime Anwendungen

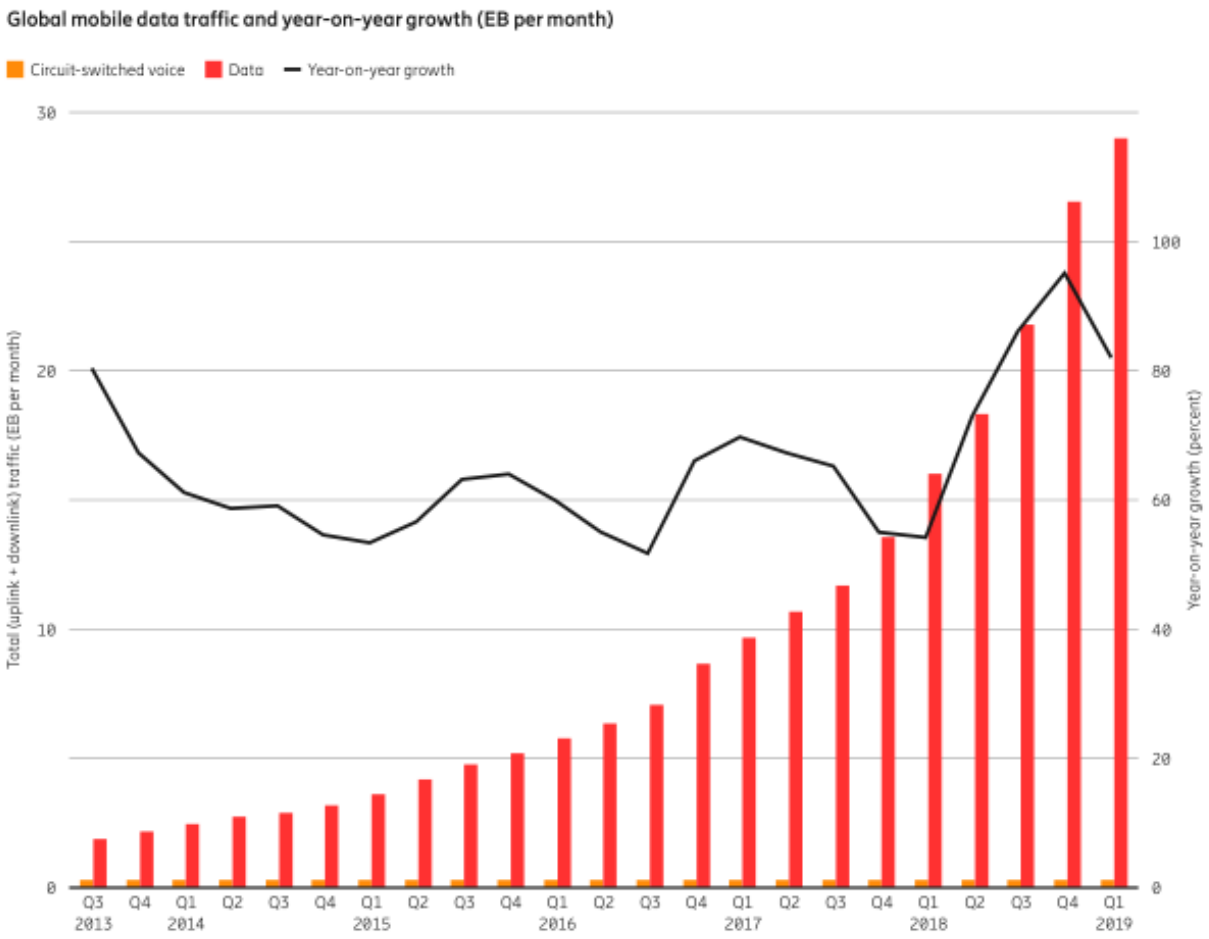
➢ Während Europa die Entwicklung um 1G und 2G angeführt hat, war die USA führend bei den Themen 3G und 4G. Die entsprechende wirtschaftliche Leistung, die in den USA erzeugt wurde, umfasst ungefähr 100 Milliarden USD und hunderttausende von Jobs.[68] Im Bereich 5G hat nun China aktuell die Führungsposition. Über die Hintergründe und Implikationen wird noch zu sprechen sein.

Sprachtelefonie spielt bei 5G überhaupt keine Rolle mehr. Durch Applikationen mit Telefonie-Unterstützung wie WhatsApp (westliche Welt), WeChat (China), Threema (DACH Region), Signal (weltweit, besonders in repressiven Ländern) etc. ist die Notwendigkeit, Provider-vermittelte Gespräche, dass, was man unter normalem Telefonieren versteht, völlig in den Hintergrund getreten. Alle diese Applikationen bieten

[66] https://de.wikipedia.org/wiki/Thomas_J._Watson.
[67] OECD Publishing, The Road to 5G Networks, OECD Digital Economy Papers No. 284, July 2019, Seite 10.
[68] Recon Analytics: How America’s Leading Position In 4G Propelled the Economy, April 16, 2018.

verschlüsseltes Voice-over IP (Internet-Telefonie). Die klassische Wahltelefonie wird immer weniger genutzt. Ericsson verdeutlicht dies im Mobility Report vom Juni 2019 durch folgende Grafik:

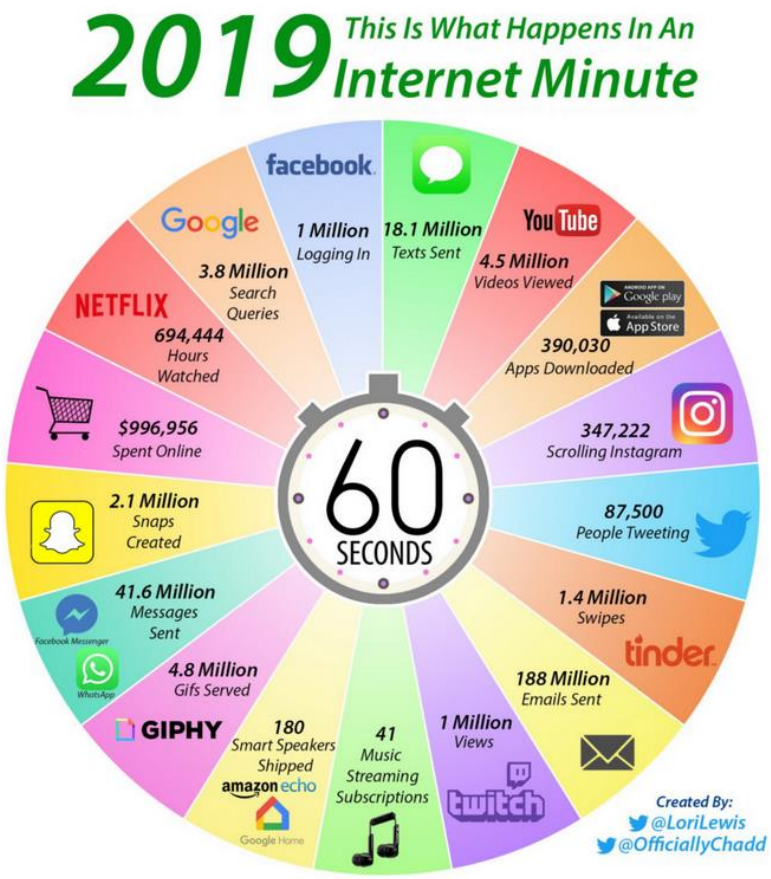
Abb. 11: Weltweites mobiles Datenvolumen und Sprach-Telefonie



Quelle: Ericsson Mobility Report, Juni 2019

Ericsson zeigt eindrücklich die exponentiell steigenden Volumina drahtlos übertragener Daten. Aktuell wächst dieses Volumen mit ca. 20% pro Jahr; dies bedeutet eine Verdoppelung alle vier Jahre. Das Sprach-Telefonie-Volumen verharrt auf kaum mehr nennenswertem, konstantem Niveau. Warum und für was werden so viele Daten verbraucht? Die bekannte Grafik „This is what happens in An Internet Minute“ gibt Auskunft.

Abb. 12: Was innerhalb einer Internet-Minute passiert



Quelle: Lori Lewis Merge Archives via Twitter, 2019

Anhand dieser Dimensionen und den Wachstumsraten wird klar, dass allein durch das Volumen übertragener Daten neue mobile Lösungen nötig werden. 5G muss um ein vielfaches potenter sein, als die aktuellen Mobilfunkstandards. Hinzu kommt der Aspekt, dass die Latenzzeit des 5G-Netzes, d.h. die Zeit, die das Netz selbst braucht, um auf eine Anfrage zu reagieren, stark verkürzt werden muss. Dies ist für viele Zukunfts-Anwendungen eine kritische Bedingung. Stellen Sie sich ein autonom fahrendes Fahrzeug vor, welches mit 120km/h in einer Kolonne im Windschatten fährt, um Energie zu sparen. Hier ist es durchaus „interessant“, wann das vorderste Fahrzeug bremst – und wie viel Zeit vergeht, bis das eigene mit dem Kommunikationsnetz verbundene Fahrzeug dann reagiert.

Die technologische Fähigkeit, schnell große Mengen an Daten mobil zu übertragen, ist eine Grundbedingung heutiger und zukünftiger Anwendungen der Digital Economy. Dies akzentuiert sich mit zunehmendem Digitalisierungsgrad der Wirtschaft. Der Ausbau der Mobiltechnologie (früher einmal „Datenautobahn“

genannt) ist also für Staaten und Wirtschaftsräume keine Option, sondern eine **conditio sine qua non,** um in der Zukunft bestehen zu können.

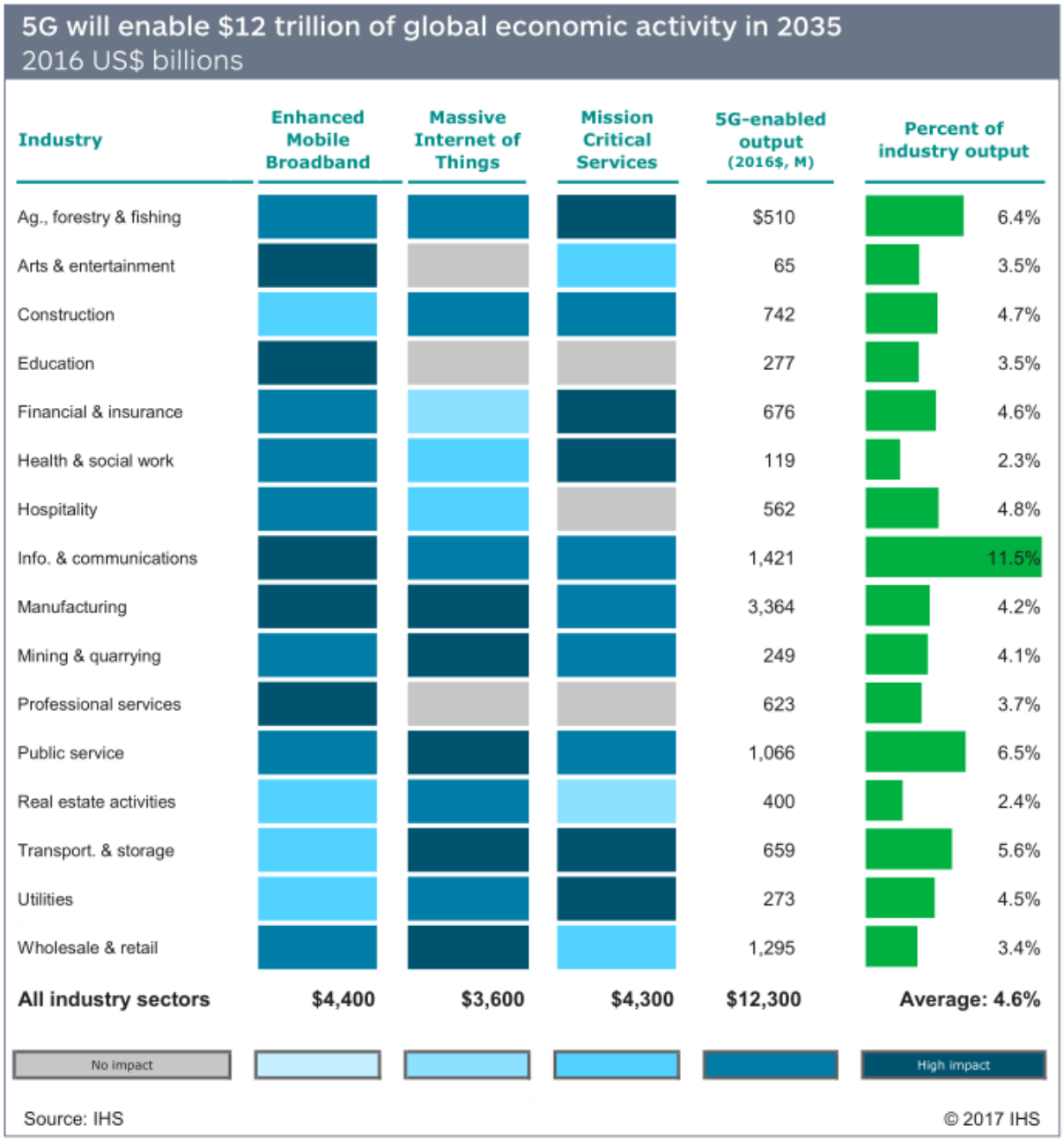
- 5G Mobilfunk ist darüber hinaus eine sogenannte **Enabler-Technologie**. Dazu gehören beispielsweise die Dampfmaschine oder das Internet. Eine Enabler-Technologie macht eine Reihe von Folge-Innovationen überhaupt erst möglich. Enabler Technologien, die den sogenannten Tipping-Point erreichen, führen zu transformativen, oft disruptiven Veränderungen ganzer Industrien.

Fast alle Zukunftstechnologien übertragen ein großes Volumen an Daten, von e-Health zu autonomem Fahren, Virtual Reality, Robotik, Gaming etc. Diese benötigen ein leistungsfähiges und stabiles Netzwerk. Daher ist 5G entscheidend – und wer voranschreitet, wird auch in den nächsten Jahren in vielen Bereichen die Chance auf eine Technologieführerschaft haben.

Die neuen Möglichkeiten von 5G werden zu Wachstum und Produktivitätszuwachs in verschiedensten Branchen führen.[69] In einer Studie über den Einfluss von 5G auf die Produktivität und das Wirtschaftswachstum schätzt IHS beispielsweise, dass 5G einen Beitrag von 4.6% der realen globalen Wirtschaftsleistung im Jahr 2035 erreichen könnte. Je nach Wirtschaftssektor sind dabei die Beiträge unterschiedlich. Insbesondere in der Informationstechnologie, aber auch in der Landwirtschaft und in Public Services, ist der Einfluss sehr signifikant und wird mit grundlegenden Veränderungen in diesen Sektoren einhergehen.[70]

[69] OECD Publishing, The Road to 5G Networks, OECD Digital Economy Papers No. 284, July 2019, Seite 5.
[70] The 5G Economy: How 5G Technology will contribute to the global economy, IHS, Januar 2017, Karen Campbell, Jim Diffley et al.

Abb. 13: Beitrag von 5G zur weltweiten Wirtschaftsleistung im Jahr 2035

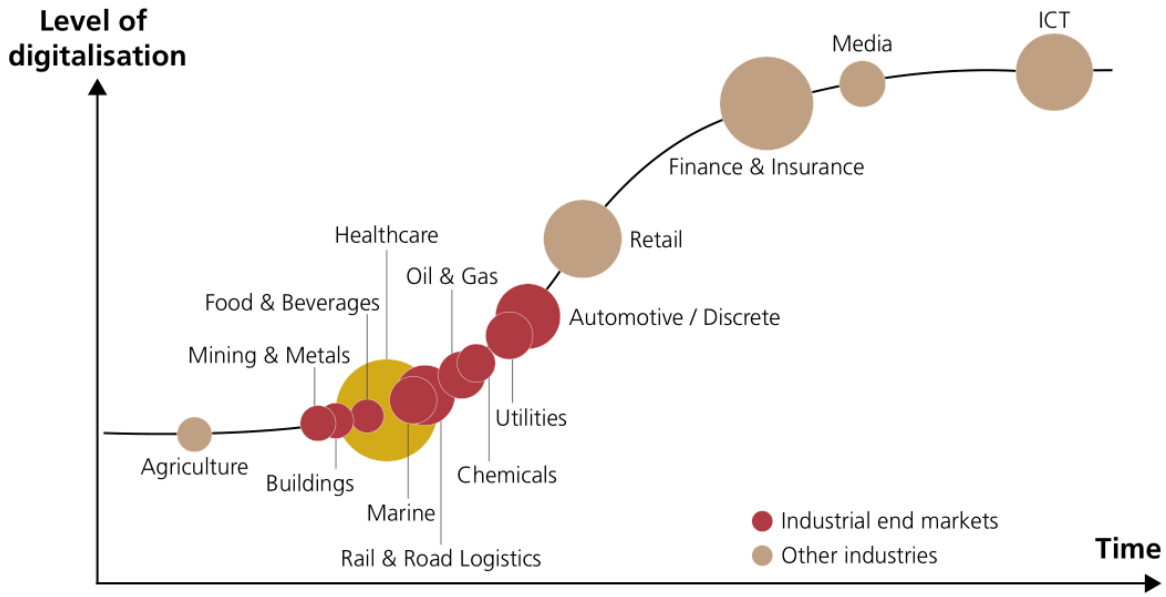


Quelle: IHS, 2017

- Auch die Struktur der Wirtschaft selbst könnte sich verändern. Die australische Regierung geht beispielsweise davon aus, dass 5G ein Treiber der sogenannten „Sharing Economy" sein wird.[71] In dieser werden Produktionsmittel von Privathaushalten mehr und mehr kommerzialisiert und so die Grenze zwischen Wirtschaft und Privathaushalt verwischt.

Im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung sind die Sektoren am interessantesten, von denen das meiste disruptive Potential ausgeht, bzw. wo Veränderungen durch die neuen technischen Möglichkeiten am markantesten sind. An dieser Stelle ist der Healthcare-Markt erwähnenswert: UBS schätzt, dass die Digitalisierung im Healthcare Bereich anderen Industrien weit hinterherhinkt. Das Potential ist umso größer, denn Demographie und erhöhte Lebenserwartung tragen dazu bei, dass dieser Sektor einen immer wichtigeren Anteil der Wirtschaftsleistung eines Landes einnimmt. Schon heute nimmt das Thema Health-Tech ein Wirtschaftsvolumen von ca. 100 Milliarden USD ein. Man schätzt, dass das Gesundheitswesen aktuell 5% aller weltweiten Digital-Daten erzeugt.[72] Telemedizin, Sensorik, Überwachung und Health-IoT werden große Wachstumsfelder der nächsten Jahre sein.

Abb. 14: Das Gesundheitswesen als wenig digitalisierte Industrie



Quelle: UBS Longer Term Investments, 2018

[71] Australian Government, Department of Communication and the Arts, Impacts of 5G on productivity and economic growth, April 2018, Working paper.

[72] UBS Longer Term Investments: HealthTech. Chief Investment Office Americas, Wealth Management, 28 June 2018, Lachlan Towart, Sundeep Gantori.

5.2 5G – NICHT NUR DRAHTLOS!

Obwohl 5G eigentlich immer mit drahtlosem Mobilfunk gleichgesetzt wird, handelt es sich dabei eigentlich um ein sogenanntes **„Het Net“,** ein heterogenes Netz, welches eine ganze Reihe von Subtechnologien miteinschließt, d.h. bei weitem nicht nur aus Funkmasten und Sendeantennen besteht.

Die 5G Hardware besteht aus sehr viel mehr Komponenten, als nur die handballgroßen „Small Cells“, die sich symbolisch als „5G-Antennen“ etabliert haben: Die Hauptlast bei der Versorgung werden zunächst technisch erweiterte, umgerüstete 4G Antennen tragen und diese werden, beispielsweise in Ballungsgebieten durch kleine und lokale Antennen und eben Small Cells ergänzt. Zur Übertragung über größere Strecken wird Glasfaser oder auch Satellitenübertragung zum Einsatz kommen. Bezüglich der Nutzung verschiedener Frequenzbänder gibt es Varianten im unteren (700MHz), mittleren (1.5-5GHz) und hohen (20-70GHz) Bereich. Einige der Vorteile von 5G, welche die Technologie letztlich so potent machen, werden nur in den höheren Frequenzbändern möglich sein.

Charakteristisch für die Kerntechnologie von 5G sind die sogenannten **Millimeter Waves**, ein Hinweis auf die höheren Frequenzen, welche eine deutlich größere Datenübertragung ermöglichen. Dazu kommen weitere technische Neuerungen, wie das sogenannte massive **multiple-input-multiple-output (kurz: Massive Mimo)**, welches die Antennenkapazität durch Parallelverarbeitung stark erweitert – zusammen mit dem sogenannten **Beamforming** (gerichteten Wellen) und der **Duplexfähigkeit** (gleichzeitiges Senden und Empfangen von Daten).

Abb. 15: Übersicht wichtiger 5G Charakteristika

Quelle: Patently Apple, 2017

5.3 WER HAT 5G ENTWICKELT?

Die technischen Eigenheiten von 5G klingen aufwendig und das trifft in der Tat zu: Im Jahr 2018 wurden für 5G insgesamt ca. 54.000 sogenannte SEPs (Standard Essential Patents) deklariert. Dies sind Patente, die jede Firma, welche einen standardisierten 5G Service bereitstellen will, verwenden muss. Sie werden in sogenannten Patentfamilien zusammengefasst.

Die chinesische Huawei hat dabei den größten Anteil an Patentfamilien (1554), gefolgt von Nokia (1427), Samsung (1316), LG (1274) und ZTE (1208) – die erste US-Amerikanische Firma ist Intel mit „nur" 551 Patentfamilien.[73] Dies gibt bereits einen Hinweis darauf, warum 5G eine so prominente Rolle beim aktuellen „Handelskrieg" einnimmt: Sie ist eine zivile und militärische Schlüsseltechnologie.

Explizit genannt werden muss an dieser Stelle die Firma Huawei. Huawei hat mit Forschung an der 5G Technologie bereits im Jahr 2009 begonnen und verfügt in verschiedensten Bereichen immer noch über einen Vorsprung. Die Firma hat in den vergangenen zwei Jahren ihren Marktanteil verdoppelt und damit beispielsweise die amerikanische Cisco überholt. Es ist Asien, insbesondere den Chinesen gelungen, ihre Forschung und Entwicklung so weit voran zu treiben, dass die eigenen Firmen inzwischen Markt- und Technologiestandards setzen können.

5.4 DYNAMISCHE VERNETZUNG

5G ermöglicht eine große Zahl neuer und besserer IoT-Anwendungen. Wie in dieser Analyse bereits ausgeführt, beinhaltet dies zunehmend komplexe Objekte, wie Roboter, Fahrzeuge oder ganze Fabriken. Es wird geschätzt, dass 5G für die nächsten 20 Jahre ein großer Treiber des globalen Wirtschaftswachstums sein wird und bis 2035 eine Wirtschaftsleistung von 4 Billionen USD und über 20 Millionen Arbeitsplätze umfassen wird.[74] Die Technologie ist der nächste große Baustein für die Digitale Gesellschaft.

- In einer ersten Phase der Technologieeinführung werden bereits bestehende Anwendungen, Dienstleistungen und Business Modelle verbessert. In einer darauffolgenden Phase entstehen dann völlig neue Anwendungsgebiete. Aktuell ist Phase 1 dieser Entwicklung eingeleitet.

[73] IPLytics, Tim Pohlmann, Who is leading the 5G patent race?, April 2019.

[74] The 5G Economy: How 5G Technology will contribute to the global economy, IHS, Januar 2017, Karen Campbell, Jim Diffley et al.

Die frühen disruptiven Potentiale von 5G liegen vor allem in zwei Bereichen:

- IoT-Anwendungen, wie Tracking-Lösungen, Infrastruktur-Monitoring, Smart Cities, Landwirtschaft
- Mission-Critical Services wie autonome Fahrzeuge, Drohnen, Automation und Stromnetze

Dazu einige Beispiele: Die meisten Patente außerhalb der eigentlichen 5G-Kerntechnologie sind im Bereich Automotive verankert, gefolgt von Sensorik- und Smart Factory Anwendungen. Deshalb ist davon auszugehen, dass neben dem bereits diskutierten Gesundheitswesen auch im Bereich Automotive ein unmittelbares Potential von 5G liegt – insbesondere an der Schnittstelle zum autonomen Fahren.

Während sogenannte „connected cars" sich im Automobilmarkt fest etabliert haben, handelt es sich hierbei ausschließlich um nicht kritische Systeme, wie das Onboard-Entertainment oder Pannenunterstützung bzw. Verkehrsnavigation. In Zukunft wird aber das autonome Fahren möglich sein, d.h. das Auto ist als autonomes, vernetztes Objekt des IoT unterwegs, sammelt über Sensoren Informationen, wertet diese Vorort oder in der Cloud aus und kommuniziert mit anderen Fahrzeugen, um einen reibungslosen, sicheren und effizienten Transport und Verkehrsfluss zu ermöglichen. Damit die Eingaben bzw. die Steuerung eines Fahrzeugs durch einen menschlichen Fahrer also völlig in den Hintergrund treten können, ist ein Mobilfunknetz wie 5G essentiell, welches sogenannte Realtime-Anwendungen ermöglicht.

Realtime

Realtime oder Real Time? Echtzeit. Was ist Echtzeit? Es existieren zwei Bedeutungen. Bei Simulationen oder Filmen bedeutet Echtzeit, dass der Film in der gleichen Geschwindigkeit spielt, wie sich die „Realität" auch abgespielt hat. Im Englischen wird dafür der Begriff „real time" verwendet. Die Serie „24" ist ein Beispiel. In diesem Kontext bedeutet Echtzeit oder im Englischen „realtime" eine sehr kurze Zeit (kleiner als 20 Millisekunden) von einem systemischen Ereignis bis zu einer Antwort aus einem System oder einer abgeschlossenen Datenübertragung. Man verwendet auch den Begriff „Latenzzeit". Ist diese kurz, fällt die Grenze zwischen Realität und Abbild dieser Realität in einem System zusammen.

Ein erster Schritt in diese Richtung war das Instant Messaging (z.B. WhatsApp), welches die E-Mail in Teilen inzwischen ersetzt hat. Getrieben durch moderne Datennetze wird die Latenzzeit und damit die virtuelle Abbildung der Realität oder die Dateninterpretation und -aufbereitung einen weiteren Schritt nach vorne machen. Hatte das 4G-Netz beispielsweise eine Latenzzeit von 50-100 Millisekunden wird diese bei 5G zwischen 2 und 10 Millisekunden liegen. Die viel schnellere Datenübertragungsrate führt zudem zu einem besseren Realtime Erlebnis und ist für einige Anwendungen, wie autonomes Fahren, systemkritisch.

Auch bestehende Branchen, die nicht sofort primär mit 5G in Verbindung gebracht werden, wie beispielsweise Rohstoff-Minen, können von Produktivitätssprüngen durch die neuen Netzwerke profitieren. Das Industrie-Konsortium PIMM (bestehend unter anderem aus Ericsson, Volvo und ABB) testete bereits im Jahre 2017 ein privates 5G-Netz in einer schwedischen Mine.[75] Ericsson arbeitet auch heute schwerpunktmäßig an spezialisierten, privaten 5G-Netzen, um automatisiertes Mining der nächsten Generation zu ermöglichen.[76] Firmen wie BHP Billiton oder Rio Tinto versprechen sich Produktivitätszuwächse durch den 24-Stunden-Einsatz autonomer Maschinerie, plus Kosteneinsparungen auf der Personalseite, da Facharbeiter in weit entfernten und menschenunfreundlichen Gebieten sehr teuer sind.

5G trägt evolutionäre und revolutionäre Aspekte in sich: Einerseits die evolutionäre Verbesserung einer eigentlich schon entwickelten Technologie (Mobilfunk), andererseits die revolutionäre Ermöglichung völlig neuer Anwendungsgebiete. Dieser Dualismus führt dazu, dass 5G **kein Hype** ist, sondern ein technischer Disruptor mir großem Langfristpotential.

Erste kommerzielle Netzwerke sind heute realisiert, erreichen allerdings noch nicht das volle Potential der Technologie. Doch das wird sich ändern: Im Laufe der Zeit wird neue Infrastruktur die Nutzung von deutlich mehr Bandbreite ermöglichen.

Der Mobilfunk hat sich über die Jahre von einer Kommunikationstechnologie rein zwischen Menschen zu einem umfassenden Universalnetzwerk weiterentwickelt. Heute ist er die Verbindung zwischen Menschen, Maschinen und Infrastruktur. Ein Nervensystem, von dem die moderne Gesellschaft zunehmend abhängig ist. Trotz der etwas zurückgehenden, anfänglichen Euphorie wird 5G noch zeigen, wie stark es die zukünftige Welt beeinflusst – manche Veränderungen werden länger dauern, dafür umso tiefgründiger sein.

- Die mobile Datenkommunikation mit 5G wird das Verbindungsglied sein, welches die Laborwelt der Quantencomputer und der Künstlichen Intelligenz mit der realen Welt des Internet of Things verbindet. Es ist eine Enabler-Technologie, die den Flaschenhals der Datenübertragung verschwinden lassen wird. Völlig neue Anwendungen auf den bereits diskutierten Gebieten, aber auch in den Bereichen Virtualisierung und dezentralisierter Datenverarbeitung werden möglich.

[75] Mobile Europe (2017), Telia and Ericsson trial mobile connectivity in mine, https://www.mobileeurope.co.uk/press-wire/telia-and-ericsson-trial-mobile-connectivity-in-mine.
[76] 5G business value: A case study on automation in mining, An Ericsson Consumer & IndustryLab Insight Report June 2018.

5.5 SCHACHSPIEL DER WELTMÄCHTE

Der offizielle „Startschuss“ des Handelskriegs fiel im Januar 2018 als US-Präsident Donald Trump ankündigte, Strafzölle auf chinesische Solarzellen und Waschmaschinen zu erheben. Weitere Eskalationsstufen der Auseinandersetzung folgten. Es geht nur vordergründig tatsächlich um die Erhaltung und den Schutz traditioneller US-Industrieproduktion – denn diese spielt in Teilen keine zentrale Rolle mehr für die Wirtschaft des Landes (Beispiel Stahlproduktion).

Vielmehr geht es darum, über Jahrzehnte entstandenen, internationalen Zulieferketten zu unterbrechen, oder zu zerstören. China ist an dieser Stelle verwundbar, denn vor allem der High-Tech-Bereich ist eng mit den USA verzahnt: Ein Großteil der Zulieferer der allgegenwärtigen und zum technologischen Feindbild stilisierten Firma Huawei beispielsweise sind amerikanische Unternehmen.

Das Ziel der Zerstörung der Zulieferketten ist es, den technologischen Fortschritt Chinas zu hemmen, auf militärischer und wirtschaftlicher Ebene. Das Land ist im Laufe der Jahre von der verlängerten Werkbank zu einem Konkurrenten mit Spitzentechnologie (und zwar eigener) mutiert.

- Die Nation, welche frühzeitig Schlüsselpositionen in den Technologien dieser Analyse einnimmt, wird auch die wirtschaftliche und militärische Dominanz für die nächsten Jahrzehnte an sich reißen können. 5G als Enabler-Technologie spielt hierbei eine zentrale Rolle.

In seinem aktuellen 5-Jahresplan beschreibt China 5G als einen strategischen, neuen Industriezweig und zentralen Baustein für das Made-in-China-2025-Projekt.[77] Bei seiner nächsten Entwicklungsstufe hat das Land keine andere Wahl, als eine technologische Vorwärtsstrategie zu wählen. Es geht darum, nicht in der sogenannten „Mitteleinkommensfalle“ stecken zu bleiben: Das schnelle Wirtschaftswachstum aufgrund günstiger Industrieproduktion flacht ab, die Preise steigen, eine effizientere Industrieproduktion rein zu Exportzwecken bringt das Land nicht nachhaltig weiter.

- Neben dem Aufbau der Binnennachfrage ist ein Sprung an die technologische Spitze ein sinnvolles, wenn auch hoch gestecktes Ziel. China braucht die erwarteten 22 Millionen Jobs aus dem 5G Aufbau und Betrieb.

[77] China is poised to win the 5G race, Key steps extending global leadership, Steve Lo und Kevin Lee, EY, 6.11.2018.

Die wirtschaftlichen Ziele des Landes sind nicht weniger ambitioniert, als das nächste Apple oder Microsoft zu lancieren. Genau genommen ist man auf gutem Weg, wie Firmen wie Xiaomi, Huawei, Baidu oder Tencent zeigen. Huawei beispielsweise verkauft in Europa inzwischen mehr Mobiltelefone als Apple.

Abb. 16: Samsung Huawei und Xiaomi stürmen den europäischen Smartphone-Markt

Europe smartphone shipments and annual growth
Canalys Smartphone Market Pulse: Q2 2019

Vendor	Q2 2019 shipments (million)	Q2 2019 market share	Q2 2018 shipments (million)	Q2 2018 market share	Annual growth
Samsung	18.3	40.6%	15.3	33.9%	+20%
Huawei	8.5	18.8%	10.1	22.4%	-16%
Apple	6.4	14.1%	7.7	17.0%	-17%
Xiaomi	4.3	9.6%	2.9	6.5%	+48%
HMD Global	1.2	2.7%	1.5	3.2%	-18%
Others	6.4	14.2%	7.7	17.1%	-17%
Total	45.1	100.0%	45.2	100.0%	-0%

canalys

Quelle: Canalys, 2019

Die politische und wirtschaftliche Struktur Chinas ist dabei ein Vorteil: Im Bereich der Mobilfunkfirmen kontrolliert die Regierung alle drei großen Anbieter (China Telecom, China Mobile und China Unicom). Die Möglichkeiten staatlicher Lenkung ist bei Großprojekten wie dem 5G Netzausbau durchaus hilfreich. Sogar das Weiße Haus in den USA hat bereits eine Nationalisierung des 5G-Netzwerkes vorgeschlagen. Das wurde bis jetzt abgelehnt, ist aber doch bemerkenswert und zeigt einen enormen Handlungsdruck.[78]

Ein Musterprojekt für eine 5G-ermöglichte Smart City ist Xiong'an vor den Toren Pekings. Die Stadt soll bis 2035 in eine grüne High-tech Kommune verwandelt werden. China Unicom hat dort das weltgrößte 5G Testgelände in Betrieb.[79] In Xiong'an sollen autonome Fahrzeuge und IoT Anwendungen im großen Stil zu Test und Anwendung kommen. Neben Prestige ist das Ziel des Projekts auch die Entlastung der Stadt Peking durch eine wohnenswerte Alternative. Nokia unterstützt das Projekt maßgeblich.

[78] Jonathan Swan, David McCabe, Ina Fried, Kim HartJan 28, 2018, Scoop: Trump team considers nationalizing 5G network, https://www.axios.com/bernie-sanders-2020-campaign-green-new-deal-medicare-for-all-8dbccd42-9b92-49cc-9278-eeaa96a5e47d.html.

[79] 27.3.2019 China's new city puts 4G/5G cloud-based radio network to the test, Anna-Kaarina Pietilä, Nokia, https://www.nokia.com/blog/chinas-new-city-puts-4g5g-cloud-based-radio-network-test/.

Die USA ist im Rennen um 5G der härteste Konkurrent Chinas. Firmen wie AT&T, Verizon oder T-Mobile arbeiten daran, die Infrastruktur auszurollen. Verschiedene Testnetzwerke sind bereits in Betrieb. AT&T beispielsweise plant 5G Mobiltelefonie in über 10 amerikanischen Großstädten bis Ende 2019. Die Kommerzialisierung von 5G in den USA ist weiter vorangeschritten als in China. Das muss auch sein, denn hier fehlt eine zentralplanerische Antriebskraft und ökonomische Prinzipien spielen die Hauptrolle.

Die landesweite Verfügbarkeit von 5G wird China aber vermutlich schon schneller sicherstellen können als die USA. Dies hat neben der Planung auch mit technologischen Aspekten zu tun, beispielsweise kann China seine 4G Antennen technisch zu 5G Antennen umrüsten. In den USA werden andere Frequenzbänder neue Infrastruktur nötig machen. An dieser Stelle begeht die USA möglicherweise den Fehler, sich mit proprietären Funkstandards gegenüber dem Rest der Welt technologisch zu isolieren. Man wird sehen, ob sich der „American way" durchsetzt oder ob die USA letztendlich auf die verbreiteten Standards umschwenkt – dies käme aber einem internationalen Kniefall gleich.

Indessen versuchen die USA, China in diesem großen Technologie-Rennen mit protektionistischen Maßnahmen zurückzuwerfen. Am 15. Mai 2019 unterzeichnete Präsident Trump eine Executive Order zum Thema „Securing the Information and Communications Technology and Services Supply Chain" und legt damit eindeutig die Strategierichtung der US-Regierung fest.[80]

Das Rennen ist nicht entschieden. In welcher Form die im Handelsstreit hervorgehobene (und größtenteils unbewiesene) Spionagetätigkeit Chinas eine Rolle spielt oder ob Firmen wie ZTE oder Huawei eigentlich nur Verhandlungsmaße sind, ist schwer zu sagen. Im Zweifelsfall haben Drittländer, welche amerikanische oder chinesische Technologie einsetzen einfach die Auswahl, von welcher Seite sie abgehört werden wollen.

- In Schwellenländern, welche über keine eigenen technologischen 5G Ressourcen verfügen, hat China als Zulieferer mit Sicherheit die Nase vorn. Chinesische 5G-Technologie ist gut und günstig.

Die Entwicklungsländer könnten die großen Gewinner von 5G sein: Sie verfügen über einen gewissen „Late-Mover-Advantage". Sie können bereits standardisierte Technologien für sich nutzen und überspringen teilweise komplette Mobilfunkgenerationen. Die Einführung neuer mobiler Netzwerktechnologien hat in

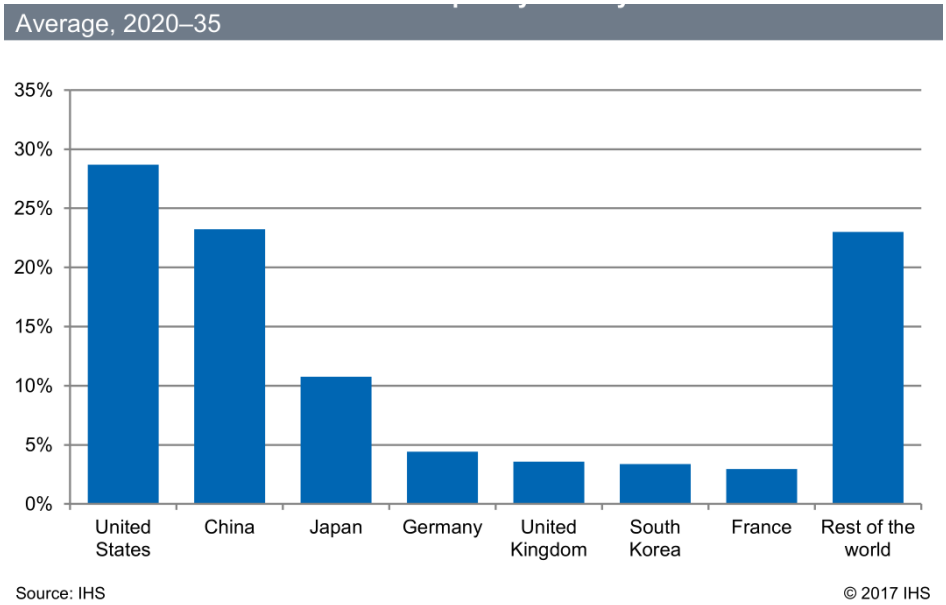
[80] Executive Order on Securing the Information and Communications Technology and Services Supply Chain Infrastructure & Technology, Donald Trump, Issued on: May 15, 2019, https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-securing-information-communications-technology-services-supply-chain/.

diesem Sinn einen unmittelbaren Einfluss auf die Wirtschaftsleistung des Landes (Basiseffekt). Beispielsweise besitzen 1.7 Milliarden Menschen in Entwicklungsländern zwar ein Mobiltelefon, aber kein Bankkonto: Neue Lösungen bringen Bankdienstleistungen in jeden Winkel eines Landes und sorgen für wirtschaftlichen Fortschritt.

Auch europäische Länder arbeiten am Auf- und Ausbau der 5G Infrastruktur, wobei die tatsächliche Umsetzung heterogen ist.[81] Der „5G for Europe Action Plan“ ist darum eine übergeordnete Initiative der Europäischen Kommission, Infrastruktur und Verwendbarkeit des 5G-Netzes bis 2020 möglichst weit voran zu bringen. Daneben existieren auch eine Reihe von Public Private Partnerships und privater Initiativen.

In Deutschland wurden ab März 2019 die Auktionsrunden für die 5G Frequenzen durchgeführt. Deutschland erwartet jetzt, bis 2020 die ersten kommerziellen 5G-Netze in Betrieb zu haben. Die damit verfolgten Ziele zu einer digitalen, sicheren und grünen Gesellschaft sind die gleichen wie überall. Mit Blick auf die einzelnen Länder dominieren aktuell China und die USA die Kapitalausgaben für 5G. Deutschland folgt an vierter Stelle, nach Japan.

Abb. 17: Anteil an 5G Entwicklungsausgaben und CAPEX pro Land



Quelle: IHS, 2017

[81] OECD Publishing, The Road to 5G Networks, OECD Digital Economy Papers No. 284, July 2019, Seite 42.

5.6 WIE GEHEN INVESTOREN MIT DIESEM THEMA UM?

Der Aufbau des Mobilfunknetzes der 5. Generation wird Jahre dauern, da ein massiver Aufwand an technischen und finanziellen Ressourcen geleistet werden muss. Sicherlich kann davon ausgegangen werden, dass Großunternehmen, die Markt- und Technologie Standards setzen können, in einer ersten Phase profitieren werden. Kleine Unternehmen und Startups spielen bei der Bereitstellung der Infrastruktur keine Rolle. Pure-Plays im 5G Bereich sind selten.

Zudem ist davon auszugehen, dass Investoren den Blick nicht nur auf die Hersteller von Mobilfunktechnologien im engeren Sinn richten. Es sollte der Tatsache Rechnung getragen werden, dass 5G ein heterogenes Netz aus einer Vielzahl an Subtechnologien und Dienstleistungen ist. Im Hinblick auf die gesamte Value Chain sind daher folgende Unternehmensgruppen im Fokus:

- Enabler: d.h. Unternehmen, die technologische Standards im Kern der Technologie setzen können und über die Fähigkeit verfügen, eigene Patente im Markt unter Lizenz zu etablieren

- Netzwerke: Klassische Mobilfunk-Firmen, welche die Netzwerk-Infrastruktur bereitstellen. Eine genaue Analyse ist hier sinnvoll, da berücksichtigt werden muss, dass in dieser sehr kapitalintensiven Industrie nicht nur neue Erträge geschaffen werden, sondern auch Erträge aus alten Technologien (4G abwärts) ersetzt werden
- Infrastruktur: Von neuen Antennen-Towern bis hin zu Glasfaser und Satellitenverbindungen muss eine neue Infrastruktur aufgebaut werden. Die Unternehmen in diesem Segment profitieren unmittelbar

- Produkte: Neue Hardware und Dienstleistungen rund um die 5G-Technologie werden entwickelt und in den Markt gebracht. Dies beginnt mit neuen mobilen Endgeräten, Routern etc. aber auch hoch spezialisierten Geräten

- Sicherheit: Das Thema Sicherheit ist bei 5G zentral auf allen Ebenen, sowohl bei der Netzwerkinfrastruktur selbst, als auch bei den Endgeräten im IoT Bereich

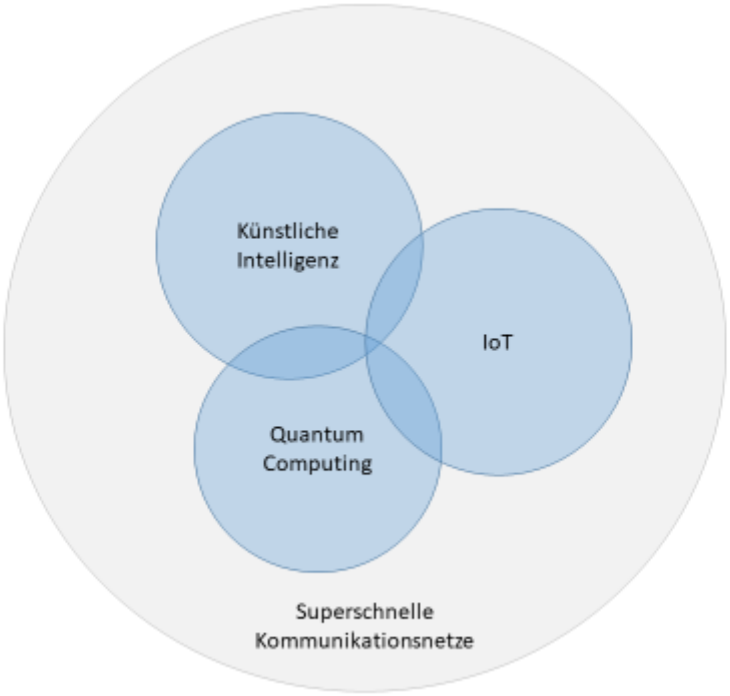
Es ist davon auszugehen, dass Investoren die hier skizzierte Value Chain gesamthaft berücksichtigen werden, da die Dynamik der Entwicklung der 5G Netze als Ganzes schwer abzuschätzen ist. Neben den klassischen Unternehmen werden sicherlich auch hochspezialisierte Anbieter oder Firmen, deren Geschäftsmodell zentral von der Bereitstellung eines 5G Netzes profitiert, in den Fokus dedizierter Investoren rücken.

6. FAZIT

Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze – jedem dieser im zweiten Teil dieser Analyse analysierten Trends liegt das Potenzial für neue, exponentielle Entwicklungen inne.

KI ist das übergeordnete Thema beider Teile dieser Analysen. Technologische Singularität, also der Zeitpunkt, ab dem sich Maschinen tatsächlich partiell oder auch grundlegend selbst weiter entwickeln können, wird schließlich möglich. Dieser Gedanke ist auf den ersten Blick schwer zu fassen. Darum ist auch der Begriff „Singularität“ – ein völliger Bruch – an dieser Stelle passend. Er ist der Kulminationspunkt der disruptiven Phase der Digitalisierung.

Abb. 18: Die Treiber technologischer Singularität



Quelle: Eigene Darstellung

Tatsächlich wird es noch mehrere Jahre dauern, vielleicht auch Jahrzehnte, bis dieser Punkt eintrifft. Doch die Schrittweite der vorgestellten Technologien vergrößert sich rasant. Die mit den Veränderungen einhergehenden technischen, sozialen, wirtschaftlichen und politischen Anpassungen und Transitionen werden weder geradlinig noch ohne schmerzhafte Veränderungen vonstattengehen – es wird auch zukünftig „interessanten Zeiten“ geben.

LITERATURVERZEICHNIS

Bücher und Publikationen

Aggarwal, D.; **Brennen**, G.K.; **Lee**, T.; **Santha**, M. und **Tomamichel**, M. (2017, Bitcoin): Quantum attacks on Bitcoin, and how to protect against them, veröffentlicht bei: Ledger Journals, 28.10.2017, https://arxiv.org/pdf/1710.10377.pdf, zuletzt abgerufen am 24.07.2019.

Boixo, S.; **Isakov**, S. V.; **Smelyanskiy**, V. N.; **Babusch**, R.; **Ding**, N.; **Jiang**, Z.; **Bremner** M. J.; **Martins** J. M. und **Neven**, H. (2018, Quantencomputer): Characterizing quantum supremacy in near-term devices, veröffentlicht bei nature Physics Volume 14, 01.04.2018.

Boston Consulting Group, (2018, Quantumcomputing): The next decade in Quantum Computing, Exhibit 9, The Determinate of a Quantum Play for, http://image-src.bcg.com/Images/BCG-The-Next-Decade-in-Quantum-Computing-Nov-2018-21-R_tcm9-207859.pdf, zuletzt abgerufen am 05.08.2019.

Campbell. K.; **Diffley**. J et al. (2017, 5G Technology): The 5G economy: How 5G technology will contribute to the global economy, S.17, https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Technology-5G-Economic-Impact-Study.pdf, zuletzt abgerufen am 18.09.2019.

Cornell University (2019, Risk IoT-System): CS 5412/Lecture 1 Topics in Cloud Computing by Ken Birman.

Cross, A.W.; **Bishop**, L.S.; **Sheldon**, S.; **Nation**, P.D. und **Gambetta**, J.M. (2018, Quantum Volume): Validating quantum computers using randomized model circuits, veröffentlicht bei: Cornell University, 30.11.2018, https://arxiv.org/pdf/1811.12926.pdf, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Einstein, A. und **Rosen**, N. (1935, Relativität): The Particle Problem in the General Theory of Relativitiy, veröffentlicht bei: Physical Review, 08.05.1935. S.73.

Ericsson (2019, Data traffic): Ericsson Mobility Report, veröffentlicht bei: Ericsson, Juni 2019 https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf, zuletzt abgerufen am 18.09.2019.

Freynman, R.P. (1981, Simulation): Simulating Physics with Computers, veröffentlicht bei: California Institute of Technology, 07.05.1981, https://people.eecs.berkeley.edu/~christos/classics/Feynman.pdf, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Feynman R.P. (1963, Quantenmechanik): Angular Momentum, Volume III; lecture 18, section 18-3, veröffentlicht bei: Addison-Wesley, New York.

Garcia C. G.; **Meana-Llorián** D. et al. (2017, Classification of Intellegence): A review about Smart Objects, Sensors, and Actuators, veröffentlicht bei: International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 09.01.2017, https://www.researchgate.net/publication/307638707_A_review_about_Smart_Objects_Sensors_and_Actuators, zuletzt abgerufen am 07.08.2019.

Gartner Group (2017, Leading IoT): Leading the IoT: Insights on How to Lead in a Connected World, https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf, zuletzt abgerufen am 05.08.2019.

Gazula M. B. (2017, Cyberwarfare): Cyber Warfare Conflict Analysis and Case Studies, Working Paper CISL#, 10.05.2017, http://web.mit.edu/smadnick/www/wp/2017-10.pdf, zuletzt abgerufen am 07.08.2019.

Gilbert S.; **Lynch** N. (2002, CAP Theorem): Brewer's conjecture and the feasibility of consistent, available, partition-tolerant web services, ACM SIGACT News, v. 33 issue 2, 2002, S. 51–59, https://www.comp.nus.edu.sg/~gilbert/pubs/BrewersConjecture-SigAct.pdf, zuletzt abgerufen am 07.08.2019.

Hawking S.W. (1994, Zeit und Raum): The Nature of Space and Time, veröffentlicht bei Cornell University, 30.08.1994, https://arxiv.org/abs/hep-th/9409195, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Howard P. N. (2015, Influence): Pax Technica: How the Internet of Things May Set Us Free or Lock Us Up, S. 224, 28. 05. 2015.

IBM (2014, Quantum Processing): Exponential Forecast for Growth of Quantum Processing Power,https://www.ibm.com/blogs/research/wp-content/uploads/2019/03/Quantum_Roadmap-1-768x643.jpg, zuletzt abgerufen am 05.08.2019.

IDTechEx (2018, Analysis RFID Industry): Forecast, Players and Opportunities 2018-2028, https://www.idtechex.com/tw/research-report/rfid-forecasts-players-and-opportunities-2018-2028/642, zuletzt abgerufen am 06.08.2019.

International Telecommunication Union (2012, IoT): SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS, Recommendation International Telecommunication Union ITU-T Y.2060.

Mandelbrot, B. (1982, Nature): The Fractal Geometry of Nature, veröffentlicht bei: W. H. Freeman and Company.

Penrose R. (2016, Gehirn): The Emperor's New Mind, Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics, veröffentlicht bei: Oxford University Press, 28.04.2016.

Rapp, H.-W. (2019, Künstliche Intelligenz): Künstliche Intelligenz, Quanten-Computer und Internet of Things – Die kommende Disruption der Digitalisierung. FERI Cognitive Finance Institute, erschienen am 29.07.2019, https://www.feri-institut.de/media/1897/fcfi_ki-201907.pdf, zuletzt abgerufen am 31.10.2019.

Raz, R. und **Tal**, A. (2018, Oracle): Oracle Separation of BQP and PH, veröffentlicht bei: Electronic Colloqium on Computational Complexity, 31 Mai 2018, https://eccc.weizmann.ac.il/report/2018/107/download/, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Neill, C.; **Roushan**, P.; **Kechedzhi**, K.; **Boixo**, S.; **Isakov** S.V. et al. (2018, blueprint): A blueprint for demonstrating quantum supremacy with superconducting qubits, veröffentlicht bei: Science Volume 360, 13.05.2018, S. 195-199, https://science.sciencemag.org/content/360/6385/195/tab-pdf, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

UBS (Lachlan Towart&Sundeep Gantori) (2018, Healthcare industrie): Longer Term Investments: HealthTech. Chief Investment Office Americas, Wealth Management, https://www.ubs.com/content/dam/WealthManagementAmericas/documents/healthtech.pdf, zuletzt abgerufen am 18.09.2019.

Zeitungsartikel und Internetquellen

Ashton (2009, IoT Thing): That `Internet of Things´Thing, veröffentlich bei: RFID Journal, 22.06.2009, https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986, zuletzt abgerufen am 05.08.2019.

Boston Consulting Group (2019, Value): Where Will Quantum Computers Create Value – and When? 13.05.2019, https://www.bcg.com/en-gb/publications/2019/quantum-computers-create-value-when.aspx, zuletzt abgerufen am 26.07.2019.

Boston Consulting Group (2017, Robotics Market) The Robot Report: Robotics markets are growing even faster than expected, veröffentlicht am 11.07.2019, https://www.therobotreport.com/robotics-industry-growing-faster-than-expected/, zuletzt abgerufen am 02.08.2019.

BostonDynamics (2018, Parkour Atlas): Atlas does Parkour, 11.08.2018, https://www.youtube.com/watch?v=LikxFZZO2sk, zuletzt abgerufen am 05.08.2019.

Canalys (2019, European smartphone market): Samsung and Xiaomi surge in European smartphone market in Q2, veröffentlicht am 12.08.2019, https://www.canalys.com/newsroom/european-smartphone-market-q2-2019, zuletzt abgerufen am 18.09.2019.

Chess Base (Schachprogramm, 2019): Reconstructing Turing´s "Paper Mashine", https://en.chessbase.com/post/reconstructing-turing-s-paper-machine, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Cisco (2013, IoT Definition): Internet of Things (IoT) in Real World, https://learningnetwork.cisco.com/community/it_careers/Internet of things-webinar-series, zuletzt abgerufen am 06.08.2019.

Forbes (2018, Cybersecurity): Global Information Security Speding To Exceed $ 124B In 2019, Privacy Concerns Driving Demand, https://www.forbes.com/sites/rogeraitken/2018/08/19/global-information-

security-spending-to-exceed-124b-in-2019-privacy-concerns-driving-demand/#471182f07112, zuletzt abgerufen am 06.08.2019.

Fortune (2016, Kosten): Why Your iPhone Could Have Cost $32 Million in 1985, in: Fortune Online, 03.08.2016, https://fortune.com/2016/08/03/smartphone-cost-1985, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Google AI Blog (2018, Bristlecone): A Preview of Bristlecone, Google´s New Quantum Processor, 05.03.2018, https://ai.googleblog.com/2018/03/a-preview-of-bristlecone-googles-new.html, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Handelsblatt (2019, Quantencomputer): Fraunhofer und IBM bringen ersten Quantencomputer nach Deutschland, 10.09.2019**,** https://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/kooperation-fraunhofer-und-ibm-bringen-ersten-quantencomputer-nach-deutschland/25000320.html?ticket=ST-36243958-IcaPk0uAjffEqnkS1RtP-ap6, zuletzt abgerufen am 17.10.2019.

Howmuch (2019, American Companies): Putting American Companies´ Economic Power Into Perspective: Comparing Companies´ Market Cap vs. Countries´ GDP, visualisiert am 11.07.2019 https://howmuch.net/articles/putting-companies-power-into-perspective, zuletzt abgerufen am 06.08.2019.

IBM (2019, Research): IBM Q System One, https://www.research.ibm.com/ibm-q/system-one/, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

IBM (2018, First IoT): The little know story of the first IoT device, https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/, zuletzt abgerufen am 05.08.2019.

Intel (2018, Qubit Prozessor): The Future of Quantum Computing is Counted in Qubits, in: Intel Newsroom, 02.03.2018, https://newsroom.intel.com/news/future-quantum-computing-counted-qubits/#gs.ov2qo0, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Lewis. L (2019, Internet Minute): 2019 This is what happens in an Internet Minute, Lori Lewis Merge Archives via Twitter, https://twitter.com/lorilewis/status/1103687442727616523, zuletzt abgerufen am 18.09.2019.

Math World (2019, RSA Number): RSA Number, in: Wolfram Math World Online, 12.08.2019, http://mathworld.wolfram.com/RSANumber.html, zuletzt abgerufen am 24.07.2019.

McKinsey (2018, Digital Strategies fail): Why digital strategies fail, https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/why-digital-strategies-fail, zuletzt abgerufen am 07.08.2019.

Microsoft (2018, Algorithmen): The Hitchhiker´s Guide to the Quantum Computing an Q# Blog, 26.02.2018, https://blogs.msdn.microsoft.com/uk_faculty_connection/2018/02/26/the-hitchhikers-guide-to-the-quantum-computing-and-q-blog/, zuletzt abgerufen am 26.07.2019.

Microsoft (2019, Quantum): Quantum Infrastructure, https://www.microsoft.com/en-gb/quantum/, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Moore, G. E. (1965, Moore´s Law): Cramming more components onto integrated circuits, in: Electonics Magazine Volume 38, 19.05.1965, S. 4.

Noisolation (2019, Isolation): https://www.noisolation.com/de/av1/, zuletzt abegerufen am 17.10.2019

NZZ (2018, EU): Europa feiert den Stapellauf des Quanten-Flaggschiffs, in: Neue Zürcher Zeitung Online, 29.10.2018, https://www.nzz.ch/wissenschaft/leinen-los-fuer-das-quanten-flaggschiff-ld.1431149, zuletzt abgerufen am 24.07.2019.

SCIENCE MAG (2018, Quantum Initiative Act): Update: Quantum physics gets attention—and brighter funding prospects—in Congress, in: Science Mag Online, 27.06.2019, https://www.sciencemag.org/news/2018/06/updated-quantum-physics-gets-attention-and-brighter-funding-prospects-congress, zuletzt abgerufen am 24.07.2019.

Spiegel (1956, Roboter): Die Magie der Roboter, in: DER SPIEGEL 40/1956, 03.10.1956, https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-43064251.html, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Patently Apple (5G Network, 2017): Apple´s First U.S Millimeter Wave Yagi Antenna Patent for Fututre iDevices Designed for 5G Networks Surfaces, https://www.patentlyapple.com/.a/6a0120a5580826970c01b7c92dccd0970b-pi, zuletzt abgerufen bei 18.09.2019.

Quantum Flagship (2019, Quantum Computing): The future is Quantum, https://www.zeit.de/digital/datenschutz/2019-09/quantencomputer-google-technik-fortschritt-supercomputer, zuletzt abgerufen am 17.10.2019.

technode (2018, China): China is building a massive multi-location national-level quantum laboratory, 05.09.2018, https://technode.com/2018/09/05/china-quantum-information-laboratory/, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

The Economist (2017, Technology Quarterly): Quantum devices, in: Technological quarterly, 11.03.2017.

Waldrop, M. (2016, Grenzen): The chips are down for Moore´s law, in: Nature 530, S.147 – 147, 11.02.2016, https://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Wikipedia (2019, AlphaGo Zero): AlphaGo Zero, 14.07.2019, https://en.wikipedia.org/wiki/AlphaGo_Zero, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Wikipedia (2019, Cray-2): Cray-2, 11.03.2019, https://de.wikipedia.org/wiki/Cray-2, zuletzt abgerufen am 24.07.2019.

Wikipedia (2019, Grover): Grover´s algorithm, 27.06.2019, https://en.wikipedia.org/wiki/Grover%27s_algorithm, zuletzt abgerufen am 24.07.2019.

Wikipedia (2019, hardware): Timeline of computing hardware before 1950, 08.07.2019, https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_computing_hardware_before_1950, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Wikipedia (2010, Raspberry pi Zero): Kleincomputer Raspberry pi Zero – Kleincomputer für 5 USD mit der Leistung eines Laptops von aus dem Jahre 2010, zuletzt aktualisiert am 05.08.2019, https://de.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi#/media/Datei:Raspberry-Pi-Zero-FL.jpg, zuletzt abgerufen am 06.08.2019.

Wikipedia (2019, Scada), Supervisory Control and Data Acquisition, https://de.wikipedia.org/wiki/Supervisory_Control_and_Data_Acquisition, zuletzt abgerufen am 06.08.2019.

Wolfram Alpha (2011, Gates): Quantum Circuit Implementing Grover´s Search Algorithm, März 2011, http://demonstrations.wolfram.com/QuantumCircuitImplementingGroversSearchAlgorithm/#more, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Live Science (2015, 3D Chips): 3D Computer Chips Could Be 1000 Times Faster Than Existing Ones, in: Live Science Online, 20.09.2015, https://www.livescience.com/52207-faster-3d-computer-chip.html, zuletzt abgerufen am 23.07.2019.

Quantum Computing Report (2019, Firmen): Public Companies, https://quantumcomputingreport.com/players/public-companies/, zuletzt abgerufen am 25.07.2019.

Zeit (2019, Lösung Quantencomputer): Problem gelöst – in rund drei Minuten statt 10.000 Jahren, https://www.zeit.de/digital/datenschutz/2019-09/quantencomputer-google-technik-fortschritt-supercomputer, zuletzt abgerufen am 17.10.2019.

Zennaro, M. (2013, Geschichte IoT): Introduction to the Internet of Things, veröffentlicht bei: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy, 2013, https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Nov_IOT/NBTC%E2%80%93ITU-IoT/Session%201%20IntroIoTMZ-new%20template.pdf , zuletzt abgerufen am 26.07.2019.

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Dieser Text dient nur zu Informationszwecken. Er stellt keine Anlageberatung und auch keine Aufforderung zum Kauf oder Verkauf von Wertpapieren, Terminkontrakten oder sonstigen Finanzinstrumenten dar. Eine Investitionsentscheidung hat auf Grundlage eines Beratungsgesprächs mit einem qualifizierten Anlageberater zu erfolgen und auf keinen Fall auf der Grundlage dieser Information.

Potentielle Investoren sollten sich informieren und adäquaten Rat einholen bezüglich rechtlicher und steuerlicher Vorschriften sowie Devisenbestimmungen in den Ländern ihrer Staatsbürgerschaft, ihres Wohnorts oder ihres Aufenthaltsorts, die möglicherweise für die Zeichnung, den Kauf, das Halten, das Tauschen, die Rückgabe oder die Veräußerung jeglicher Investments relevant sein könnten.

Alle Angaben und Quellen werden sorgfältig recherchiert. Für Vollständigkeit und Richtigkeit der dargestellten Information wird keine Gewähr übernommen.

Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Jede weitere Verwendung, insbesondere der gesamte oder auszugsweise Nachdruck oder die nicht nur private Weitergabe an Dritte ist nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung von FERI gestattet. Die nicht autorisierte Einstellung auf öffentlichen Internetseiten, Portalen oder anderen sozialen Medien ist ebenfalls untersagt und kann rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen.

Die angeführten Meinungen sind aktuelle Meinungen, mit Stand des in diesen Unterlagen aufgeführten Datums.

© FERI AG

www.feri-institut.de

Cognitive Finance
FERI® Institute

Erkennen ist mehr als Sehen

Erkenntnisgewinn beruht auf Vernetzung. Wir bringen hochkarätige Experten zusammen und analysieren systemrelevante Themenstellungen.
Das FERI Cognitive Finance Institute versteht sich als kreativer Think Tank und beantwortet wirtschaftliche und strategische Fragestellungen.
Vorausschauend. Innovativ. Strategisch.

Lesen Sie mehr auf unserer Webseite www.feri-institut.de

FERI Cognitive Finance Institute • Rathausplatz 8 – 10 • 61348 Bad Homburg • info@feri-institut.de

FERI Cognitive Finance Institute
Eine Forschungsinitiative der FERI AG
Haus am Park
Rathausplatz 8 – 10
61348 Bad Homburg v.d.H.
T +49 (0)6172 916-3631
technik@feri-institut.de
www.feri-institut.de