

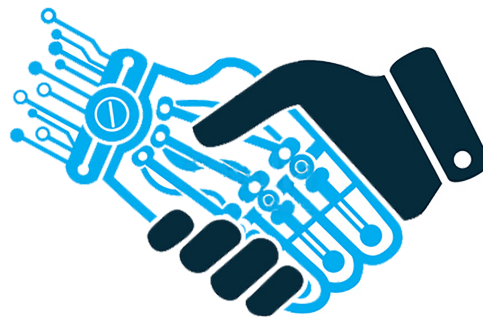
- Skript -

Industrie 4.0 - Digitale Transformation TWIE23

Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen

Prof. Dr.-Ing. Stephan Sauter

Q2 2026



INDUSTRY 4.0

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
1 Digitale Transformation	2
1.1 Digitaler Wandel	3
1.2 Digitale Transformation und Digitalisierung	4
1.3 Enabler Technologien	5
1.4 Umsetzung der digitalen Transformation in der Industrie	7
1.5 Hebel der digitalen Transformation	9
1.6 Herausforderungen	10
1.7 Zusammenfassung	11
2 Disruptive Technologien	12
2.1 Definition	12
2.2 Modell nach Clayton Christensen	13
2.3 Beispiele für disruptive Innovations	16
2.4 Beispiele für Sustaining Innovations	18
2.5 Umgang mit disruptiven Technologien	18
2.6 Alternatives Modell	19
2.7 Zusammenfassung	20
3 Künstliche Intelligenz	21
3.1 Begriffsklärung Künstliche Intelligenz	22
3.2 Geschichte der Künstlichen Intelligenz	22
3.3 Zusammenhang von KI und Industrie 4.0	25
3.4 Machine Learning	27
3.5 Deep Learning	28
3.6 Neuronale Netze	29
3.7 Data Mining	30
3.8 Ethik und Einfluss auf den Arbeitsmarkt beim Einsatz von KI	32
3.9 Ethik und Recht beim Einsatz von KI	33
3.10 Modell zu KI-Ethik-Prinzipien und Handlungsempfehlungen	35
4 Autonomes Fahren und Risikoethik	36
4.1 Einführung	36
4.2 Definition	37
4.3 Motivation zur Erforschung des autonomen Fahrens	37
4.4 USE-Cases	38
4.5 Mensch-Maschine-Schnittstelle: Der Wandel im autonomen Fahren	40
4.6 Risikoethik des autonomen Fahrens	42
4.7 Zusammenfassung	45
5 Extended Reality (XR)	46
5.1 Definition und Abgrenzung	46

5.2	Etablierung der XR als industrielle Anwendung	49
5.3	Industrielle Anwendungsfelder VR	50
5.4	Industrielle Anwendungsfelder AR	53
5.5	Industrielle Anwendungsfelder MR	55
5.6	Chancen und Risiken von XR	57
5.7	Zusammenfassung	59
6	Blockchain Technologie	60
6.1	Distributed Ledger (DLT)	61
6.2	Hashwerte und Hashfunktionen	62
6.3	Asymmetrische Verschlüsselung und digitale Signaturen	63
6.4	Merkle Baum	64
6.5	Konsensmechanismen	64
6.6	Verkettung von Blöcken am Beispiel Bitcoin	66
6.7	Berechtigungsarchitektur	67
6.8	Anwendungsfelder	68
6.9	Chancen und Risiken der Technologie	72
6.10	Zusammenfassung	73
7	Kryptowährungen	74
7.1	Einführung	74
7.2	Entstehung und Funktionen von Geld	74
7.2.1	Geschichte des Geldes	74
7.2.2	Geldfunktionen	75
7.3	Technologie	76
7.4	Aktuelle Währungen	78
7.5	Anwendungsmöglichkeiten	83
7.6	Chancen und Herausforderungen	85
7.7	Zusammenfassung	87
8	Die Arbeitswelt der Zukunft - Arbeit 4.0	88
8.1	Die industriellen Revolutionen	88
8.2	Arbeiten 4.0 – ein Überblick	89
8.3	Treiber des Wandels	90
8.4	Veränderung der Arbeitsplätze und Anforderungen	92
8.5	Flexibilität in der Arbeitserbringung	92
8.6	Qualifikation	93
8.7	Neugestaltung der Arbeitsformen – der Mensch im Fokus	94
8.8	Sozioökonomische Gesichtspunkte	95
8.9	Zusammenfassung	98
9	Big Data	99
9.1	Definition	100
9.2	Big Data Analytics	103
9.3	Chancen und Vorteile von Big Data	105
9.4	Mit Big Data verbundene Herausforderungen	106
9.5	Mit Big Data verbundene Risiken	107
9.6	Anwendungsbeispiele	108
9.7	Zusammenfassung	108
10	Medizin 4.0	109
10.1	Einführung	109
10.2	Herausforderungen im Bereich des Gesundheitswesens	110
10.3	Digitalisierung im Gesundheitswesen	111

10.4	Digitalisierung im Krankenhaus (Klinik 4.0)	113
10.5	Arzt 4.0	115
10.6	Pflege 4.0	116
10.7	Krankenhausverwaltung 4.0	117
10.8	Patient 4.0	117
10.9	Forschung und Lehre 4.0	118
10.10	Telemedizin	119
10.11	Zusammenfassung	123
11	Digitale Verwaltung	124
11.1	Einführung	124
11.2	Definition	125
11.3	Gründe für die Digitalisierung sowie Vor und Nachteile	125
11.4	Gesetze	126
11.5	Anwendung bestehender Technologien im Staatsapparat	128
11.6	Herausforderungen	130
11.7	Beispiel eines vollständigen digitalen Staates	132
11.8	Zusammenfassung	133
12	Kulturdigitalisierung	134
12.1	Projekte	134
12.1.1	Digitalisierung von Kunstinstitutionen	135
12.1.2	Digitale Kunst	136
12.1.3	Digitalisierung von Musik- und Theaterinszenierungen	141
12.2	Kulturstiftung des Bundes	142
12.3	Kultur Digital	143
12.3.1	Fonds Digital	143
12.3.2	Kultur-Hackathon Coding da Vinci	144
12.3.3	Theater und Digitalität	145
12.4	Zusammenfassung	146
13	Cloud-Computing	147
13.1	Grundkonzept von Cloud-Computing	147
13.2	Cloud-Computing Modelle	149
13.3	Architektur und technische Realisierung	150
13.4	Abgrenzung von anderen Technologien	152
13.5	Datensicherheit und Datenschutz	153
14	Robotik in der Smart Factory	155
14.1	Entwicklung und Begriffsbestimmung	155
14.2	Grundlagen Robotik	156
14.3	Einsatzgebiete von Robotern in der Industrie	157
14.4	Roboterarten in der Industrie	157
14.5	Humanoide Roboter	159
14.6	Internet of Robotic Things	161
14.7	Losgröße 1 in der Industrie 4.0	164
14.8	Zusammenfassung	164
15	Additive Fertigung in der Industrie 4.0	166
15.1	Grundlagen der Additiven Fertigung	166
15.2	Funktionsprinzip und Prozesskette	167
15.3	Additive Fertigungsverfahren und Werkstoffe	168
15.4	Additive Fertigung in der Industrie 4.0	173
15.5	Einsatzgebiete der additiven Fertigung	173

15.6 Vorteile und Herausforderungen	175
15.7 Zusammenfassung	176
Literaturverzeichnis	178

Vorwort

Das vorliegende Skript soll vorlesungsbegleitend dem Hörer helfen, die Vorlesung neben der Onlineveranstaltung auch im Selbststudium zu absolvieren. Die Klausur wird ausschließlich Fragen zu ausgewählten Kapiteln des Skripts enthalten. Die angegebene Literatur soll zum tieferen Verständnis dienen. Online Wissensabfragen bieten parallel die Möglichkeit der Kenntnisüberprüfung.

Vorlesungsinhalt:

Nach der Teilnahme an dieser Vorlesung sollen die Studierenden den Begriff Digitale Transformation kennen und in den Kontext Industrie 4.0 einsortieren können. Sie sollen befähigt sein, die Entwicklung der digitalen Technologien von KI über Big-Data und Blockchain nachzuvollziehen.

Basis Literatur:



- Oswald, G. (2018): Digitale Transformation, Springer Gabler, Wiesbaden [1]
Kostenloser Download: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/2F978-3-658-22624-4.pdf>

Links:

- <https://www.plattform-i40.de>
- www.Freiwilligschlauwerden.de



Danksagung:

Dieses Skript wurde von Studierenden aus den Kursen TWIE17-22 im Rahmen einer Studienarbeit erstellt. Mein Dank gilt für Ihr Engagement und das Einarbeiten in das Satzprogramm \LaTeX .

KAPITEL 1

Digitale Transformation

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was die digitale Transformation von der Digitalisierung unterscheidet.
- ... was Enabler Technologien sind.
- ... wie sich die digitale Transformation im Unternehmen umsetzen lässt.
- ... über welche Hebel die digitale Transformation wirkt.
- ... welche Herausforderungen die digitale Transformation mit sich bringt.

Einführung

Die digitale Transformation beschreibt die Vernetzung von Akteuren im Wirtschaftskreislauf über alle Wertschöpfungsstufen hinweg. Durch die hohe Transparenz an Informationen werden traditionelle Geschäftsmodelle verändert oder ganz neue Geschäftsmodelle geschaffen. Damit verändert sich unser Verständnis für die Arbeitswelt und Unternehmenshierarchien werden revolutioniert. Maschinen übernehmen Aufgaben von Menschen und Startups können ganze Märkte auf den Kopf stellen. Die Auswirkungen der digitalen Transformation gehen aber über die Unternehmenswelt hinaus. Sie beeinflusst Politik genauso wie unsere Gesellschaft und hat letztlich Einfluss auf jeden Einzelnen.



Bild 1.1: Fortschreitende Digitalisierung [2].

1.1 Digitaler Wandel

Der **digitale Wandel** ist ein Phänomen, welches Einfluss auf nahezu alle Lebens- und Arbeitsbereiche hat. Im Privaten kann man überall digitale Dienstleistungen oder Produkte nutzen: Mithilfe von Apps wird der Alltag erleichtert, mit Smart Home wird sogar in gänzlicher Symbiose mit der digitalen Welt gelebt. In der Medizinbranche kann die Behandlung und Diagnose durch zielgerichtetes **Vernetzen** von Daten verbessert werden. In der Bildung wird das konventionelle Lernen durch **digitale Medien** ergänzt oder ersetzt. Zudem nimmt die Geschwindigkeit zu, mit welcher bestehendes Wissen durch neue Einsichten abgelöst wird. Damit gewinnt die Aneignung von neuem Wissen und die Kompetenz zur schnellen Verarbeitung von **Informationen** permanent an Bedeutung.

Der Begriff des Wandels beschreibt einen Änderungsprozess über einen längeren Zeitraum hinweg. Im folgenden Kapitel wird gezeigt, dass die Digitalisierung als Grundlage des digitalen Wandels bereits Jahrzehnte einhergeht. Dieser Wandel hat aber in der jüngeren Vergangenheit an neuer Dimension gewonnen und ist deshalb im Privaten, vor allem aber im unternehmerischen Umfeld in aller Munde. Grund dafür sind zum einen die beschriebenen Sachverhalte, dass der Wandel Einfluss auf alle Lebensbereiche genommen hat und die Geschwindigkeit der Veränderungen stetig steigt. Zum anderen ist die in der Industrie regelrecht stattfindende **Digitale Transformation**¹ dafür verantwortlich. Sie stellt eine grundlegende Veränderung der gesamten Unternehmenswelt dar. Unmengen an Daten (**Big Data**)² werden miteinander zu **Smart Data**³ verknüpft und führen so zu neuen Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. Durch eine vernetzte Produktion können **Wertschöpfungsketten** neu gestalten werden.

Da die digitale Transformation zudem Einfluss auf das Beschäftigungsverhältnis und den Arbeitsmarkt hat, wird sie im unternehmerischen Umfeld häufig mit einem **disruptiven Charakter** beschrieben.

Die digitale Transformation kann in drei verschiedene Stufen unterteilt werden, in welchen sie aus Sicht eines Unternehmens wirkt.

Stufe 1: Digitalisierung der Wertschöpfungskette

Stufe 2: Digitalisierung der Produkte

Stufe 3: Einführung neuer Geschäftsmodelle auf Basis von Datenmehrwertdiensten

Mit der Digitalisierung der Wertschöpfungskette entstehen **Smart Factories**. In diesen kann die Produktivität und Qualität bei gleichzeitig steigender Variantenvielfalt verbessert werden. Durch die Digitalisierung von Produkten entstehen in der zweiten Stufe **Smart Products**. Durch das Aufzeichnen von Daten und das Kommunizieren mit anderen Smart Products machen diese ebenfalls eine Produktivitätssteigerung möglich. Die dritte Stufe führt schließlich auf Basis von Datenmehrwertdiensten zu **Smart Services**, welche dem Nutzer Informationen aus Prozessen und Produkten zur Verfügung stellen und diese automatisch auswerten [3].

Einer der Gründe, weshalb die digitale Transformation gerade jetzt stattfindet, sind die **Enabler Technologien**⁴. Sie sind im Zuge der Digitalisierung entstanden und stellen die technische Voraussetzung für die digitale Transformation dar. Neben den Technologien der Digitalisierung

1 Die **Digitale Transformation** wird als die exponentielle und dauerhafte Veränderung von Gesellschaft und Unternehmen auf Basis von Technologie verstanden.

2 **Big Data** beschreibt umfangreiche Mengen von unstrukturierten und semistrukturierten Daten.

3 **Smart Data** sind aufbereitete Daten, die unmittelbar verwertbares Wissen ableiten lassen.

4 **Enabler Technologien** sind Technologien, die einen signifikanten Sprung in der Leistung und der Fähigkeit für einen Nutzer bedeuten.

gibt es aber noch einen wichtigeren Grund für den Start der digitalen Transformation. Der Trend „**Konzentration auf den Kunden**“ stellt dessen Erwartungen in den Mittelpunkt. Technologien sollen sich immer mehr an die Bedürfnisse der Menschen anpassen und einen hohen Nutzen liefern. Für die Industrie bedeutet dies, dass Produkte immer individueller werden müssen und die Variantenvielfalt erhöht wird [2].

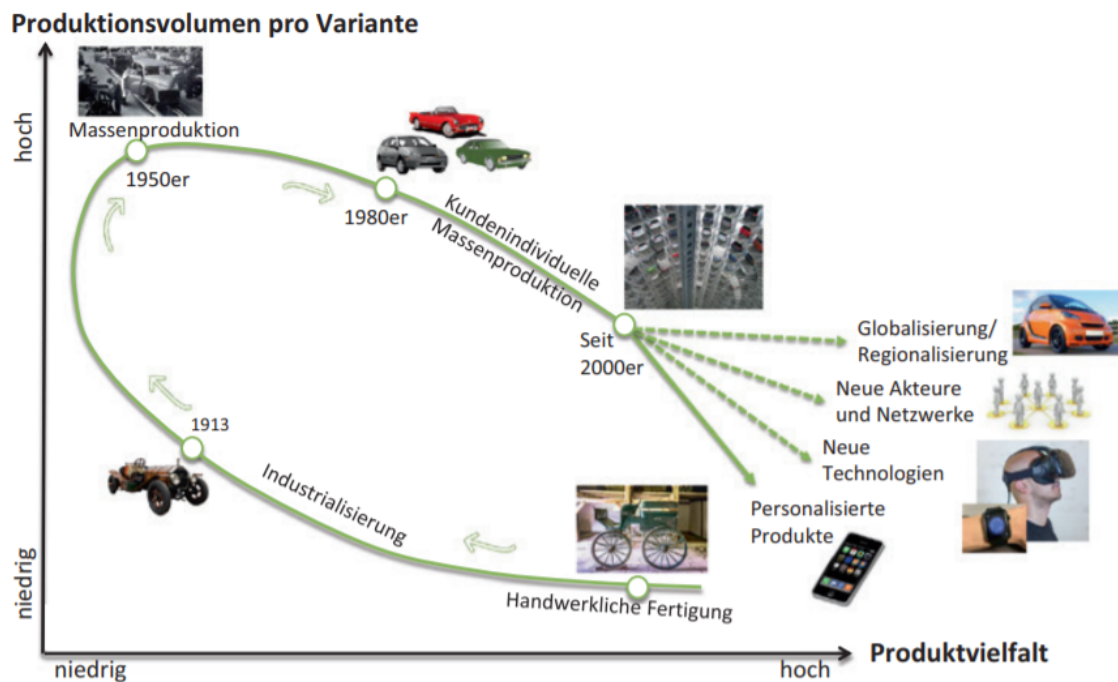


Bild 1.2: Variabilität zum kleinen Preis [2].

1.2 Digitale Transformation und Digitalisierung

Unter dem Begriff **Digitalisierung** wird das Überführen von analogen Größen in digitale Werte beschrieben. Hintergrund ist dabei, dass Werte gespeichert und verarbeitet werden können sollen, was nur möglich ist, wenn diese in digitaler Form vorliegen. Der Beginn der Digitalisierung liegt indes schon Jahrzehnte zurück und das Sammeln von digitalen Daten ist in seiner einfachsten Form schon seit bald 100 Jahren im Gange [2].

Die gängigsten Beispiele für die Digitalisierung sind Fotos oder Musikdateien, wobei analoge Inhalte in digitale Einheiten abgespeichert werden.

Geht es um die Digitalisierung im unternehmerischen Umfeld, so wird ebenfalls lediglich das Abbilden des Betriebs mit seinen Produkten, Prozessen und Abläufen mithilfe von digitalen Mitteln beschrieben. Die Digitalisierung kann hier aber einen wertvollen Beitrag dazu leisten, Prozesse zu optimieren und zu automatisieren oder neue Technologien zu entwickeln.

Das Verständnis der **digitalen Transformation** geht deutlich weiter. Bei ihr werden die Prozesse nicht nur auf die neuen Technologien angepasst, sondern diese werden auch nach ihrer Daseinsberechtigung hinterfragt. Das Lösen von Problemen steht im Mittelpunkt, um den Kundennutzen zu maximieren. Deshalb kann die Digitalisierung zwar als Grundlage für die digitale Transformation bezeichnet werden, der Start für die digitale Transformation ist aber wie angeführt die kundenzentrierte Lösung.

Die digitale Transformation hebt sich vor allem durch ihre weitreichenderen Dimensionen von der Digitalisierung ab. Denn sie hat Einfluss auf unsere Unternehmenskultur, auf Politik und staatliche Institutionen und sogar auf unsere Gesellschaft und Verhaltensmuster.

1.3 Enabler Technologien

Die Enabler Technologien ermöglichen im Zuge der Digitalisierung die digitale Transformation und dienen als Fundament für neue digitale Geschäftsmodelle.

Beispiele für Enabler Technologien sind:

Internet der Dinge

Das Internet der Dinge umfasst den Trend, bei welchem **eingebettete Systeme**¹ den Menschen bei seiner Arbeit unterstützen, ohne diesen zu stören oder die eigentliche Arbeit einzuschränken. Das Ziel, welches mithilfe des Internets der Dinge erreicht werden soll, ist die **Informationslücke** zwischen der realen und der virtuellen Welt zu schließen. Der Zustand eines Produkts in der realen Welt kann durch die eingebetteten Systeme für die Weiterverarbeitung im Netzwerk zur Verfügung gestellt werden.

Idealerweise können im Internet der Dinge Maschinen mit Maschinen (M2M) kommunizieren, sich gegenseitig steuern und der Mensch muss nicht mehr aktiv in die Fertigungssteuerung eingreifen. Zudem ermöglichen die von den eingebetteten Systemen gelieferten Informationen die Früherkennung von Wartungsarbeiten, was zur Reduktion von Fehlteilen oder zur Energieeinsparung genutzt werden kann.

Das Wachstum des Internets der Dinge ist enorm, die Anzahl der weltweit miteinander kommunizierenden Geräte steigt annähernd exponentiell.

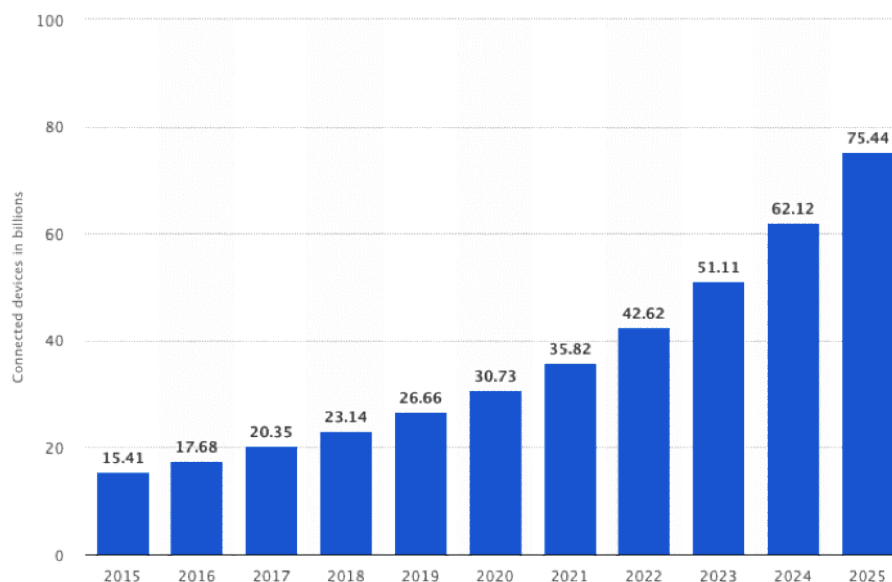


Bild 1.3: Anzahl weltweit mit dem Internet verbundenen Geräte (SAP/Statista, 2020).

1 Ein eingebettetes System (**embedded system**) ist ein Computersystem, welches in ein umgebendes technisches System integriert ist und mit diesem in Wechselwirkung steht.

Internet der Werte

Beim Internet der Werte handelt es sich um ein **Logbuch** für Transaktionen jeder Art. Dabei erlaubt eine auf mehrere Rechner verteilte und verschlüsselte Datenbank Transaktionen zwischen Unternehmen, Behörden und Privatpersonen digital zu dokumentieren. Die Transaktionen werden fälschungssicher registriert und können später nicht mehr verändert werden. Damit schafft das Internet der Werte **maximale Transparenz** für sämtliche Transaktionen.

Im unternehmerischen Umfeld bietet das Internet der Werte unter anderem die Möglichkeit für **Smart Contracts**. Bei diesen wird die Einhaltung eines Vertrags automatisch durch die verifizierten Transaktionen gesichert. Ein Anwendungsbeispiel ist das Vermieten von Autos, bei welchem dem Nutzer nur Zugang in das Fahrzeuginnere gewährt wird, wenn die Zahlung für die Miete erfolgt ist.

Computing Power

Computing Power beschäftigt sich mit der Rechnerleistung, die benötigt wird um die enorme Menge an benötigten Daten zu verarbeiten, zu erzeugen und zu sammeln. Betrachtet man den Anstieg der Rechnerleistung in den vergangenen Jahrzehnten, ist auch hier ein exponentieller Anstieg zu erkennen. Wenn die aktuelle Entwicklung der Rechenleistung pro Sekunde beibehalten wird, kann schon im Jahr 2025 die Kapazität des menschlichen Gehirns erreicht werden [2].

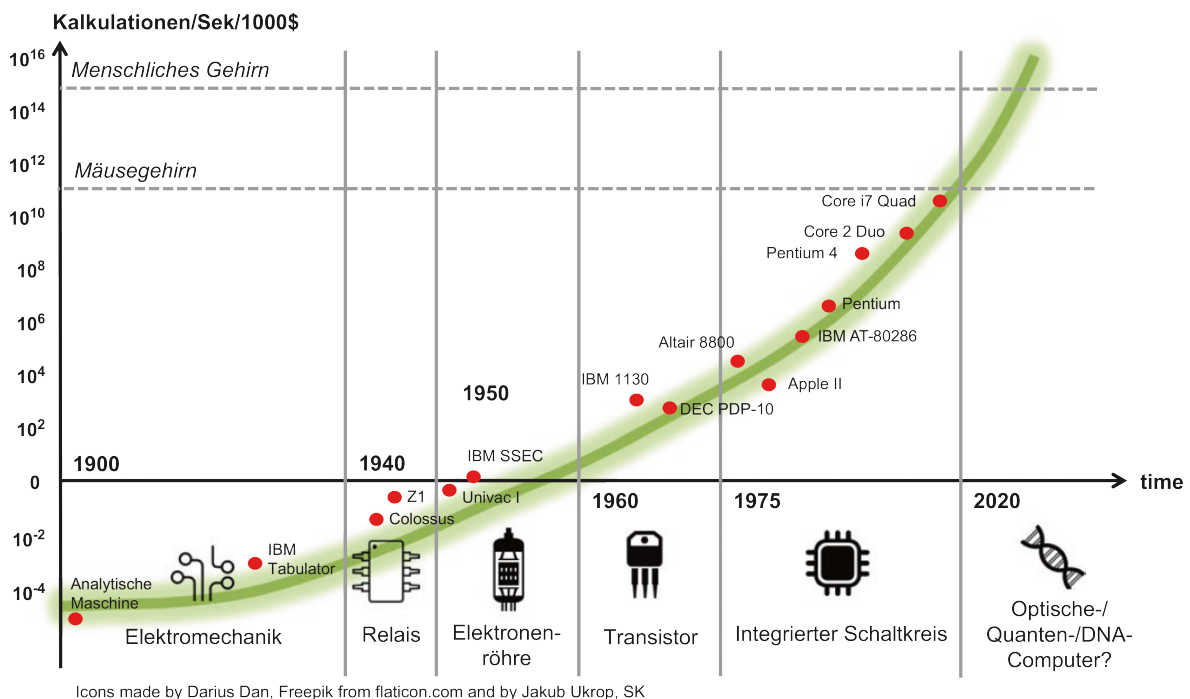


Bild 1.4: Entwicklung der Rechnerleistung per 1000 US\$ (Schallmo, 2018, [2]).

Die enorme Rechnerleistung ermöglicht Maschinen das selbstständige Lernen und vorausschauende Handeln. Letztlich führen die leistungsfähigen Algorithmen zur **künstlichen Intelligenz**, die eines Tages der menschlichen überlegen sein wird.

1.4 Umsetzung der digitalen Transformation in der Industrie

In den letzten Jahren haben Kunden immer mehr an Einfluss auf das Marktangebot gewonnen. Durch die digitale Transformation prägt die Nachfrage der Kunden den Markt entscheidend. Diese Entwicklung wird auch weiter anhalten und verlangt von den Anbietern, dass sie ihr Geschäftsmodell ganz auf den Kunden ausrichten und digitalisieren. Ein **digitales Geschäftsmodell** beantwortet dieselben Grundsatzfragen wie ein konventionelles Geschäftsmodell, allerdings von einer anderen Perspektive. Hier wird der **Kundennutzen** und die Kundenanforderungen in den Mittelpunkt gestellt. In allen Bereichen innerhalb einer Wertschöpfungskette werden Informationen erzeugt.

Bei digitalen Geschäftsmodellen werden diese Informationen genutzt, indem sie gesammelt und systematisch analysiert werden. So ist es möglich, Prozessschritte zu automatisieren und Prozessketten zu verschlanken. Dies führt wiederum zu einer größeren Effizienz und steigert den Kundennutzen.

Die erfolgreiche Umsetzung der digitalen Transformation stellt für viele Unternehmen eine Herausforderung dar. Grund dafür ist vor allem, dass neue Wege gegangen werden müssen und es kein Patentrezept gibt. Jedes Unternehmen muss dazu eine **individuelle Strategie** entwickeln.

Dennoch gibt es durchaus Ansätze für einen Fahrplan, wie zumindest die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Umsetzung gesteigert werden kann: Im ersten Schritt wird die **digitale Realität** skizziert, indem das eigene Geschäftsmodell beschrieben wird. Denn Geschäftsmodelle können nur digitalisiert werden, wenn ein Verständnis für das bisherige Geschäftsmodell vorliegt [4]. Wichtig ist dabei, dass sich die Analyse nicht nur auf das Betrachten der eigenen Tätigkeiten beschränkt, sondern der Blick auch über den Tellerrand des eigenen Unternehmens hinaus gerichtet wird. Durch Betrachten der horizontalen Wertschöpfungskette und deren Akteure kann der **Digitalisierungsgrad**¹ der ganzen Branche erörtert werden.

Darauf aufbauend wird im nächsten Schritt die **digitale Ambition** formuliert. Dazu werden Zielsetzungen determiniert, welche an die Umsetzung der digitalen Transformation gestellt werden. Die Ziele können sich etwa auf die Zeit (Reduktion der Durchlaufzeiten), Finanzen (Reduzierung der Logistikkosten) oder Qualität (Verbesserung des Kundenerlebnisses) beziehen.

Im dritten Schritt wird untersucht, welche **digitale Potenziale** für das Geschäftsmodell vorliegen. Dazu ist es erneut erforderlich, andere Unternehmen der Branche zu untersuchen und die **Best Practices** herauszuarbeiten. Entscheidend für die Potenziale sind zudem die Enabler Technologien, ohne welchen es nicht möglich ist, neue Anwendungen oder Leistungen zu realisieren. Aus den gewonnenen Erkenntnissen zu der digitalen Potenzialen lassen sich Optionen für das zukünftige Geschäftsmodell ableiten.

In der nächsten Phase **digitaler Fit** werden passende Kombinationen der Optionen für das Geschäftsmodell bewertet. Bei der Bewertung ist ausschlaggebend, ob die neuen Optionen zu den bisherigen Geschäftsmodellen passen, ob damit die Kundenanforderungen erfüllt werden und ob damit die in der digitalen Ambition formulierten Ziele erreicht werden können.

Im letzten Schritt findet die **digitale Implementierung** des erfolgversprechendsten Geschäftsmodells statt.

¹ Der **Digitalisierungsgrad** gibt an, in welchem Maße die IT die manuelle Arbeit ersetzt.

Grundvoraussetzung für die Implementierung ist ein Geschäftsmodell, welches . . .

. . . das künftige **SOS (Systems of Systems)**¹ beschreibt.

. . . die notwendige technische Infrastruktur definiert.

. . . die Customer Journey bestimmt.

. . . das horizontale und vertikale Wertschöpfungsnetz darstellt.

Der letzte Aspekt ist hierbei der wichtigste, da hier das Unternehmen bestimmt, welche Rolle es in seinem SOS einnimmt.

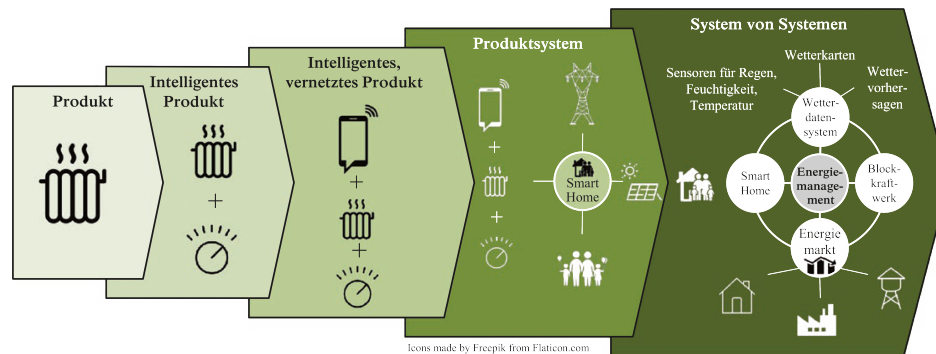


Bild 1.5: SOS, Systeme von Systemen [2].

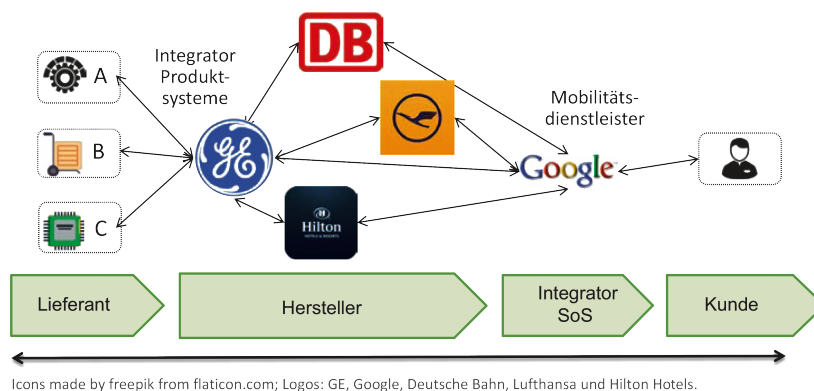


Bild 1.6: Integriertes Wertschöpfungsnetzwerk von Systemen von Systemen [2].

Neben einer geeigneten Strategie zur Umsetzung der digitalen Geschäftsmodelle gibt es noch weitere Faktoren, die entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung maßgeblich sind:

- Etablieren einer offenen Innovationskultur
- Bereitstellen von ausreichend Ressourcen
- Kooperieren mit geeigneten Partnern
- Tests mit Prototypen zur Risikominimierung

Ein Beispiel für ein erfolgreiches digitales Geschäftsmodell ist ThyssenKrupp Elevator MAX. ThyssenKrupp ist ein deutsches Unternehmen mit verschiedenen Sparten, unter anderem stellt das Unternehmen Personen- und Lastenaufzüge her. Neben dem Vertrieb und der Installation werden auch Wartungsaufgaben angeboten. Durch die steigende Anzahl von Aufzügen in Hochhäusern in Städten steigt auch die Anzahl von Wartungsarbeiten. Aufgrund des intensiven

1 **Systems of Systems** ist eine Sammlung von speziell aufgabenorientierten Systemen, welche ihre Ressourcen und Fähigkeiten bündeln, um ein neues komplexeres System zu kreieren, welches mehr Funktionen und eine höhere Leistungsfähigkeit bietet. einnehmen will.

Wettbewerbs bei Wartungsarbeiten kristallisierte sich dieses Geschäft für ThyssenKrupp aber als zeitintensiv mit geringen Margen heraus.

Deshalb hat das Unternehmen ThyssenKrupp MAX eingeführt. Ein Elevator Monitoring System, welches mögliche Ursachen für Ausfälle rechtzeitig identifiziert und die Dauer von Wartungsarbeiten verkürzt. Hierzu wurden verschiedene Aufzugskomponenten mit Sensoren ausgestattet, welche stetige Informationen liefern.

Diese Informationen werden durch **Predictive Analytics**¹ ausgewertet. So kann ThyssenKrupp die Wartung vorausschauend durchführen und die Ausfallzeiten von Aufzügen entscheidend reduzieren. Das Unternehmen kann sich so vom Wettbewerb absetzen und hat das eigene Geschäftsmodell erfolgreich revolutioniert [5].

1.5 Hebel der digitalen Transformation

Die Effekte der digitalen Transformation lassen sich entlang von vier Hebel gliedern, die auf die industrielle Wertschöpfung einwirken. Mit ihnen sind Disruptoren in der Lage, bestehende **Wertschöpfungsketten** in ihre kleinsten Bestandteile zu zerlegen und durch niedrigere Transaktionskosten diese wieder neu zusammensetzen. Das Aufteilen der Wertschöpfungskette ermöglicht zudem neuen Akteuren mit wenig Kapital einen leichteren Markteintritt, da Markteintrittsbarrieren verkleinert werden. Es kommt zur Transformation von Geschäftsmodellen und zur Neugliederung ganzer Branchen. Die vier Hebel der digitalen Transformation sind:

Digitale Daten

Durch das Erfassen, Verarbeiten und Auswerten von digitalen Daten lässt sich die **Effizienz** und **Effektivität** von Prozessen steigern. Außerdem lassen sich auf ihrer Basis bessere Vorhersagen und Entscheidungen treffen. Auch deshalb werden digitale Daten in der Wirtschaft mittlerweile wie Waren produziert und gehandelt und sind damit ein kommerzielles Gut.

Automatisierung

Durch Kombinieren von Technologien mit künstlicher Intelligenz entstehen autonome, sich selbst steuernde Systeme. Damit kann im Regelfall die **Prozessgeschwindigkeit** erhöht werden, während gleichzeitig die Betriebskosten und die Fehlerquote reduziert wird. Entscheidender Vorteil ist aber, dass die Stückkosten gesenkt werden können und Unternehmen sich so der Losgröße 1 nähern.

Vernetzung

Durch schnelle Internetverbindungen und modernen Netzwerkprotokollen lässt sich eine zunehmende Anzahl von Objekten virtuell vernetzen. Mithilfe dieser technischen Voraussetzungen lassen sich ganze **Lieferketten** miteinander **synchronisieren** und sind direkt an die Nachfrage gekoppelt. Die Vernetzung steigert damit die Flexibilität von Unternehmen und fördert durch den Informationsaustausch einen kürzeren Innovationszyklus.

Digitaler Kundenzugang

Durch das Internet erlangen neue Akteure einen direkten und skalierbaren Zugang zum Konsumenten, was bisher häufig nur wenigen Anbietern verwehrt war. Aufgrund der **völligen Transparenz** des Konsumentenverhaltens können Anbieter einen noch nicht dagewesenen

1 **Predictive Analytics** ist die Analyse von Daten, die es ermöglicht zukünftige Resultate und Ereignisse vorauszusagen.

Service anbieten. Um dies zu ermöglichen, braucht es in erster Linie Vermittler, welche Anbieter und Nachfrager zusammenbringen und den Informationsaustausch sicherstellen. Da diese Vermittler zunehmend die Kontrolle über die Kundenschnittstellen gewinnen, bestimmen diese wiederum das gesamte Marktgefüge mit.

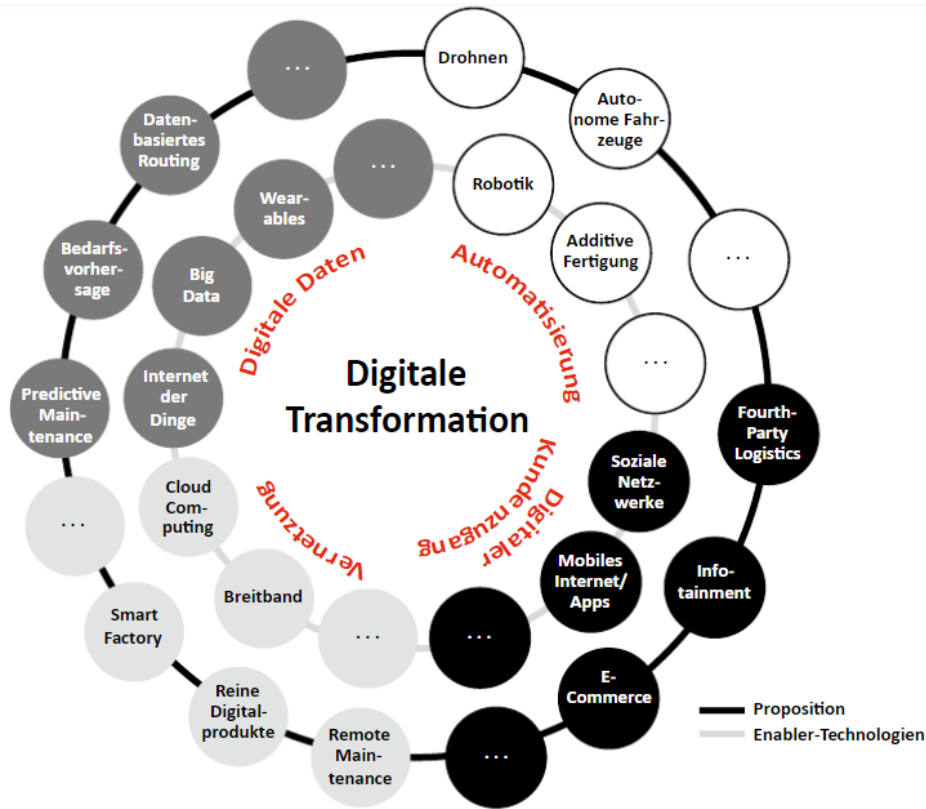


Bild 1.7: Die vier Hebel der digitalen Transformation (Wallmüller, 2017)

Anhand dieser vier Hebel lässt sich die gesamte Logik der digitalen Transformation erklären. Mit diesem Verständnis ist es für Unternehmen möglich, die Gefahr von neuen disruptiven Technologien in der eigenen Branche einzuschätzen oder diese Technologien selbst zu entwickeln. Damit sind die vier Hebel der digitalen Transformation von enormer Bedeutung [6].

1.6 Herausforderungen

Die digitale Transformation bringt Fortschritt und Wohlstand mit sich. Auf der anderen Seite stehen sowohl Unternehmen als auch die Gesellschaft vor Herausforderungen, welche durch die digitale Transformation aufkommen.

Zwar sind Unternehmen bemüht die digitale Transformation in die Unternehmensstrategie aufzunehmen, nicht einmal die Hälfte der deutschen Betriebe verfolgen aber eine unternehmensübergreifende Strategie. Dies stellt sie gerade durch die steigende Vielfalt von digitalen Interaktionskanälen und das Fokussieren auf den Kunden bei Geschäftsmodellen vor enorme Herausforderungen.

Viele Unternehmen geben zu bedenken, dass sie bei ihrer aktueller Innovationsfähigkeit Gefahr laufen von neuen Technologieführern abgelöst zu werden. Hier spielt auch der Umstand eine Rolle, dass in vielen Branchen das führende Unternehmen innerhalb eines Markts mittlerweile eine globale Monopolstellung einnimmt und wenig Raum für Wettbewerb bleibt. Auf der

anderen Seite können sich auch etablierte Marktführer ihrer Vormachtstellung nicht sicher sein.

In den USA sind so seit dem Jahr 2000 die Hälfte der 500 umsatzstärksten Unternehmen verschwunden [6].

Neben den neuen Wettbewerbsbedingungen, die durch die digitale Transformation entstehen, steht die Industrie auch vor der Herausforderung, die technischen Voraussetzungen für den Wandel auch in Zukunft sicherzustellen. Es muss gewährleistet sein, dass die Umengen an zukünftig anfallenden Daten sicher gespeichert und verarbeitet werden können.

Für die Gesellschaft wird die digitale Transformation bedeuten, dass bestehende **Ungleichheiten im Einkommen** noch weiter verstärkt werden. Der Staat wird vor allem dadurch gefordert sein, diejenigen aufzufangen, welche aufgrund der digitalen Transformation ihren Job verlieren werden. Für diese Personen ist zunächst eine finanzielle Unterstützung notwendig.

Des Weiteren müssen sie durch **Aus- und Weiterbildungen** auch ohne Job auf dem aktuellen Wissensstand gehalten werden. Denn in der sich rapide wandelnden Arbeitswelt ist die Gefahr groß, dass diese sonst den Anschluss an aktuelle Technologien verlieren. In der ferneren Zukunft wird die Gesellschaft voraussichtlich dann vor die Herausforderung gestellt, ein völlig neues Gesellschaftsmodell zu entwickeln. Denn wenn nur noch die Hälfte der Bevölkerung erwerbstätig ist, da der Großteil der Aufgaben von Maschinen übernommen wird, bedeutet die digitale Transformation mehr als nur ein Strukturwandel.

1.7 Zusammenfassung

Die Digitalisierung ist ein langjähriger Prozess, der sowohl in der Industrie als auch im Privaten schon lange Einzug hält. Die digitale Transformation ist eine neue Entwicklung, welche durch die im Zuge der Digitalisierung entwickelten Technologien (Enabler) entstehen konnte. Startpunkt für die digitale Transformation ist aber die Tatsache gewesen, dass der Kunde und dessen Nutzen mehr und mehr in den Fokus der Unternehmen gerückt ist.

Um den Kunden zufrieden zu stellen entstehen neue Geschäftsmodelle, die Variantenvielfalt nimmt zu und Produkte werden individualisiert. Die digitale Transformation beschreibt diese Vorgänge. Sie stellt durch ihre enorme Tragweite und ihres disruptiven Charakters eine neue Dimension im Vergleich zur Digitalisierung dar.

Für die erfolgreiche Umsetzung der digitalen Transformation in einem Unternehmen gibt es kein Patentrezept. Es existieren aber Vorgehensweisen und Erfolgsfaktoren, die Unternehmen berücksichtigen sollten, um nicht im Markt abgehängt zu werden. Auch das Verständnis für die vier Hebel, über welche die digitale Transformation wirkt ist elementar, da damit die gesamte Logik der digitalen Transformation verstanden werden kann.

Die digitale Transformation wird die Zukunft auf vielen Ebenen entscheidend prägen. Da es dabei nicht nur Gewinner geben kann, wird sie Unternehmen und den Staat gleichermaßen vor Herausforderungen stellen.

KAPITEL 2

Disruptive Technologien

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was disruptive Technologien sind.
- ... wie sie sich von anderen Technologien unterscheiden.
- ... wie sich die digitale Transformation im Unternehmen umsetzen lässt.
- ... wie etablierte Unternehmen mit disruptive Technologien umgehen sollten.
- ... welches alternative Modell es zu den disruptiven Technologien gibt.

Einführung

Immer häufiger wird von disruptiven Märkten sowie von disruptiven Technologien berichtet. So wurde das Wort „**Disruption**“ von der „Frankfurter Allgemeine Zeitung“ zum Wirtschaftswort des Jahres 2015 gewählt [7].

Fälschlicherweise wird das Wort Disruption in jeglichem Zusammenhang verwendet, ohne die tatsächliche Bedeutung zu kennen. Dabei ist das Verständnis über disruptive Innovationen essenziell, um einen langfristigen Unternehmenserfolg zu gewährleisten.

2.1 Definition

Der Begriff der Disruption hat seinen Ursprung im lateinischen Wort „*disrumpere*“. Laut gängiger Enzyklopädien ist dies mit den Wörtern „*zerbrechen*“, „*platzen*“ oder „*zerreißen*“ zu übersetzen.

Dies beschreibt bereits, was Disruptive Technologien auszeichnet:

Sie zerbrechen und verändern Märkte sowie Geschäftsmodelle.

„The electric light did not come from the continuous improvement of candles.“
- Oren Harari¹-

¹ **Oren Harari** (Juli 30, 1949 - April 10, 2010) war Professor of Business Administration an der University of San Francisco und Autor zahlreicher Bücher zum Thema Management.

Die Bezeichnung **disruptive Technologien** ist auf **Clayton Christensen**¹, ehemaliger Professor an der Harvard University, zurückzuführen. Dieser verwendete erstmals im Jahre 1997 in seinem Werk „*The innovator’s dilemma: when new technologies cause great firms to fail*“ die Theorie der disruptiven Technologien und gilt als Begründer dieser. In seinen weiteren Werken greift er die Theorie disruptiver Technologien weiter auf und verwendet ebenso die Bezeichnung **disruptive Innovationen** als Synonym. Beide Begriffe sind folglich mit gleicher Bedeutung zu betrachten.

Auslöser für disruptive Technologien sind nach Christensen ressourcenarme Unternehmen oder Start-Ups (engl.: **entrants**). Diese versuchen mit ihrer neuen Innovation bereits etablierte Unternehmen (engl.: **incumbents**) vom Märkten zu drängen. Dabei werden Strukturen im Markt aufgebrochen oder ganz zerstört. Disruptive Technologien werden daher auch als **Durchbruchsinnovationen** bezeichnet [8].

Das (damalige) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (**BMWi, 2005-20213**) traf die Annahme, dass gerade Projekte hinsichtlich Industrie 4.0 zu disruptiven Innovationen führen werden. So stellte das Ministerium fest, dass Industrie 4.0 nicht nur die Digitalisierung und Vernetzung der horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten, sondern auch das Produkt- und Serviceangebot der Unternehmen revolutionieren wird. Dies resultiert in der Umsetzung neuer, oftmals disruptiver digitaler Geschäftsmodelle [9].

2.2 Modell nach Clayton Christensen

Wie eingangs erwähnt, werden jegliche Innovationen fälschlich auch als disruptiv bezeichnet. Bereits zu Beginn der, im Jahre 1997 erschienenen „Disruptive Innovation Theory“ grenzte jedoch Clayton Christensen „gängige“ Innovationen von disruptiven Innovationen ab. Erstere verändern einen Markt in der Regel nicht groß, sondern entwickelt diesen lediglich weiter. disruptive Technologien dagegen kennzeichnen sich durch **aggressive Veränderungen** am Markt und deren Teilnehmer.

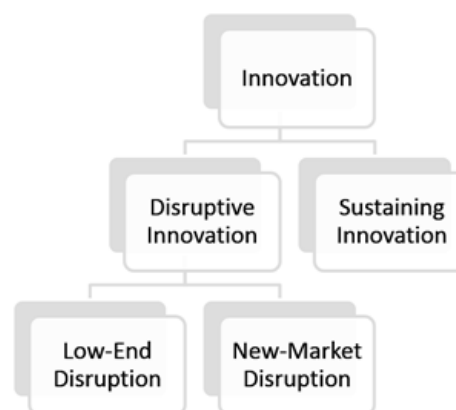


Bild 2.1: Technologiearten nach Clayton Christensen.

¹ **Clayton Christensen** (* 06. April 1952 in Salt Lake City, Utah; † 23. Januar 2020 in Boston, Massachusetts) war Professor of Business Administration an der Harvard Business School und gilt als weltweit führender Experte im Bereich Innovation und Wachstum. Er ist Autor vieler Bücher und einigen Hundert Artikeln. In seinem ersten Buch „*The Innovator’s Dilemma*“ (1997) beschäftigte er sich erstmals mit der Theorie der disruptiven Innovation. Er ist Gründer mehrerer Unternehmen.

▪ Sustaining Innovation

Als sustaining Innovation (dt.: erhaltende Innovation) werden Technologien bezeichnet, welche einem bereits existierenden Entwicklungspfad weiter verfolgen. Dies wird in der Regel von bereits etablierten Unternehmen durch interne Forschung und Entwicklung gefördert. Verfolgt wird dabei das Ziel, die bereits vom Markt „angenommenen und bestehenden Produkte und Dienstleistungen dauerhaft weiterzuentwickeln“ und zu verbessern [10].

Als Beispiel für eine erhaltende Innovation dient ein neues Fahrzeugmodell eines etablierten Automobilherstellers, welcher durch Verbesserung bekannter Leistungsdimensionen wie z.B die Motorleistung in PS ein neues Modell entwickelt. Der **bisherige Markt bleibt** bei Einführung dieses neuen Modells jedoch **erhalten**. Diese Innovationen haben für etablierte Unternehmen den Vorteil, dass sie durch ihre vorangegangenen Innovationen bereits am Markt erprobt und an den Kundenanforderungen angepasst wurden. Die meisten Innovationen und Technologien im heutigen Markt gehören in die Kategorie der „Sustaining Innovations“.

Tesla zum Beispiel fällt aktuell (noch) in die Kategorie „**Sustaining Innovation**“, weil sie den etablierten Unternehmen mit Elektrofahrzeugen Marktanteile im Luxussegment abgenommen haben (Model S, Model X). Mit dem Model 3 und Model Y ist Tesla auf bestem Weg auf allen Märkten (auch zukünftig LKW Markt) zu agieren.

In einem weniger formalen Sinn aber ist unübersehbar, dass Elon Musk die Auto-Branche mit Tesla in ihren Grundfesten erschüttert. Laut einem Digital-Manager bei BMW liegt das weniger am elektrischen Antrieb dieser Fahrzeuge als daran, dass sie von Grund auf als Software-Produkte ausgelegt sind.

▪ Disruptive Innovation

Anders als erhaltende Technologien gehören die folgenden beiden Arten zu den disruptiven Innovationen, welche **komplette Umstrukturierungen** oder **Zerschlagungen** eines bestehenden **Marktes** hervorrufen. Zwar nehmen in der Zeit der Digitalisierung die Anzahl der Disruptiven Innovationen zu, dennoch stellen sie nur ein Bruchteil aller neuen Innovationen dar. Die Unterscheidung in **Low-End** und **New-Market Disruption** ist deshalb so wichtig, da die etablierten Unternehmen in Bezug auf die möglichen Gefahren unterschiedlich stark alarmiert werden und die Unsicherheit der Marktschaffung ebenfalls divergieren.

- Low-End Disruption

Wird eine erhaltende Technologie stetig weiterentwickelt und verbessert, steigt die Wahrscheinlichkeit einer Low-End Disruption. Durch den Aufwärtstrend der erhaltenden Technologie werden nicht mehr die Kundensegmente mit geringeren Ansprüchen bedient, da die Leistungen der sich stets verbessernden Technologien über den eigentlichen Anforderungen des Low-End Marktsegmentes hinausgehen.

In diesem nicht mehr bedienten Low-End Marktumfeld wird die Low-End Disruption beginnen, denn diese Art der Disruption kennzeichnet sich durch die Einführung einer Technologie mit zunächst niedrigerer Leistung. Diese neue Technologie ist zu Beginn ihrer Einführung häufig den bisherigen Technologien weit unterlegen und spricht nicht den Hauptmarkt an. Jedoch haben diese Technologien für Kunden

im Low-End-Markt¹ einen besonderen Nutzen. Wird diese Technologie nun ebenso weiterentwickelt, können auch Kundengruppen mit höheren Leistungsansprüchen attraktiv werden [8].

Nicht jede Low-End Disruption schafft den Übergang von den niedrigeren Kundensegmenten zu den Hauptmarkt. Erfolgt dies aber, führt dies langfristig dazu, dass das etablierte Unternehmen erhebliche Kundenverluste hinnehmen muss. Ein Indiz dafür ist, wenn ein etabliertes Unternehmen immer mehr vom eigentlichen Kerngeschäft abweicht und sich auf andere Geschäftsmodelle fokussiert, da ein Konkurrent mit **neuerer Technologie** ihr Hauptgeschäft angreift.

Wichtig für das etablierte Unternehmen ist es, dass es den Kundenrückgang vom bisherigen Kerngeschäft im neuen High-End Marktsegment kompensiert und zumindest dort ihre Position hält. Die Vergangenheit bestätigt jedoch, dass nur wenige etablierte Unternehmen den Kundenrückgang der aus einer disruptiven Technologie ausgelöst wurde, kompensieren konnten.

- New-Market Disruption

Anders als die Low-End Disruption erfolgt die New-Market Disruption in einem **komplett neu erzeugten Marktumfeld**. Christensen spricht hierbei auch von der Einführung einer Innovation in einen **Nischenmarkt**. Während sich die Low-End Disruption an Kunden der Mitbewerber orientiert und bedient, spricht die New-Market Disruption bisherige „**nonconsumers**“ an. Das sind Kunden deren Präferenzen und Bedürfnisse durch das bisherige Marktangebot nicht abgedeckt werden konnten und sich deswegen bewusst gegen einen Kauf entschieden haben.⁸

Die neu eingeführte Innovation besitzt aber ein Produktkriterium, das für diese Kundengruppe von hoher Bedeutung ist. Wie auch in der Low-End Disruption sind diese Produkte aber in ihrer Einführungsphase den erhaltenden Technologien bezüglich Leistung deutlich unterlegen und somit bleibt es anfangs nur bei der von ihnen selbst erzeugten Kundengruppe den „nonconsumers“. Durch stetige Leistungsverbesserungen in „den traditionell gewünschten Eigenschaften des Produktes“⁸ kann die neue Technologie auch für die Kunden aus dem etablierten Marktsegment attraktiv genug werden.

Wie auch in der Low-End Disruption werden zunächst die **unteren Kundensegmente** aufmerksam auf die neue Technologie, ehe diese so weiterentwickelt wurde, um Kunden aus dem High-End Marktumfeld zu gewinnen.

New-Market-Disruptionen stellen für etablierte Unternehmen eine besondere Gefahr dar, da sie häufig **sehr spät erkannt werden**. Gründe für das nicht rechtzeitige Erkennen von New-Market Disruption sind folgende: Die neuen Technologien bauen sich ein eigenes Marktumfeld und wachsen zunächst in diesem. Ein weiterer Punkt der dazu führt ist, dass den etablierten Unternehmen zunächst keine Kunden verloren gehen, da erst die „nonconsumers“ darauf aufmerksam werden.

¹ Ein **Low-End Markt** besteht aus preisgünstigen Produkten, die für Kunden geeignet sind, die nicht bereit oder in der Lage sind, große Geldbeträge auszugeben oder nicht die volle Performance eines Produktes benötigen.

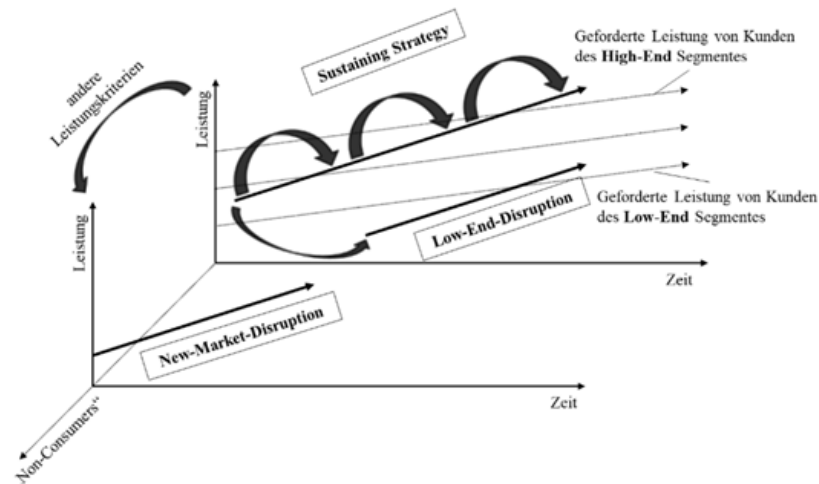


Bild 2.2: Technologiearten im graphischen Vergleich.

2.3 Beispiele für disruptive Innovations

Das wohl bekannteste Beispiel für disruptive Innovation ist die Digitalkamera, welche für das Unternehmen **Kodak** die Insolvenz bedeutete. Dieses Beispiel eignet sich, um die Low-End Market Disruption in der Praxis darzustellen. Kodak war im Jahre 1996 die viert wertvollste Marke der Welt und verkaufte Fotoapparate. Das Hauptgeschäft wurde durch den Verkauf von analogen Kameras dominiert. Kodak selbst entwickelte im Jahre 1975 die erste digitale Kamera, sah aber kein Grund in diese weiter zu investieren. Sie fokussierten sich dagegen weiterhin auf die Weiterentwicklung analoger Kameras. Die Konkurrenz entdeckte die neue Technologie der digitalen Fotografie für sich und das, obwohl die digitale Kamera zunächst wesentlich weniger Leistung als die analoge Kamera brachte.

Durch stetige Weiterentwicklung und Investition der digitalen Kamera schaffte man es, die neue Technologie erfolgreich am Markt zu etablieren. Lag der Anteil der Digitalkameras an allen verkauften Kameras im Jahr 2000 noch bei rund 12 Prozent, lag ihr Anteil zehn Jahre später bei über 99 Prozent. Somit brach auch Kodaks Umsatz enorm ein. Trotz zahlreicher Umstrukturierungen und veränderten Geschäftsmodellen, schaffte es Kodak nicht, den weggefallenen Umsatz der analogen Kameras zu kompensieren und meldete im Jahre 2012 Insolvenz an. 2013 erfolgte ein Neustart im Druckgeschäft für Kodak, konnte aber seit dem nie wieder an alten Größen anknüpfen [11].

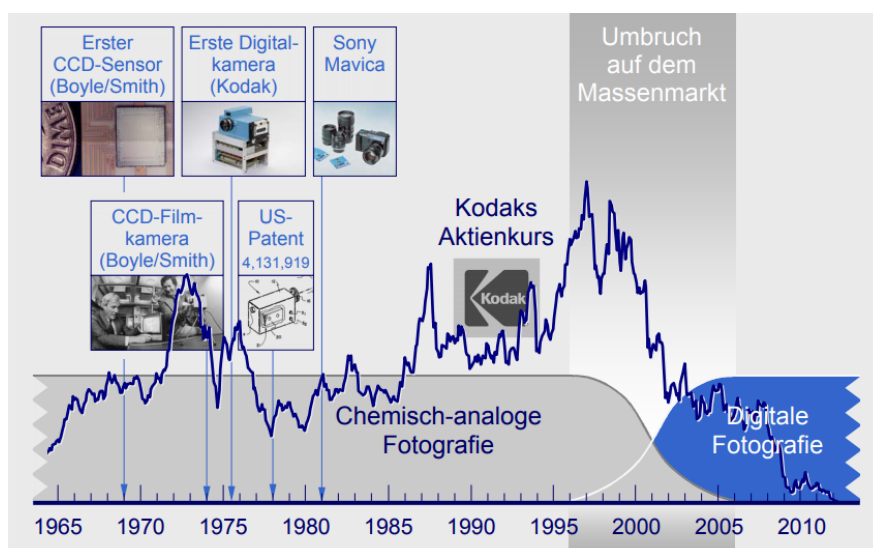


Bild 2.3: Beispiel Kodak.

Eine weitere disruptive Innovation, welche aber nicht in einem Low-Market ihren Ursprung hat, sind **Drohnen**. Hierbei kann man von einer New-Market Disruption sprechen. Zunächst wurden Drohnen nur für militärische Zwecke entwickelt. So nutzen die Vereinigten Staaten von Amerika das unbemannte Luftfahrzeug in den 60-er Jahren zu Spionage- und Aufklärungszwecken. Mit der stetigen Weiterentwicklung von Drohnen bezüglich ihrer Effizienz, wurde es möglich kleine, leistungsstarke und kostengünstige Drohnen zu bauen. Dies war ein wichtiger Meilenstein für den Einsatz von Drohnen, da sie nun im Massenmarkt etabliert werden konnte.

Die heutigen Einsatzgebiete sind vielfältig und disruptiv. So plant **Amazons** CEO Jeff Bezos kleinere Pakete per Drohne zu liefern. Dieser von ihm benannte „Prime Air“-Service wird den bereits etablierten Versandunternehmen wie DHL, DPD, Hermes oder UPS Marktanteile abnehmen oder diese sogar komplett vom Markt verdrängen.

In einem Harvard Business Review wurden einige Beispiele für disruptive Technologien analysiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt weitere Beispiele von aktuellen Disruptionen am Markt [12]:

Etablierte Technologie	Disruptive Technologie
Lokale Speicherung	Cloud Speicher
Lokale Geschäfte	eCommerce
Geldtransfer	Blockchain (Bitcoin)
Mechanische Uhr	Smartwatch
Reiseagenturen	Online Booking

Beispiele von bekannten Disruptoren:



Bild 2.4: Beispiele für Disruptoren.

2.4 Beispiele für Sustaining Innovations

Keine klassischen Disruptoren sind hingegen wie bereits erwähnt **Tesla**, **Uber** und **Airbnb**. Sie erfüllen nicht die Bedingungen für Low-End bzw. new Market-Innovationen. Sie sind ohne Zweifel sehr innovativ, allerdings nicht im Sinne von disruptiv nach der Definition von Christensen.

Uber hat die Art, wie Taxis arbeiten, verändert. Die Firma besitzt keine Autos und keine Fahrer und damit keine Fixkosten. Genauso wie Airbnb keine Hotels und kein Personal besitzt. Ihr Geschäftsmodell besteht darin, die vorhandenen Ressourcen anders zu nutzen. Aber das ist keine disruptive, sondern eine erhaltende oder inkrementelle Innovation (Sustaining Innovation).

2.5 Umgang mit disruptiven Technologien

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel verdeutlicht wurde, schaffen es viele etablierte Unternehmen nach einer Verdrängung durch einer disruptiven Technologie nicht erfolgreich zurück an den Markt. **439 von 500 Unternehmen** die im Jahre 1955 im Aktienindex S&P 500 gelistet waren, sind heute nicht mehr im jenem Aktienindex gelistet [13]. Deshalb ist der korrekte Umgang mit disruptiven Technologien für etablierte Unternehmen nicht zu vernachlässigen. Festzuhalten ist, dass es keinen perfekten Plan gibt, um sich vor Disruptiven Innovationen zu schützen. Dennoch gibt es verschiedenen Ansätze, die etablierte Unternehmen davor bewahren können.

▪ 3 Fragen die sich etablierte Unternehmen gegenüber neuer Konkurrenz stellen sollten:

- Hat die neue Idee Low-End-Potential?
- Hat die neue Idee New-Market Potential?
- Hat die neue Idee Einfluss auf alle etablierten Unternehmen?

▪ „The products, not the profits, were the motivation” – Steve Jobs [14]

Der erste Ansatz findet sich im Harvard Business Report „Steve Jobs Solved the Innovator’s Dilemma by HBS Professor Clay Christensen“ wieder. Dort wird auf die Biographie und Denkweise des ehemaligen CEO von Apple, Steve Jobs verwiesen. Etablierte Unternehmen, die ohnehin ein Monopol haben, glauben sie können nicht mehr durch Produktverbesserungen wachsen. Stattdessen fokussieren sie sich auf die Bereiche Sales und Marketing. Dies sei laut Jobs ein Fehler, denn es wird nur noch auf Profit, statt auf innovative Produkte gesetzt.

Visionäres Denken und die Bedeutung guter Produkte, welche sie an dieses Marktmonopol hingeführt haben, werden durch Sales und Marketing zerstört. Der Fokus auf Profit statt auf neue innovative Produkte erhöht die Wahrscheinlichkeit von einer neuen Technologie vom Markt verdrängt zu werden.

▪ Akquisition

Eine weitere Methode um sich vor disruptiven Innovationen zu schützen, ist das Aufkaufen disruptiver Unternehmen im frühen Stadium. Das Innovationsmanagement jedes etablierten Unternehmens sollte nach disruptiven Innovationen im Markt suchen und diese frühzeitig erkennen. Durch stetige Bereitschaft von liquiden Mitteln soll schnell gehandelt werden und das disruptive Unternehmen im frühen Stadium übernommen werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Unternehmen Alphabet Inc., dessen Tochtergesellschaft Google ist. In ihrer Bilanz 2019 weist Alphabet über 117 Milliarden US-Dollar

Barreserven auf und ist bekannt für die zahlreichen Akquisitionen jährlich. Bekannte Übernahmen Alphabets sind Youtube, HTC und Fitbit.

▪ Spin-Off

Ein sehr beliebtes Vorgehen, um sich vor disruptiven Technologien zu schützen, aber auch selber welche zu erfinden ist ein Spin-Off. Dabei gründen bereits etablierte Unternehmen ein neues unabhängiges Start-Up. Diese Start-Ups haben in der Regel nichts mit dem Kerngeschäft des etablierten Unternehmens zu tun. Sie agieren komplett losgelöst von ihrer Muttergesellschaft und könnten so schneller auf Marktänderungen reagieren.

Der weitere Vorteil gegenüber anderen Start-Ups ist die Möglichkeit auf Ressourcen des etablierten Unternehmens zurückgreifen zu können. So stellt die Muttergesellschaft meist liquide Mittel sowie Patente frei zur Verfügung. Als Spin-Off des **MIT** (Massachusetts Institute of Technology) schaffte es das Unternehmen **Boston Dynamics** Vorreiter und Weltmarktführer bei autonom laufenden Roboter zu werden.

Seit 2013 agiert Boston Dynamics zwar weiterhin unabhängig, wurde jedoch von Google aufgekauft. Ein weiter aktuelles Beispiel eines Spin-Offs ist ebenso eine Google Tochtergesellschaft. Unter dem Motto „*We create radical new technologies to solve some of the world's hardest problems*“ verfolgt das Start-Up „Google X – The Moonshot Factory“ das Ziel, neue Technologien und innovative Produkte zu entwickeln [15].

2.6 Alternatives Modell

Neben der Theorie disruptiver Technologien ist das **S-Kurven Modell** von **Richard Foster** ein weiteres Instrument des strategischen Innovationsmanagements.

Wie auch die disruptive Innovationstheorie von Clayton Christensen, behandelt auch das S-Kurven Modell die Technologiesprünge von alten zu neuen Technologien. Ähnlich wie bei den disruptiven Innovationen wird durch eine neue Technologie der Markt zur Veränderung gezwungen, wobei die alte Technologie langfristig vom Markt verdrängt wird. Dieses Modell sagt aus, dass jede Technologie verschiedene Entwicklungsstufen durchläuft, ehe es an seine Leistungsgrenze stößt. Anschließend folgt ein Technologiesprung, welches von einer neuen Technologie ausgelöst wird.

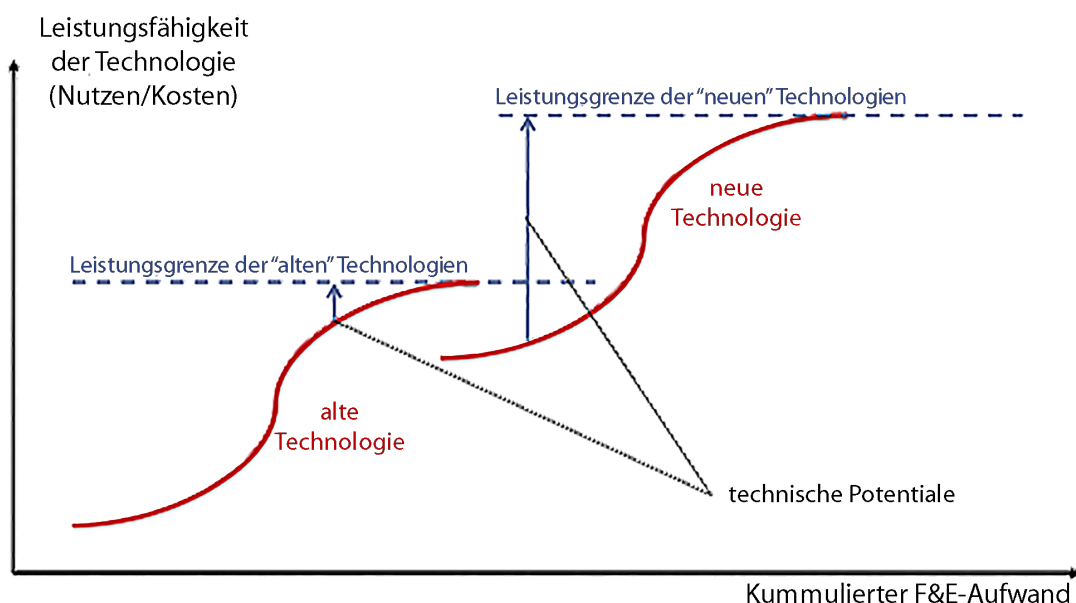


Bild 2.5: S-Kurven Modell nach Richard Foster.

Diese neue Technologie kann unter Umständen anfangs geringere Leistungsfähigkeiten aufweisen, da sie kaum erprobt und weiterentwickelt wurden. Somit ist nur ein Bruchteil der potenziellen Leistungsfähigkeit im Frühstadium vorhanden. Durch stetige Weiterentwicklung der neuen Technologien können aber erhebliche Fortschritte hinsichtlich der Leistungsfähigkeit erzielt werden. Die veraltete Technologie dagegen kann selbst mit hohen Kosten in Forschung und Entwicklung nur marginale Leistungsverbesserungen hervorbringen und wird langfristig obsolet für den Markt.

Ein geeignetes Beispiel um den Prozess des S-Kurven Modell zu verdeutlichen, ist der aktuelle Technologiewechsel in der **Automobilbranche**. Bereits im 19. Jahrhundert wurde der erste Verbrennungsmotor von Nicolaus Otto entwickelt [16]. Wie es für solch große technologische Entwicklungen der Regelfall ist, folgten über ein Jahrhundert kleinere Verbesserungen. So wurde der Verbrauch kontinuierlich durch inkrementelle Weiterentwicklungen verbessert. Der Motor, der heute seinen Einsatz im gesättigten Markt findet, hat aber mittlerweile kaum noch Verbesserungspotenzial.

Der Technologiesprung zu neuen Technologien wurde von der Automobilbranche bereits eingeleitet und erste elektrisch angetriebene Motoren werden auf dem Markt angeboten. Obwohl der Elektromotor sich momentan im Frühstadium des Lebenszyklus befindet, hat er schon faktisch den Verbrennungsmotor bezüglich Energieverbrauch eingeholt.

So müsste ein Elektroauto, das einem Benziner mit 5 l Verbrauch entspricht, dafür 42 kWh Energie verbrauchen. Ein entsprechendes Elektroauto verbraucht aber nur etwa 14 kWh [17]. Betrachtet man nun das langfristige Potential das durch weitere Verbesserungen erreicht werden könnte, ist davon auszugehen, dass der Verbrennungsmotor in den kommenden Jahren obsolet wird.

2.7 Zusammenfassung

Disruptive Technologien werden gerade im Zeitalter der Digitalisierung für viele Veränderungen am Markt sorgen. Vergangene Beispiele wie Kodak und Jeff Bezozs Vorhaben für Drohnenlieferungen bestätigen dies. Aber nicht nur aus der Vergangenheit lässt sich ein Wandel im Markt herleiten. Durch die immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen sowie der oben erwähnten Digitalisierung werden Marktprozesse beschleunigt.

Projekte der Zukunft wie Virtual Reality, Künstliche Intelligenz oder Blockchain werden zukünftige Umstrukturierungen im Markt hervorrufen. Dennoch sollte man zur gezielten Lenkung und Planung eines Unternehmens die erhaltenden Innovationen von den disruptiven Innovationen unterscheiden.

KAPITEL 3

Künstliche Intelligenz

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was man unter künstlicher Intelligenz versteht.
- ... Zusammenhang zwischen Künstlicher Intelligenz und Industrie 4.0
- ... aus welchen Disziplinen KI besteht.
- ... welche ethischen Fragen die KI aufwirft.
- ... was schwache und starke KI ist.
- ... Zukunftsperspektiven von künstlicher Intelligenz

Einführung

Künstliche Intelligenz (KI/AI)¹ – Was ist das? Eine künstliche Intelligenz kann eine Reihe von Aufgaben lösen, welche vom Menschen gelöst, Intelligenz erfordern. Hierfür verwendet die Künstliche Intelligenz eine Reihe von Methoden, die es einem Computer ermöglichen eben solche Aufgaben zu lösen. Das Benutzen einer künstlichen Intelligenz gilt hierbei als ein wesentlicher **Innovationstreiber** um Projekte im Rahmen der Industrie 4.0 umzusetzen.

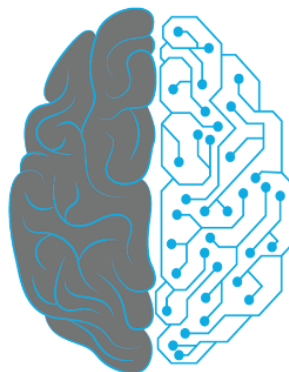


Bild 3.1: Künstliche Intelligenz (Abstrakte Darstellung).

¹ englisch: **AI** = Artificial Intelligence

3.1 Begriffsklärung Künstliche Intelligenz

Der Begriff der Künstlichen Intelligenz ist umstritten, da er als für die Simulation eines intelligenten menschlichen Denken und Handelns aufgefasst wird. Das Problem an dieser Definition ist, dass weder intelligentes menschliches Denken noch die Intelligenz an sich definiert ist. Zudem wird einzig der Mensch als Maßstab der Intelligenz verwendet, obwohl durch die Evolution eine Vielzahl an Organismen mit verschiedensten Graden der Intelligenz hervorgebracht wurde.

Daher schlägt der Mainzer Wolfgang Ertl in seinem Buch – „Künstliche Intelligenz – Wann übernehmen Maschinen?“ folgende Arbeitsdefinition für Intelligenz vor, welche unabhängig vom Menschen sowie von messbaren Größen von Systemen ist.

Arbeitsdefinition: Ein System heißt intelligent, wenn es selbstständig und effizient Probleme lösen kann. Der Grad der Intelligenz hängt vom Grad der Selbstständigkeit, dem Grad der Komplexität des Problems und dem Grad der Effizienz des Problemlösungsverfahrens ab.

Das Attribut künstlich bringt zusätzliche Assoziationen hervor. Es impliziert, dass versucht wird, das höchste Gut der Menschheit, die Intelligenz, zu verstehen, zu modellieren und nachzubauen. Elaine Rich, eine amerikanische Informatikerin, brachte hierzu eine passende Definition hervor.

Definition: Artificial Intelligence is the study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better.

Hier charakterisiert Rich das, was Wissenschaftler und Forscher seit etwa siebzig Jahren in der Forschung der KI tun. Laut Ertel wird diese Definition der künstlichen Intelligenz auch noch in 50 Jahren aktuell sein [18].

3.2 Geschichte der Künstlichen Intelligenz

Die Geschichte der KI startete in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts. Das Startjahr der KI wird auf 1950 datiert, als der britische Theoretiker **Alan Turing (1912-1954)** seinen berühmten Bericht zum Thema „Computing Machinery and Intelligence“ veröffentlicht. Turing entwickelte den nach ihm benannten „**Turing-Test**“. Bei diesem Test wird der Maschine künstliche Intelligenz zugesprochen, sobald diese dazu in der Lage ist, dass ein Mensch nicht unterscheiden kann ob mit einem anderen Menschen oder einer Maschine kommuniziert wird.

Hierfür kommuniziert der Mensch mittels eines Terminals, (bspw. Monitor und Keyboard) mit einer Maschine. Als Beispiel für solch einen Test dient der folgende Beispieldialog, hier werden Musterfragen und Musterantworten aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen verwendet. Am Beispiel des Dialogs wird zudem deutlich, dass selbst die Antwort auf die Frage des Gedicht Schreibens auch eine typische menschliche Antwort sein könnte. Turing meinte hierzu: „**Welcher Mensch ist schon kreativ und kann Gedichte schreiben?**“ [19].

F: Schreiben Sie mir bitte ein Gedicht über die Firth of Forth-Brücke.

A: In diesem Punkt muss ich passen. Ich könnte nie ein Gedicht schreiben.

F: Addieren Sie 34.957 zu 70.764.

A: (wartet ca. 30 Sekunden und gibt dann die Antwort) 105.721.

F: Spielen Sie Schach?

A: Ja.

F: Mein König steht auf e8; sonst habe ich keine Figuren mehr. Sie haben nur einen König auf e6 und einen Turm auf h1. Sie sind am Zug. Wie ziehen Sie?

A: (nach einer Pause von 15 Sekunden) Th1-h8, matt.

In der Forschung lassen sich vier Entwicklungsphasen der KI unterscheiden.

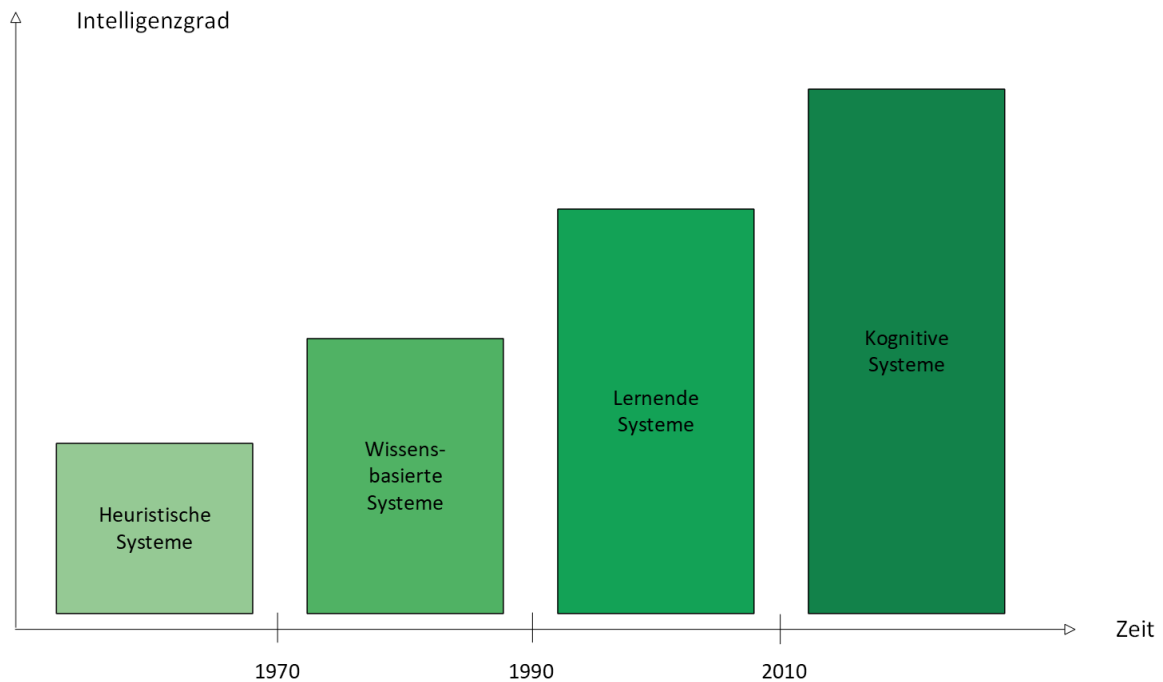


Bild 3.2: Vier Phasen der KI-Forschung (in Anlehnung an [20])

Phase 1: Heuristische Systeme (1956-1970)

1956 wird auf einer Konferenz des Dartmouth College der Begriff „Artificial Intelligence“ von John McCarthy (1927-2011) eingeführt. Die erste Phase der KI-Forschung ist von hohen Erwartungen an die neue Technologie geprägt. Es sollten eher allgemeine Problemlösungsverfahren für Computer definiert werden. Dies war jedoch zur damaligen Zeit nicht erfolgreich, wohingegen die Forschung im Bereich der spezialisierten Programme große Erfolge verbuchen konnte. Es wurde deutlich, dass gute KI-Programme von einer geeigneten Datenbank und einem schnellen Abrufverfahren abhängig waren.

Diese Verfahren basieren auf einem **heuristischen Ansatz** zur Problemlösung, bei dem auch das Schlussfolgern als Suchprozess betrachtet wird. Ziel war es, das menschliche Problemlösungsverhalten zu verstehen. Ein frühes Anwendungsbeispiel war das Schachspielen.

Phase 2: Wissensbasierte Systeme (1971-1990)

In der zweiten Phase der KI, lässt sich eine verstärkte Zuwendung zu spezialisierten Programmen verzeichnen. Eine weitgehend bekannte Programmiersprache „MACSYMAL“, welches eine Sammlung von Spezialprogrammen in der üblichen mathematischen Schreibweise darstellte etablierte sich. Typische Aufgaben der Programme waren das Integrieren und das Differenzieren, was auch heutzutage noch benötigt wird.

Wissensbasierte Systeme verarbeiten Wissen durch eine Wissensbasis und eine Schlussfolgerungskomponente. Sie ziehen logische Schlüsse aus vorhandenen Informationen und gelten als wichtiger Aspekt intelligenter Systeme.

Ein bekanntes Beispiel ist das medizinische Expertensystem MYCIN, das in den 1970er Jahren zur Diagnose bakterieller Infektionen entwickelt wurde.

Phase 3: Lernende Systeme (1991-2010)

Lernen gilt als ein zentrales Merkmal von Intelligenz. **Maschinelles Lernen** zeichnet sich durch zwei grundlegende Eigenschaften aus: Zum einen erfordert es Eingabedaten, die als Trainingsdaten bezeichnet werden. Zum anderen besteht der Prozess darin, aus diesen Trainingsdaten Erfahrungen zu gewinnen und diese in ein Modell zu überführen. Ein solches Modell ist häufig zusätzlich von weiteren Parametern abhängig.

In den 90er Jahren wird vermehrt in die Forschung zur künstlichen Intelligenz investiert. 1997 findet hier auch der erste internationale RoboCup von Fußball spielenden Robotern statt. Im gleichen Jahr besiegt die KI „Deep Blue“ von IBM den damaligen Schachweltmeister Gary Kasparov mit 3,5 zu 2,5 und beweist damit eindrucksvoll was die KI imstande zu leisten ist.

Existierende Go-Programme hatten Ende der 1990er Jahre eine Spielstärke, die kaum über die von ambitionierten menschlichen Anfängern hinausging.

Phase 4: Kognitive Systeme (seit 2010)

Kognitive Systeme vereinen die Lernverfahren aus Phase 3 mit den wissensbasierten Methoden, die in Phase 2 entwickelt wurden [20].

Die Servicerobotik entwickelt sich zu einem dominanten Forschungsgebiet der KI. 2010 stellt Google das erste Self Driving Car auf dem Freeway in Kalifornien vor.

Im Oktober 2015 kam es zu einem AlphaGo Vergleichskampf mit dem amtierenden Europameister und professionellen Go-Spieler Fan Hui. AlphaGo entschied die Partien mit 5:0 für sich.

2018 stellte die Google-Firma DeepMind die KI AlphaZero vor. Diese erlernte innerhalb weniger Stunden nacheinander die Spiele Schach, Go und Shogi und war dann besser als jede Software, die bislang entwickelt wurde und damit weit übermenschlich.

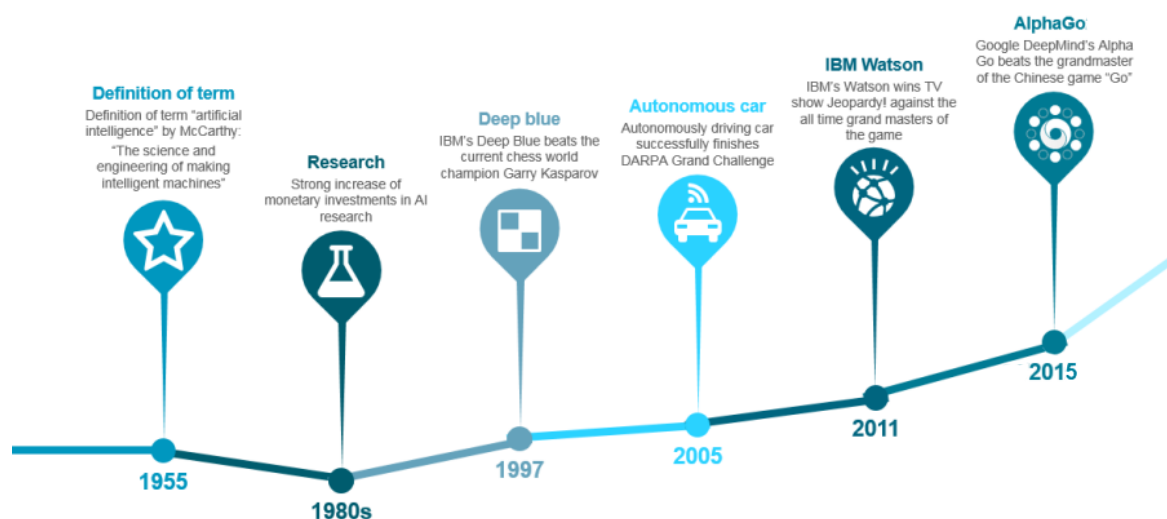


Bild 3.3: Geschichte der Künstlichen Intelligenz

3.3 Zusammenhang von KI und Industrie 4.0

Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, die durch Digitalisierung und Automatisierung geprägt ist. KI spielt dabei eine zentrale Rolle, indem sie große Datenmengen analysiert, Maschinen intelligenter macht und Prozesse autonom steuert. Anwendungen wie vorausschauende Wartung, intelligente Robotik und optimierte Lieferketten ermöglichen eine vernetzte, flexible und effiziente Produktion [21].

Automation beeinflusst durch KI

KI ermöglicht es Systemen, innerhalb festgelegter Grenzen selbstständig zu lernen und Probleme zu lösen. Sie spielt besonders in der autonomen Steuerung industrieller Prozesse eine zentrale Rolle, wobei die Autonomiestufe den Grad eigenständigen Handelns bestimmt.

Die Autonomie eines Systems hängt von der Aufgabenkomplexität und der Rolle des Menschen ab. Um höhere Autonomiestufen zu erreichen, müssen KI-Systeme weiterentwickelt werden, da ihre Entscheidungsfähigkeit auf Erfahrungswissen basiert. KI ist somit entscheidend für die Entwicklung intelligenter, autonomer Systeme.

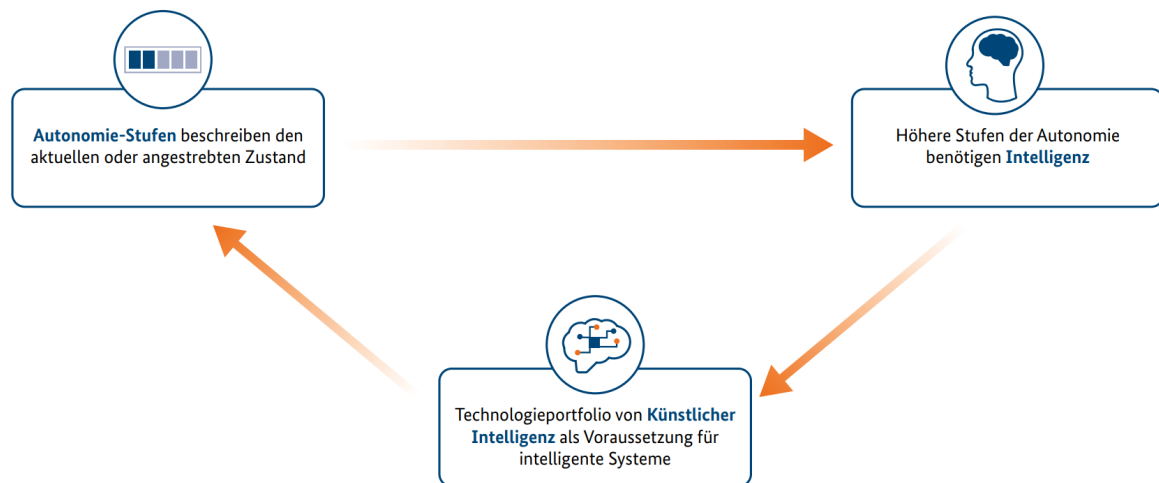


Bild 3.4: Genereller Zusammenhang von Autonomie und KI [21]

Die industrielle Produktion umfasst den gesamten Lebenszyklus einer Anlage – von der Planung über den Betrieb bis hin zur Wartung und Außerbetriebnahme, wobei alle Bereiche miteinander verknüpft sind.

Ein abgestuftes Modell des autonomen Handelns ist wichtig, da nicht jedes System den gleichen Autonomiegrad benötigt. Verschiedene Bereiche wie Prozessführung, Planung und Instandhaltung haben unterschiedliche Automatisierungsstufen. Die folgende Abbildung zeigt die schrittweise Erreichung höherer Autonomiestufen.

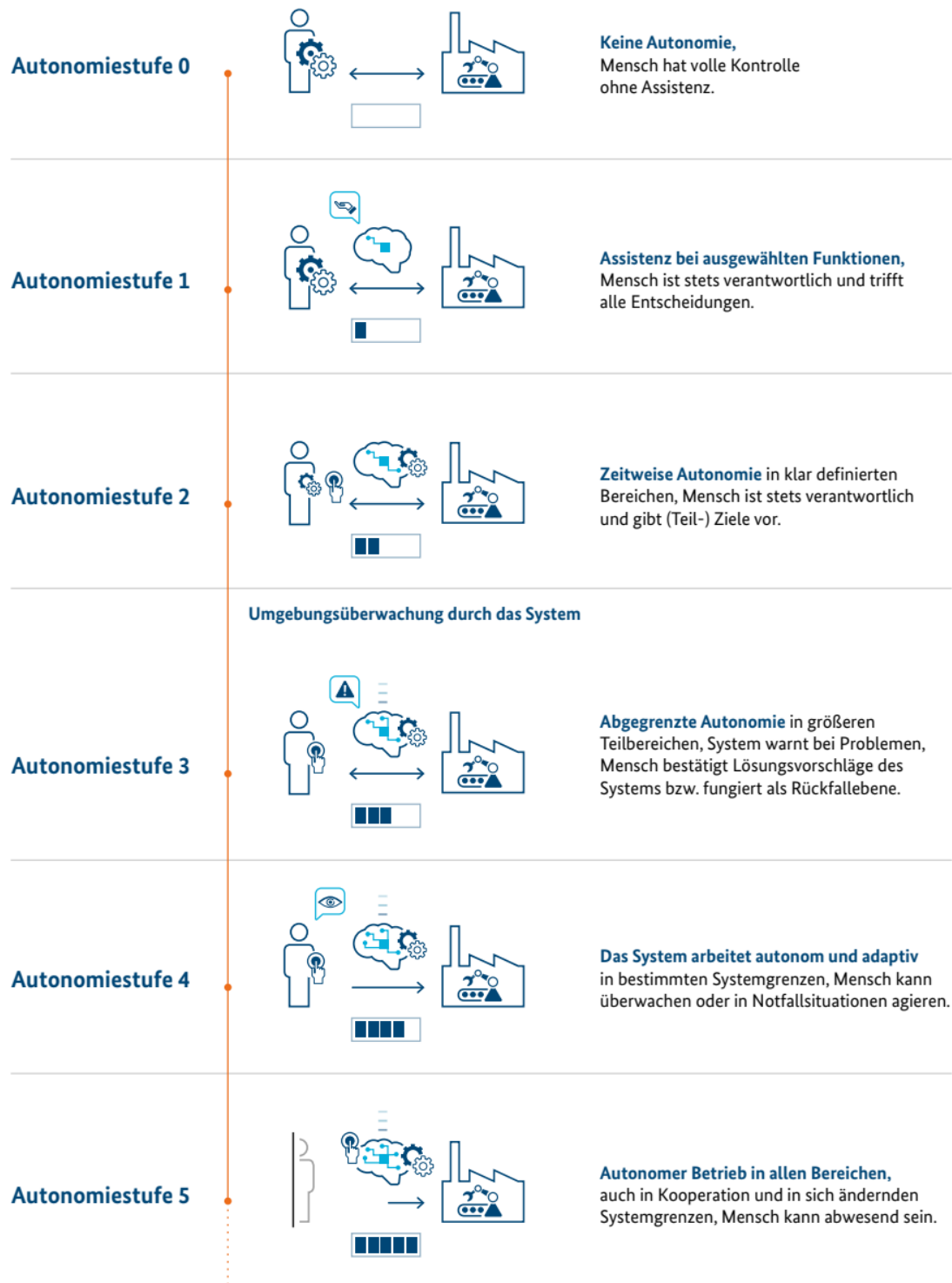


Bild 3.5: Übergeordnete Definition der KI-beeinflussten Autonomie-Stufen in der industriellen Produktion [21]

Die wichtigsten Bereiche der Künstlichen Intelligenz sind das Maschinelle Lernen, Neuronale Netze, der Bereich des Deep Learning und das Data Mining [22].

3.4 Machine Learning

Bei Machine Learning lernt ein künstliches System beziehungsweise ein Computer aus Erfahrungen und ist nach einer Trainingsperiode in der Lage Aufgaben zu lösen, für die das System nicht vorprogrammiert wurde [23].

Der Lernprozess ist umso erfolgreicher desto mehr Daten dem System zur Verfügung stehen. Während des Lernprozesses werden die Daten zunächst eingeteilt in Trainings-Daten, Validierungs-Daten und Test-Daten. Mit Hilfe der Trainings-Daten ist das System in der Lage Muster und Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und somit ein Modell mit Entscheidungsregeln und unterschiedlichen Parameter zu entwickeln. Mit Hilfe der Validierungs-Daten kann die Richtigkeit des Modells überprüft werden und im Anschluss kann anhand der Test-Daten die Genauigkeit ermittelt werden.

Grundsätzlich existieren drei unterschiedliche Formen des Machine Learnings:

- **Überwachtes Lernen** (Supervised Learning)
- **Unbewachtes Lernen** (Unsupervised Learning)
- **Bestärkendes Lernen** (Reinforcement Learning).

Beim **überwachten Lernen** werden Training-Daten zur Verfügung gestellt, bei denen die Eingabe und die zugehörige Ausgabe beziehungsweise das Ergebnis bekannt sind. Bei dieser Art des Machine Learning ist die Richtigkeit der vorliegenden Daten von besonderer Wichtigkeit, da sonst falsche Zusammenhänge erlernt werden.

Das **unbewachte Lernen** unterscheidet sich vom überwachten Lernen insofern, dass hierbei dem System die richtige Ausgabe bei den Trainings-Daten nicht bekannt ist. Die Daten werden auf Muster analysiert und anhand unterschiedlicher Merkmale gruppiert.

Bei der dritten Form des Machine Learnings, dem **bestärkenden Lernen**, wird das System mit Problemstellungen konfrontiert und erhält immer wieder positives oder auch negatives Feedback zu seinem gewählten Lösungsweg. Das System erlernt somit Strategien, die Belohnungen maximieren [22].

Schon heute haben Machine Learning Prozesse zahlreiche Einsatzgebiete in unserem Alltag, wie zum Beispiel bei der Gesichtserkennungssoftware in Laptops und Smartphones oder auch bei personalisierten Produktempfehlungen. Maschinelle Lernprozesse können in vielen Umgebungen und Branchen die Handhabung großer Datenmengen erleichtern. Beispielsweise können derartige Systeme in Fertigungsunternehmen in der Qualitätskontrolle genutzt werden, um Abweichungen von der Norm zu erkennen. Predictive-Maintenance-Modellen ermöglichen Unternehmen eine effektive Ressourcennutzung, indem sie den Zeitpunkt des Versagens von Produktionsanlagen und Maschinen voraussagen.

Auch in der **Finanzwirtschaft** existieren viele Einsatzmöglichkeiten für die beschriebene Technologie. Zum Beispiel können Risiken realistischer eingeschätzt werden oder Portfolios optimal auf die Anlegerziele abgestimmt werden. Des Weiteren könnte das **Gesundheitswesen** und insbesondere die Diagnosemöglichkeiten im Krankheitsfall durch den gezielten Einsatz von Machine Learning revolutioniert werden. Anhand der Analyse von Patientendaten können so auch individuelle Therapiemöglichkeiten erkannt und angewendet werden.

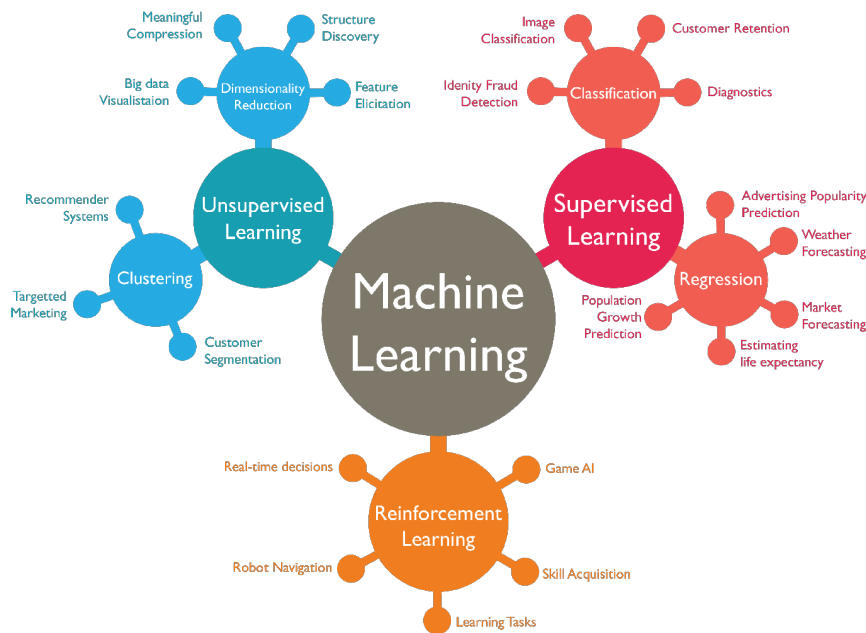


Bild 3.6: Machine Learning: Verschiedene Lernmethoden.

3.5 Deep Learning

Deep Learning und Machine Learning sind zwei sehr ähnliche Verfahren zur Datenauswertung. Deep Learning wird vor allem bei großen, mehrdimensionalen Daten eingesetzt, das Machine Learning hingegen eher bei kleinen Datensätzen, welche schnell und ressourcenschonend verarbeitet werden. Die Grundlage für Deep Learning bilden zudem Neuronale Netze (Siehe Kapitel 3.6), welche während des Lernvorgangs immer wieder neue Verknüpfungen erstellen und dadurch einer Maschine das Lernen ermöglichen. Dabei wird eine Maschine in die Lage versetzt selbstständig und ohne einen menschlichen Eingriff ihre Fähigkeiten zu verbessern. Das wird erreicht durch das Auswerten von vorhandenen Daten in denen Muster erkannt, extrahiert und anschließend klassifiziert werden. Die Erkenntnisse werden mit Daten in Zusammenhang gebracht um sie in einem weiteren Kontext zu verknüpfen. Im Anschluss ist die Maschine fähig, Entscheidungen auf Basis der Verknüpfungen der Daten zu treffen.

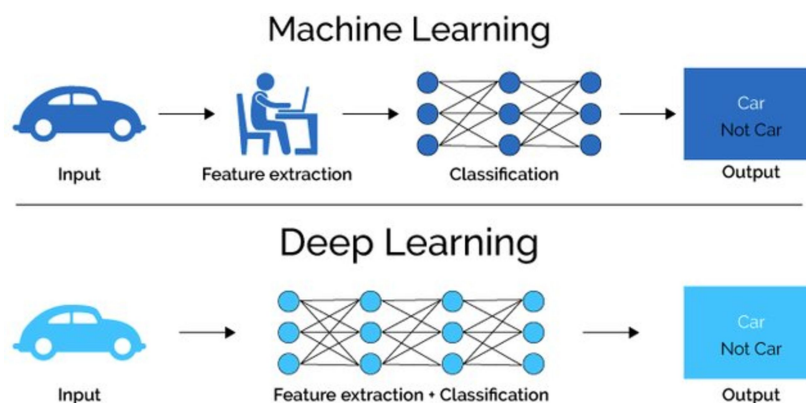


Bild 3.7: Machine Learning vs. Deep Learning

Durch das dauerhafte Hinterfragen von Entscheidungen erhalten bestimmte Informationsverknüpfungen unterschiedliche Gewichtungen. Wird beispielsweise eine Entscheidung bestätigt, erhöht sich die Gewichtung der Verknüpfung und vice versa. Dadurch entstehen zwischen der Eingabeschicht und der Ausgabeschicht immer mehr Zwischenschichten und Verknüpfungen. Über den Output entscheiden dann die Zwischenschichten (Abb. 3.8).

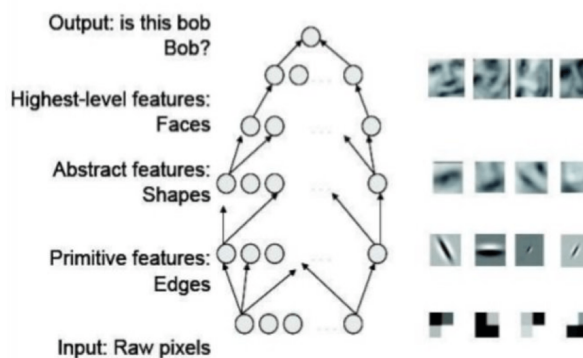


Bild 3.8: Deep Learning Merkmals-hierarchie bei der Bildverarbeitung

Deep Learning erfordert auf Grund der sehr großen Datenmengen mehr Rechenleistung. Klassische Prozessoren (CPU) reichen daher nicht aus, sondern es werden leistungsfähige Grafikprozessoren (GPU) verwendet. Das liegt vor allem daran, dass das Trainieren von einem Deep Learning Modell je nach Komplexität und Größe bis zu mehreren Wochen andauern kann. Ein Problem des Deep Learning stellt die **fehlende Transparenz** dar. Ohne einen zusätzlichen Aufwand kann kein Rückschluss auf das Entstehen einer Prädikation geschlossen werden. Denn das Neuronale Netz eines Deep Learning Modells lernt durch die Daten während des Trainings, wie Entscheidungen getroffen werden. Daher wird zum Beispiel in **Finanzsektoren** auf das Verwenden von Deep Learning Modellen **verzichtet** und bewusst auf Machine Learning Modelle gesetzt.

3.6 Neuronale Netze

Neuronale Netze sind Netzwerke aus Nervenzellen im Gehirn eines jeden Lebewesens. Neuronale Netze sorgen beim Menschen für komplexe Verschaltungen und die Adaptivität mit welcher unsere Intelligenz sowie verschiedenste motorische und intellektuelle Fähigkeiten ermöglicht werden. Das Gebiet der Künstlichen Neuronalen Netzen nimmt sich die Natur zum Vorbild.

Abbildung 3.9 zeigt hier jeweils eine Darstellung eines natürlichen neuronalen Netzes und eines künstlichen neuronalen Netzes. Ein einzelnes Neuron (grün) besitzt dabei viele Eingänge (Synapsen), an denen Signale ankommen können. Wenn die Synapsen des Neurons einen Schwellenwert erreichen gibt dieses wiederum ein Signal über das Axon heraus. Die Neuronen sind insgesamt jedoch viel komplexer ineinander verwoben. Um dieses Prinzip auch für eine künstliche Intelligenz anwenden zu können wird das System vereinfacht und in mehrere Schichten dargestellt.

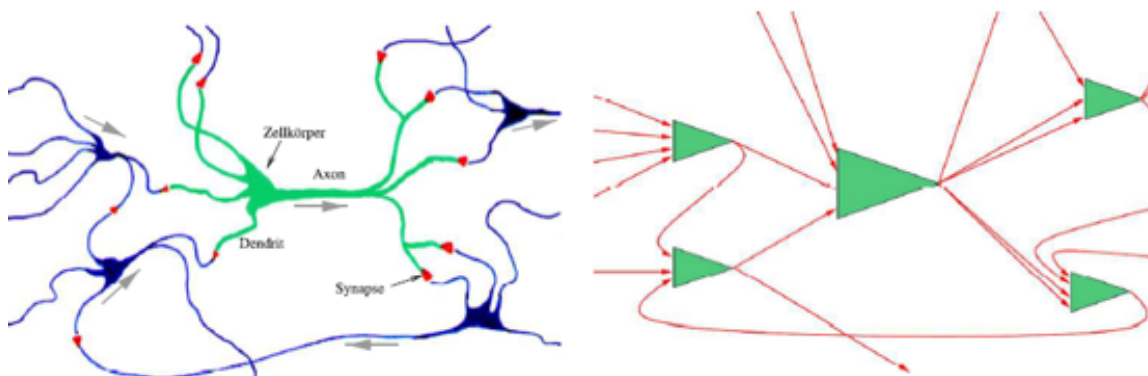


Bild 3.9: Natürliches Neuronales Netz und Künstliches Neuronales Netz

Ein einfaches Beispiel für künstliche neuronale Netze bildet die Bildererkennung. Angenommen ein Bild mit 128 Pixeln, welche eine Katze abbilden, soll klassifiziert werden (Abb. 3.10). Im ersten Schritt werden alle 128 Pixel mit den Eingängen eines Neurons verbunden. Dabei besitzt jedes Neuron 4 Eingänge was 32 Neuronen in der ersten Schicht des neuronalen Netzes ergibt. Da die Pixel jeweils im eigentlichen Sinne einen Zahlenwert innehaben, wird dieser Zahlenwert weitergegeben an die Eingänge der Neuronen. Wenn die Eingänge eines Neurons nun einen gewissen Schwellenwert erreichen gibt das Neuron einen Ausgabewert weiter [24].

Eine wichtige Rolle spielt noch die Gewichtung der einzelnen Pixel und Neuronen. Als Beispiel haben die Pixel unterschiedliche Gewichtungen, da manche am Rand und manche eher zentriert liegen. Im nächsten Schritt kann auch der Schwellenwert der Neuronen geändert werden. Beispielsweise gibt ein Neuron schon bei einem geringen Eingabewert einen Ausgabewert weiter und ein anderes wiederum nicht.

Für die Neuronen ist es daher von immenser Wichtigkeit die beiden Parameter, Gewichtung und Schwellenwert zu beachten. Nun würde auf die erste Schicht des künstlichen neuronalen Netzes eine zweite gelegt werden, mit 8 Neuronen, welche jeweils wieder 4 Eingänge haben. Der Prozess der Bildererkennung durchläuft dann immer mehr Schichten bis zum obersten Abstraktionslevel, in welcher dann der Ausgabewert „Katze“ ausgegeben wird. Damit das auch bei möglichst vielen unterschiedlichen Bildern erkannt wird, kann das neuronale Netz noch trainiert werden. Hierfür werden die einzelnen Parameter so lange eingestellt, bis jede Katze erkannt wird. Dies basiert auf dem überwachten Lernen des Machine Learnings, wo die Ein- und Ausgabewerte bereits bekannt sind.

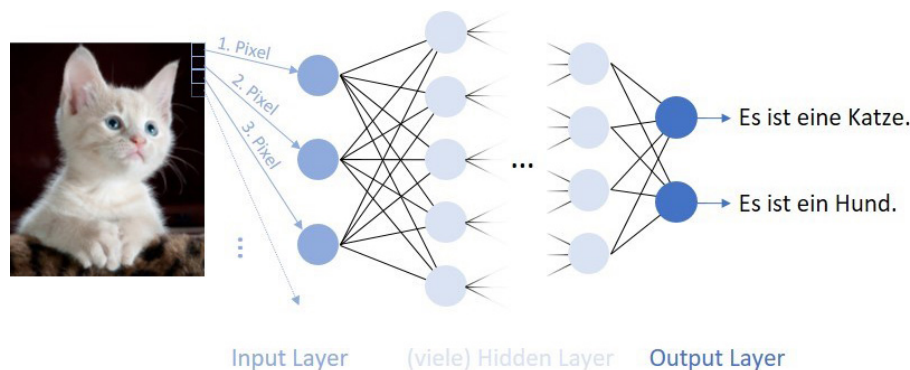


Bild 3.10: Darstellung zur Bildererkennung.

3.7 Data Mining

Data Mining ist der Prozess des Analysierens von großen Datenmengen von verschiedenen Datenquellen, um nutzbare Informationen zu sammeln. Dies geschieht durch das Auffinden einiger bisher unbekannter Muster, Anomalien und Korrelationen. All diese werden später für die Vorhersage zukünftiger Ergebnisse verwendet. Das Data Mining basiert auf drei hauptsächlichsten Modellierungen.

- **Deskriptive Modellierung**
- **Vorhersagende Modellierung**
- **Präskriptive Modellierung**

Die **deskriptive Modellierung** deckt Gemeinsamkeiten oder Gruppierungen in historischen Daten auf, um die Gründe für Erfolg oder Misserfolg zu bestimmen, wie z.B. die Kategorisierung von Kunden nach Produktpräferenzen oder Stimmung. Zu den Beispieltechniken der

Deskriptive Modellierung gehört unter anderem das Clustern, welches ähnliche Datensätze gruppiert sowie das Lernen von Assoziationsregeln, welches das Erkennen von Beziehungen zwischen Datensätzen beschreibt [25].

Die **Vorhersagende Modellierung** geht tiefer, um Ereignisse in der Zukunft zu klassifizieren oder unbekannte Ergebnisse abzuschätzen - zum Beispiel mit Hilfe von **Kredit-Scoring**, um die Wahrscheinlichkeit der Rückzahlung eines Kredits durch eine Person zu bestimmen. Die prädiktive Modellierung hilft auch, Erkenntnisse für Sachverhalte wie Kundenabwanderung, Kampagnenreaktionen oder Kreditausfälle aufzudecken. Zu den Beispieltechniken gehören Entscheidungsbäume in der jeder Zweig ein wahrscheinliches Ereignis darstellt.

Bei der **Präskriptiven Modellierung** werden interne und externe Variablen und Einschränkungen betrachtet, um eine oder mehrere Handlungsempfehlungen zu geben - z.B. die Bestimmung des besten Marketingangebots, das an jeden Kunden gesendet werden soll. Zu den Beispieltechniken gehören die Optimierung des Marketings hinsichtlich der Simulation des vorteilhaftesten Medienmixes in Echtzeit für den höchstmöglichen Return on Investment (ROI) sowie Prädiktive Analysen, welche die Entwicklung von „**Wenn-Dann**“-Regeln aus Mustern und Vorhersage von Ergebnissen beschreibt.

Mit der Zunahme von unstrukturierten Daten aus dem Internet, Kommentarfeldern, Büchern, E-Mails, PDFs, Audio- und anderen Textquellen hat auch die Relevanz von Text Mining als verwandte Disziplin des Data Mining erheblich zugenommen.

Das Data Mining benötigt die Fähigkeit, unstrukturierte Daten erfolgreich zu **parsen**¹, zu filtern und zu transformieren, um sie in Vorhersagemodelle für eine verbesserte Vorhersagegenauigkeit einzubeziehen. Letztendlich sollte Data Mining nicht als eine separate, eigenständige Einheit betrachtet werden, da Vorverarbeitung (Datenvorbereitung, Datenexploration) und Nachverarbeitung (Modellvalidierung, Scoring, Modelleleistungsüberwachung) gleichermaßen wichtig sind.

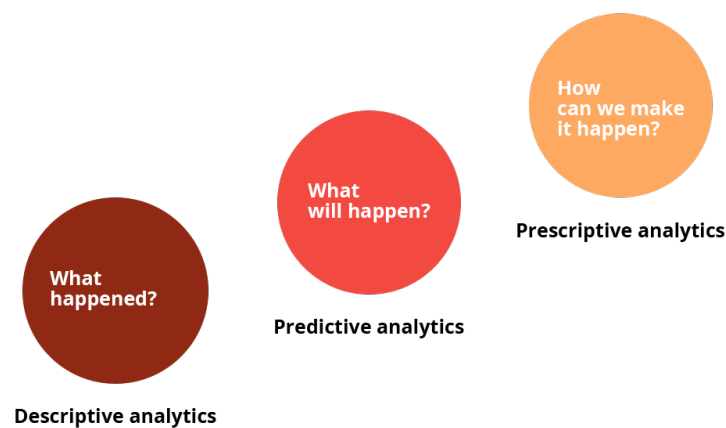


Bild 3.11: Modellierungen Data Mining

¹ **parsen**: Syntax einer formalen Sprache analysieren [26].

3.8 Ethik und Einfluss auf den Arbeitsmarkt beim Einsatz von KI

Ein brisanter Teil der KI-Forschung ist die der ethischen Klärung. Ein wesentlicher Streitpunkt ist die Frage ob und wie viele Arbeitsplätze durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz ersetzt beziehungsweise redundant gemacht werden. Laut einer Studie des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales liegt das Automatisierungspotenzial von Arbeitsplätzen in Deutschland bei 12 %. Dabei sind vor allem Berufe wie die Büro- und Sekretariatskräfte, Bürokräfte im Finanz- und Rechnungswesen, Maschinenbediener und Hilfskräfte betroffen [27].

Eine Studie der amerikanischen Investmentbank Goldman Sachs vom März 2023 zeigt auf, wonach durch KI-Tools wie ChatGPT bis zu **300 Millionen** Vollzeit Arbeitsplätze weltweit durch künstliche Intelligenz ersetzt werden könnten (Briggs/Kodnani 2023). Wobei administrative und juristische Funktionen zu den am stärksten betroffenen gehören.

Laut einer ebenfalls aktuellen McKinsey-Studie nutzen Unternehmen generative KI, um ihre Produktivität erheblich zu steigern und Kosten zu senken. Diese Technologie ermöglicht es, verschiedene Geschäftsprozesse effizienter zu gestalten und dabei signifikante Zeit- und Kosteneinsparungen zu realisieren.

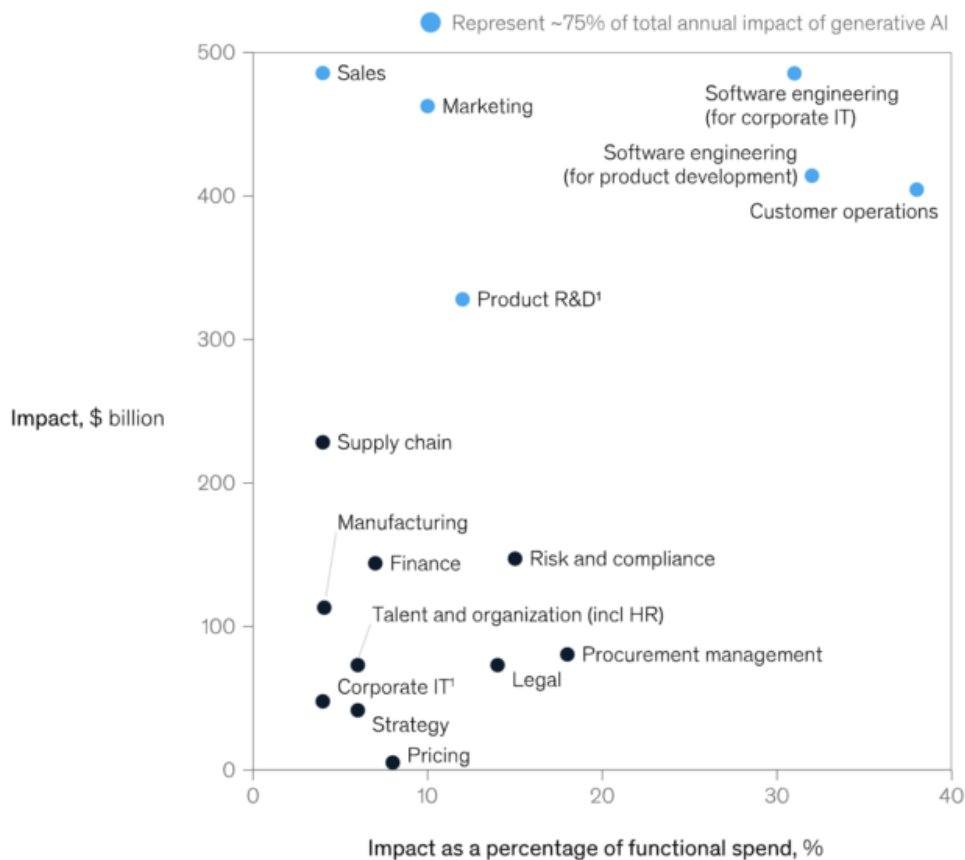


Bild 3.12: KI Auswirkungen am Arbeitsmarkt verursacht durch generative KI (McKinsey, 2024).

Generative KI kann Aufgaben übernehmen, die zuvor menschliches Urteilsvermögen erforderten, und somit die Produktivität um 60-70% erhöhen. Insbesondere in den Bereichen Softwareentwicklung und Kundeninteraktionen sorgt KI für schnellere Abläufe und geringere Betriebskosten. Dies führt zu einem erheblichen Wettbewerbsvorteil und einer besseren Ressourcenallokation für Unternehmen.

3.9 Ethik und Recht beim Einsatz von KI

Die zunehmende Komplexität und Autonomie von KI stellt Ethik und Recht vor neue Herausforderungen. KI-Systeme treffen oft schwer nachvollziehbare Entscheidungen, was die Bewertung und Zulassung erschwert. Zudem entstehen Fragen zur Entscheidungsbefugnis von Maschinen und zur Verantwortung. Ein zentrales Problem ist die Zurechnung von Entscheidungen: Oft wird der Mensch verantwortlich gemacht, obwohl er sich gegen maschinelle Vorschläge schwer wehren kann. Diese Entwicklungen erfordern neue ethische und rechtliche Debatten.

KI verändert viele Lebensbereiche und bringt sowohl Vorteile als auch Risiken. Ethik und Recht müssen sich mit diesen Fragen befassen, um Vertrauen zu sichern und Schäden zu vermeiden. Besonders die Autonomie moderner KI, die selbstständig lernt und Entscheidungen trifft, stellt neue Anforderungen an Transparenz, Datenschutz und Haftung. KI-Entscheidungen basieren oft auf Korrelationen, was rechtlich problematisch ist, da sie nicht nachvollziehbar sind. Diese Autonomie erfordert eine eigene ethische und rechtliche Bewertung, die klassische Konzepte herausfordert.

Die Weiterentwicklung von KI birgt Risiken wie Fehlfunktionen und falsche Diagnosen. Die Verantwortung bei autonomen Systemen ist schwer zu klären, da Fehlverhalten oft unvorhersehbar ist. Auch Datenschutz ist eine Herausforderung, da KI oft auf personenbezogene Daten zugreift und diese verknüpft. Zudem kann KI Diskriminierung begünstigen, wenn Entscheidungen auf nicht transparenten Kriterien beruhen. Diese Herausforderungen erfordern eine kontinuierliche Regulierung von KI [28].



Bild 3.13: Beispiele für möglichen Missbrauch [29]

Ein Beispiel für KI-generierte Inhalte sind die viralen Bilder von Donald Trump bei einer vermeintlichen Festnahme, Papst Franziskus in einer weißen Daunenjacke oder Emmanuel Macron als Müllmann. Diese Bilder, erstellt mit generativen KI-Modellen, verbreiteten sich schnell. Während das Papst- und Macron Bild humorvoll aufgenommen wurde, führte das Trump-Bild zu Kontroversen, da es als echte Nachricht missverstanden wurde.

Diese Beispiele zeigen die ethischen Herausforderungen von KI-Inhalten, besonders im Hinblick auf Transparenz, Gerechtigkeit und Nicht-Boshaftigkeit.

- **Transparenz:** Es muss klar erkennbar sein, ob Inhalte von KI erzeugt wurden, um Fehlinformationen zu vermeiden. Unternehmen und Plattformen sind gefordert, entsprechende Kennzeichnungen oder Wasserzeichen einzuführen.
- **Gerechtigkeit:** Die Verbreitung von Deepfakes kann zu Verzerrungen in der öffentlichen Wahrnehmung führen und gezielt zur Manipulation eingesetzt werden. Besonders gefährlich wird dies in politischen und gesellschaftlichen Kontexten.
- **Nicht-Boshaftigkeit:** Der Einsatz von KI zur bewussten Täuschung oder Verleumdung kann erhebliche Schäden anrichten. Deshalb sind regulatorische Maßnahmen und technische Schutzmechanismen notwendig, um Missbrauch einzudämmen.

KI wirft gesellschaftliche Fragen auf, etwa die Angst vor Jobverlust und schwindender zwischenmenschlicher Interaktion. Dies erfordert Anpassungen rechtlicher und moralischer Normen. Experten betonen, dass Konzepte von Schuld und Verantwortung überdacht werden müssen, besonders im Hinblick auf die Zuweisung von Verantwortung für KI-Entscheidungen.

Ethische Aspekte der KI treten somit immer mehr in den Mittelpunkt, da Algorithmen immer tiefer in gesellschaftliche Zusammenhänge eingreifen und sich nicht mehr nur auf spezifische Anwendungen beschränken. Die künstliche Intelligenz ändert Wertschöpfungsprozesse, die private zwischenmenschliche Kommunikation sowie die Interaktion von Menschen.

Schwache und starke KI

Dieser Einfluss der KI wird besonders deutlich wenn der Schritt von einer **schwachen KI**¹ zu einer **starken KI**² vollzogen wird. Daher ist es umso wichtiger bereits vorgreifend Antworten auf Fragen zu finden, welche die Veränderung unserer Gesellschaft durch diese Schlüsseltechnologie betreffen.

Bei Fragen hinsichtlich Verantwortung, dem sozialen Miteinander oder der individuellen Persönlichkeitsentfaltung setzt sich der Kerndiskurs um Ethik und der künstlichen Intelligenz fort. Die KI wirft dabei aber keine grundsätzlich neuen ethischen Fragen auf. Jedoch verleiht die KI diesen grundlegenden Debatten ein neues Gewicht.

Ethische und rechtliche Vorgaben in KI-Systeme zu integrieren ist komplex, da sie nicht einfach in Algorithmen übersetzt werden können.

Die Debatte zur Ethik einer KI ist dabei längst nicht erschöpft, es bedarf hier neben technologischem Fortschritt einer auf dem ethischen Diskurs aufgebauten proaktiven Debatte über die Gestaltung und Regulierung von KI.

1 **Schwache KI:** Systeme, die in einem spezifischen, eng definierten Kontext intelligent agieren und dort sogar menschliche Fähigkeiten übersteigen können.

2 **Starke KI:** Hypothetische KI-Systeme, die mindestens über menschenähnliche Intelligenzleistung in allen Bereichen und nicht nur in eng definierten Anwendungsfeldern verfügen.

3.10 Modell zu KI-Ethik-Prinzipien und Handlungsempfehlungen

Ein Modell für ethische KI-Nutzung vereint zentrale Prinzipien bestehender Ansätze: Wohltätigkeit, Transparenz, Nicht-Boshaftigkeit, Autonomie, Gerechtigkeit und Datenschutz. Diese dienen als Grundlage für Entwicklung und Anwendung, mit kontextabhängiger Gewichtung.

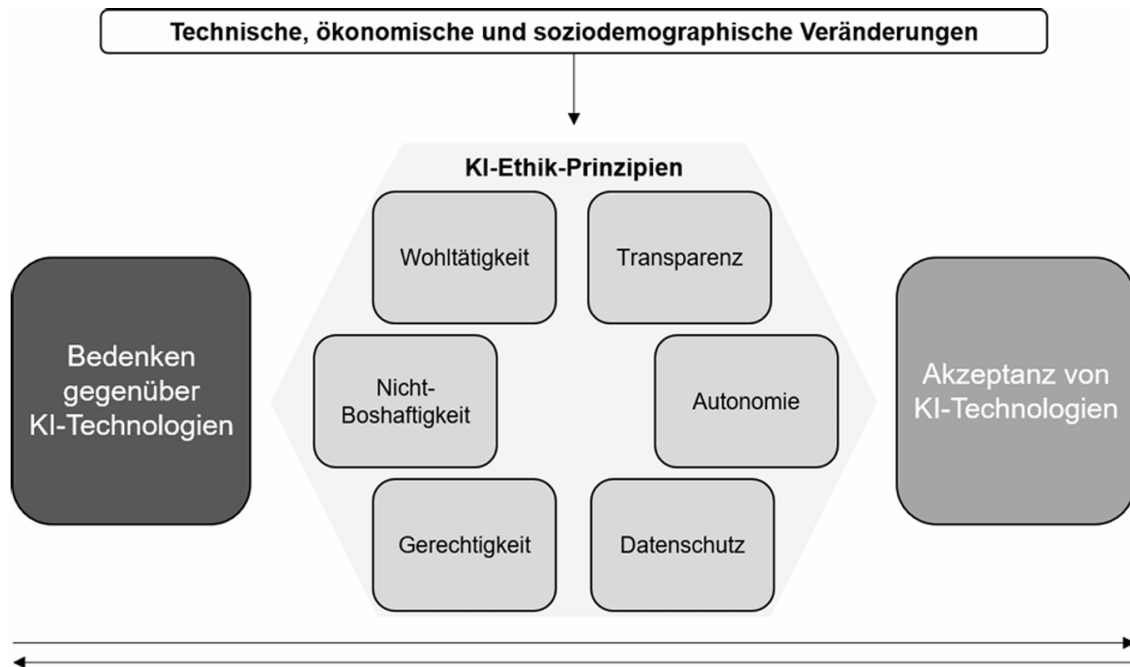


Bild 3.14: Ethik-Prinzipien im KI-Zeitalter [30]

Wohltätigkeit bedeutet, KI für das gesellschaftliche Wohl einzusetzen, etwa zur Verbesserung der Lebensqualität. Transparenz sorgt für Nachvollziehbarkeit, und Nicht-Boshaftigkeit schützt vor Schaden. Autonomie wahrt die Entscheidungsfreiheit, Gerechtigkeit verhindert Diskriminierung, und Datenschutz schützt persönliche Daten.

Um diese Prinzipien umzusetzen, sind Maßnahmen wie die Ausrichtung der KI an menschlichen Werten, klare Kommunikation und Schutzmechanismen nötig. Schulungen stärken Autonomie, Fairness erfordert vielfältige Datensätze und Partizipation, während Datenschutz Vertrauen schafft.

Die Herausforderung besteht darin, Ethik und Innovation zu vereinbaren. Internationale Standards und nationale Regelungen könnten helfen, ethische Prinzipien zu sichern, ohne den Fortschritt zu bremsen [30].

KAPITEL 4

Autonomes Fahren und Risikoethik

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... welche Automatisierungsgrade es beim automatisierten Fahren gibt
- ... was die Motivation zur Erforschung des autonomen Fahrens begründet
- ... wie sich die Schnittstelle Mensch-Maschine (MMS) ändert
- ... wie Lernende Systeme in autonomen Fahrzeugen eingesetzt werden können
- ... welche Kritik am Konzept besteht
- ... weshalb ethische Aspekte bei der Entwicklung berücksichtigt werden müssen

4.1 Einführung

Durch die Erfindung des ersten Automobils, dem „Benz Motorwagen“, wurde im Jahr 1886 eine noch immer anhaltende Entwicklungsgeschichte gestartet. Über die Jahre entwickelten sich die verschiedenen Automobile, zu den PKWs, wie wir sie aus unserem Alltag kennen. Die letzten Jahre waren geprägt durch die Digitalisierung des Automobils, vor allem aber durch die Entwicklung von unterstützenden Techniken, welche dem Fahrer assistieren.

Die Entwicklung geht mittlerweile schon so weit, dass selbstfahrende Autos, als das „autonome Fahren“ Einzug in unseren Alltag finden sollen. Das Kapitel behandelt dabei die Motivation zur Erforschung des autonomen Fahrens, USE-Cases und die Thematik Risikoethik von selbstfahrenden Automobilen.



Bild 4.1: Benz Patent-Motorwagen 1886 - Autonomes Fahren in Zukunft

4.2 Definition

Der Begriff Autonomie wird in Bezug auf das „autonome Fahren“ so definiert, dass die Autonomie für die „Selbstbestimmung im Rahmen eines übergeordneten (Sitten)-Gesetzes“ steht. Im Bereich des autonomen Fahrens gibt der Mensch dieses Sitten-Gesetz vor, indem er das Verhalten des Fahrzeugs programmiert. Durch das Programmieren des Menschen lernt das Fahrzeug im Verkehr gewisse Verhaltensentscheidungen zu treffen. [31]

Grundsätzlich wird beim autonomen bzw. automatisierten Fahren in sechs verschiedene Stufen unterschieden. Die einzelnen Stufen sind in Abbildung 4.2 abgebildet und erklärt.

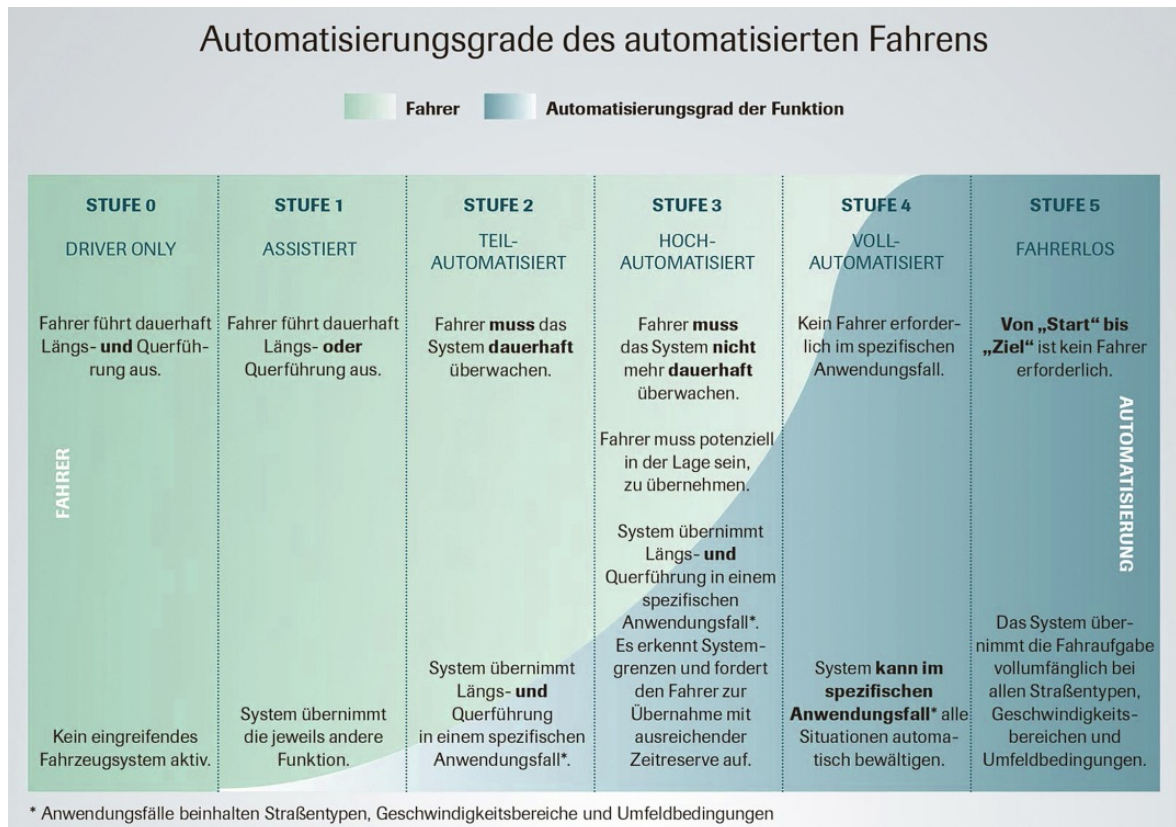


Bild 4.2: Automatisierungsgrade des automatisierten Fahrens [32].

4.3 Motivation zur Erforschung des autonomen Fahrens

Laut dem statistischen Bundesamt ereigneten sich deutschlandweit im Jahr 2020 insgesamt über 2.2 Mio. polizeilich erfasste Verkehrsunfälle.

Laut einem im September 2020 veröffentlichten Artikel der Kampagne „Runter vom Gas“ lag die Ursache für einen Unfall in 94,4 Prozent der Fälle im menschlichen Versagen [33].

Abbildung 4.3 zeigt die Anzahl an Verkehrstoten im Jahresschnitt in Deutschland. Zu sehen ist ein ganz klarer Trend, demnach seit dem Höchststand von 1970 die Zahl an Verkehrstoten deutlich sinkt. Zu begründen ist die sinkende Zahl durch die Verbesserung der Automobile hinsichtlich deren Sicherheit. Zu unterscheiden ist dabei zwischen Vorgaben durch die Straßenverkehrsordnung und individuellen Fahrassistenzsystemen.

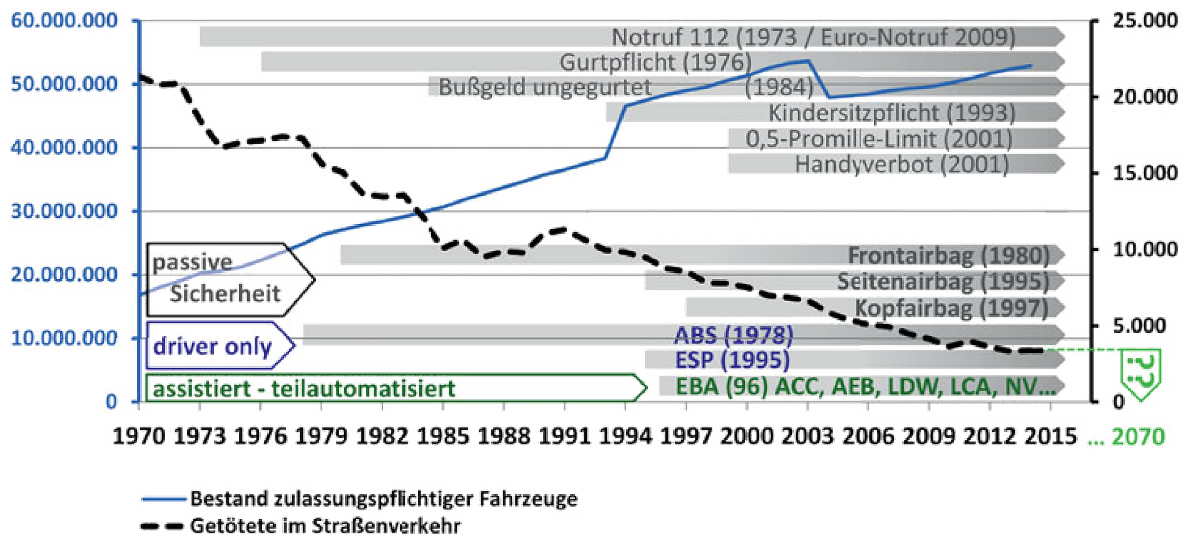


Bild 4.3: PKW-Zulassungen und Verkehrstote in Deutschland ab 1970 [34].

Vorgaben zur Verminderung der Verkehrstoten im Straßenverkehr sind zum Beispiel:

- 100 km/h Höchstgrenze auf Landstraßen
- Promillegrenze
- Gurtanlagepflicht

Ergänzend zu diesen Vorgaben steht die Zunahme an **digitalen Fahrassistenzsysteme** in Automobilen:

- Notbremsassistent
- Spurhalteassistent
- Abstandsassistent

Die Motivation zur Erforschung des autonomen Fahrens liegt demnach fast ausschließlich darin, den Straßenverkehr sicherer zu machen. Dabei liegt der Fokus auf den Unfallgesamtszahlen und explizit auf den Unfällen mit Todesfolge. Der Trend des Graphen aus Abb. 4.3 soll durch das autonome Fahren so beeinflusst werden, dass sich dieser weiterhin senkt.

4.4 USE-Cases

Es gibt eine Vielzahl an möglichen Anwendungen des autonomen Fahrens, wobei sich dieses Kapitel auf vier verschiedene USE-Cases beschränkt.

Autobahnautomat mit Verfügbarkeitsfahrer – Autobahnpiilot

Diese Art des autonomen Fahrens beschränkt sich auf einen Fahrroboter, der ausschließlich auf Autobahnen oder ähnlichen Schnellstraßen die Fahraufgabe vollumfänglich übernimmt. Der Fahrer wird bei dieser Anwendung zum Passagier, sitzt zwar noch am Steuer, kann aber die Hände vom Lenkrad nehmen, die Füße von den Pedalen nehmen und sich sogar einer anderen Tätigkeit annehmen.

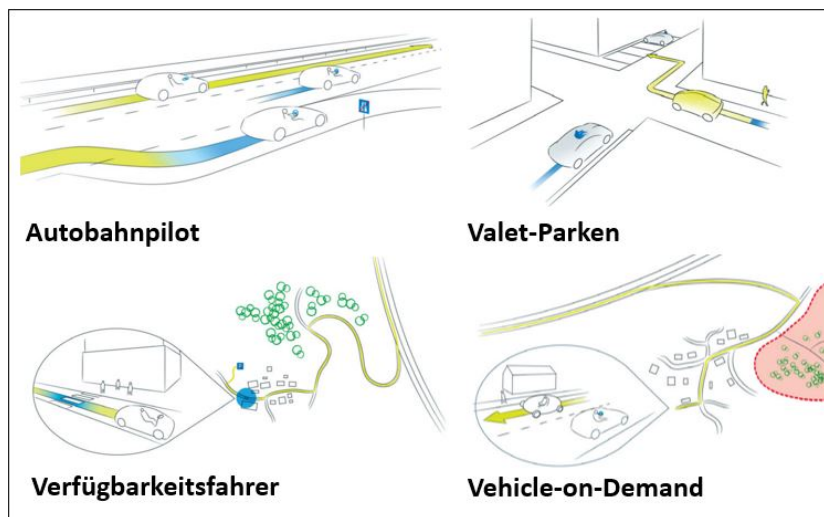


Bild 4.4: USE-Cases autonomes Fahren [31].

Vollautomat mit Verfügbarkeitsfahrer

Dieser USE-Case ist dem vorherigen sehr ähnlich, nur dass dieser auch außerhalb von Autobahnen oder ähnlichen Straßen eingesetzt werden kann. Für die Anwendung des Fahrroboters muss sich das Fahrzeug lediglich in einem dafür freigegebenen Bereich befinden. Nicht freigegebene Bereiche können beispielsweise eine geänderte Straßenführung oder eine Baustelle sein. Des Weiteren können bestimmte Bereiche grundsätzlich nicht für autonomes Fahren verfügbar sein, wenn es sich zum Beispiel um einen Bereich mit hoher Fußgängerfrequenz handelt.

Autonomes Valet-Parken

Dieser USE-Case lässt sich sehr leicht verstehen, wenn man an die Situation vor bestimmten Hotels denkt. Hier wird häufig das Auto abgestellt und ein Angestellter parkt das Auto für den Gast. Das Valet-Parken verfolgt das gleiche Prinzip, nur dass es hier keinen Menschen zum Steuern des Kraftfahrzeuges benötigt. Der Fahrroboter parkt nach dem Aussteigen der Passagiere selbständig und ist sogar in der Lage auf Anweisung umzuparken, sowie die Parkmöglichkeit zu verlassen und die Passagiere an einem beliebigen Einstiegsort abzuholen.

Vehicle-on-Demand

Das Vehicle-on-Demand bewegt das Fahrzeug durch den Fahrroboter in allen Szenarien, egal ob mit Insassen, Fördergut oder Ladeinhalt, völlig autonom. Der Fahrroboter bekommt sein Ziel mitgeteilt (durch Insassen, Nutzer oder Dienstleister), zu dem er sich dann autonom bewegt. Insassen haben in keiner Situation die Möglichkeit die Fahraufgabe selbst zu übernehmen. Es besteht lediglich die Möglichkeit, das Fahrziel zu ändern, oder den sogenannten **Safe-Exit**¹ zu aktivieren [31].

Bei den eben beschriebenen USE-Cases kann folglich in zwei verschiedene Kategorien unterschieden werden. Bei den ersten beiden Anwendungen wird das Fahren nur in bestimmten Situationen autonom ausgeführt, hier hat der Fahrzeugführer noch die Möglichkeit das Fahrzeug selber zu steuern, oder auch in kritischen Situationen einzugreifen. Anders hingegen sind die beiden anderen USE-Cases, hier gibt es zwar teilweise Insassen, diese sind dabei allerdings Passagiere und haben nur durch Anweisungen wie z.B. das Vorgeben des Ziels die Möglichkeit aktiv in das Fahrgeschehen einzugreifen.

1 Der **Safe-Exit** ist eine besondere Fahrmission. Diese überführt das Fahrzeug auf schnellstem Weg in einen Zustand, der es dem Insassen ermöglicht, das Fahrzeug sicher zu verlassen.

Daraus ergeben sich sehr viele Fragen in verschiedenster Hinsicht:

- Wer trägt die Schuld bei einem Verkehrsunfall?
- Wer steht für ein Fahrzeug in der Verantwortung, wenn dieses ohne Insassen fährt?
- Welche ethischen Gedanken spielen beim Einsatz von KI im Automobil eine tragende Rolle?

4.5 Mensch-Maschine-Schnittstelle: Der Wandel im autonomen Fahren

Im Gegensatz zu anderen Bereichen, hat sich bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) in Automobilen im Laufe der Zeit nur sehr wenig verändert. Seit über 100 Jahren hat sich hier so gut wie nichts geändert, nach wie vor wird das Kraftfahrzeug über Pedale und einem Lenkrad gesteuert. Selbst das Hinzufügen von Assistenzsystemen, Touchscreens oder Displays hat die eigentliche Schnittstelle nicht verändert [35].

Der Gedanke liegt demnach nahe, die Schnittstellen zu ändern und den Menschen zu einem passiven Mitfahrer zu machen. Widersprüchlich hierzu ist die Aussage von Philipp Slusallek (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz):

„Wir Menschen sind nicht gut darin, ein System zu beaufsichtigen, das gefühlt dauernd korrekt funktioniert. Es langweilt uns, und wir werden unachtsam.“ [36].

Es besteht also ein Widerspruch zwischen Befürwortern des autonomen Fahrens und diversen Forschungsinstituten, die wie eben beschrieben das Ergebnis teilen, dass Menschen schlecht darin sind eine selbständiges System lediglich zu beaufsichtigen.

Wie die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Bereich des autonomen Fahrens in Zukunft aussehen kann, zeigt das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen. Unter dem Namen „**Semulin**“ soll hier ein selbstunterstützendes Konzept für das autonome Fahren entwickelt werden, welches mit multimodaler Ein- und Ausgabemodalitäten, wie Mimik, Gestik, Blick und Sprache arbeitet.

Wichtig ist den Entwicklern hier eine hohe Bedienerfreundlichkeit, aufgrund der steigenden Komplexität und nicht zuletzt aufgrund der hohen Relevanz dieser Schnittstelle beim autonomen Fahren. Die Schwierigkeit besteht darin, die Grenzen der bereits bestehenden Interaktionen zwischen Mensch und Maschine zu berücksichtigen und sinnvoll miteinander zu verknüpfen.

Zur Realisierung dieser menschenzentrierten Schnittstelle, welche auch den Gesamtkontext berücksichtigen soll, wird auf bereits etablierte Technologien zurückgegriffen. Mit KI-gestützter Verfahren werden sämtliche Daten miteinander in Beziehung gesetzt, neuartige Ansätze zielen dann sogar darauf ab, dass das System interaktiv lernt und sich den individuellen Bedürfnissen des jeweiligen Nutzers anpasst. Eine Übersicht zu dieser Schnittstelle zeigt die folgende Abbildung [37].

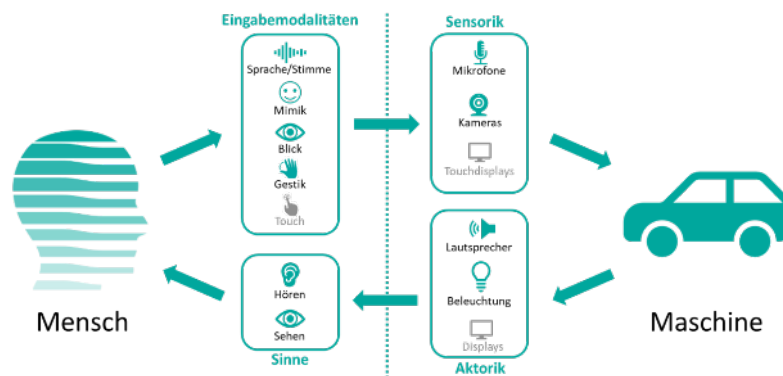


Bild 4.5: Semulin [37].

Bei dieser neuartigen Schnittstelle wird vermehrt künstliche Intelligenz eingesetzt, welche den Menschen in diesem System ersetzen soll. Die Aussage des Forschers Philip Bethge weist deshalb auf eine ethische Diskussion hin.

Es stellt sich nämlich die Frage, ob der Mensch als denkendes Wesen überhaupt in der Lage ist, sinnvoll und sicher in einer solchen Schnittstelle zu funktionieren. Die Aussage lässt sich neben dem Bereich des autonomen Fahrens weiterführend auf alle Bereiche transformieren, in denen künstliche Intelligenz zur Anwendung kommt. Es stellt sich nahezu immer die ethische und gesellschaftliche Frage, ob und vor allem wie der Mensch die künstliche Intelligenz sinnvoll und sicher nutzen kann.

Lernende Systeme

Eine Besonderheit der künstlichen Intelligenz, besonders auch der eben beschriebenen Schnittstelle Semulin, ist die Fähigkeit lernen zu können. Betrachtet man beide Seiten der Schnittstelle, so ist der Mensch von Grund auf ein Wesen, welches die Lernfähigkeit besitzt und sich die Leistungsfähigkeit durch das Lernen verändert. Maschinen hingegen besitzen diese Fähigkeit grundsätzlich nicht. Hochautomatisierte und vernetzte Maschinen, in diesem Fall auch Fahrzeuge, können diese Fähigkeit jedoch durch den Einsatz neuester Technik besitzen und haben dadurch die Möglichkeit, über die Zeit Funktionen zu verbessern bzw. das Verhalten und die Präferenzen der Nutzer zu erlernen.

Durch autonomes Fahren fallen menschliche Fähigkeiten wie die Lernfähigkeit und die Anpassungsfähigkeit weg - würden durch den Einsatz von lernenden Systemen aber kompensiert werden. Darüber hinaus würden sich Vorteile ergeben, indem die Fahrzeugführung individualisiert wird und auch die vollautomatische Fahrt optimiert wird.

Der größte Vorteil liegt bei der **kollektiven Anwendung** von lernenden Systemen, denn dabei findet der Austausch bzw. das Kopieren von Gelerntem zwischen den Systemen deutlich schneller statt als beim menschlichen Prozess. Aufgrund der erhöhten Sicherheitsfrage bei autonomen Fahrzeugen, ist die Verwendung von lernenden Systemen eine **besonders große Herausforderung**.

Im Fokus steht dabei zum einen die Verkehrssicherheit und zum anderen die Datensicherheit. Aufgrund eines fehlenden Maßes für das Risiko rund um die Verkehrssicherheit, muss die vorläufige Anwendung **fehlertolerant** sein. Lernende Systeme im autonomen Fahrzeug müssen daher zunächst durch redundante herkömmliche Systeme ergänzt werden, die das lernende System auf dessen Sicherheit überprüfen und gegebenenfalls eingreifen können [32].

4.6 Risikoethik des autonomen Fahrens

Kritik am Konzept

„In unserer modernen, sich durch die fortschreitende Digitalisierung im Wandel befindenden Gesellschaft treten in den letzten Jahren verstärkt jene bevorstehenden Veränderungen im Bereich der Mobilität in den Vordergrund, welche durch die Einführung autonomer Fahrzeuge in den Straßenverkehr zu erwarten sind“ [38].

Die Kritik beruht vor allem auf Unfällen, die im Zusammenhang mit autonom fahrenden Fahrzeugen entstanden sind und teilweise auch tödliche Folgen hatten. Aufgrund der daraus resultierenden Diskussionen in den Medien, geriet das autonome Fahren mehr und mehr in die Kritik.

Immer wieder liest man Schlagzeilen, denen zufolge Menschen bei einem Unfall ums Leben gekommen sind und ein fahrerloses Auto der Grund dafür sei¹. Diese Kritik steht dem Grundgedanken des autonomen Fahrens gegenüber, die Straßen sicherer zu machen.

Paradoxerweise wird hier die Sicherheit von autonomen Fahrzeugen kritisiert, die doch eigentlich genau diese zum Ziel haben. Betrachtet man Abbildung 4.6, wird ersichtlich, dass aktuell 93,5 % aller Verkehrsunfälle auf **menschlichen Fehlern** basieren, was durch autonome Fahrzeuge grundsätzlich aufgefangen werden könnte.

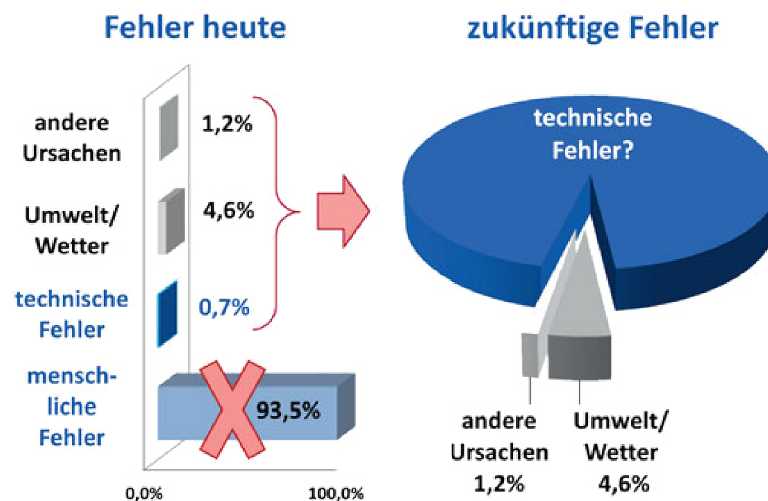


Bild 4.6: Bei Vollautomatisierung gäbe es keine menschlichen Fehler mehr. Allerdings könnte der Anteil technischer Fehler zukünftig deutlich vergrößert wahrgenommen werden [31].

Die Kritik und Bedenken beziehen sich also auch auf die Frage, durch welche Art von Fehlern die menschlichen Fehler ersetzt werden. Die Frage löst ein ethisches, aber auch rechtliches Dilemma aus, welches weiterführend beschrieben und erläutert wird.

Ethische Aspekte

Es steht außer Frage, dass eine am Straßenverkehr teilnehmende Person ein gewisses Risiko eingeht und dabei auch selbst ein Risiko gegenüber anderen darstellt. Diese Risiken sind sozial akzeptiert, das **Risiko im Straßenverkehr ist also gesellschaftlich akzeptiert**. Zum ethischen Konflikt kommt es aber im Kontext des autonomen Fahrens. Durch die Nutzung von autonomen Fahrzeugen wird sich das Wesen der Entscheidung ändern, es wird dann in zwei verschiedenen Entscheidungswesen unterschieden:

¹ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/tesla-zwei-tote-bei-unfall-mit-wohl-fahrerlosem-elektroauto/27108214.html>

Intuitiv-situativ: diese Entscheidungsform beschreibt die Entscheidung bzw. eher die Reaktion des Menschen in einer Gefahrensituation.

Bsp.: Fußgänger läuft auf die Fahrbahn, der Autofahrer macht eine Notbremsung.

Überlegt, bewusst: diese Entscheidungsform beschreibt die geplante programmierte Entscheidung in einer Gefahrensituation.

Bsp.: Fußgänger läuft auf die Fahrbahn, das autonome Fahrzeug berücksichtigt sämtliche Beteiligten der Gefahrensituation und folgt der Entscheidung, welche durch die Programmierung vorgegeben ist [38].

Der ethische Aspekt bezieht sich dabei auf die zweite Entscheidungsform, jene die in autonomen Fahrzeugen zum tragen kommt. Das vollautomatisierte autonome Fahrzeug ist wie bereits beschrieben durch künstliche Intelligenz gesteuert, weshalb jede Handlung oder Entscheidung eines autonomen Fahrzeuges auf einer Programmierung basiert, oder auf der Lernfähigkeit des Systems. Die ethische Diskussion nimmt sich meist folgendes, oder ein ähnliches Szenario als Grundlage zur Diskussion:

Das autonome Fahrzeug befindet sich in einer Gefahrensituation, in der es entweder ein 10 jähriges Kind in Gefahr bringt, oder durch sein Ausweichmanöver eine 80 jährige Person gefährdet.

Ausgehend von einem schweren Unfall würde das autonome Fahrzeug in diesem Fallbeispiel zwischen zwei Leben entscheiden müssen: eine Entscheidung, welche moralisch extrem schwer zu begründen ist. Ein Aspekt der Begründung einer solchen Entscheidung ist bei dieser ethischen Diskussion meist das Alter der Betroffenen.

Im Fallbeispiel könnte die Begründung dahin gehen, dass dem Kind noch ein ganzes Leben bevorsteht, wohingegen die ältere Person bereits ein erfülltes Leben hatte. Ein weiterer Aspekt in der Begründung einer Entscheidung könnte die Lebenserfahrung der Beteiligten sein. Der älteren Person könnte unterstellt werden, sich entgegen seiner Erfahrung selbst in die Gefahrensituation gebracht zu haben, das Kind aber aufgrund seiner mangelnden Erfahrung zufällig oder unschuldig in diese Situation geraten ist [31].

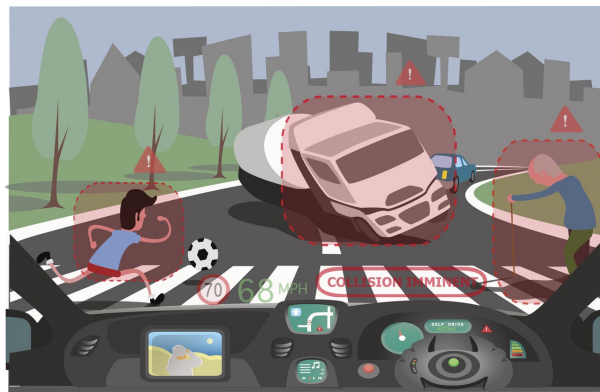


Bild 4.7: Moral Machine¹.

Die eben beschriebenen Aspekte mögen zwar für einige Menschen vertretbar sein, berücksichtigt man aber den **Kodex**² des IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), so wäre keine der beiden Möglichkeiten ethisch korrekt. Aufgrund des Alters von Personen zu entscheiden würde nämlich dem Kodex nach eine **Diskriminierung** darstellen. Selbst dem deutschen Gesetzen nach, wäre eine solche Entscheidung nicht korrekt, denn bereits

¹ <https://www.moralmachine.net/>

² **IEEE Kodex:** Alle Personen fair und mit Respekt zu behandeln und keine Diskriminierung aufgrund von Merkmalen wie Rasse, Religion, Geschlecht, Behinderung, Alter, nationaler Herkunft, sexueller Orientierung, Geschlechtsidentität oder Geschlechtsausdruck zu betreiben.

die ersten beiden Artikel des Grundgesetzes regeln ein grundlegendes Recht auf Leben und Menschenwürde. Es stellt sich an dieser Stelle also auch grundlegend die Frage, in welcher Form sich den deutschen einflussreichen Autoherstellern überhaupt die Möglichkeit ergibt vollautomatisierte Autos auf den Markt zu bringen. Eine Lösung, diese Entscheidung zu umgehen, wäre es dem Zufall zu überlassen, wenn solche moralischen Optionen zur Auswahl stehen [31].

Auch bei diesem Aspekt gehen die Meinungen weit auseinander und es wird wiederholt deutlich:

Die Ethik spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung autonomer Fahrzeuge.

Dieses oder ähnliche ethische Dilemmasituationen werfen die Frage auf, ob autonome Fahrzeuge anstatt selbst eine Entscheidung treffen zu müssen, die Kontrolle an den Fahrer zurück geben. Als Lösung des Problems dient diese Überlegung aber nur, wenn die Kontrolle schnell genug, bzw. überhaupt übergeben werden kann. Bei autonomen Fahrweisen, wie beispielsweise dem Vehicle-on-Demand wäre diese Lösung nicht möglich, sofern das Auto ohne Insassen fährt.

Selbst wenn sich durch die Anwesenheit eines Fahrers die Möglichkeit ergibt, in einer Gefahrensituation die Kontrolle zu übergeben, stellt dies ein untragbares Risiko dar. Entgegen einem der Vorteile des autonomen Fahrens, bei dem sich der Insasse anderen Tätigkeiten widmen kann, soll dieser nun eine Entscheidung treffen, ohne dass er möglicherweise Kenntnis von der Entstehung der Situation erlangt hat. Durch Simulationen und Experimente wurde geprüft und gemessen, welche Zeit die sichere Übergabe der Kontrolle an einen Menschen dauern würde. Abhängig von der sogenannten **distracting activity**¹ kann die Übergangszeit bei **bis zu 40 Sekunden** liegen. Die Zeit für die Reaktion auf eine Gefahrensituation, wie sie eben beschreiben wurde, erfordert allerdings eine Reaktion **innerhalb 1 bis 2 Sekunden**.

Der Vergleich zeigt deshalb, dass es unumgänglich ist dem autonomen Fahrzeug die Entscheidung in moralischen Dilemmasituationen zu überlassen.

Bisher wurde der ethische Aspekt betrachtet, bei dem zwischen dem Zusammenstoß zweier Personen entschieden wird. Ebenso muss aber auch die Kollision von zwei Fahrzeugen (**V2V**)² hinsichtlich einer programmierten Entscheidung des autonomen Fahrzeuges betrachtet werden. Bei der Entscheidung hinsichtlich Unfällen spielt es eine Rolle, ob dabei das Wohl der Insassen oder der anderen Beteiligten priorisiert wird. Es wird hier von der sogenannten **Crash-optimization** gesprochen.

Würde beispielsweise das Wohl der eigenen Insassen an erster Stelle stehen, so müsste die Entscheidung auf die Kollision mit dem leichtesten Objekt fallen. Wird aber das Wohl anderer Verkehrsteilnehmer priorisiert, sollte der Zusammenstoß mit dem sichersten anderen Verkehrsteilnehmer gewählt werden. Der Beschaffenheit beider Fahrzeuge nach, müsste ein SUV bei einem Zusammenstoß einen geringeren Schaden davon tragen, als ein Kleinwagen oder Motorrad.

Wichtig für solche Entscheidungen ist die Kommunikation des autonomen Fahrzeuges mit anderen Fahrzeugen (**V2V**), mit der Infrastruktur (**V2I**) oder zusammengeführt die Kommunikation mit allen Beteiligten (**V2X**).

Zur sicheren Umsetzung muss das autonome Fahrzeug sämtliche Objekte erkennen und einordnen können. Es muss beispielsweise einen Felsbrocken von einer Mülltüte unterscheiden können, denn nur in einem der beiden Fälle ist ein Ausweichmanöver notwendig.

1 **distracting activity**: beschreibt eine ablenkende Tätigkeit von Insassen, während das Fahrzeug autonom gesteuert wird. Beispiele hierfür sind z.B. Lesen oder Schlafen

2 **V2V**: Vehicle to Vehicle, Zusammenstoß zweier Fahrzeuge

Außerdem müsste das autonome Fahrzeug für die V2V Schnittstelle in der Lage sein das andere Fahrzeug hinsichtlich seiner Bauweise einzuordnen, oder sogar über ausgeprägte künstliche Intelligenz die Möglichkeit besitzen Marke, Modell und technische Eigenschaften zu erhalten.

Rechtliche Aspekte

Grundsätzlich ist im Straßenverkehr immer die fahrende Personen für sein Fahrzeug verantwortlich. Geregelt ist dies bereits seit 1986 in einem völkerrechtlichen Vertrag, dem **Wiener Übereinkommen** über den Straßenverkehr. 2014 folgte eine erste entscheidende Änderung, welche Systeme zur Unterstützung des Fahrers zulässt und somit Fahrassistenzsysteme, sowie automatisierte Fahrfunktionen umfasst. Diese Änderung trat in Deutschland im März 2016 in Kraft [39].

Für die Verwendung von assistiertem Fahren gilt in Deutschland die Pflicht als Fahrer des Fahrzeuges, jederzeit die Kontrolle über das Fahrzeug zu behalten zu können. Demnach ist der Fahrer für alle Verkehrsverstöße und Unfälle verantwortlich. Für das autonome Fahren wurde im Mai 2021 erfolgreich über ein Gesetz abgestimmt, demnach autonome Fahrzeuge in Deutschland ohne physisch anwesende Fahrer oder Fahrerinnen am öffentlichen Verkehr teilnehmen können. Bis auf Weiteres beschränkt sich dieses Gesetz derzeit noch auf festgelegte und vorab genehmigte Betriebsbereiche.

Das Gesetz sieht es darüber hinaus vor, dass eine dauerhafte Überwachung durch eine natürliche Person gewährleistet sein muss. Aus diesem Grund ist neben der Haftpflichtversicherung des Kfz-Halters eine Haftpflichtversicherung für die technische Aufsicht vorgeschrieben.

Die strafrechtliche Verantwortung für Verkehrsverstöße und Unfälle des autonomen Fahrzeugs muss im **Einzelfall** ermittelt werden. Neben individuellem Verschulden durch den Überwachenden kann auch Organisationsversagen durch den Hersteller oder Betreiber in Betracht gezogen werden.

Aktuell ist dieses Gesetz noch nicht umfassend genug und es bedarf noch an genaueren Verordnungen, damit autonome Fahrzeuge im Regelbetrieb eingesetzt werden können [40].

4.7 Zusammenfassung

Das autonome Fahren ist ein wichtiger Schritt, der zur Sicherheit im Straßenverkehr beitragen wird und zudem den Stand, besonders die Weiterentwicklung, der technischen Möglichkeiten widerspiegelt. Zwar ist es noch ein langer Weg bis das autonome Fahrzeug im Regelbetrieb eingesetzt wird, dennoch befinden wir uns schon auf diesem. Assistenzsysteme und auch Funktionen wie das automatisierte Einparken sind für uns zur Gewohnheit geworden und wir wissen damit umzugehen. Aus diesem Grund dürfte der Umstieg auf autonome Fahrzeuge für den Menschen kein Problem darstellen. Lediglich die gesellschaftliche Akzeptanz und daraus entstehende ethisch, moralische Diskussionen stehen dem Ganzen noch kritisch gegenüber.

Es muss also noch eine Lösung hinsichtlich einiger ethischen und moralischen Ansichten gefunden werden, um die gesellschaftliche, insbesondere die moralische, Akzeptanz zu erhalten. Unabhängig davon wird die endgültige Entscheidung in der Gesetzgebung fallen, denn neben Verantwortung und Haftung spielt auch hier die Risikoethik mit ein. Erst wenn das Gesetz eine umfassende und klare Lösung aufweisen kann, ist der Weg frei für die autonomen Fahrzeuge. Unabhängig vom Gesetz wird die moralische Frage weiterhin im Raum stehen, wenn statt einem Menschen die Maschine eine Entscheidung trifft und möglicherweise an diesen lernt.

KAPITEL 5

Extended Reality (XR)

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was sich hinter dem Begriff Extended Reality (XR) verbirgt.
- ... wie sich die AR, VR und MR voneinander abgrenzen.
- ... in welchen Anwendungsgebieten die XR in der Industrie genutzt wird.
- ... welche Vorteile sich aus der Nutzung der XR in der Industrie ergeben.
- ... welche Risiken bei der Anwendung der XR beachtet werden müssen.

5.1 Definition und Abgrenzung

Extended Reality (XR)

Die Realität [41] bedeutet "das was tatsächlich ist" beziehungsweise "die Gesamtheit des Realen" und geht auf das lateinische Adjektiv "realitas" und das Substantiv "res" für "Ding, Sache" zurück. Die Realität umfasst dabei all das, was ein Mensch durch seine eigenen Augen sehen und mit dem er interagieren kann, ohne dass er durch eine Technologie zusätzlich beeinflusst wird.

Durch verschiedene Technologien, die unter dem Begriff "Extended Reality (XR)" zusammengefasst werden, ist die Beeinflussung der Realität in verschiedenen Ausmaßen möglich. Diese erstrecken sich über eine Erweiterung der Realität bis hin zur vollständigen Ersetzung.

Der Begriff **Extended Reality (XR)** umfasst **drei Abstufungen der Realitätsbeeinflussung**, die durch den technologischen Fortschritt zwischen der Realität und der virtuellen Realität erschaffen werden können.

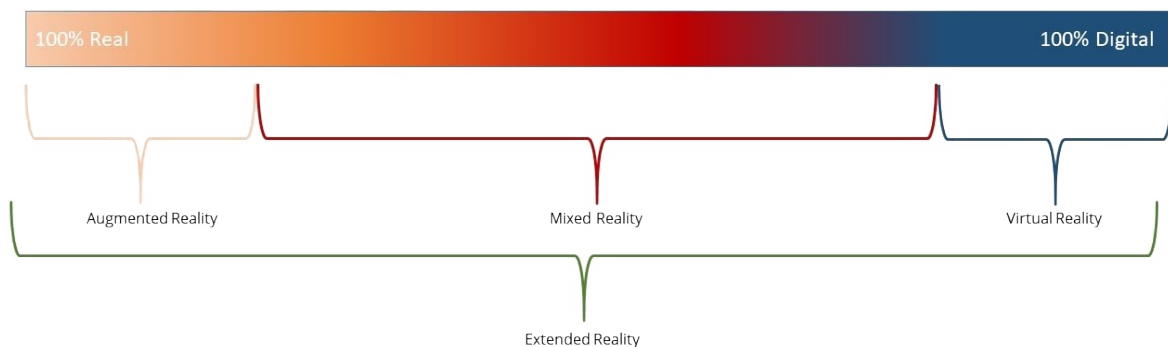


Bild 5.1: Extended Reality (XR) Spektrum

Die Augmented Reality (AR), die Virtual Reality (VR) sowie die Mixed Reality (MR) sind Teil der XR und unterscheiden sich in dem Verhältnis von Realität zu Virtualität. [42]

Augmented Reality (AR)

Bei der Augmented Reality (AR)¹, sieht der Anwender weiterhin die reale Umgebung. Diese wird jedoch um zusätzliche Informationen, in Form von Texten, Grafiken, Bildern oder Videos, erweitert, sodass eine Kombination aus virtuellen und realen Komponenten entsteht. Die zusätzlichen Elemente werden in die reale Umgebung projiziert, überlagern diese oder sind statisch im Bild verankert.

Virtual Reality (VR)

Während die AR die Realität erweitert, wird die Realität bei der Virtual Reality (VR)² vollständig ersetzt. Dafür wird eine computergenerierte 360°-Umgebung geschaffen, mit jener der Anwender interagieren kann.

Mixed Reality (MR)

Die Mixed Reality (MR)³ vereint Aspekte der AR- und VR- Technologie in sich. Diese Kombination ermöglicht eine zeitgleiche Interaktion mit der realen und der virtuellen Welt.

Darstellung

Die Unterschiede der visuellen Darstellung werden deutlich, wenn das gleiche Objekt mit Hilfe der verschiedenen Technologien betrachtet wird. In der VR (*siehe Abb. 1.2, links*) ist das reale Umfeld durch ein virtuelles Bild ersetzt, in dem das Objekt erscheint. Unter der Nutzung der AR-Technologie (*siehe Abb. 1.2, mitte*) wird das Objekt in der realen Umwelt angezeigt. Die MR-Technologie (*siehe Abb. 1.2, rechts*) ermöglicht einen weiteren Schritt, bei dem das Objekt in der Umgebung platziert werden kann und somit in die Realität eingepasst wird. Demzufolge lässt sich mit dem Objekt interagieren.



Bild 5.2: Darstellung in VR, AR und MR

1 Augmented Reality = erweiterte Realität
2 Virtual Reality = virtuelle Realität
3 Mixed Reality = gemischte Realität

Funktionsweise

Für den Zugang zur Technologie benötigt der Anwender verschiedene Medien in Form von Hardware (HW) und Software (SW).

Bei der **VR Technologie** werden mit Hilfe von Software, Datenbanken und einer leistungsstarken VR-Engine virtuelle Realitäten geschaffen, die dem Anwender auf einer Bildschirmbrille angezeigt werden.

Dem Anwender soll ein Eintauchen in eine virtuelle Welt ermöglicht werden, die so realistisch wie möglich ist. Über ein verbundenes Eingabegerät (z.B. bewegungsgesteuerter Controller) hat der Anwender Einfluss auf die virtuelle Welt, die ihm über eine spezielle VR Brille angezeigt wird. Diese schirmt den Anwender von der realen Welt ab und ist in der Lage, die Kopf- und sogar Körperbewegungen des Trägers auf die virtuelle Kamera und damit die virtuelle Darstellung zu übertragen.

Eine **VR Engine** berechnet in Echtzeit die notwendigen Computergrafiken und notwendigen Anpassungen in der virtuellen Umgebung. Durch fotorealistische Effekte wird ein vollständiges Eintauchen in die virtuelle Realität möglich, wobei der Anwender die simulierte Realität als „real“ empfindet. Dieser Effekt wird **Immersion** bezeichnet. [43]

Im Gegensatz dazu steht die **AR Technologie**, die darauf abzielt, die vorhandene Realität zu erweitern. Dazu wird auf die integrierten Kameras eines AR fähigen Anzeigegerätes zurückgegriffen, die Bilder aus der Perspektive des Anwenders aufnehmen, um auf dieser Grundlage mit Tracking-Algorithmen die Anwenderposition permanent zu ermitteln. [44]

Mit Hilfe dieser Lageinformationen können die virtuellen Inhalte, die ähnlich wie bei der VR über eine echtzeitfähige Engine berechnet werden, in die angezeigte Umgebung eingefügt werden. Die entstandene erweiterte Realität kann beispielsweise über ein Smartphone, ein Tablet oder eine AR Datenbrille ausgegeben werden.

Die **MR Technologie** verbindet die beiden Technologien miteinander. Hierbei schaut der Anwender direkt durch eine spezielle **MR Brille**, die durch unterschiedliche Sensoren und Kameras den Raum dreidimensional erfasst, die Position und Lage von Objekten im Raum berechnet und die Objekte an den entsprechenden Stellen im Raum platziert.

Der Anwender ist durch die spezielle Ausstattung der MR Brille in der Lage durch natürliche Impulse, wie Augenbewegungen, Gesten oder Sprache, Einfluss auf die angezeigten Informationen (z.B. Einblendungen) zu nehmen. Zusätzlich werden äußere Einflüsse, wie Objekte, direkt erfasst und stehen sofort für die weitere Verarbeitung zur Verfügung.

Ziel der MR ist es, die natürliche Wahrnehmung des Anwenders mit virtuellen Aspekten zu vermischen, um so die wahrgenommene Realität zu erweitern und gleichzeitig mit der virtuellen und realen Umgebung zu interagieren.



Bild 5.3: Darstellung in VR, AR und MR

5.2 Etablierung der XR als industrielle Anwendung

Der Ursprung der XR Technologie liegt im Bereich Multimedia und Gaming. Durch kontinuierlichen technologischen Fortschritt wurde die VR Technologie, im Vergleich zu den Anfängen in den 90er Jahren, stetig preisgünstiger und somit zu einem marktfähigen Produkt für den Konsum-Markt. Eine bedeutende Rolle spielte hier die Etablierung des Smartphones auf dem Markt sowie die Nutzung von Tablets.

Das erste VR Headset konnte bereits im Jahr 2014 auf dem Konsumgütermarkt gekauft werden. [45]

Weltweite Bekanntheit erlangte die AR Technologie im Jahr 2016 auf dem Konsum-Markt durch das Spiel "Pokemon Go". Bis 2018 wurde es eine Milliarde Mal heruntergeladen. [46]



Bild 5.4: AR im Trend - Pokemon Go

Die AR Technologie konnte über die Jahre weiter in das Nutzerverhalten von Privatpersonen integriert werden. Durch sie erlebt der Anwender Arbeitserleichterungen bei alltäglichen Aufgaben und neue Möglichkeiten in der Interaktion. Eine beliebte Sonderausstattung in Autos ist das Head-up Display, das wichtige Daten, wie Geschwindigkeit oder auch Navigationsanweisungen, auf die Windschutzscheibe projiziert. Diese Technik, die ursprünglich aus der Luftfahrt kommt, ermöglicht dem Fahrer die Erfassung wichtiger Fahrdaten - ohne den Blick von der Straße nehmen zu müssen.



Bild 5.5: Nutzung von AR im Auto: Head-up Display

Die Möglichkeiten der XR werden mittlerweile nicht nur im kommerziellen Bereich genutzt, sondern kommen auch in der Industrie zum Einsatz. Sie gelten als Zukunftstechnologien mit einem breiten Einsatzpotenzial. Im Jahr 2018 betrug der Umsatz mit XR Technologie im Business-to-Business (B2B) Umfeld 521 Millionen Euro mit einer prognostizierten Umsatzsteigerung von über 50 Prozent innerhalb von zwei Jahren.

5.3 Industrielle Anwendungsfelder VR

Der Vorteil der VR Technologie ist die Erschaffung einer Parallelrealität. Gerade im industriellen Umfeld lassen sich somit nicht vorhandene Objekte darstellen. Erstmals ist so eine einfache Analyse und Erprobung früherer Designs möglich, da die erforderlichen Daten schnell bündel- und darstellbar sind.

Fabrikplanung und Produktionsentwicklung

Bedeutende Erfolgsfaktoren für eine effiziente Produktionsplanung sind ein durchdachter Aufbau sowie aufeinander abgestimmte Prozesse. Dabei entscheidet das Vorgehen in der Planungsphase einer neuen Fabrik oder Maschine darüber, wie effizient eine Anlage im späteren Betrieb für den angedachten Einsatzzweck genutzt werden kann.

Durch den Einsatz von VR kann diese Planungsphase erheblich verbessert werden, da Fabriken und Anlagen nicht nur auf dem Papier oder Computer gezeichnet werden können, sondern sich auch virtuell begehen lassen. Die Fabrik lässt sich somit schon im Voraus aus allen Blickwinkeln betrachten und Laufwege sowie Plazierungen der Maschinen optimieren und Gefahrenstellen identifizieren.

Außerdem besteht die Möglichkeit diverse Szenarien zum Einbau von Lagerflächen zu simulieren und evaluieren, um eine Optimierung des Planungsprozesses zu erhalten. Durch den Einsatz von 3D Objekten und virtualisierter Daten, lassen sich die komplexen Prozesse der Mechanik, Elektronik und Softwareentwicklung innerhalb der Planungsphase abbilden, um sie zeitlich optimiert und effizient zu gestalten.

Das schnelle und vergleichsweise einfache Ausprobieren ermöglicht eine umfangreiche Erhebung von Daten. Diese können ausgewertet und z.B. in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingesetzt werden. Das Einsetzen von VR Technologie ermöglicht das frühzeitige Erkennen von Verbesserungsmöglichkeiten, zudem lassen sich Anordnungsfehler frühzeitig erkennen und schon vor der Realisierung ausbessern. Dies führt zu einem erheblich effizienteren Geldmittel-, Zeit- und Arbeitskosteneinsatz. Zudem sinken die Fehlerkosten während der Planung, mögliche Ausbesserungskosten werden vermieden und die Produktion ist nach der Inbetriebnahme schneller voll einsatzbereit.



Bild 5.6: Fabrikplanung mit VR

Produktentwicklung

Durch den Einsatz von VR beim **Prototyping** von Produkten, wird den beteiligten Personen ermöglicht, den aktuellen Entwicklungsstand eines Produktes, inklusive vorhandener Merkmale, virtuell zu betrachten. Für eine realistische Darstellung des Produkts ist ein hohes Maß an Datenmaterial notwendig. Die Verwendung von Computer-Aided-Design (CAD) Modellen kann hierbei helfen.

Die CAD-Modelle werden mit Hilfe spezieller Software zu einem VR-Prototyp gerechnet und in eine VR-Anwendung integriert. Komplexe und vorher nicht greifbare technische Zeichnungen können nun durch wenige Blicke vom Anwender aufgenommen werden.

Dieses Vorgehen kann schon im "Pre-Design"¹ das Produktkonzept unterstützen und mögliche Fehlfunktionen oder -konstruktionen vermeiden. Die beteiligten Ingenieure, Konstrukteure und Designer können mit dem Prototyp interagieren und mögliche Anwendungsfälle schon im Vorfeld überprüfen.

Im Rahmen des User Centered Designs (UCD) kann der Kunde nicht nur am Entwicklungsprozess beteiligt sein, sondern ein Teil von ihm werden. Neben der Möglichkeit verschiedene Ideen zu erproben oder einen ganzheitlichen Eindruck des Prototypens zu bekommen, können ergonomische Produkthanpassungen oder Gesamtkonzepte genaustens nach den Wünschen des Kunden überprüft, erprobt und angepasst werden.

Die Übereinstimmung mit den festgehaltenen Anforderungen im Pflichtenheft^[47]² können verifiziert sowie die Funktionsweise mittels Tests und simulierter praktischer Anwendungen validiert werden. Durch die Nutzung des VR Prototyping kann das physikalische Prototyping zum Teil oder vollständig ersetzt werden. Dies führt zu enormen Einsparungen, da ein physikalischer Prototyp nicht aufwendig und zeitintensiv erstellt werden muss. Der Kunde profitiert von frühzeitiger und intensiver Partizipation seines Produkts.



Bild 5.7: VR Prototyping

Messen und Kundenvorstellungen

Die Größe eines mittleren Messestandes beträgt circa 25 m². Der Aussteller bezahlt diesen üblicherweise pro Quadratmeter.

In der Realität ist der Aussteller an die physische Größe seines Standes gebunden und folglich die Anzahl an Exponaten limitiert. Im Vorfeld muss also genaustens abgewogen werden, welche Produkte des Portfolios auf einer Messe mitgenommen werden und wie viele.

Die Möglichkeit der VR entbindet zumindest teilweise von dieser Beschränkung. Durch beliebig gestaltete virtuelle Messestände kann das Unternehmen dem Besucher jedes Produkt präsentieren und sogar die Funktion simulieren. Durch die nahezu grenzenlosen Möglichkeiten im virtuellen Raum lassen sich zudem Schauplatz und weitere vertriebsfördernde Effekte auswählen. Der Besucher kann nach Belieben die Perspektive und Betrachtungswinkel verändern und ist innerhalb der virtuellen Realität nicht an die normale Physik gebunden.

1 Pre-Design= eine frühe Designphase

2 Das Pflichtenheft ist laut dem Wirtschaftslexikon eine schriftliche Unterlage, die alle technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Einzelheiten einer Ausschreibung enthält.

Somit kann ein Produkt aus allen Winkeln, von innen und sogar herangezoomt begutachtet werden.

Während der klassische Messestand eine hohe logistische Herausforderung darstellt, wird für den virtuellen Messestand vergleichsweise wenig Technik gebraucht. Diese ist leicht zu transportieren und ist somit nicht nur auf Messen einsetzbar. VR kann also auch beispielsweise für Vertriebsveranstaltungen oder Produktdemonstrationen eingesetzt werden. Gerade bei größeren Produkten, wie Produktionsanlagen, Autos oder Flugzeuge ist dies eine erhebliche Zeit und Kostenersparnis. Zudem bietet eine interaktive Produktpräsentation klassischen Folien oder Prospekten eine lebensnahe Erfahrung für den potentiellen Kunden. [48] [?



Bild 5.8: Produktpräsentation mit VR

Schulungen

Durch die Integration von VR in Schulungskonzepte lassen sich völlig neue, abwechslungsreiche und interaktive Trainings gestalten. Durch die Entkopplung von der Realität werden Ressourcen nicht für die Schulungszwecke gebunden und der Trainee kann unabhängig von Zeit und Ort agieren. Der Trainee wird in eine realitätsnahe Situation versetzt, ohne dass die tatsächlichen Rahmenbedingungen vom Unternehmen geschaffen werden müssen. Kritische Situationen mit hohem Risikopotential können, ohne jemanden einer Gefahr auszusetzen, trainiert werden. Neben besonders kritischen können auch sehr selten auftretenden Situationen mit hoher Realitätsnähe und geringem Aufwand geschult werden, ohne das hohe Vorbereitungsarbeiten nötig sind oder die Tiefe der Schulung leidet.

Die Reduktion des Risikos bei Gefahrenübungen ermöglicht es dem Trainee, Trainings selbstständiger zu absolvieren. Das Training bestimmter Inhalte bedarf keiner Aufsichtsperson mehr, da Trainingsinhalte automatisiert ablaufen und das Risikopotenzial reduziert wird. Die Trainingssimulationen lassen sich beliebig oft wiederholen, was eine Anpassung an das individuelle Lerntempo erlaubt. Außerdem braucht der Trainee keine Bedenken vor Fehlern und ihren Auswirkungen zu haben, da die Simulation keine Auswirkungen auf die Realität hat und somit der laufende Unternehmensbetrieb unbeeinträchtigt bleibt.

Schlussendlich fallen in anderen Bereichen Kapazitäten nicht aus und können durch den Einsatz von AR effizienter eingesetzt werden, wodurch sich Personalkosten innerhalb des Bereichs Training reduzieren lassen.

Beispiel aus der Industrie

Bell Helicopter, hat erstmalig den FCX-001 (s. Abb.: 1.12) den ersten Helikopter des Unternehmens mittels VR Technologie entworfen. In der Regel dauert es fünf bis sieben Jahre, um einen Hubschrauber zu entwerfen. Durch den Einsatz der VR-Technologie gelang es Bell Helicopter den FCX-001, in weniger als sechs Monaten, zu konzipieren. Seit dem Beginn der Konzeptionierung konnten die Ingenieure mit dem vollständigen virtuellen Modell arbeiten und die Erfahrung sowie Einschätzung von Testpiloten zu Rate ziehen.

Das Feedback der Testpiloten hinsichtlich des virtuellen Modelles konnte bereits in den frühen



Bild 5.9: Schulung mit VR

Stadien der Entwicklung eingeholt, erfasst und umgesetzt werden. Der Einsatz der VR Technologie erbrachte eine enorme Zeit- und Geldersparnis für Bell Helicopter.



Bild 5.10: Konzeptionierung mit VR

5.4 Industrielle Anwendungsfelder AR

Produktion und Montage

Innerhalb der Produktion und Montage wird die AR dafür eingesetzt, um dem Mitarbeiter ein virtuelles Dashboard in seinem Sichtfeld einzublenden, auf dem sich beispielsweise die nächsten Arbeitsschritte aufführen lassen. Eingaben des Mitarbeiters erfolgen über eine Gestensteuerung. Diese Form der Bedienung ermöglicht es ihm, die Hände ausschließlich für die Tätigkeit innerhalb des Montage- und Produktionsprozesses zu nutzen. Die Durchführung jedes einzelnen Schrittes wird in Echtzeit erfasst und nach der Ausführung, als abgeschlossen dokumentiert.

Die Reduktion der Information auf die im jeweiligen Moment relevanten Aspekte, verhindert Ablenkungen, fördert die Konzentration und vermeidet das Überlesen von Arbeitsschritten. Die Notwendigkeit Warnhinweise, wie "angelegte Schutzkleidung notwendig" oder "Gefahrenstelle" zu bestätigen, führt dem Mitarbeiter mögliche Gefahrensituationen vor Augen und schärft sein Bewusstsein für diese. Der Vorteil ergibt sich daraus, dass der Monteur die Arbeitsschritte detailliert vor Augen hat, welche er in der herkömmlichen Dokumentation im Normalfall nicht nachschlagen würde. Eine einheitliche Arbeits- und Vorgehensweise wird innerhalb des Unternehmens etabliert, die zu gleichbleibend hoher Qualität führt. Wird ein neuer Prozess oder eine Abänderung der Vorgehensweise eingeführt, muss diese nur einmal

implementiert werden und ist ab dem Zeitpunkt für alle Mitarbeiter in den "Anleitungen" integriert.



Bild 5.11: Produktion mit AR

Einlernen neuer Mitarbeiter

Durch den Einsatz von AR lässt sich die Einarbeitungszeit neuer Mitarbeiter in Prozesse deutlich verkürzen, da für die verschiedenen Vorgänge detaillierte Anleitungen über die AR abrufbar sind. Die Best Practices wurden zuvor unter Berücksichtigung der Dokumentation in Form von Schritt für Schritt Anleitungen hinterlegt. Mitarbeiter mit Spezialwissen bzgl. eines bestimmtes Produktes oder Projektes, jene die Abteilung oder das Unternehmen wechseln können ihre Vorgehensweise in Form einer Anleitung festhalten. Durch den Aufbau einer solchen Wissensdatenbank, lässt sich das Wissen für alle Mitarbeiter bereitstellen und jederzeit verfügbar machen.



Bild 5.12: Einarbeitung mit AR

Fertigungscontrolling

Mitarbeiter der Produktion haben unter Verwendung der AR die Möglichkeit, Status-, Diagnose oder Parameterdaten der Maschinen virtuell und in Echtzeit anzeigen zu lassen. Unstimmigkeiten, abweichende Produktionszahlen und Probleme werden in den Fokus gerückt und schneller erkannt. Störungen werden schon aus größerer Entfernung, bei der Begutachtung der Anlage, bspw. von einem erhöhten Standpunkt, sichtbar.

Zusätzlich können die angezeigten Informationen Serviceauskünfte, wie anstehene Wartungen und die Kontaktdaten des Servicepartner enthalten um eine schnelle und reibungslose Interaktion zu ermöglichen und Ausfallzeiten zu reduzieren. [49]

Beispiel aus der Industrie

Die Techniker des Flugzeugbauers Boeing nutzen AR-Systeme, um die Schaltpläne der Flugzeugverkabelung in ihrem Sichtfeld anzeigen zu lassen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es ihnen, die Hände für die Kabelage frei zu haben und sich auf ihre Aufgabe fokussieren zu können. Durch diese Maßnahme konnte die Arbeitszeit um 25 Prozent reduziert und die Produktivität um 40 Prozent gesteigert werden.

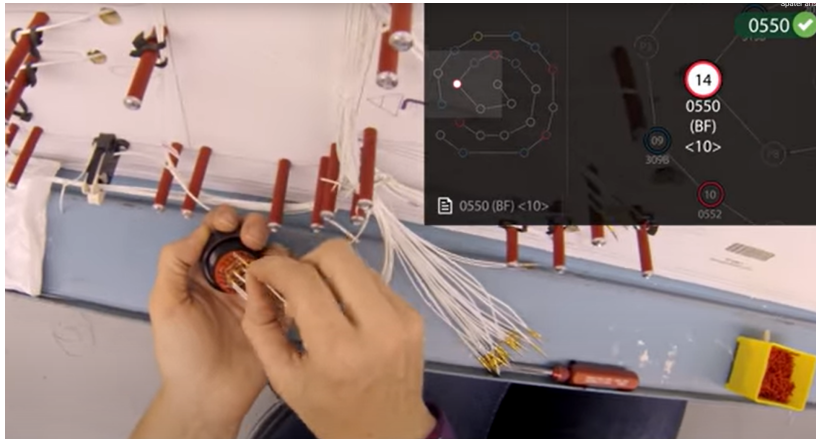


Bild 5.13: Flugzeugverkabelung mit AR

5.5 Industrielle Anwendungsfelder MR

Installation, Inbetriebnahme, Wartung und Reparatur

Die MR ermöglicht einem Unternehmen, das Wissen seiner Mitarbeiter zu bündeln und effizient einzusetzen. Während der Installation, Inbetriebnahme und der Wartung ist der Mitarbeiter des Unternehmens im Stande bei Problemen oder Fragen einen Experten oder Ingenieur im Unternehmen via MR zuzuschalten. Dieser kann die Situation durch die Augen des Mitarbeiters betrachten, analysieren und ihm die notwendigen Schritte über Symbole wie, bspw. Pfeile, in sein Sichtfeld einzeichnen. Der Experte kann den Mitarbeiter Schritt für Schritt durch die Situation führen, bis der Mitarbeiter seine Tätigkeit wieder aufnimmt.

Durch die Handhabung solcher Situationen mit der MR wird entweder ein umständliches Erklären der Situation über das Telefon vermieden oder die unzureichende Betrachtung des Problems, aus bspw. nur einer Kameraperspektive, verhindert. Ein höchstes Maß an Informationen sollte das Ziel sein, um eine effiziente Vorgehensweise einzuleiten, Ausfallzeiten zu minimieren sowie Personen- und Sachschaden zu vermeiden.

Es ist zudem nicht notwendig, dass der Experte bei komplizierteren Vorfällen mitreist, dadurch in anderen Projekten ausfällt und zusätzliche Reisekosten verursacht werden. Die Experten werden nur im Bedarfsfall involviert und das Personal kann effizienter eingesetzt werden.

Logistik

Ist eine entsprechende SW, HW und ein Trackingsystem im Lager vorhanden, kann die MR den Produkten den jeweiligen Lagerort zuordnen. Der Kommissionierer wird auf dem effizientesten Weg durch das Lager zum entsprechenden Lagerort des Produktes navigiert. Der Aufenthaltsort, das Zeitdelta und der Blickwinkel werden erfasst und situationsbezogene, relevante Informationen in Form von virtuellen Objekten auf dem Sichtfeld des Kommissionierers integriert.

Navigationspfeile führen den Kommissionier entlang des optimalen Weges zum Lagerfach und passen sich stetig dem Blickwinkel des Betrachters an, um ihn weiterhin zum entspre-



Bild 5.14: Wartung mit MR

chenden Lagerfach zu weisen. Eine Hervorhebung des Lagerfachs ist bspw. durch eine rote Markierung gekennzeichnet. Der Einsatz der MR in der Logistik löst die Pick by Light Technologie ab, welche eine aufwändige Implementierung der Technologie im Lager erfordert.

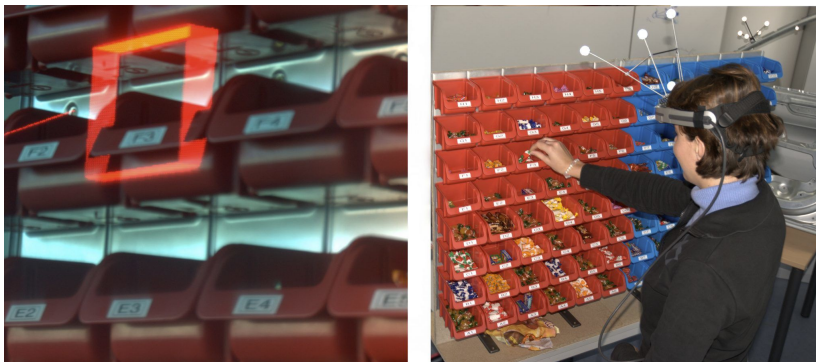


Bild 5.15: Lagerlogistik mit MR

In der Verpackungslogistik kann durch die MR profitiert werden, da sperrige Teile, für die keine Standardverpackung existiert, von den integrierten Kameras vermessen werden können. Die Suche nach einem Behältnis wird eigenständig eingeleitet und die vorhandenen Verpackungen mit den Maßen des Objektes abgeglichen. Ist keine Verpackung kompatibel, kann der Auftrag zur Neuproduktion angestoßen werden. Der Prozess wird beschleunigt, da das umständliche manuelle Maß nehmen und dokumentieren obsolet wird.

Schulungen

Die MR Technologie eignet sich für Schulungen und Trainings, bei denen sich der Trainer und der Trainee an unterschiedlichen Orten befinden. Ein kontrolliertes Training ist möglich, da der Trainer auf seinem Tablet das angezeigt bekommt, was der Trainee zu diesem Zeitpunkt durch seine Augen sieht. Der Trainer kann dem Trainee Anweisungen geben, indem er in sein Sichtfeld virtuelle Objekte einzeichnet und ihn so für die unterschiedlichsten Handlungen schulen.

Dieses Konzept reduziert Reisekosten erheblich und ermöglicht umfangreiche und flexible Schulungskonzepte, trotz etwaiger Reisebeschränkungen.

Beispiel aus der Industrie

Thyssenkrupp stattet seine Aufzug-Servicetechniker mit einer MR-Brillen aus, um die Wartungszeit bei Aufzügen zu verringern. Die Servicetechniker können, mit Hilfe der MR, spezifi-

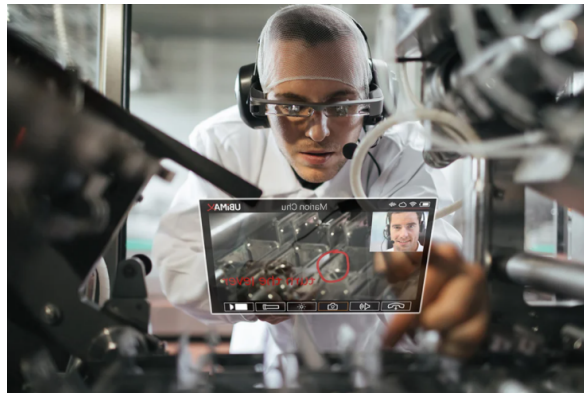


Bild 5.16: Schulung mit MR

sche Kenndaten eines zu wartenden Aufzuges bereits im Vorfeld visualisieren. Vor Ort haben die Servicetechniker Zugang zu den technischen Echtzeitdaten des Aufzuges und können bei eventuell auftretenden Problemen die Unterstützung von Experten des Unternehmens jederzeit per Videoanruf anfordern.

Der Einsatz der MR führte nach Unternehmensangaben zu einer signifikanten Verringerung der Wartungszeit. Nach erfolgreicher Tests wurde eine Vielzahl von Gebäuden, wie z.B. das One World Trade Center in New York, mit der Technologie ausgestattet.



Bild 5.17: Aufzugwartung mit MR

5.6 Chancen und Risiken von XR

Die Verwendung von XR bietet auf der einen Seite neue Chancen:

- **Kommunikation:** Schwer zu erklärende Handlungen können Schritt für Schritt visuell dargestellt werden (AR). Das Verständnis für Anlagen und Maschinen kann schneller und detaillierter geschult werden.
- **Effizienz:** Mehr Sinnesorgane werden gleichzeitig angesprochen und Daten schon in Relation zueinander visuell dargestellt (XR). Mechanische und elektronische Prozesse können schneller erfasst werden (AR).
- **Kostenersparnis:** Produkte und Systeme müssen nicht in der Realität oder örtlich vorhanden sein, um sie zu betrachten.

- **Qualität:** Es ist eine detaillierte Darstellung von Daten, Design und Zusammenspiel in der Planungsphase möglich. Fehler können frühzeitig erkannt und in ihrer Häufigkeit reduziert werden (VR). Die detaillierte Anweisung der Handlungen im Sichtfeld ermöglichen es dem Monteur mit seinen freien Händen agieren zu können und strikt die Anweisungen zu befolgen (AR).
- **Sicherheit:** Einblendungen von Warnhinweisen im Sichtfeld signalisieren direkt vor der Gefahrensituation, dass Vorsicht geboten ist (AR).
- **Mitarbeitergewinnung:** Neue und spannende Technologien fördern die Attraktivität des Arbeitgebers sowie die Mitarbeiterzufriedenheit und -bindung.[50]
- **Reduktion von Reisen:** Viele Handlungen können durch die XR aus der Ferne erklärt, demonstriert oder simuliert werden. Durch die geringe Notwendigkeit von Reisen werden einerseits die anfallenden Reisekosten stark gesenkt und andererseits ein flexibler Einsatz der Mitarbeiter ermöglicht.

Diesen Vorteilen von XR stehen jedoch auch einige Risiken entgegen:

- **Akzeptanz:** Arbeitnehmer können Probleme mit der neuen Technik haben, keine Veränderung wollen und die neuen Möglichkeiten ablehnen. Im Besonderen sind Personen einer höheren Altersstufe oder mit geringem technischen Hintergrund betroffen. Ist die Akzeptanz für die XR Technologie nicht bei allen Mitarbeitern vorhanden, können die Chancen und Vorteile nicht ausgeschöpft werden. Maßnahme: Mitarbeitern, die Vorteile aufzeigen, jene sich für sie aus der Nutzung der Technologie ergeben und sie frühzeitig mit einbeziehen, indem beispielsweise neu entstehende Prozesse zusammen definiert werden. Eine Schulung aller Mitarbeiter für die Nutzung der neuen Technik sowie die neuen Prozesse ist unerlässlich.
- **Datenschutz:** Die Mitarbeiter könnten das Gefühl entwickeln, überwacht zu werden. Maßnahme: Den Mitarbeitern detailliert erklären, welche Daten durch die Nutzung der Technologie aufgezeichnet werden, die Bedenken aufnehmen und zusammen Lösungen finden.
- **Technische Infrastruktur:** Die Implementierung der neuen Technologie setzt voraus, dass die entsprechende WiFi Abdeckung und Serverstruktur gegeben sowie eine hohe Rechenleistung vorhanden ist. Maßnahme: Die IT Abteilung frühzeitig in die Planung mit einbeziehen, um im Falle von einer nicht ausreichenden Infrastruktur, rechtzeitig Maßnahmen ergreifen zu können.
- **Rechtliche Aspekte:** Bei der Nutzung von XR für Serviceleistungen können rechtliche graue Zonen entstehen, da solche Vorkommnisse nicht im Vertrag festgelegt sind. Maßnahme: Vor der Einführung der XR Technologie im Bereich des Service müssen die Verträge geprüft und überarbeitet werden, um das Vorgehen bei Vorkommnissen, in Zusammenhang mit der XR Technologie, festzulegen.

5.7 Zusammenfassung

Die Extended Reality (XR) umfasst und beschreibt alle Abstufungen zwischen der Realität und der Virtualität. Innerhalb der XR lassen sich die Technologien der Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR) und Augmented Reality (AR) voneinander abgrenzen. Bei der VR werden Objekte in einer virtuellen Umgebung dargestellt. Diese Technologie lässt sich in der Industrie nutzen, um (noch) nicht oder derzeit **nicht vorhandene** Informationen, Produkte oder Abläufe darzustellen, zu vermitteln oder zu analysieren.

Mit der AR Technologie werden virtuelle Informationen auf die reale Welt projiziert. Sie findet in der Industrie Anwendung, wenn **bestehende** Daten kompakt und situationsabhängig vermittelt und analysiert werden sollen. Die Mixed Reality vereint Aspekte der VR sowie AR und ermöglicht ein Interagieren mit der realen und virtuellen Welt zur gleichen Zeit.

Der Einsatz der MR eignet sich für die optimierte Kommunikation zwischen zwei Parteien und der Anleitung, da durch die Augen des Anwenders geschaut und virtuelle Elemente im Sichtfeld platziert werden können. Alle drei Technologien haben unterschiedliche Anwendungsfelder innerhalb der Industrie.

Die Chancen der XR liegen im Bereich der schnellen und gezielten Datenerfassung, -analyse und -vermittlung sowie der Kosten- und Aufwandsreduktion. In Bezug auf den industriellen Einsatz werden diese Technologien häufig als "die Zukunft" bezeichnet und eröffnen durch neue Arten der Interaktion, neuartige Möglichkeiten im gesamten Produktentstehungsprozess.

Risiken sind im Bereich der Akzeptanz innerhalb des Unternehmens, der technischen Infrastruktur sowie der nicht definierten Vorgehensweisen bei Unstimmigkeiten zwischen dem Unternehmen und dem Kunden zu erwarten. Diesen kann jedoch durch eine vorausschauende und umsichtige Handhabung entgegen gewirkt werden.

KAPITEL 6

Blockchain Technologie

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was Blockchain, Hashwerte und Hashfunktionen sind
- ... wie Datentransaktionen verschlüsselt werden
- ... das Proof of Work and Proof of Stake Konzept funktionieren
- ... was mögliche Anwendungsfelder sind
- ... welche Chancen und Risiken die Blockchain-Technologie mit sich bringt

Einleitung

Frei übersetzt bedeutet Blockchain „Blockkette“. Vereinfacht gesagt ist eine Blockchain eine Datenbank, die nicht zentral auf einem Server liegt, sondern über die Rechner tausender Nutzer verteilt ist. Man spricht deshalb auch von einer dezentralen Datenbank. Die einzelnen Datensätze, „Blöcke“ genannt, werden mittels kryptographischer Verfahren miteinander verkettet.

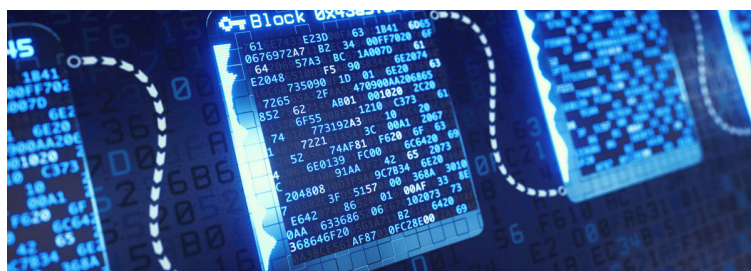


Bild 6.1: Block-Chain - eine kontinuierlich erweiterbare Liste von Datensätzen.

Bekannt wurde die Blockchain Technologie durch die Kryptowährung **Bitcoin** im Jahr 2008, als der Artikel *“Bitcoin: A Peer to Peer Electronic Cash System“* von einer unbekanntenen Person oder Gruppe namens Satoshi Nakamoto veröffentlicht wurde.

Dieses Dokument beinhaltet ein dezentrales elektronisches Zahlungssystem, das es ermöglicht, Finanztransaktionen ohne dritte Instanzen abzuwickeln. In der Informatik versteht man darunter ein **Peer to Peer** Netzwerk, also eine Gruppe von Geräten, die gemeinsam Dateien speichern und nutzen. Jeder Teilnehmer (**Node**) agiert als einzelner Peer.

Da sich die Blockchain Technologie erst am Anfang ihrer Entwicklung befindet, hat sich bis jetzt keine einheitliche Definition durchgesetzt. Schär und Berentsen definieren die Blockchain Technologie als ein verteiltes Peer to Peer Netzwerk von elektronischen Registern, bei denen die einzelnen Datenblöcke miteinander verkettet sind [51].

Technische Lösungen für sichere und überprüfbare Transaktionsabwicklungen zwischen verschiedenen Akteuren stellen ein besonders herausforderndes Gebiet dar und Unternehmen sollten prüfen, ob für ihre Abläufe Blockchains in Frage kommen (Abb. 6.2).

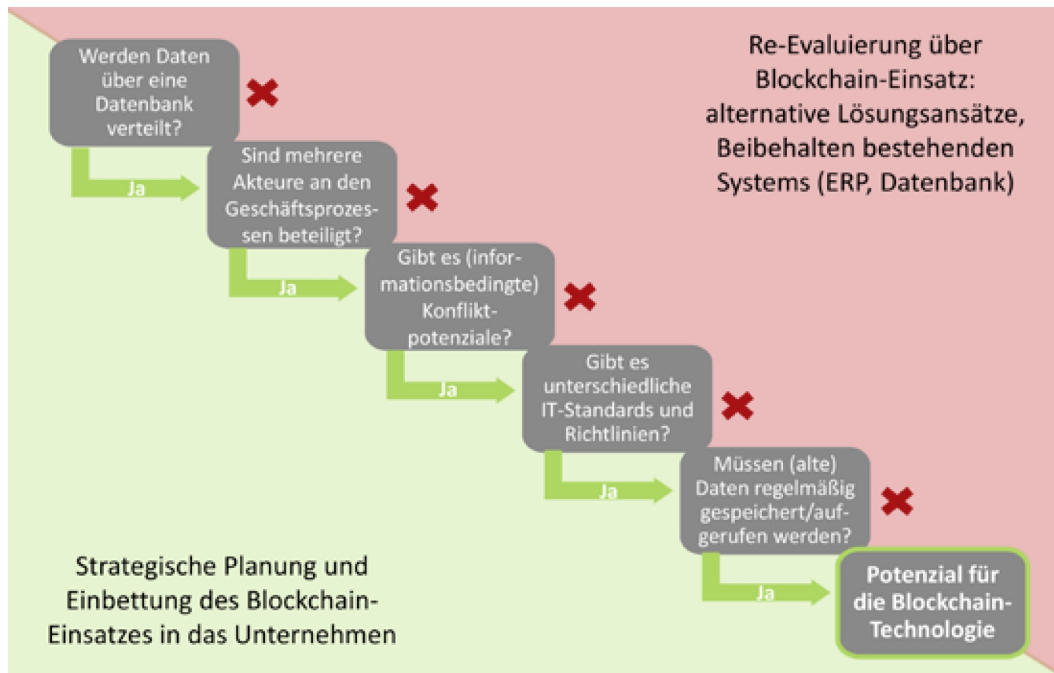


Bild 6.2: Entscheidungspfad Blockchain-Einsatz im Unternehmen [52].

6.1 Distributed Ledger (DLT)

Um zu gewährleisten, dass eine chronologisch geordnete Erfassung von Transaktionen eingehalten wird, findet die sogenannte **Distributed Ledger Technologie**¹ Anwendung. Ein **Konsensmechanismus** (wie beispielsweise das Proof of Work) wird verwendet, um zu entscheiden, wie neue Transaktionen in die Blockkette aufgenommen werden und wie bestehende Transaktionen zu validieren sind. Es gewährleistet die Korrektheit des Ergebnisses mit möglichst geringem Zeit- und Rechenaufwand [53].

In der Blockchain Technologie befinden sich die Daten in einer verteilten Netzwerkarchitektur. Ein Distributed Network besteht aus Nodes, die miteinander kommunizieren und die Daten der Blockchain **redundant** speichern. Als Node (Netzwerkknoten) bezeichnet man unabhängige Computer, die miteinander kommunizieren und sich synchronisieren. Der Ausfall eines Rechners beeinflusst dabei die anderen Rechner nicht, da jeder Node einen Status des Systems speichert. Das Netzwerk des **Internets** ist grundsätzlich auch **dezentral** aufgebaut, jedoch nutzt es durch determinierte Verbindungswege auch **lineare** oder **zentralisierte** Schemata.

1 **Ledger** (von englisch *ledger*, Konto(buch), Bestandsbuch). Die Distributed Ledger Technologie beschreibt eine öffentliche, dezentral geführte Datenbank, die den Teilnehmern eine gemeinsame Lese- und Schreibberechtigung gewährleistet.

Bei einem **zentralen System** hingegen vertrauen alle Teilnehmer einer zentralen Instanz. Dieses System wird häufig zur Kommunikation verwendet, bei der die zentrale Instanz die Einhaltung der Regeln kontrolliert. Die Unterscheidung zwischen zentralen, dezentralen und verteilten Netzwerken zeigt Abbildung 6.3.

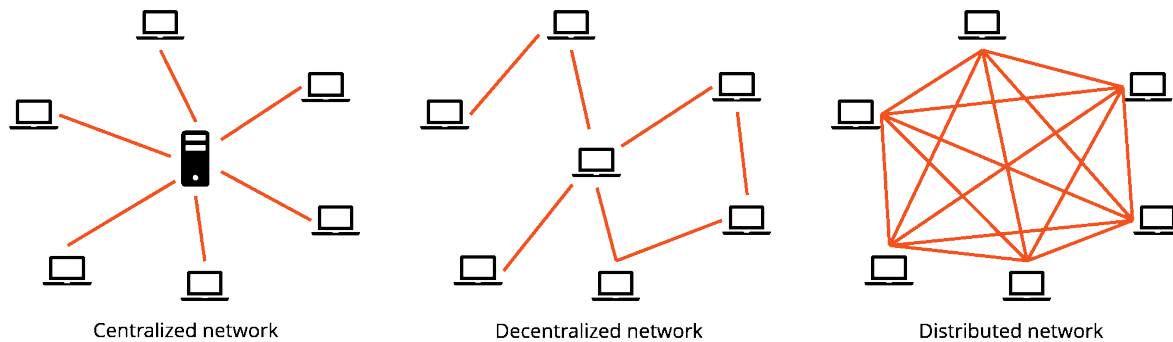


Bild 6.3: Netzwerk Topologie [54].

6.2 Hashwerte und Hashfunktionen

Der Begriff **Hash** bedeutet so viel wie etwas zerhacken oder etwas zerstreuen und wird in der Blockchain zur Datenspeicherung und Kryptologie verwendet. Da die Blockchain Technologie auf **Hash-Referenzen** beruht, ist eine umfassende Kenntnis dieser Komponente wichtig.

Allgemein verweisen Hash-Referenzen auf Daten die an einem anderen Ort als die Referenz gespeichert sind. Dabei hat die Hash-Referenz selbst einen eigenen Hashwert, der aus der Kombination der gespeicherten Daten und Informationen resultiert. Eine solche Struktur ist beim Speichern und Verknüpfen von Daten nützlich, da ein exakter und veränderungssensitiver Datenverweis besteht.

Eine **Hashfunktion** ist eine Funktion, die eine Zeichenabfolge beliebiger Länge in eine Zeichenabfolge fester Länge abbildet, dem sogenannten **Hashwert**. Dieser Hashwert ist kollisionsresistent, da es keine zwei Eingabewerte für denselben Zielwert gibt. Eine Hashfunktion ist eine Art **digitaler Fingerabdruck**, dem es möglich ist einen Inhalt eindeutig zu identifizieren.

In der Blockchain Technologie kommen eine Vielzahl von Hashing Algorithmen zum Einsatz, z.B. bei Bitcoin und anderen Kryptowährungen die **Secure Hashing Algorithms (SHA-256)**¹. Kryptographisches Hashing ermöglicht es, die verschlüsselten Transaktionen nicht mehr auf die Eingabedaten zurückzuführen, da es sich um Einwegfunktionen handelt [55].

1 **SHA-2** (von englisch *secure hash algorithm*, sicherer Hash-Algorithmus) ist der Oberbegriff für die kryptologischen Hashfunktionen SHA-224, SHA-256, SHA-384, SHA-512, SHA-512/224 und SHA-512/256, die vom US-amerikanischen National Institute of Standards and Technology (NIST) (als Nachfolger von SHA-1) standardisiert wurden.

6.3 Asymmetrische Verschlüsselung und digitale Signaturen

In der Blockchain Technologie werden **asymmetrische** Verschlüsselungen sowie **digitale Signaturen** verwendet, um Transaktionen zu autorisieren und Konten zu identifizieren. Beide Verfahren arbeiten mit Schlüsselpaaren, einem nicht geheimen (**öffentlichen**) und einem geheimen (**privaten**) Schlüssel (**Public-Key-Verfahren**).

Im Gegensatz zu einem symmetrischen Kryptosystem, brauchen die kommunizierenden Parteien keinen gemeinsamen geheimen Schlüssel zu kennen. Jeder Benutzer erzeugt sein eigenes Schlüsselpaar, das aus einem privaten und einem öffentlichem Teil besteht.

Der **öffentliche Schlüssel** ermöglicht es jedem, Daten für den Besitzer des privaten Schlüssels zu verschlüsseln, dessen digitale Signaturen zu prüfen oder ihn zu authentifizieren.

Der **private Schlüssel** ermöglicht es seinem Besitzer, mit dem öffentlichen Schlüssel verschlüsselte Daten zu entschlüsseln, digitale Signaturen zu erzeugen oder sich zu authentisieren.

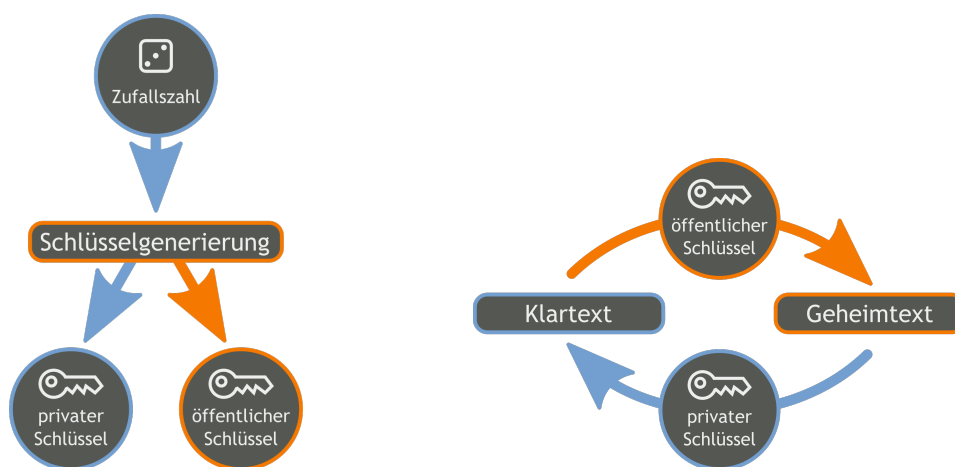


Bild 6.4: Erzeugung eines Schlüsselpaars und Verschlüsselung bzw. Entschlüsselung.

Im Fall der **digitalen Signatur** erzeugt der Sender zunächst einen Hashwert des Datenpakets und verschlüsselt diesen Hashwert mit seinem privaten Schlüssel. Diesen verschlüsselten Hashwert nennt man schließlich digitale Signatur. Der Empfänger bekommt sowohl das Datenpaket als auch die digitale Signatur gesendet. Für die Entschlüsselung der digitalen Signatur kann der Empfänger den öffentlichen Schlüssel des Senders verwenden und den resultierenden Hashwert mit dem von ihm errechneten Hashwert vergleichen.

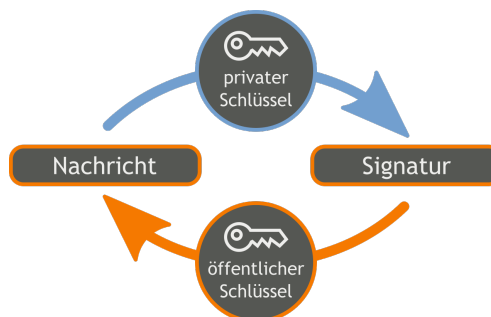


Bild 6.5: Signieren mit privatem Schlüssel und Verifikation mit öffentlichem Schlüssel.

Stimmen die beiden Hashwerte überein, kann der Empfänger sicher sein, dass die Nachricht nicht manipuliert wurde. Im Rahmen der Bitcoin-Blockchain werden die digitalen Schlüssel in einer Datenbank namens **Wallet** erstellt und gespeichert [56].

6.4 Merkle Baum

Die abgebildete Struktur aus Abbildung 6.6 wird als **Hashbaum**¹ oder **Merkle Baum** bezeichnet und speichert einzelne Transaktionen ab. Ziel ist es, mehrere Transaktionen durch einen Hashwert auszudrücken. Dazu werden die Hashwerte wiederholt aufaddiert, bis lediglich ein Hashwert übrigbleibt. Die Hashwerte für die einzelnen Transaktionen werden auch als **Hash-Referenzen** bezeichnet, die dann wiederum paarweise gruppiert werden zu Hashwert 5 und 6.

Dieser Prozess wird mit mehreren Transaktionen so lange durchgeführt, bis nur noch ein Hashwert vorhanden ist. Dieser stellt die **Wurzel** (Root) des Merkle-Baums dar. Manipulationen werden schnell identifiziert, da sich bei einer Inhaltsänderung der Transaktion der Hashwert der Transaktion und alle Resultierenden verändern.

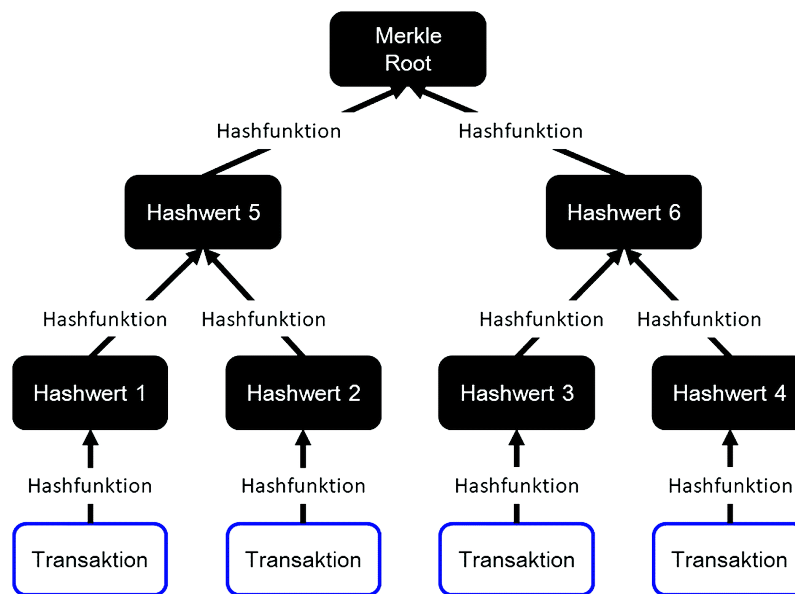


Bild 6.6: Merkle Baum.

6.5 Konsensmechanismen

Die Blockchain Technologie beruht auf einem reinen Peer to Peer Netzwerk, in dem mehrere Rechner untereinander verbunden sind und nahezu gleichberechtigt auf die Daten in der Blockchain zugreifen können. Die Konsensmechanismen sollen das frei zugängliche Netzwerk vor Fälschung und Manipulation schützen.

Da Blockchains in der Regel nicht auf ein zentrales Netzwerk mit einer kontrollierenden Instanz agieren, muss unter den Teilnehmern ein **Konsens** gefunden werden. Eine Übereinstimmung aller Teilnehmer ist erforderlich, wenn neue Blöcke als Ergänzung zur bestehenden Blockkette erbracht werden. Es existieren eine Vielzahl an verschiedenen Konsensalgorithmen, dabei sind **Proof of Work** und **Proof of Stake** die am häufigsten verwendeten Konzepte.

¹ Ein **Hash-Baum** (englisch *hash tree* oder *Merkle tree*, nach dem Wissenschaftler Ralph Merkle) ist eine Datenstruktur in der Kryptographie und Informatik.

Proof of Work

Das Proof of Work Konzept wird am häufigsten verwendet in der Blockchain und findet Anwendung z. B. bei den Kryptowährungen Bitcoin und Ethereum. Änderungen an der Blockchain Kette können durch die Netzwerkteilnehmer hergestellt werden, die **Miner**¹ genannt werden. Diese Miner versuchen eine komplexe Aufgabe zu lösen, um einen Zufallswert zu finden, der lediglich durch zufälliges Ausprobieren von Hashwerten gefunden werden kann.

Bei einer Übereinstimmung hat der Finder die Erlaubnis, den Block hinzuzufügen. Die weiteren Netzwerkteilnehmer bekommen den neuen Block mit der gefundenen Zufallszahl der Transaktion und des Blockhashes zugesendet und überprüfen diesen auf Korrektheit. Liegen keine Fehler vor, so bekommt der Miner eine **Belohnung** ausgezahlt.

Allgemein hilft der Algorithmus das Netzwerk vor zahlreichen Angriffen zu schützen, da ein Angriff auf das System viel Rechenkapazität verlangt. Der Angreifer müsste mehr als 50 Prozent des Netzwerkes kontrollieren, um eine Manipulation vorzunehmen. Dies ist bei einem großen Netzwerk schwer zu erreichen.

Die Nachteile hingegen sind, dass eine große Rechenkapazität der Blockchain Netzwerke zu einem **hohen Energieverbrauch** führt. Hinzu kommt, dass diese rechenintensive Suche nur eine geringe Anwendung findet, da kostenintensive Hardware benötigt wird. Eine große Herausforderung ist das **Skalierungsproblem**, da mit steigenden Transaktionen der Benutzer das Datenaufkommen steigt und eine mögliche Verzögerung der Transaktionsbestätigung auftreten kann [57].

Proof of Stake

Der Proof of Stake Algorithmus möchte sich von der Bereitstellung von Rechenleistung lösen. Das Ziel ist es, wie beim Proof of Work Algorithmus einen Konsens der Netzwerkteilnehmer herzustellen. Einer der größten Unterschiede ist, dass es keine Miner gibt, sondern Validatoren. Als Basis wird ein Anteilssystem herangezogen. Die Wahrscheinlichkeit, an der Bildung eines Blockchains mitzuwirken, hängt somit von dem vorhandenen Werteinlagen, also dem **Werteinlagenanteil** ab. Diese Methode setzt voraus, dass die Teilnehmer einen gewissen Anteil an Werteinlagen besitzen müssen, um an der Bildung von Blöcken teilzunehmen.

Die hinterlegten Einlagen werden als **Stake** bezeichnet. Der Proof of Stake Algorithmus hat keine direkte Belohnung, da kein Wettbewerb wie beim Proof of Work vorhanden ist. Jedoch wird für das Validieren und die Konsensbildung eine **Transaktionsgebühr** verlangt, die der Validator erhält. Anders als beim Proof of Work werden auch keine neuen Werteinlagen als Belohnung erstellt, da diese von Beginn an im System verteilt sind.

Das Proof of Stake Konzept wird z. B. verwendet bei den Kryptowährungen Cardano, Algorand und ab 2020 bei der zweitgrößten Kryptowährung Ethereum. Allgemeine Vorteile sind zum einen die Entkopplung von der genutzten Rechenleistung sowie ein höherer Durchsatz an Transaktionen. Nachteilig ist die Tendenz zur Zentralisierung, da Teilnehmer mit einem hohen Anteil an Werteinlagen bevorzugt werden [58].

1 Das Wort „**Mining**“ leitet sich vom englischen Wort für „Bergbau“ ab und bezieht sich auf den gemeinsamen Einsatz der Rechenleistung eines Netzwerks. Beim Mining bekommen die Schürfer eine Belohnung, die sich danach richtet, wie viel Rechenkapazität sie dem Netzwerk zur Verfügung stellen.

6.6 Verkettung von Blöcken am Beispiel Bitcoin

Ein Block in einer Blockchain enthält einen strukturierten Datensatz mit beliebigen Transaktionen. Die Rechner verbinden sich über ein Peer to Peer Netzwerk miteinander und erhalten alle Informationen der gesamten Blockchain. Bei der erstmaligen Verwendung einer Blockchain wird ein **Genesis Block**¹ generiert, an den sich alle weiteren Blöcke anhängen. In der Tabelle 6.1 ist der Block Header eines Bitcoins abgebildet.

Datenmenge	Block-Header
4 Byte	Version
32 Byte	HashPrev
32 Byte	Merkle Hash
4 Byte	Timestamp
4 Byte	Difficulty
4 Byte	Nonce

Tabelle 6.1: Inhalt eines Blocks beim Bitcoin.

Die Erstellung eines Bitcoin-Blocks erfolgt alle zehn Minuten und wird über den Schwierigkeitsgrad gesteuert. In diesem definierten Zeitintervall wird ein neuer Block von einem Rechner erstellt, der im Proof of Work Algorithmus ausgewählt wurde. Mit Hilfe des Algorithmus probieren die Miner die **Nonce**² (=Zufallszahl) zu finden. Der Schwierigkeitsgrad ist eine natürliche Zahl und gibt an wie viele führenden Nullen der Hash-Wert mindestens haben muss. Durch die Anpassung der Schwierigkeit (Anpassung der führenden Nullen) eine passende Nonce zu finden, wird sichergestellt, dass mit zunehmender Rechenkapazität die benötigte Dauer zur Erstellung eines Blocks konstant bleibt.

In jedem neuen Block wird der Hash-Wert des letzten gültigen Blocks und ein Zeitstempel aufgenommen. Dies führt dazu, dass die Blöcke in einer **chronologischen Reihenfolge** miteinander verknüpft sind und zusätzlich der Erstellungszeitpunkt des Blocks dokumentiert wird.

Der Merkle Hash dient zur Prüfung der Integrität der Daten und Transaktionen in einem Block. Der bereits beschriebene Merkle Baum fasst alle Transaktionen zu einem Hash zusammen, der im Block-Header hinterlegt ist. Die Bitcoin Version Nummer gibt an welche Blockvalidierungsregeln der Block verwendet und hilft, Änderungen im Protokoll zu verfolgen [59].

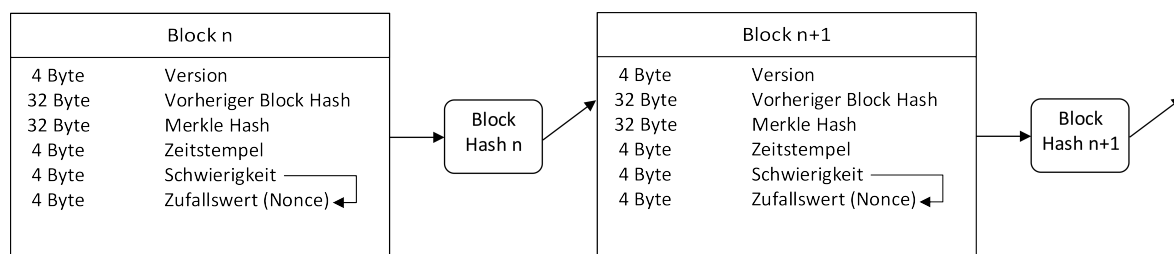


Bild 6.7: Block Kette angelehnt an [59].

- 1 Der **Genesis Block** ist der aller erste Block innerhalb der Bitcoin-Blockkette. Anders als alle anderen Blöcke wurde er nicht vom Netzwerk errechnet, sondern stattdessen vor der offiziellen Veröffentlichung von Bitcoin. Außerdem ist es auch fest im Quellcode verankert.
- 2 Eine **Nonce** (englisch) bezeichnet ein vorläufiges Wort, eine Buchstaben- oder Zahlenfolge, die kurzfristig mit der Absicht gewählt wurden, bald durch etwas „Besseres“ ersetzt zu werden.

6.7 Berechtigungsarchitektur

Allgemein unterscheidet man zwischen **öffentlichem** und **privatem** Zugriff auf ein Blockchain-System, jedoch ist in manchen Fällen eine Genehmigung erforderlich.

Ein Beispiel für öffentliche und zulassungsbeschränkte Blockchain-Systeme sind all diejenigen, die ein Proof of Stake Konsensverfahren nutzen. Dabei ist der **Erwerb von Werteinlagen** die Voraussetzung, um eine Prüfleistung aus technischer Sicht zu erbringen. Bei rein öffentlichen Netzwerken haben die Teilnehmer unabhängig von ihren Rechten vollen Zugriff.

Die private Blockchain basiert auf dem Konzept, dass nicht jede Anwendung für jeden Benutzer offen sein sollte, um die Aufzeichnungen zu lesen oder Validierungen vorzunehmen. Da manche Systeme beispielsweise für unternehmensinterne Themen konzipiert sind und nur für eine bestimmte Nutzergruppe sinnvoll sind, sollten die Informationen nicht mit anderen Personen geteilt werden. Die Implementierung eines Netzwerkoperators sowie ein klar definiertes **Rechte- und Zugriffssystem** sind erforderlich.

Ein Beispiel für private und zulassungsbeschränkte Blockchain Systeme können vertrauliche Verträge, Steuererklärungen oder staatliche Anwendungsmöglichkeiten sein. Im Gegensatz dazu finden private und zulassungsfreie Systeme Anwendung bei Lizenzvergaben oder zur Nachvollziehbarkeit von Lieferketten.

		Validierung	
		Permissionless	Permissioned
Zugriff	Public	Jeder darf lesen und validieren.	Jeder darf lesen, nur Berechtigte validieren.
	Private	Nur Berechtigte dürfen lesen, jeder darf validieren.	Nur Berechtigte dürfen lesen und validieren.

Bild 6.8: Klassifizierung der Berechtigungsarchitektur [60].

6.8 Anwendungsfelder

Logistik

In der Logistik bildet die Blockchain einen Ansatz, alle Transaktionen und damit verbundenen Informationen zu vereinen. Drei wichtige Anwendungsbereiche innerhalb der Logistik sind die Sendungsverfolgung, das Risikomanagement und die Selbststeuerung [61].

Zum Beispiel gibt es nach Schätzungen der WHO jährlich 600 Millionen Fälle von durch Lebensmittel hervorgerufene Erkrankungen. Zu den größten Herausforderungen zählt dabei die Sicherheit in der Food Chain. Die automatisierte und digitale Sendungsverfolgung von Lebensmitteln beinhaltet wichtige Kriterien: Informationen bezüglich Temperatur, Reifegrad und Qualität der Güter müssen abrufbar sein, ebenso wie Daten zum Zeitpunkt der Verladung und der Entladung, sowie Zertifizierungen und Qualitätsgütesiegel Blockchains können die Daten jederzeit bereitstellen und Manipulationen verhindern.



Bild 6.9: Mit Blockchain-Software kann man z. B. vertrauenswürdige Informationen über Lebensmittel verwalten. (Foto: IBM/Connie Zhou)

Smart Home

Bereits heute haben Neubauwohneinheiten zahlreiche Smart-Home-Funktionen. Ein großes Risiko bei einem Smart Home ist jedoch die Sicherheit, denn auch eine gute Firewall bietet keinen vollumfänglichen Schutz. Dementsprechend könnte Blockchain Technologien in diesem Bereich für mehr Sicherheit sorgen.

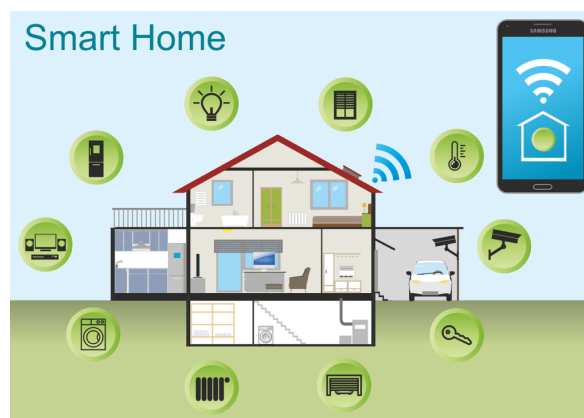


Bild 6.10: Blockchain-Technologie wird für größere Sicherheit im vernetzen Haus sorgen.

Smart Cities

Zahlreiche Großstädte möchten sich zur Smart City transformieren. Hierzu gehören intelligente Straßenführungen, angepasste Tempogrenzen, automatische Luftmessungen. Auch neue Versorgungskonzepte wie Smart Grids zur Energieversorgung oder Ladesäulen mit modernen Bezahlkonzepten gehören hierzu.



Bild 6.11: Blockchain-Technologie vernetzt die Smart City.

Digitale Identitäten

Bei dezentralen digitalen Identitäten geht es darum, dass der Nutzer seine digitale Identität selbst verwaltet, ohne von einem zentralen Identitätsdienstleister abhängig zu sein, bei dem die Daten gespeichert sind. Stattdessen erhält der Nutzer einmalig von vertrauenswürdigen Stellen wie staatlichen Behörden digitale Bescheinigungen über bestimmte persönliche Identitätsmerkmale, wie Adresse oder Alter, die er dann ohne weitere Zustimmung durch den Aussteller zur Identifizierung und Authentisierung nutzen kann.

Die Blockchain wird dazu genutzt, die Legitimität der ausgestellten digitalen Bescheinigungen zu garantieren, die als solche keinen Rückschluss auf die Personendaten zulassen. Dezentralen digitalen Identitäten kommt eine besondere Bedeutung zu, weil sich mit ihnen nicht nur Menschen, sondern auch zum Beispiel auch Maschinen oder Unternehmen ausweisen können. Durch vertrauenswürdige, dezentrale Identitäten und Zertifikate lassen sich zahlreiche Prozesse effizienter gestalten, beispielsweise beim Risiko- und Compliance-Management in der Lieferkette.

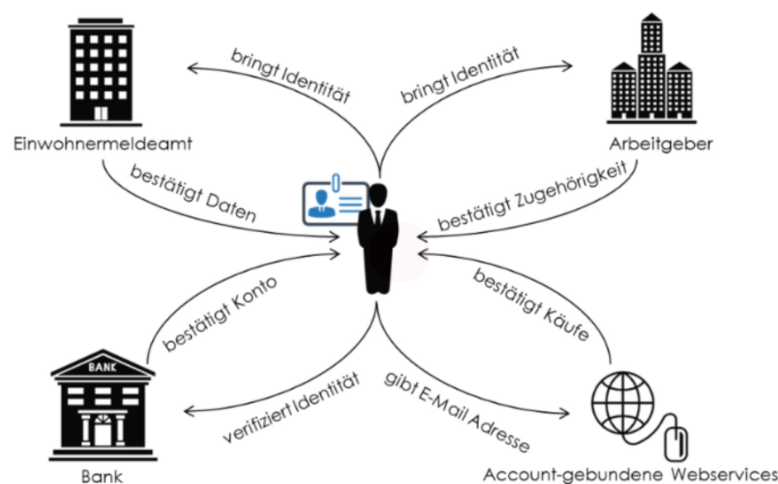


Bild 6.12: Blockchain-Technologie sichert die Identität.

E-Health

Der Gesundheitsmarkt gilt als einer der Wachstumssektoren der Zukunft. Dabei etablieren sich bereits neue Betreuungskonzepte und moderne Maschinen ermöglichen eine bessere Diagnose komplexer Krankheitsbilder. Digitalisierte Gesundheitsakten können eine bessere Verwaltung der Zugriffsrechte gewährleisten.

In der pharmazeutischen Industrie stellen Counterfeit Drugs, also Medikamenten-Imitate, und deren illegaler Handel ein großes Problem dar. Eine sichere und transparente Wertschöpfungskette ist deshalb für die Garantie von Medikamentenechtheit und Patientensicherheit elementar [62].

Neben nationalen Ansätzen mit einem zentralen Datenbanksystem, wie z.B. **securPharm** in Deutschland, können Blockchain-basierte Systeme ohne zentrale Instanzen auskommen.

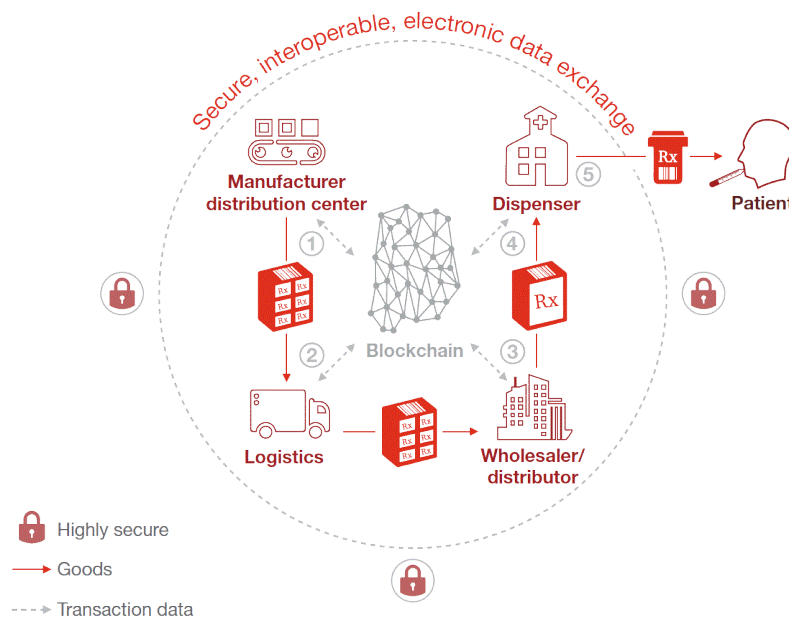


Bild 6.13: Blockchain-Technologie im Gesundheitswesen.

Smart Contracts

Smart Contracts bestehen aus Softwarecodes, die einen physischen Vertrag abbilden. Durch das Erstellen von Smart Contracts entstehen eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten im Finanzbereich, in der Politik und Verwaltung, in der Energieversorgung sowie in vielen weiteren Bereichen.

Der erste Schritt beschreibt einen Transaktionseingang, bei dem ein digital prüfbares Ergebnis ausgelöst wird. Im nächsten Schritt verarbeitet der Programmcode das Ereignis und nimmt eine rechtliche Handlung vor.

Bei dem prüfbareren Ergebnis kann es sich beispielsweise um die Verspätung eines Flugzeuges handeln. Ist diese größer als zwei Stunden, wird das Ereignis ausgelöst und im Programmcode verarbeitet. Im Fall der Flugverspätungsversicherung handelt es sich bei der rechtlichen Handlung um die automatische Schadenskompensation für den Versicherten.

Realisiert man Smart Contracts innerhalb einer Blockchain, dann entfällt die Rolle des **Intermediärs**, da das Vertrauen auf dem Konsensmechanismus der Blockchain beruht. Aufgrund der Automatisierung werden Transaktionen deutlich schneller und kostengünstiger ausgeführt [63], [64].

Automobil- und Mobilitätsbranche

Unsere bekannte Mobilität steht vor dem Umbruch. Autonome Fahrzeuge, neue Antriebskonzepte und zahlreiche neue Mobilitätskonzepte strömen auf den Markt. In Zukunft müssen die unterschiedlichen Fahrzeuge milliardenfach Transaktionen tätigen.

Smart Contracts in Verbindung mit M2M¹ bieten beispielsweise das Betanken von Autos, das eigenständig und ohne die Verwendung eines Vermittlers ablaufen kann.

Dabei erkennen sich das Auto und die Tanksäule gegenseitig und tauschen Informationen über die Zahlung und das geforderte Benzin aus. Das Auto interagiert direkt mit der öffentlichen Blockchain und bezahlt mittels einer Kryptowährung. Es besitzt eine eigene Wallet und kann damit automatisch für Infrastrukturen und Service bezahlen.

Neben dem Tanken kann es beim Carsharing, dem Parken und einer Maut verwendet werden. Es handelt sich dabei um ein System, das schnelle Transaktionen zwischen Maschinen, Fahrzeugen und Geräten im sogenannten IoT (Internet of Things) ermöglicht [53].



Bild 6.14: M2M Kommunikation

Smart Grids - Dezentrale Energieversorgung

Die Energiewirtschaft bietet einen weiteren Sektor, in der die Blockchain Technologie zukünftig zum Einsatz kommen kann. Die Bereitstellung von Strom erfolgt momentan über lange Wege vom Energieerzeuger zum Verbraucher, da es relativ wenig große Energieversorger gibt. Durch eine Dezentralisierung der Energieversorgung mittels Blockchain-Technologie, könnten lokale Energieproduzenten und -konsumenten auf einem dezentralisierten Energiemarkt miteinander verbunden sein. Es kann somit eine sichere und schnelle Transaktion zwischen den Teilnehmern ermöglicht werden [65].

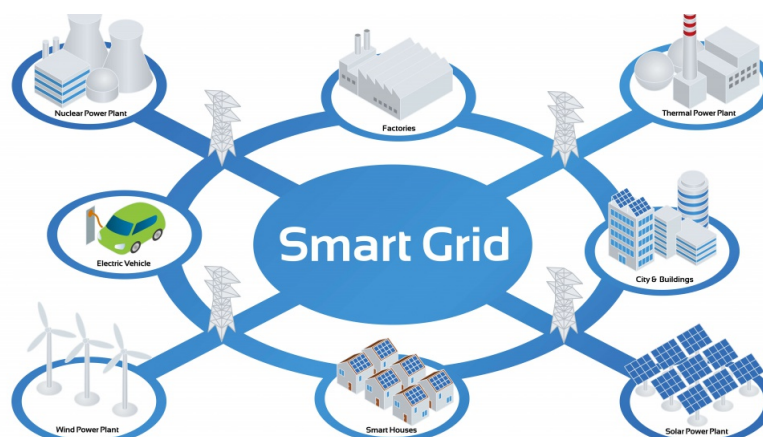


Bild 6.15: Blockchain-Technologie im Energiesektor.

1 **Machine-to-Machine (M2M)** steht für den automatisierten Informationsaustausch zwischen Endgeräten wie Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Containern untereinander oder mit einer zentralen Leitstelle, zunehmend unter Nutzung des Internets und den verschiedenen Zugangsnetzen, wie dem Mobilfunknetz.

6.9 Chancen und Risiken der Technologie

Wenngleich Smart Contracts enorme Chancen aufzeigen, so gibt es dennoch Risiken, die in der nachfolgenden Auflistung aufgezeigt werden [54].

Chancen

- **Verfügbarkeit der Daten**
Die Daten werden redundant gespeichert und mittels eines Peer to Peer Netzwerks auf den Nodes verteilt.
- **Irreversibilität der Daten**
Daten können nicht manipuliert oder gelöscht werden.
- **Dezentralisierung**
Ein Konsensverfahren stellt das Vertrauen der Teilnehmer sicher.
- **Integrität der Daten**
Durch die Blockverkettung sind die Daten in der Zeitfolge nachvollziehbar protokolliert, nachvollziehbar und sicher gespeichert.
- **Transparenz**
Jeder Netzwerkteilnehmer hat Zugang zu der Datenbank und kann Transaktionen einsehen.
- **Automatisierung**
Die Programmierbarkeit der Transaktionen sowie die Ausführung eines Computerprogramms (Smart Contracts) ist möglich.

Risiken

- **Hoher Energieverbrauch**
Der Proof of Work Konsensmechanismus benötigt eine hohe Rechenleistung, die zu einem hohen Energieverbrauch führen.
- **Skalierbarkeit**
In einer öffentlichen Blockchain besteht aufgrund des großen Datenvolumens, welches zwischen den Teilnehmern ausgetauscht werden muss, die Herausforderung der Skalierbarkeit. Größere Blöcke ermöglichen höhere Transaktionsraten im Netzwerk, erhöhen jedoch den Rechen- und Kommunikationsaufwand für die Konsens-Mechanismen.
- **Rechtliche Rahmenbedingungen**
Blockchain kann ohne Grenzen von Nationalstaaten funktionieren, die Transaktionsbeteiligten können sich in verschiedenen Jurisdiktionen befinden.
- **Irreversibilität**
Spezifikations- oder Programmierfehler können besonders bei Smart Contracts schwere Folgen haben.

6.10 Zusammenfassung

Die Blockchain Technologie verspricht vielseitige Anwendungsfelder, da es sich um eine breit einsetzbare Technologie handelt. Die angeführten Anwendungsbeispiele aus den Bereichen M2M, Smart Contracts oder dezentrale Energieversorgung zeigen, dass die Technologie das Potenzial aufweist weite Bereiche der Gesellschaft zu verändern. Trotzdem sind noch viele Herausforderungen und offene Fragen hinsichtlich Skalierbarkeit, Anonymität und juristische Aspekte zu klären.

Es beschäftigen sich vermehrt Forschungsakteure und Experten mit dem Thema und auch die Forschungsförderungsgesellschaft-FFG unterstützt einen „Blockchain Startup Contest“, bei dem Kleinunternehmen finanzielle Unterstützung bekommen. Doch gerade Unternehmen sollten einen Austausch mit internationalen Blockchain Experten wahrnehmen, um bedarfsorientierte Anwendungen zu erarbeiten. Auch verstärkte Kommunikations- und Informationsmaßnahmen durch Konferenzen und einer erhöhten Medienaktivität sollten überlegt werden.

KAPITEL 7

Kryptowährungen

Lernziele:

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels wissen Sie, ...

- ... was man unter Kryptowährungen versteht.
- ... was das Geldsystem ist und welche Funktionen es hat.
- ... wie die Technologie hinter Kryptowährungen funktioniert.
- ... welche aktuelle Kryptowährungen existieren.
- ... welche Anwendungsfelder es für Kryptowährungen gibt.
- ... welche Chancen und Herausforderungen bei Kryptowährungen bestehen.

7.1 Einführung

In den letzten Jahren hat sich weltweit ein neuer Bestandteil im bekannten Geldsystem etabliert: Kryptowährungen. Einst als technisches Experiment gedacht, ist heute eine milliardenschwere Industrie und wird von vielen als Zukunft des Geldsystems gesehen.

Am 1. November 2008 wurde in einem Artikel mit dem Titel „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“ von Satoshi Nakamoto das Konzept für Kryptowährungen vorgestellt [66]. Zwei Monate später, am 3. Januar 2009, während des Höhepunkts der Finanzkrise, wurde Bitcoin als Alternative zum zentralen Geldsystem eingeführt. Heutzutage gibt es neben Bitcoin rund 10.500 weitere Kryptowährungen (Stand: Januar 2025) [67].

Doch was sind „Kryptowährungen und was macht sie so erfolgreich?

Kryptowährungen sind digitale Zahlungsmittel, die auf der Blockchain-Technologie basieren. Die Blockchain-Technologie ermöglicht es, Daten in dezentral verteilten Netzwerken unveränderlich zu speichern, die nicht von einer zentralen Instanz verwaltet werden [68]. Der Name Kryptowährung steht umgangssprachlich für die kryptographischen Verschlüsselungsmethoden, auf denen das Konzept der Technologie basiert [69].

7.2 Entstehung und Funktionen von Geld

7.2.1 Geschichte des Geldes

Die Geschichte des Geldes begann vor rund 10.000 Jahren mit dem ersten Tauschhandel. Menschen versuchten Waren oder Dienstleistungen gegeneinander einzutauschen - etwa Vieh gegen Getreide.

Diese Handelsform brachte jedoch ein zentrales Problem mit sich: die sogenannte doppelte Koinzidenz¹ der Wünsche.

Damit ein Handel zustande kam, mussten beide Parteien genau das besitzen, was die jeweils andere suchte. Um dieses Problem zu lösen, entwickelte sich zunächst das Warengeld oder Naturgeld² genannt.

Circa 4.500 Jahre v.Chr. wurde erstmals Geld aus Silber verwendet [71]. Die ersten geprägten Münzen, die als offizielles Zahlungsmittel dienten (siehe Abbildung 7.1) entstanden um 700 v.Chr.



Bild 7.1: Erstes Münzgeld mit Prägung aus dem 7. Jh. v. Chr. [70]

Das Zahlen von größeren Beträgen mit Münzgeld stellte sich oft als umständlich dar. Aus diesem Grund wurde erstmals bedrucktes Papier als Zahlungsmittel in China im 9. Jahrhundert n.Chr. ausgegeben. Dieses Papier hat einen physischen Bezug zu einem Edelmetall und galt somit als „gedeckt“ [71]. Man konnte das Papier gegen ein materielles Wirtschaftsgut, wie zum Beispiel Gold, eintauschen.

Dieses System wurde später vom „**Fiatgeld**“ abgelöst.

Das Fiatgeld hat keinen physischen Bezug und damit keinen inneren Wert mehr. Der Wert dieses Geldes wird durch den kollektiven Glauben der Marktteilnehmer festgelegt und durch die Regierung und die Zentralbank kontrolliert.

Heutzutage gibt es das „Buchgeld“ bzw. das „Giralgeld“. Unter diesen Begriffen versteht man jederzeit fällige Guthaben, die auf Konten bei Kreditinstituten (für Zahlungsverkehrszwecke) zur Verfügung stehen [72]. Das Giralgeld hat in der Eurozone heute einen Anteil von rund 80 Prozent an der umlaufenden Geldmenge [73].

7.2.2 Geldfunktionen

Die Volkswirtschaftslehre definiert Geld indirekt: Geld ist etwas, was die Geldfunktionen erfüllt [74]. Bei den Funktionen von Geld wird zwischen drei Grundfunktionen unterschieden [70]:

- **Tausch- bzw. Zahlungsmittel:**
Geld erleichtert den Austausch von Waren und Dienstleistungen, indem es als allgemein akzeptiertes Zahlungsmittel dient.
- **Wertaufbewahrungsmittel:**
Es ermöglicht, Kauf und Verkauf zeitlich zu trennen, sodass Vermögen angespart und für größere Anschaffungen genutzt werden kann.
- **Recheneinheit:**
Geld vereinfacht wirtschaftliche Transaktionen, indem es eine einheitliche Bewertungsgrundlage bietet. Anstelle von 4.950 möglichen Tauschverhältnissen bei 100 verschiedenen Waren gibt es nur 100 Preisauszeichnungen [70].

1 Koinzidenz steht für den zeitlichen Zusammentreffen von zwei Ereignissen.

2 Als Naturgeld können pflanzliche, tierische oder mineralische Produkte mit hohem Wert, langer Haltbarkeit und Lagerfähigkeit verwendet werden. Beliebte Waren vor allem Muscheln, Schneckengehäuse und Tee [70].

7.3 Technologie

Kryptowährungen stützen sich auf die Blockchain-Technologie und werden damit dezentral im Peer-to-Peer Netzwerk¹ abgespeichert.

Sobald ein Nutzer beispielsweise im Rahmen eines Tauschs seine Kryptowährung versenden möchte, wird eine Transaktion initiiert. Diese Transaktion umfasst in der Regel Informationen über den Betrag der Kryptowährung und die Adresse des Empfängers. Diese werden dann durch eine Hashfunktion, die eine beliebige Datenmenge in eine feste Zeichenlänge verwandelt, in einen Hash-Wert transformiert. Der Hash-Wert wird anschließend kryptographisch verschlüsselt. Bei der Verschlüsselungsmethode wird zwischen privatem und öffentlichem Schlüssel des Nutzers unterschieden.

Zuerst wird der Hash-Wert mit dem privaten Schlüssel des Absenders verschlüsselt. Dieser Schlüssel bleibt geheim [68]. Der verschlüsselte Hash-Wert wird dann als digitale Signatur an die Transaktion gehängt. Werden die Daten nachträglich geändert, dann wird die Signatur und damit auch die Transaktion ungültig.

Im Anschluss wird die Transaktion an das Netzwerk übermittelt und wird von jedem Node mit dem öffentlichen Schlüssel des Absenders auf Korrektheit geprüft [75]. Ein Node stellt im Blockchain-Netzwerk einen Knotenpunkt dar, der eine Kopie der Blockchain hat und somit das Netzwerk aufrechterhält.

Sobald die Transaktion als korrekt geprüft wurde, wird sie zusammen mit weiteren Transaktionen einem Block aus der Blockchain hinzugefügt werden. Die Menge an Transaktionen in einem Block ist abhängig von der Größe des Blocks. Ein neuer Block einer Blockchain enthält immer die Transaktionen und den Hash-Wert des vorherigen Blocks, damit die Blöcke eine Kette bilden.

Die neuen Blöcke werden anschließend mit einem Konsensverfahren verifiziert, damit sichergestellt wird, dass sich alle Teilnehmer auf eine einheitliche und gültige Version des Blockes einigen. Die zwei bekanntesten Konsensmechanismen sind **PoW**² und **PoS**³. Bei PoW müssen sogenannte Miner komplexe mathematische Rätsel lösen, um eine Transaktion zu validieren. Der neue Block enthält bei diesem Verfahren zusätzlich noch einen sogenannten Nonce, der zur Validierung des Blockes dient [75]. Bei PoS werden Transaktionen durch Validatoren validiert, basierend auf der Menge an Kryptowährung, die sie besitzen bzw. „staken“.

Sobald der Block der Blockchain angehängt wurde, gilt die Transaktion als abgeschlossen und der Empfänger kann über die erhaltene Kryptowährung verfügen.

1 In einem Peer-to-Peer Netzwerk können gleichberechtigte Nutzer (Peers) direkt miteinander kommunizieren oder Ressourcen austauschen, ohne Vermittler.

2 **PoW!**

3 **PoS!**



Bild 7.2: Kryptowährungen

Neue Coins von Kryptowährungen können unterschiedlich erzeugt werden, je nach Konsensmechanismus.

Bei PoW werden neue Coins durch das sogenannte Mining erzeugt. Die Miner erhalten neue Coins als Belohnung für ihre Arbeit im Validierungsprozess.

Bei PoS werden neue Coins durch das Staking erzeugt. Validatoren setzen eine bestimmte Menge an eigenen Coins als Sicherheit, um Transaktionen zu validieren. Je mehr ein Validator setzt, desto höher ist seine Chance, einen Block zu validieren und eine Belohnung zu erhalten. Bei PoS ist deshalb auch keine aufwendige Rechenleistung notwendig.

Auch über **ICOs**¹ können neue Kryptowährungen erzeugt werden. Hierbei bieten die Entwickler der Kryptowährung Coins an, um Kapital zu beschaffen.

Kryptowährungen erfüllen die in Kapitel 7.2 definierten Geldfunktionen und können somit als Geld betrachtet werden. Als Tausch- bzw. Zahlungsmittel werden Kryptowährungen als Alternative zu den klassischen Währungen verwendet und ermöglichen schnelle und kostengünstige Zahlungen. Es ist kein physischer Wert hinterlegt, somit ist diese Währungsart eine Form von Fiatgeld.

Der Wert einer Kryptowährungseinheit wird durch das Vertrauen der Teilnehmer und ihrer Bereitschaft zu Zahlen festgelegt. Kryptowährungen dienen auch als Anlageform mit Potenzial auf hohe Renditen und somit als Wertaufbewahrungsmittel. Als Recheneinheit sind vor allem die sogenannten Stablecoins² geeignet. Bei den anderen Kryptowährungen stellen die hohe Wertschwankungen ein Problem für die Nutzung als Rechnungseinheit dar. Im Gegensatz zu den „normalen“ Währungen wird dies über zentrale Organisationen wie Zentralbanken geregelt. Kryptowährungen sind allerdings von solchen Institutionen losgelöst und werden dezentral organisiert [68].

1 **ICOs!**

2 Ein Stablecoin ist eine Kryptowährung, die an den Wert eines anderen Guts, meistens an eine Fiat-Währung gekoppelt ist.

7.4 Aktuelle Währungen

Die folgende Tabelle zeigt die fünf größten Kryptowährungen nach Gesamtmarktwert in US-Dollar, die im März 2026 auf dem Markt erhältlich sind (Mrd. $\hat{=}$ US Billion, Bill. $\hat{=}$ US Trillion).






ID	Bezeichnung	Gesamtmarktwert in \$	Preis/Coin in \$	Zirkulierende Menge an Coins
1	Bitcoin 	1.44 Bill.	71.868	19.9 Mio.
2	Ethereum 	225 Mrd.	2.218	120 Mio.
3	Tether 	184 Mrd.	1,00	184 Mrd.
4	Binance Coin 	90 Mrd.	664,12	136 Mio.
5	XRP 	86 Mrd.	1,41	61 Mrd.

Tabelle 7.1: Die 5 größten Kryptowährungen im März 2026 nach Gesamtmarktwert [76]

Bitcoin:

Bitcoin war die erste und ist aktuell die weltweit am Markt stärkste Kryptowährung. Am 3. Januar 2009 wurde der „Block 0“, auch genannt als Genesisblock, erstellt und damit die ersten 50 Bitcoin. Die Coinbase¹ umfasste die Nachricht: „The Times 03/Jan/2009 Chancellor on brink of scound bailout of banks“. Diese Nachricht zeigte die Haltung von Satoshi Nakamoto gegen das aktuelle Finanzsystem.

Gestartet ist der Wechselkurs bei 1 Bitcoin für 0,07 US-Dollar. Im April 2013 lag der Bitcoin schon bei über 200 US-Dollar. Ende 2017 hatte der Bitcoin einen Stand von ca. \$14.000 erreicht. Bis November 2021 stieg der BTC weiter an und erreicht ein Hoch von \$58.348. Im Jahr 2022 und 2023 verlor der Bitcoin wieder an Wert und sank unter die 16.000 Dollar Marke. Die Zulassung des Handels mit Bitcoin an der US-Börse im Januar 2024 löste einen starken Anstieg auf über \$70.000. Mit der Wahl von Donald Trump zum neuen US-Präsidenten verstärkte sich der Anstieg und der Bitcoin erreichte einen neuen Höchststand von \$125.008.



Bild 7.3: Entwicklung des Bitcoin seit Beginn [77] <https://www.blockchaincenter.net/bitcoin/bitcoin-kurs/>

¹ Die Coinbase ist die erste Transaktion, die in einem Block einer Blockchain hinterlegt wird.

Bitcoin verwendet den energieaufwendigen Konsensmechanismus PoW. Die aktuelle Blockbelohnung¹ für die Miner liegt seit dem vierten Halving² bei 3,125 Bitcoin pro Block zuzüglich Mining-Gebühren.

Gestartet ist Bitcoin mit einer Blockgröße von 1 Megabyte. Mit der Implementierung von Segregated Witness (SegWit) im Jahr 2017 kann der Block bis zu 4 Megabyte groß sein [78].

Etwa alle 10 Minuten wird ein Block gemined und der Blockchain angehängt, was bei der aktuellen Blockbelohnung bedeutet, dass jeden Tag 450 neue Bitcoins entstehen. Die Bitcoin-Blockchain schafft allerdings nur rund sieben Transaktionen pro Sekunde [79]. Die Anzahl der Transaktionen pro Block variiert je nach deren Größe. Im Durchschnitt enthält ein Block zwischen 2.500 und 3.000 Transaktionen. Die Transaktionsgebühren bei Bitcoin sind abhängig von der Netzwerkauslastung und liegen durchschnittlich zwischen \$1 und \$4 [80]. Die aktuell zirkulierende Menge an Bitcoin liegt bei über 19,8 Millionen³, was mehr als 94% der maximalen Gesamtmenge von 21 Millionen Bitcoins ausmacht.

Das Bitcoin-Mining kann weltweit von jedem Rechner mit einem LAN-Anschluss durchgeführt werden. Im Jahr 2024 entfielen über 40% der weltweiten Hashrate auf die Vereinigten Staaten. Ein Großteil der Hashrate stammt von riesigen Mining-Farmen⁴ und darüber hinaus aus großen Mining-Pools⁵.

Die Firma Riot Platforms Inc. hat beispielsweise in Rockdale, Texas, USA eine der größten Anlagen weltweit für das Bitcoin-Mining errichtet mit einer maximalen Leistung von 700 Megawatt [82].



Bild 7.4: Mining-Farm in Rockdale, Texas, USA

Neben den großen Bitcoin-Farmen wird der Trend zu Mining-Pools immer größer. Im Jahr 2024 entfielen 38% vom US-amerikanischen Anteil der Bitcoin-Hashrate auf den Mining-Pool Foundry USA. Dieser ist aktuell auch der größte Pool der Welt⁶.

1 Stand: März 2026

2 Ein Bitcoin-Halving reduziert automatisch die Blockbelohnung, sobald eine festgelegte Anzahl an Blöcken gemined wurde. Es passiert alle vier Jahre.

3 Stand: März 2025

4 Eine Mining-Farm ist ein Rechenzentrum, das technisch ausgestattet wurde, um Bitcoins oder andere Kryptos zu minen [81].

5 Ein Mining-Pool ist ein Zusammenschluss von Krypto-Minern, damit durch Bündelung der Rechenleistung effektiver zur Validierung von Transaktionen beigetragen werden kann.

6 Stand: Januar 2025

Weltweit hat das Bitcoin-Mining laut dem Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index im Jahr 2023 121,13 TWh verbraucht [83]. Als Referenz müssten rund 14 Atomkraftwerke mit einer Leistung von einem Gigawatt ein ganzes Jahr durchgehend laufen, um diesen Energiebedarf decken zu können. Die Erzeugung von Elektroschrott durch das Bitcoin-Mining wird laut einer Studie etwa auf 30.700 Tonnen jährlich geschätzt [84].

Trotz der negativen Nachrichten ist Bitcoin als Währung und Anlageform sehr beliebt. Es wird als Gold der Neuzeit bezeichnet. Mit der Mengenbegrenzung ist Bitcoin wie Gold gegen Inflation gesichert. In Deutschland besitzen rund 12% der Bevölkerung Bitcoin [80].

Bitcoin ist die bekannteste Kryptowährung und aktuell die wertvollste. Allerdings haben andere Währungen Bitcoin bei ein paar Faktoren überholt, wie zum Beispiel die Verringerung der Umweltbelastung oder die Erhöhung der Transaktionsgeschwindigkeiten. Allerdings können in Zukunft Projekte wie das geplante Bitcoin-Lightning-Network Verbesserungen erzeugen.

Ethereum:

Ethereum steht für eine digitale Plattform, die mit einer eigenen Blockchain arbeitet. Die Plattform wurde im Jahr 2015 von Vitalik Buterin veröffentlicht, auf der dezentrale Anwendungen, sogenannte Dapps¹, von Entwicklern erstellt und angeboten werden können. Die Blockchain der Plattform (Layer 1) besteht derzeit aus 5.962 Nodes, die miteinander synchronisiert sind² [85]. Als Layer-2-Blockchains werden separate Blockchains bezeichnet, die ihre Daten periodisch in die Layer-1-Blockchain schreiben, um einen höheren Durchsatz und eine schnellere Transaktionsgeschwindigkeit zu ermöglichen.

Innerhalb der Plattform wird die eigene Kryptowährung namens Ether für Transaktionen verwendet. Sobald eine Transaktion abgeschlossen ist, muss eine Transaktionsgebühr namens „Gas“ gezahlt werden. Die Höhe der Gebühr richtet sich nach der Größe des neuen Blocks in der Chain. Ether ist die wohl bekannteste Alternative zu Bitcoin und damit der größte Altcoin³.

Ethereum wurde im Jahr 2015 von dem Programmierer Vitalik Buterin vorgestellt. Ether funktioniert wie Bitcoin in einem Peer-to-Peer-Netzwerk, das völlig frei von staatlicher Aufsicht und Eingriffen ist.

Mit dem Merge im September 2022 wechselte Ethereum vom PoW- zum PoS-Konsensmechanismus, um sich vom Mining zu lösen und umweltfreundlicher zu werden. Laut einer Schätzung des Crypto Carbon Ratings Institute (CCRI) liegt der Stromverbrauch von Ethereum bei über 6 GWh, was etwa 2.000 Tonnen CO₂ entspricht [86].

Ein weiterer Unterschied zwischen Ethereum und Bitcoin ist, dass die Gesamtmenge an Ethereum nicht begrenzt ist. Rund alle 12 Sekunden wird ein neuer Block generiert. Die Währung Ether hatte im Januar 2016 einen Wert von \$1, durchbrach zwei Jahre später die \$1.000-Marke und erreichte im November 2021 ein Allzeithoch von über \$4.800.

Tether:

USDT⁴ ist ein Stablecoin. Ein Stablecoin ist an den US-Dollar gekoppelt, um im Gegensatz zu den meisten anderen Kryptowährungen einen relativ stabilen Wert zu garantieren. Das bedeutet, dass 1 USDT in der Regel ungefähr einen US-Dollar wert ist [87].

1 Dapps sind Open-Source-Software auf Basis der Blockchain-Technologie.

2 Stand: Februar 2025

3 Altcoin steht für „Alternative Coins“ und bezeichnet Krypto-Coins, die als Alternativen und Nachfolger für Bitcoin veröffentlicht wurden. Der Begriff umfasst somit alle Kryptowährungen außer Bitcoin.

4 **USDT!**

Tether wurde im Oktober 2014 eingeführt und wird bis heute von dem Unternehmen Tether Limited kontrolliert. Nach eigenen Angaben deckt Tether Ltd. jeden neu geschaffenen USDT mit einem US-Dollar ab, bietet aber keinen direkten Umtausch von USDT in US-Dollar an. Diese Aussage kann auch als Proof Of Reserves bezeichnet werden. Dies bedeutet, dass zu jederzeit die Reserven gleich oder größer als die im Umlauf befindlichen USDT sein müssen.

Im Januar 2015 genehmigte das Unternehmen iFinex den Handel von Tether auf seiner Börsenplattform Bitfinex. Daraufhin stieg das Volumen von Tether im Blockchain-Netzwerk rapide an. Die Transaktionen von US-Dollar wurden über taiwanische Banken an Wells-Fargo¹ weitergeleitet. Am 18. April 2017 wurden diese Transaktionen von den US-Banken wegen mangelnder Transparenz blockiert.

Das Volumen der ausgegebenen Tether stieg dennoch auf 2,8 Milliarden Dollar [88]. Im April 2019 folgte eine Klage der New Yorker Generalstaatsanwältin gegen iFinex und Tether Limited wegen Veruntreuung von Rücklagengeldern. Zwei Jahre später erklärten sich iFinex und Tether Limited bereit, eine Strafe in Höhe von 18,5 Millionen Dollar zu zahlen.

Trotz dieser negativen Ereignisse wird Tether heute noch auf Kryptobörsen hauptsächlich dazu genutzt, schnell zwischen Kryptowährungen und einer stabilen Währung zu wechseln.

XRP:

Die Kryptowährung XRP, auch bekannt als Ripple, ist die native Kryptowährung des Ripple-Netzwerks. Sowohl das Netzwerk als auch die Währung wurden im Jahr 2012 eingeführt.

Das Ripple-Netzwerk ist eine Open-Source-Plattform der Firma Ripple Labs, auf der schnelle Transaktionen von Währungen, Devisen und anderen Gütern durchgeführt werden können. Die Plattform wurde mit dem Ziel gegründet, alle internationalen Transaktionen weltweit abzuwickeln. Banken und andere Zahlungsdienstleister sollen die Software zur Transaktionsabwicklung nutzen können. Damit steht Ripple und auch die Kryptowährung XRP nicht in direktem Konflikt mit dem aktuellen Bankensystem, sondern ist vielmehr eine aktualisierte Version des derzeit genutzten SWIFT-Überweisungssystems².

Die Plattform und damit auch ihre Kryptowährung nutzen einen anderen technologischen Ansatz als die Blockchain-Technologie. Bei Ripple werden Transaktionen über sogenannte Validierungsserver abgewickelt, die die empfangenen Daten mit einer dezentralen Datenbank (Ledger) abgleichen. Auch die Konsensfindung ist beim Ripple-Netzwerk anders.

Es wird das sogenannte HashTree-Verfahren verwendet, bei dem nur ein einziger Wert (Hash), der als Zusammenfassung der Daten dient, verglichen wird. Diese Technologie benötigt nicht nur weniger Energie und Rechenleistung als beispielsweise Bitcoin, sondern ermöglicht auch eine hohe Transaktionsgeschwindigkeit von drei bis fünf Sekunden.

Die Kryptowährung XRP wird auf der Plattform hauptsächlich für den Transfer von Werten verwendet. Von XRP wurden einmal 100 Milliarden Coins gemined, von denen nur 58 Milliarden im Umlauf sind³. Trotz des dezentralen Ledgers werfen viele Kritiker Ripple Labs vor, zu viel Kontrolle über XRP haben. Ripple Labs besitzt nicht nur über 40 Prozent des XRP-Angebots, sondern auch viele Validierungsserver stammen von Ripple oder engen Partnern.

1 Wells Fargo ist eine US-amerikanische Bank, die vom Financial Stability Board als global systemrelevant eingestuft wurde.

2 Das SWIFT-Überweisungssystem nutzt seit August 2014 den Business Identifier Code (BIC) zur eindeutigen Identifizierung der teilnehmenden Banken und Institutionen und damit auch für alle internationalen Überweisungen von Vermögenswerten.

3 Stand: März 2025 [89]

Dennoch bleibt Ripple bzw. XRP ein wichtiger Akteur im Krypto-Sektor, insbesondere als Alternative zu SWIFT-Überweisungen.

Binance Coin:

Binance Coin (BNB) ist die Währung der Krypto-Börse Binance. Die Börse wurde im Juni 2017 gegründet und ist heute mit über 263 Millionen Nutzer größte Krypto-Börse weltweit [90]. Das Spot-Handelsvolumen der letzten 24 Stunden¹ der Börse beträgt circa 11,3 Milliarden US-Dollar, wobei Bitcoin mit knapp 1,5 Milliarden US-Dollar mehr als 13% Anteil hat² [91]. Die Plattform betreibt ein Doppel-Chain-System. Es werden zwei separate Blockchains miteinander verbunden und damit die Belastung der Chain reduziert wird, wodurch die Geschwindigkeit und Flexibilität der Anwendungen steigt.

Bei Binance werden auf der schnellen BNB Beacon Chain hauptsächlich Kryptowährungen gehandelt. Auf der etwas langsameren BNB Smart Chain werden Smart-Contracts und Anwendungen aus dem Dezentralen Finanzsystem unterstützt.

Die Währung hat eine Obergrenze von 200 Millionen BNB. Jedoch gibt es sogenannte viertel-jährliche BNB-Burningevents, bei denen BNB-Coins aus dem Umlauf genommen, um den BNB-Bestand auf 100 Millionen Stück zu reduzieren und dadurch mit einem abnehmenden Angebot eine Wertsteigerung zu generieren. Die Anzahl der zu verbrennenden Coins wird durch einen Mechanismus bestimmt, der sich am BNB-Wert und der Anzahl der erzeugten Blöcke auf der BNB Chain orientiert. BNB wird hauptsächlich zur Zahlung für unterschiedliche Arten von Gebühren, wie Handels- oder Transaktionsgebühren auf der Binance-Plattform verwendet, denn Anleger bekommen mit BNB einen Rabatt von 50% auf Handelsgebühren.

Da BNB eng mit Binance verknüpft ist, hängt sein Erfolg stark von der Plattform ab, die zudem weltweit unter regulatorischer Beobachtung steht.

Weitere Coins:

Neben den klassischen Kryptocoins gibt es noch sogenannte Meme-Coins und AI!³-Coins. Meme-Coins sind Kryptowährungen, die durch Internet-Memes⁴ oder Trends inspiriert wurden, oft mit wenig oder gar keinem fundamentalen Nutzen.

Der erste und womöglich bekannteste Meme-Coin ist der Dogecoin (DOGE). Diese Währung basiert auf dem berühmten Doge-Meme mit dem Shiba-Inu-Hund.



Bild 7.5: Logo von Dogecoin [93]

1 Das Spot-Handelsvolumen bezeichnet die Gesamtmenge an Kryptowährungen, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums auf dem Spot-Markt gehandelt wurden.

2 Stand: März 2025

3 AI!

4 Memes sind lustige Fotos oder Videos im Internet, die durch mediale Aufmerksamkeit verbreitet und mit weiteren witzigen Kommentaren von Usern versehen werden [92].

DOGE wurde 2013 von Billy Markus und Jackson Palmer als Parodie auf Bitcoin erstellt. Im Gegensatz zu Bitcoin hat DOGE keine Anzahlobergrenze, was die Inflation und die Preisschwankungen verstärkt.

DOGE erreichte seinen Höchstwert im Juni 2021 bei 0,54€/Coin. Aktuell hat die Währung einen Wert von 0,16€¹. DOGE wird trotz Unterstützung von Tesla-Chef Elon Musk, hauptsächlich für Zahlungen, Trinkgelder und Spenden verwendet und nicht als Wertanlage.

Ein zweites Beispiel für Meme-Coins ist der am 17. Januar 2025 veröffentlichte Trump Coin. Drei Tage vor der Amtseinführung des US-Präsidenten Donald Trump wurden von diesem Coin 200 Millionen Coins für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Aktuell liegt der Wert dieses Coins bei \$10.95². Weitere Beispiele für Meme-Coins sind:

- Shiba Inu Coin: Konkurrent zu Dogecoin.
- Pepe Coin: Basierend auf dem „Pepe the Frog“ Meme
- Floki Inu Coin: Benannt nach Elon Musk's Hund.

Die AI Coins sind Kryptowährungen, die mit künstlicher Intelligenz (KI) in Verbindung stehen. Sie unterstützen die Entwicklung von KI-Anwendungen und die Bereitstellung von KI-Diensten. Dazu sind die Coins Bestandteile von dezentralen KI-Plattformen, welche die Blockchain nutzen, um Daten sicher und transparent zu verarbeiten. Durch die Veröffentlichung von ChatGPT am 30. November 2022 ist das öffentliche Interesse an KI erheblich gestiegen, wodurch sich die AI-Coins als interessante Investitionsmöglichkeit ergeben. Derzeit gibt es knapp über 80 Währungen unter der Kategorie „Artificial Intelligence“ [94]. Die drei größten AI-Coins nach Gesamtmarktkapitalisierung sind aktuell NEAR Protocol, Internet Computer und Bittensor.

7.5 Anwendungsmöglichkeiten

Kryptowährungen haben sich längst über ihre ursprüngliche Funktion als digitales Zahlungs- und Investitionsmittel hinaus entwickelt.

DeFi!³:

Als Alternative zu den bekannten Finanzsystemen sind DeFi eine Anwendungsmöglichkeit von Kryptowährungen. DeFi sind Systeme, die auf der Blockchain basieren, jedem Nutzer Zugang zu Finanzprodukten wie Kryptowährungskrediten oder -darlehen ermöglichen ohne zentrale Institutionen wie Banken und von überall in der Welt zugänglich sind [95].

Diese Systeme werden meistens demokratisch verwaltet, wobei jeder Inhaber von Kryptowährung ein Stimmrecht bekommt. Bei DeFi-Anwendungen ist der **TVL**⁴ ein wichtiger Größenindikator. TVL bezeichnet den Gesamtwert an Vermögenswerten, die im gesamten DeFi-Ökosystem hinterlegt sind.

1 Stand: März 2025

2 Stand: März 2025

3 **DeFi!**

4 **TVL!**

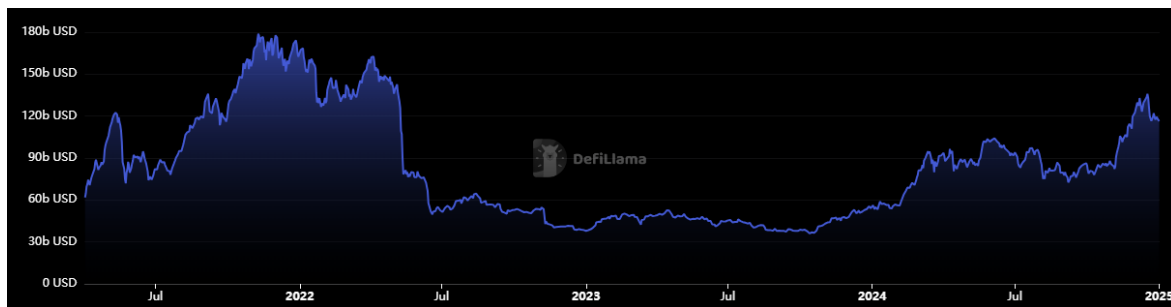


Bild 7.6: Die Entwicklung von TVL in DeFis seit 2018 [96]

Das Maximum an TVL in DeFi liegt aktuell bei über 178 Milliarden US-Dollar, was im November 2022 erreicht wurde. Im Januar 2025 betrug der TVL circa 120 Milliarden US-Dollar [96]. Die zwei größten Bereiche von DeFi sind:

- **Kreditaufnahme und -vergabe:**

Nach TVL-Anteil ist die Kreditaufnahme und -vergabe die größte Anwendung von DeFi mit einem Anteil von über 40% im Januar 2025 [96]. Nutzer können ihre Kryptowährungen einem Protokoll zur Verfügung stellen, welches diese dann automatisch weiter verleiht, und der Geldgeber dann Zinsen verdient [95]. Im Gegensatz zur herkömmlichen Kreditaufnahme und -vergabe sind die Hürden hier deutlich geringer, denn es braucht nur eine Anmeldung mit dem Krypto-Wallet¹, um an dem System teilnehmen zu können.

- **DEXs!²:**

Mit einem TVL-Anteil von über 15% im Januar 2025 sind DEXs die zweitgrößte Anwendung von DeFis. DEXs ermöglichen ihren Nutzern Kryptowährungen anonym zu handeln und das im Gegensatz zu den klassischen Krypto-Börsen direkt miteinander.

Smart Contracts:

Ein zentrales Anwendungsfeld von Kryptowährungen sind die sogenannten Smart Contracts. Ein Smart Contract ist Programmcodes und Algorithmen, die auf einer Blockchain gespeichert werden. Bei diesen Codes werden oft einfache „Wenn-Dann“-Logiken hinterlegt, das heißt, die Verträge werden beim Eintreten bestimmter Ereignisse automatisch ausgeführt [97]. Diese Verträge sind unwiderruflich auf der Blockchain gesichert und können nachträglich nicht mehr geändert werden.

Ein Beispiel wäre im Versicherungssektor. Aktuell dauert die konventionelle Bearbeitung von Ansprüchen oftmals lange, dazu sind die Auszahlungsbedingungen oft komplex. Mit Smart Contracts könnten klare Bedingungen in der Wenn-Funktion definiert werden und im Falle des Eintritts der Anspruch automatisch ausgezahlt werden.

Mit Smart Contracts würde die Vertragssicherheit steigern.

NFTs!³: NFTs sind einzigartige Krypto-Token auf einer Blockchain, die einmalig und nicht tauschbar ist [98]. Besitzverhältnisse können mit NFTs einwandfrei nachgewiesen werden. NFTs werden hauptsächlich in der Kunst und im Gaming verwendet. Das teuerste NFT jemals ist The Merge von dem Künstler Murat Pak. Davon wurden über 312.000 Teile von 28.983 Sammlern gekauft zu einem Gesamtwert von \$91,8 Millionen.

1 In einem Krypto-Wallet werden die privaten Schlüssel des Nutzers und damit der Zugang zu den Kryptowährungen gespeichert.

2 **DEXs!**

3 **NFTs!**

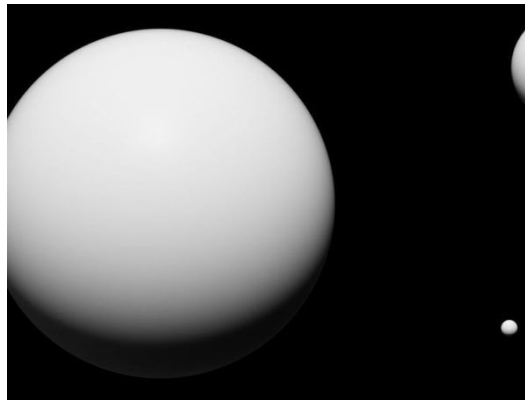


Bild 7.7: The Merge von Murat Pak

Im Gaming werden NFTs vor allem bei Blockchain-Gaming verwendet für einzigartige Items, Avatare oder Skins.

Lieferkettenmanagement:

Die Blockchain-Technologie und Kryptowährungen finden auch im Lieferkettenmanagement Anwendung und bieten dort erhebliche Vorteile.

In traditionellen Lieferketten stellt die mangelnde Nachvollziehbarkeit von Warenbewegungen ein zentrales Problem dar, das zu Ineffizienzen, Betrug und Fälschungen führen kann [99].

Durch die dezentrale und fälschungssichere Speicherung von Transaktionsdaten auf einer Blockchain wird jede Bewegung lückenlos dokumentiert und kann jederzeit überprüft werden.

Dadurch wird die Rückverfolgbarkeit erheblich verbessert, beispielsweise bei der Herkunft von Rohstoffen oder Lebensmitteln.

Der Einsatz von Smart Contracts ermöglicht zudem die Automatisierung wichtiger Prozesse innerhalb der Lieferkette, während Kryptowährungen als Zahlungsmittel hohe Transaktionsgebühren und Wechselkursrisiken im internationalen Handel reduzieren können.

Insgesamt trägt die Blockchain-Technologie dazu bei, die Effizienz von Lieferketten zu steigern, Kosten zu senken und das Vertrauen zwischen Handelspartnern zu stärken.

Die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten von Kryptowährungen zeigen ihr enormes Potenzial, traditionelle Systeme zu transformieren, neue Märkte zu erschließen und die Digitalisierung in zahlreichen Branchen voranzutreiben.

7.6 Chancen und Herausforderungen

Kryptowährungen bieten zahlreiche Chancen für Wirtschaft, Technologie und Cybersicherheit, allerdings sind sie auch gleichzeitig mit Herausforderungen verbunden, die noch bewältigt werden müssen.

Chancen:

- **Effizienz:**

Mit Hilfe der Blockchain-Technologie ermöglichen Kryptowährungen internationale Transaktionen in Sekunden zu geringen Transaktionskosten. Überweisungen innerhalb

des SEPA-Raums¹ bei Banken können bis zu vier Arbeitstage dauern. Außerhalb des SEPA-Raumes dauern Überweisungen deutlich länger. Dazu fallen 5 bis 10% des Überweisungsbetrags als Gebühr an [100]. Bei Bitcoin beträgt die Transaktionsgebühr aktuell knapp 1,30 US-Dollar² und die durchschnittliche Geschwindigkeit liegt bei etwa 10 Minuten [101].

- **Anonymität:**

Ohne die Beteiligung einer zentralen Instanz verbessern Kryptowährungen die Datensicherheit. Finanztransaktionen können ohne zentrale Überwachung durchgeführt werden.

- **Dezentralisierung und Transparenz:**

Durch die Dezentralisierung der Daten durch die Blockchain gibt es für Hacker keinen zentralen Angriffspunkt mehr. Diese Daten können dazu nachträglich nicht mehr manipuliert werden. Alle Transaktionen innerhalb einer Kryptowährung müssen auf der Blockchain aufgezeichnet werden, wodurch die Transparenz stark gefördert wird.

- **Innovation:**

Kryptowährungen bieten neuen, innovativen Technologien eine Plattform, wie zum Beispiel Smart Contracts, die Prozesse automatisieren und optimieren.

- **Unabhängigkeit:**

Mit der Unabhängigkeit von zentralen Institutionen sind Kryptowährungen bzw. der Handel mit Kryptowährungen unabhängig von Ort und Öffnungszeiten. Man kann von überall aus in der Welt rund um die Uhr auf seine Kryptowährungen zugreifen und mit diesen handeln und dazu muss man nicht darauf warten bis eine Börse den Handel für den Tag aufnimmt.

Herausforderungen:

- **Umweltbelastung:**

Die größte Herausforderung von Kryptowährungen ist der hohe Energiebedarf von PoW-basierten Währungen. Viele der ersten Kryptowährungen verwenden den PoW-Mechanismus. Bitcoin zum Beispiel hat einen größeren Energieverbrauch als manche Länder. Allerdings wechseln bereits die ersten Währungen von PoW zu PoS, was eine Lösung für die Umweltbelastung von Kryptowährungen darstellen könnte.

- **Blockchain-Trilemma:**

Das Blockchain-Trilemma besteht aus Skalierbarkeit³, Sicherheit und Dezentralisierung. Diese drei Eigenschaften einer Kryptowährung stehen im Konflikt zueinander und stellen zentrale Herausforderungen der Technologie dar. So stellt eine hohe Anzahl an Nodes im Kryptonetzwerk eine Herausforderung für die Skalierbarkeit dar. Jeder Node muss die Transaktion verifizieren, was die Geschwindigkeit verlangsamt. Mit weniger Nodes sinkt aber auch die Dezentralität und damit die Sicherheit der Daten bzw. der Kryptowährung.

- **Volatilität:**

Kryptowährungen sind geprägt durch starke Wertschwankungen, was sie als Zahlungsmittel eher ungeeignet macht und als Investitionsgut für viele eine Herausforderung darstellt. So weist Bitcoin in den letzten fünf Jahren eine durchschnittliche Volatilität⁴ zwischen 50 und 80% auf. Der Dow Jones dagegen nur von knapp 19% [102].

1 Als SEPA-Raum (Single Euro Payments Area) bezeichnet man den einheitlichen Euro-Zahlungsverkehrsraum.

2 Stand: März 2025

3 Die Skalierbarkeit bezeichnet die Fähigkeit eines Kryptonetzwerks mit einer steigenden Anzahl an Transaktionen umzugehen.

4 Unter Volatilität versteht man einen Gradmesser für Preisschwankungen.

- **Rechtliche Herausforderungen:**

Es gibt noch keinen einheitlichen Rechtsrahmen für Kryptowährungen. Einige Länder fördern Kryptowährungen, andere schränken sie gesetzlich stark ein oder verbieten sie ganz. In neun Ländern weltweit sind die Verwendung und der Handel mit Kryptowährungen gänzlich verboten¹ [103].

- **Quantencomputer:**

Quantencomputer können aufgrund ihres revolutionären Ansatzes in der Datenverarbeitung in Zukunft eine große Bedrohung für die Sicherheit von Blockchains und damit auch für Kryptowährungen darstellen. Sie haben das Potenzial, komplexe mathematische Probleme viel schneller zu lösen als herkömmliche Computer. So wäre es möglich, dass Quantencomputer die kryptographische Verschlüsselung brechen und über den öffentlichen Schlüssel auf den privaten Schlüssel eines Nutzers schließen können [104].

7.7 Zusammenfassung

Kryptowährungen haben sich seit der Einführung von Bitcoin zu einer bedeutenden und disruptiven Technologie entwickelt. Sie könnten das Finanzsystem der Zukunft maßgeblich prägen – sei es durch die Optimierung bestehender Strukturen wie bei Ripple oder sogar durch eine Ablösung des traditionellen Systems. Inwieweit sie sich als weit verbreitetes Zahlungsmittel etablieren, hängt maßgeblich von ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz und den rechtlichen Rahmenbedingungen der kommenden Jahre ab. Eine wachsende Herausforderung für ihre Sicherheit und Stabilität stellt die Entwicklung von Quantencomputern dar, die neue Lösungen erfordert.

Darüber hinaus bieten eng verknüpfte Technologien wie Smart Contracts großes Potenzial zur Effizienzsteigerung und Automatisierung in verschiedenen Branchen, insbesondere in der Finanzdienstleistung, Industrie und im Versicherungswesen.

Insgesamt werden Kryptowährungen weiterhin eine spannende und potenziell revolutionäre Entwicklung durchlaufen. Mit technologischen Fortschritten und möglichen regulatorischen Anpassungen könnten sie das Finanzsystem nachhaltig transformieren und eine zunehmend digitale, dezentrale Wirtschaft fördern.

¹ Stand: März 2025

KAPITEL 8

Die Arbeitswelt der Zukunft - Arbeit 4.0

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was Arbeit 4.0 bedeutet.
- ... wie Industrie 4.0 die Arbeitswelt von morgen beeinflusst.
- ... welche Herausforderungen Arbeitgeber und Arbeitnehmer erwarten.
- ... wie ein sozialverträglicher Übergang zu Arbeit 4.0 funktionieren kann.
- ... welchen Beitrag Konzepte wie das bedingungslose Grundeinkommen leisten können.

Einführung

Im Zuge des technischen Fortschritts und der Digitalisierung kommt es in fast allen Lebensbereichen zu einem maßgeblichen Strukturwandel. Dies gilt auch für die Arbeitswelt, was Unternehmen wie Beschäftigte gleichermaßen vor Herausforderungen stellt, aber auch große Chancen birgt.

8.1 Die industriellen Revolutionen

Bedingt durch tiefgreifende technische wie auch gesellschaftliche Veränderungen kam es innerhalb Europas ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu mehreren sogenannten industriellen Revolutionen. Jede dieser Phasen brachte neue Arbeitsweisen mit sich und führte so zu starken Veränderungen der Arbeitswelt, was stets auch zu einer Umgestaltung und Neuordnung der zuvor bestehenden sozialen und wirtschaftlichen Verhältnisse führte. Neue und verbesserte Technologien und Fortschritte in der Wissenschaft trieben die Entwicklung beständig weiter voran.



Bild 8.1: Entwicklung der Arbeit.

Abbildung 8.1 gibt einen Überblick über die im Rahmen der vier industriellen Revolutionen entstandenen Arbeitswelten, die im Folgenden stichwortartig beschrieben werden.

Arbeit 1.0: Ende des 18. Jahrhunderts begann die Revolution ausgehend von Westeuropa und England. Maschinelle Fertigung in großer Stückzahl. Lohnarbeiter besaßen keinerlei Rechte. Arbeitsorganisationen entstanden.

Arbeit 2.0: Ende des 19. Jahrhunderts brachte die zweite industrielle Revolution die Elektrifizierung und die Massenproduktion mit sich. Arbeit wurde in Teilprozesse zerlegt (Arbeitsteilung). Arbeitsbedingungen wurden verbessert.

Arbeit 3.0: Mitte des 20. Jahrhunderts begann die dritte Revolution der Arbeitswelt. Computer und Roboter unterstützen die menschliche Arbeit. Neue Formen der Automatisierung. Qualifizierung der Arbeitnehmer zu Wissensarbeitern. Einführung der sozialen Marktwirtschaft und Zunahme des Wohlstandes der Arbeitnehmer.

Ende des 20. Jahrhunderts kam es durch die große Verbreitung von Computern und Internetanschlüssen zu einer weiteren tiefgreifenden Veränderung, die als Arbeitswelt 4.0 bezeichnet wird. Diese zeichnet sich unter anderem durch Globalisierung und Vernetzung aus.

8.2 Arbeiten 4.0 – ein Überblick

Der technische Fortschritt der letzten Jahrzehnte hat die Industrie revolutioniert (vgl. Industrie 4.0), im Zuge dessen ist auch die Arbeitswelt von vielen Umbrüchen betroffen. Die resultierenden Änderungen sind vielfältig und werden unter dem Schlagwort Arbeiten 4.0 diskutiert. Einige wichtige Aspekte des Themengebiets sind in Abbildung 8.2 schematisch dargestellt und werden in den folgenden Kapiteln ausführlicher besprochen.



Bild 8.2: Wichtige Aspekte des Konzepts Arbeit 4.0.

8.3 Treiber des Wandels

Neben den technologischen Neuerungen wie der Digitalisierung und der Automatisierung wird der Wandel der Arbeitswelt auch von den Arbeitnehmern selbst vorangetrieben. Unter anderem durch den Generationswechsel kommt es zu einem Wechsel der vorherrschenden Werte und neuen Ansprüchen an die Arbeitswelt.

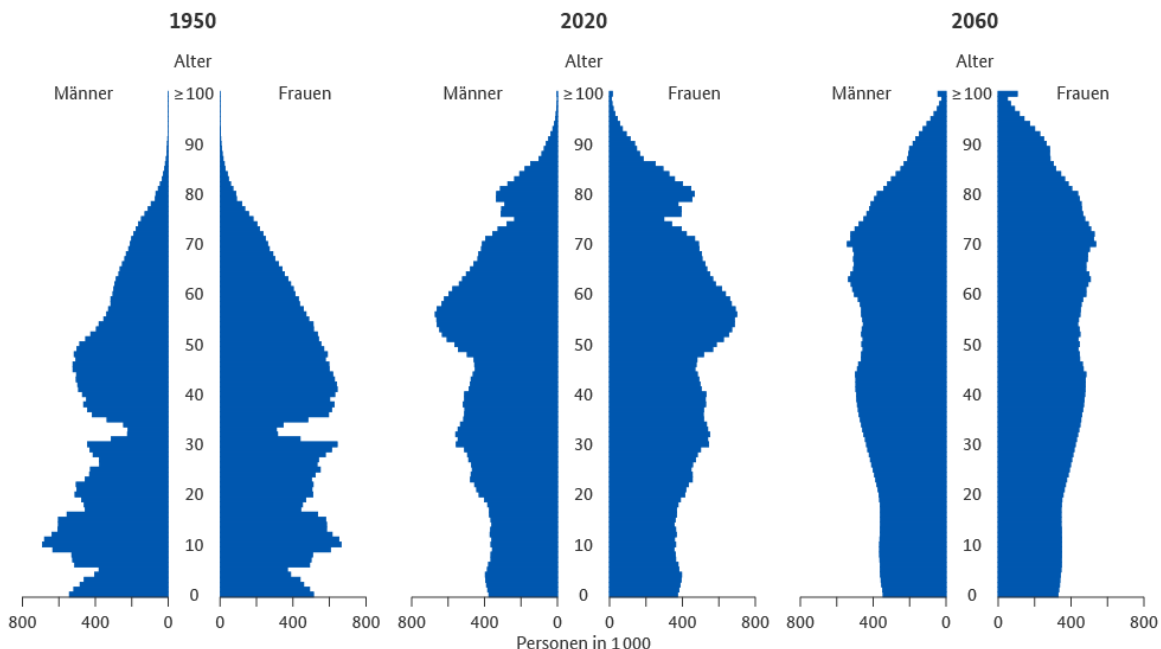
Technischer Wandel/Digitalisierung

Der technische Fortschritt der vergangenen Jahrzehnte hat längst Einzug in die Arbeitswelt von heute gehalten und viele Arbeitsplätze werden auch weiterhin durch Automation ersetzt. Schon jetzt sind Produktionsstraßen in immer höheren Graden automatisiert, was auch zu neuen Anforderungsprofilen insbesondere für Facharbeiter führt. Durch den Einsatz vernetzungsfähiger Maschinen lassen sich Anlagen bereits jetzt in Echtzeit überwachen und anhand der erhobenen Daten koppeln und steuern. Hierdurch entstehen große Datenmengen, deren Handhabung und Analyse gänzlich neue Wirtschaftszweige entstehen lässt, aber auch außerhalb spezialisierter Unternehmen wächst der **Bedarf an Mitarbeitern** mit spezifischen informationstechnischen Qualifikationen [105].

Demographischer Wandel und geänderte Wertevorstellungen

Neben den technischen Fortschritten wird sich auch der bereits heute absehbare demographische Wandel gravierend auf die Arbeitsgestaltung von morgen auswirken. Vor allem in Industrienationen sind die Bevölkerungszahlen in der Tendenz rückläufig und es zeichnet sich eine **zunehmende Überalterung** der Gesellschaft ab.¹

Altersstruktur der Bevölkerung, 1950–2060



2060: 14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Variante 2
 Datenquelle: Statistisches Bundesamt
 Bildlizenz: CC BY-ND 4.0 (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2021)

BUND-LÄNDER
 DEMOGRAFIE
 PORTAL

Bild 8.3: Die Alterung der Bevölkerung zeigt sich in zwei Entwicklungen: an der zunehmenden Zahl an Menschen im Rentenalter und an ihrem steigenden Anteil an der Gesamtbevölkerung.

¹ <https://www.demografie-portal.de/DE/Fakten/bevoelkerung-alterstruktur.html;jsessionid=A0C58BF8469792442ED0513A7AB36396.internet272>

Vor diesem Hintergrund steht zu erwarten, dass es zu flächendeckenden **Engpässen an Fachkräften** kommen wird - dies stellt verschiedene Branchen vor große Herausforderungen. Während produzierende Sektoren, wie bereits heute am Beispiel der Automobilindustrie zu sehen, auf Roboter setzen und hiermit erfolgreich menschliche Arbeitskräfte ersetzen können, gibt es andere Bereiche mit geringerem Substituierungspotential.

Hierzu gehören beispielsweise Berufe mit ingenieurwissenschaftlichem Hintergrund, die mittelfristig weiterhin für die Konstruktion, Wartung und Verbesserung der eingesetzten Maschinen erforderlich sein werden. Auch und gerade im Gesundheits- und Sozialwesen, wo die zwischenmenschliche Interaktion unersetzbar ist, bieten technische Lösungen nur einen geringen Spielraum um den Mangel an Personal kompensieren zu können [106].

Mit einem Rückgang der Erwerbsbevölkerung werden zudem die bestehenden Konzepte der sozialen Sicherung untergraben, dies wird insbesondere am Beispiel des **Rentensystems** deutlich.

Die bisher bestehende pyramidale Altersstruktur (Abb. 8.3), bei der die Last der Finanzierung der Renten auf eine breite, junge Basis aufgeteilt wurde, kehrt sich zunehmend um. In der Folge wird die Deckung der bestehenden sowie der erwarteten Rentenansprüche zunehmend erschwert. Um eine belastbare Arbeitswelt der Zukunft im Sinne der sozialen Marktwirtschaft zu ermöglichen, müssen hier **neue Ansätze** diskutiert werden, auch über bestehende Konzepte wie die staatlich geförderte private Altersvorsorge hinaus.

Des Weiteren ist zu beachten, dass in regelmäßigen Schüben **neue Generationen** auf den Arbeitsmarkt drängen, deren Kompetenzen wie auch Ansprüche sich teils stark von denen ihrer Vorgänger unterscheiden. Die Arbeitswelt, und damit die Arbeitgeber, müssen diesen Ansprüchen in gewissem Maße Rechnung tragen. Abbildung 8.4 gibt einen Überblick über die aktuell am Arbeitsmarkt teilnehmenden Generationen sowie deren vorherrschende Einstellung.

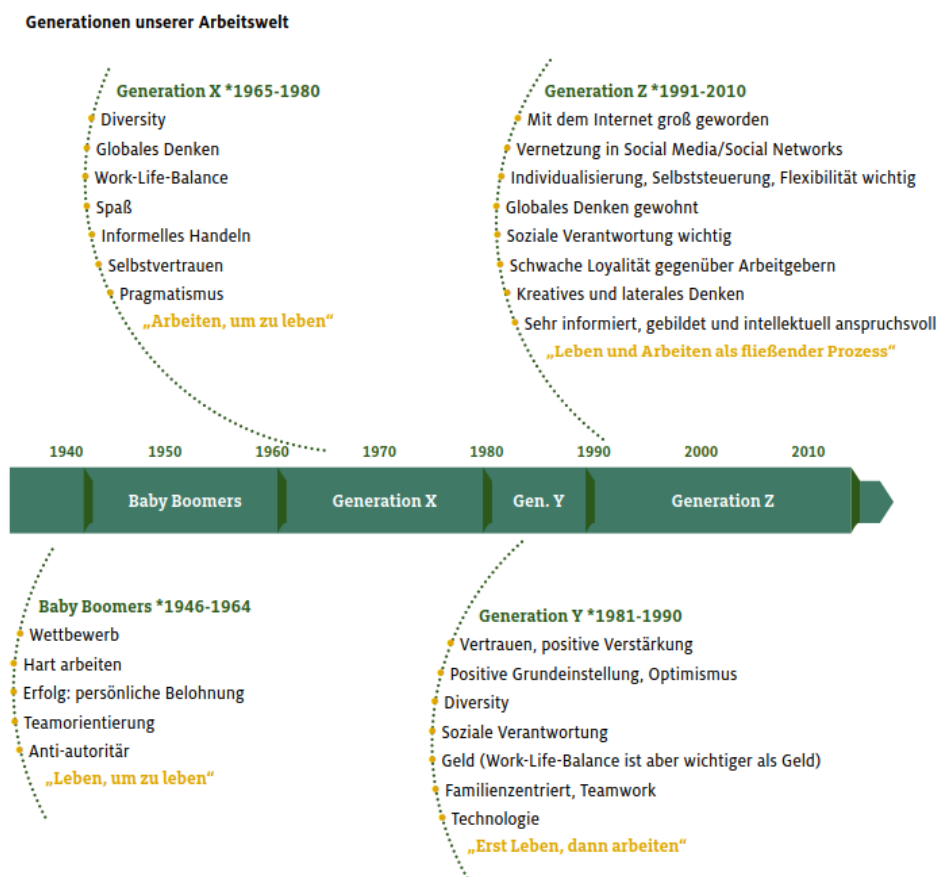


Bild 8.4: Arbeitnehmergenerationen [107].

8.4 Veränderung der Arbeitsplätze und Anforderungen

Mit dem Voranschreiten der Automatisierung von Arbeitsplätzen werden insbesondere monotone oder körperlich anstrengende Aufgaben zunehmend ersetzt. Dieser Trend ist beispielsweise in der Automobilindustrie beim Karosseriebau bereits stark ausgeprägt und betrifft vor allem Produktionsmitarbeiter. Menschen werden in diesen Bereichen dann hauptsächlich noch zum Steuern der Produktionsabläufe gebraucht. Hier werden für künftige Betätigungsfelder voraussichtlich höhere Qualifikationen notwendig sein.

Büroarbeitsplätze hingegen sind weniger von Automatisierung, dafür aber von Digitalisierung betroffen. Durch bessere Vernetzung (Internet etc.) können Mitarbeiter ohne räumlichen und zeitlichen Zusammenhang unabhängig zusammenarbeiten. Dies erlaubt neue Freiheiten bzgl. Arbeitszeiten und Arbeitsort und führt zu flexiblen Arbeits- und Organisationsformen.

8.5 Flexibilität in der Arbeitserbringung

Dank mobiler Endgeräte, der Verfügbarkeit von Breitbandinternetverbindungen sowie der Möglichkeit durch Cloud-Datenspeicherung von verschiedenen Endgeräten auf Projekte zuzugreifen, ist es heute technisch möglich, auch in Teams orts- und zeitunabhängig zu arbeiten.

Bereits bekannte Lösungen sind beispielsweise **mobiles Arbeiten** oder **Home-Office**, die durch die Corona-Pandemie 2020/21 einen Aufschwung erfuhren. Die flexible Wahl des Arbeitsplatzes kann für Arbeitnehmer Vorteile bieten, da sie beispielsweise die Vereinbarkeit von Berufstätigkeit und Familie erleichtert. Zugleich gibt es jedoch auch Nachteile, insbesondere durch die drohende Entgrenzung aufgrund eines (empfundenen) Anspruchs ständiger Verfügbarkeit.

Für Arbeitgeber bringen die neuen Arbeitsmöglichkeiten Herausforderungen aufgrund der gesetzlichen Vorschriften mit sich. Hierbei muss zunächst zwischen mobiler Arbeit und Home-Office unterschieden werden. Das Home-Office bezeichnet einen fest eingerichteten Arbeitsplatz außerhalb des Betriebes, an dem die Arbeitsleistung erbracht wird und ist seit 2016 vom Gesetzesgeber in der Arbeitsstättenverordnung unter dem Begriff „**Telearbeit**“ definiert (§2 Abs. 7 ArbStättV). Der Arbeitgeber ist dabei für die Einrichtung des festen Arbeitsplatzes gemäß geltender Richtlinien der Arbeits- wie auch Datensicherheit verantwortlich.

Im Gegensatz hierzu ist der Ausdruck „Mobiles Arbeiten“ bis dato nicht gesetzlich definiert. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird darunter verstanden, dass die Arbeitnehmer ihre Arbeitsleistung mit Hilfe mobiler Endgeräte von unterschiedlichen Orten erbringen, die jedoch nicht den Anforderungen an einen festen Arbeitsplatz genügen müssen.

In der Zukunft ist zu erwarten, dass solche und ähnliche **flexiblen Arbeitsmodelle** weiter Zuspruch finden und häufiger in Anspruch genommen werden. Hierbei ergeben sich neue Herausforderungen im Rahmen derer die Zuständigkeiten, Rechte und Pflichten von Arbeitnehmern und Arbeitgebern klar festgelegt werden müssen.

Bei dauerhafter Ausübung der Arbeitstätigkeit außerhalb des Betriebes müssen Fragen geklärt werden wie beispielsweise der Arbeitsschutz und die Versicherungslage. Arbeitnehmer haben ein **Recht auf den Schutz ihrer Unversehrtheit**, während Arbeitgeber bei ständig wechselnden Arbeitsplätzen außerhalb ihres Zugriffsbereiches (bspw. beim mobilen Arbeiten) über keine realistische Möglichkeit verfügen, diese gemäß der Arbeitsschutzanforderungen einzurichten.

Arbeitsminister Hubertus Heil hat sich in der Vergangenheit bereits mehrfach für ein allgemeines Recht auf Homeoffice eingesetzt, zuletzt 2020 verbunden mit dem Vorschlag einer Gesetzesnovellierung. Seit Januar 2021 sind Arbeitgeber zudem im Rahmen der Corona-Krise zeitlich befristet dazu verpflichtet, mobiles Arbeiten wo immer möglich anzubieten.

8.6 Qualifikation

Die durch die voranschreitende Automatisierung und Digitalisierung bedingten strukturellen Veränderungen in der Arbeitswelt werden Prognosen zufolge zum Wegfall vieler Arbeitsplätze beispielsweise im Produktionsbereich führen. In diesem Zusammenhang wird häufig von der sogenannten technologischen Arbeitslosigkeit gesprochen, ein Begriff der 1931 von John Keynes eingeführt wurde [108]. Befürworter der These fürchten dabei, dass Arbeitsplätze durch den vermehrten Einsatz von Maschinen wie beispielsweise Computern und Robotern ersatzlos abgebaut werden. Die Ökonomen Frey und Osborne beispielsweise prognostizierten bereits 2013, dass in den folgenden zwei Jahrzehnten 50% der Stellen auf dem US-amerikanischen Arbeitsmarkt aufgrund von Automatisierung und Digitalisierung ersetzbar werden.

Dem gegenüber steht, dass sich ähnliche Vorhersagen in der Vergangenheit nicht bewahrt haben. Zu beobachten war dabei, dass durch den technologischen Wandel jeweils auch **neue Märkte** geschaffen wurden, wodurch der technologische Wandel auf einer größeren Skala betrachtet eine neutrale oder sogar positive Wirkung auf den Arbeitsmarkt hatte.

Für die vom Stellenabbau direkt betroffenen Arbeitnehmer (vgl. bspw. Bergleute/Stahlarbeiter im Ruhrgebiet) bieten die neuen Märkte nicht zwingend eine Anschlussbeschäftigung, hier sind **soziale Netze** gefordert, die die Betroffenen unter anderem wirtschaftlich auffangen. Betrachtet man die Volkswirtschaft als Ganzes, ist es jedoch letztlich nur relevant ob makroskopisch ein **Gleichgewicht zwischen Arbeitsangeboten und -nachfrage** bestehen bleibt.

In der Zukunft muss damit gerechnet werden, dass die neu entstehenden Märkte andere Qualifikationen seitens der Beschäftigten fordern. Es wird erwartet, dass eine Verschiebung der verfügbaren Arbeitsplätze hin zu solchen mit **höheren Qualifikationsanforderungen** stattfindet. Durch die verstärkte Einbindung technischer Systeme in allen Bereichen wird die sogenannte **Digital Literacy**, die Kompetenz im Umgang mit Technik und IT Systemen, verstärkte Aufmerksamkeit erfahren.

Aufgrund der durch neue Technologien kürzer werdenden Innovationszyklen ist es außerdem wahrscheinlich, dass die jeweils benötigten Qualifikationen sich immer schneller ändern, was von den Arbeitnehmern Flexibilität und die Bereitschaft zu **lebenslangem Lernen** fordert. Diesem Anspruch müssen in Zukunft auch die Bildungssysteme gerecht werden.

Zu den nicht substituierbaren Berufsfeldern werden nach wie vor die Bereiche zählen, die auf **Kreativität** oder **sozialer Interaktion** fußen sowie **komplexe kognitive Tätigkeiten**.

8.7 Neugestaltung der Arbeitsformen – der Mensch im Fokus

Während ein allgemeiner Konsens besteht, dass der technologische Wandel zu einer Umwälzung und Neugestaltung der Arbeitswelt führen wird, gibt es nur wenig Einigkeit wie das Resultat aussehen wird. Von dystopischen Szenarien der Massenarbeitslosigkeit und Menschen unter dem Diktat der Technik bis hin zu utopischen Vorstellungen einer von körperlich schwerer Arbeit befreiten Menschheit, die ohne existenzielle Ängste die Vorzüge des technischen Fortschritts genießen kann, wurde bereits alles beschrieben (z.B. [109]).

Auch wissenschaftliche Studien die den aktuellen Stand abbilden und Perspektiven für die weitere Entwicklung der Arbeitswelt erschließen möchten, zeichnen ein durchweg **heterogenes Bild** der Zukunft. Was hieraus deutlich wird, ist zum einen die Komplexität der Situation wie auch ihr offener Ausgang, der heute gestaltet werden kann und muss.

Zu diesem Zwecke ist es wichtig, dass sich Arbeitnehmer, Arbeitgeber sowie die Beteiligten aus der Politik zusammenschließen, um proaktiv die Weichen für ein für alle wünschenswerte Zukunft zu stellen. Abseits der rein profitorientierten Überlegungen ist es hierbei notwendig, den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen. Dies eröffnet eine Vielzahl möglicher Ansatzpunkte in mehreren Dimensionen, die in Abbildung 8.6 schematisch dargestellt sind [110].

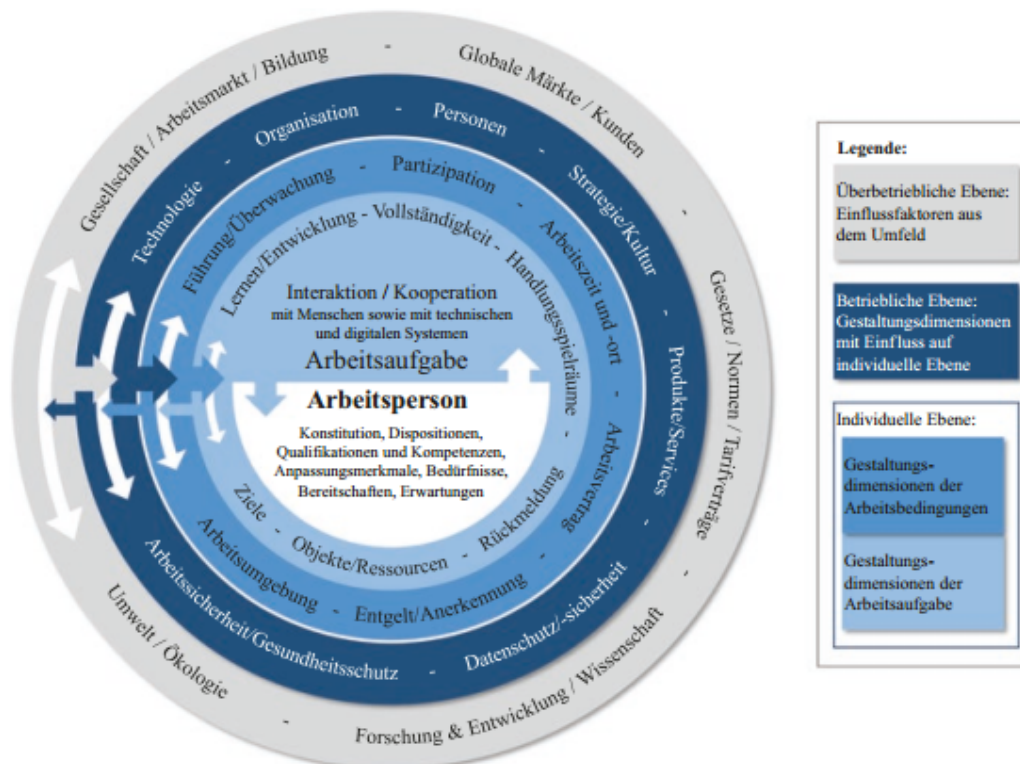


Bild 8.5: Darstellung der verschiedenen Einflussgrößen und Dimensionen der menschenzentrierten Arbeitsgestaltung in Unternehmen.

Das Schaubild zeigt, dass die Möglichkeiten zur Gestaltung von der individuellen Position des einzelnen Arbeiters über die betriebliche Ebene bis hin in das gesamtgesellschaftliche Umfeld reichen und macht klar, dass eine wirtschaftlich wie auch sozial befriedigende Lösung nur unter Berücksichtigung **aller Bereiche** erreichbar ist.

8.8 Sozioökonomische Gesichtspunkte

Die Arbeitswelt 4.0 ist mit Hoffnungen wie auch Befürchtungen verbunden. Während auf der einen Seite die voranschreitende Automatisierung Menschen körperlich entlasten kann, ist andererseits absehbar, dass mit ihr auch ganze Betätigungsfelder insbesondere im Bereich der Fertigung ersatzlos wegfallen werden.

Wie bereits zuvor geschildert herrscht unter Experten Konsens darüber, dass Menschen, insbesondere im Rahmen konkreter Umstellungsmaßnahmen, ihre Arbeit verlieren und nicht immer eine adäquate Weiterbeschäftigung inner- oder außerhalb des Betriebes möglich sein wird. Während hierauf möglicherweise kurzfristig noch mit Überbrückungshilfen und Abschlagszahlungen seitens der Unternehmen reagiert werden kann, steht langfristig zu befürchten, dass der Arbeitsmarkt dauerhaft nur noch wenige oder zumindest deutlich anders geartete Anstellungsmöglichkeiten für **Geringqualifizierte** bietet.

Die in Deutschland vorherrschende soziale Marktwirtschaft und das damit verbundene und seit Jahrzehnten etablierte Modell der **Sozialpartnerschaft**, werden durch den bevorstehenden Wandel vor große Herausforderungen gestellt. In einer Situation, in der Produkte zu immer größeren Anteilen von Maschinen hergestellt werden, sind immer weniger Menschen an der entsprechenden Wertschöpfungskette beteiligt. **Die erwirtschafteten Gewinne verteilen sich dann auf einen kleineren Personenkreis**; gesamtgesellschaftlich besteht hierdurch die Gefahr, dass die Schere zwischen Arm und Reich weiter aufklappt und sich daraus weitreichende soziale Folgen auftun.

Der viel zitierte Leitspruch „**von Arbeit muss man leben können**“ wird innerhalb des derzeit bestehenden Systems damit in Frage gestellt.

Einen Ausweg aus dieser Situation bieten Ansätze, im Rahmen derer sich das Einkommen des Einzelnen nicht mehr vorrangig aus dem Lohn für geleistete, selbst- oder unselbstständige Arbeit ergibt, viel diskutiert wird hierbei insbesondere das **bedingungslose Grundeinkommen**. Es handelt sich hierbei um ein sozialpolitisches Konzept, bei dem regelmäßig und ohne Bedarfsprüfung eine zuvor festgelegte staatliche Transferleistung an alle Bürger ausbezahlt wird. National wie auch international wird die konkrete Ausgestaltung bereits seit Jahren diskutiert und auch teilweise bereits in Pilotprojekten getestet (jüngst bspw. in Norwegen). Im allgemeinen Verständnis des Konzeptes sollten die vereinbarten Bezüge in ihrer Höhe so bemessen sein, dass sie die Grundbedürfnisse der Empfänger zu decken vermögen, also das Existenzminimum sichern.

Gegner des bedingungslosen Grundeinkommens argumentieren häufig, dass das Konzept nicht finanzierbar sei und zudem keine Anreize mehr für Arbeit schaffe, wodurch es sich zu Lasten einer produktiven Gesellschaft auswirken würde. Niedrig vergütete Tätigkeiten würden dann womöglich mangels des finanziellen Anreizes nicht mehr ausgeführt werden. Zudem müsse eine sehr kleine Gruppe von Berufstätigen für die Deckung des Gemeinschaftsbedarfs aufkommen, was als ungerecht und Unterlaufen des Prinzips der **Subsidiarität** empfunden wird.

Die Finanzierung des Grundeinkommens stellt in der Tat eine Herausforderung dar, die mittel- und langfristig eine Umstrukturierung des bestehenden Steuer- sowie des Sozialsystems erfordert. Geht man von einem bedingungslosen Grundeinkommen von Geburt an aus, so entfallen beispielsweise Sozialhilfen wie das Eltern- und das Kindergeld, auch die Rente oder das Arbeitslosengeld würden auf Dauer obsolet [111].

Durch dieses stark vereinfachte Sozialsystem fallen seitens des Staates bereits deutlich geringere Kosten für den Verwaltungsaufwand an, der an diesen Stellen entstehende Überschuss kann dann für das Grundeinkommen aufgewendet werden. Weitere Finanzierungsmöglichkeiten bestehen zum Beispiel in einer Erhöhung der Einkommenssteuer, der Einführung einer

Finanztransaktionssteuer oder der Erhebung neuer Steuern auf Konsum oder natürliche Ressourcen.

Für Befürworter des bedingungslosen Grundeinkommens ist eine belastbare Finanzierung des Modells damit realistisch erreichbar, und die antizipierten Vorteile überwiegen. Sie erwarten beispielsweise, dass die finanzielle Absicherung aller Existenzängste aufgrund von tatsächlicher oder erwarteter Arbeitslosigkeit dämpft und hilft, soziale Ungleichheiten zu nivellieren.

Dank einer die Grundbedürfnisse deckenden Basisfinanzierung jedes Einzelnen wäre eine größere Bildungsgerechtigkeit erreichbar. Die Wahl der Berufstätigkeit, so gewünscht, könnte freier und unabhängiger von finanziellen Anreizen getroffen werden, was langfristig die subjektive Zufriedenheit steigern könnte.

Arbeitnehmer wären für Herausforderungen der Arbeitswelt 4.0 wie dem steten Bedarf nach Weiterbildung besser gewappnet, auch berufliche Neuorientierungen die mit erneuten Ausbildungszeiten verbunden sind würden womöglich positiver angenommen, wenn diese nicht zu Lasten der eigenen finanziellen Sicherheit gingen.

Ein bedingungsloses Grundeinkommen für alle würde zudem Menschen zu Gute kommen, die Care-Tätigkeiten im privaten Umfeld nachkommen, wie beispielsweise die Erziehung von Kindern oder der Pflege von Angehörigen - Tätigkeiten, die dem Gemeinwohl dienen, die bis dato aber unvergütet geleistet wurden und oft zu persönlichen Einbußen spätestens im Rentenalter führten. Da hiervon bisher Frauen überproportional betroffen waren, stellt das Grundeinkommen auch eine Maßnahme zur Gender- und Chancengerechtigkeit dar.

Die **subjektive Meinung** der Bevölkerung spiegelt folgende Grafik wider. Diese Faktoren sind jedoch nicht ohne weiteres übertragbar auf die Realität. Dass z.B. damit die Armut verringert wird ist nicht garantiert, da das Grundeinkommen irgendwann unter die Armutsgrenze fallen könnte.



Bild 8.6: Pro und Kontra nach einer Marketagent-Umfrage (Österreich).¹

¹ <https://www.presetext.com/news/bedingungsloses-grundeinkommen-polarisiert.html>

Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Ideen und Modellen zum BGE, sie alle eint jedoch der Wunsch nach einer Veränderung des heutigen Systems. Die drei meist diskutierten Vorschläge:

- **Bedingungsloses Grundeinkommen:**

Als das wohl bekannteste und öffentlich am häufigsten diskutierte Modell wird nachfolgend das des Unternehmers Götz Werner vorgestellt. Werner sieht in seinem Konzept für jeden Menschen von der Geburt bis zum Tode einen monatlich garantierten Betrag von ca. 1.000-1.500 Euro vor, der ein menschenwürdiges Leben ohne Erwerbsarbeit möglich mache. Sämtliche Steuern sollen wegfallen, die einzige staatliche Einnahmequelle und Grundlage der Finanzierung des BGE soll eine neu eingeführte hohe Konsumsteuer sein. (Werner 2008)

- **Grundeinkommenskonzept des Bundes der katholischen Jugend (BDKJ)**

Besonderheit: Der BDKJ tritt für eine gewisse Bedingtheit des Grundeinkommens ein: Alle Empfänger der geforderten 600 Euro werden zu gemeinnütziger Arbeit im Umfang von 500 Stunden im Jahr verpflichtet. Damit soll die Anerkennung und Förderung von Tätigkeiten abseits von Lohnarbeit erreicht werden. (Hellmeister u. a. 2007)

- **Negative Einkommenssteuer:**

Das bekannteste Modell wurde von Dieter Althaus (CDU) erstellt, dem ehemaligen Ministerpräsidenten Thüringens. Es gewährt allen Erwachsenen ein Bürgergeld in Höhe von 800 Euro. Je höher das Erwerbseinkommen ist, desto höher werden Steuerabgaben und die Abzüge vom Grundeinkommen. Althaus tritt für ein bloß existenzsicherndes Bürgergeld ein, dessen zentrales Ziel die Erwerbsarbeit aller ist, welche dementsprechend gefördert werden soll (näheres unter <http://www.solidarisches-buergergeld.de/index.php/de/konzept>).

Es gibt in allen Modellen Probleme bei der Umsetzbarkeit des BGE. Die wenigsten Modelle legen klare Finanzierungsvorschläge vor, und eine Umsetzung gegen internationale wirtschaftliche Interessen ist höchst schwierig. Außerdem bleibt immer noch eine wesentliche Frage: **Wer legt die Höhe des Grundeinkommens fest?**

Die Bedingungen könnten sich unter BGE so verändern, dass das Grundeinkommen unterhalb der Armutsgrenzen liegt. Dann würde es praktisch doch wieder zu einem Zwang zur Erwerbsarbeit kommen. Weil aber davon auszugehen ist, dass Löhne dann viel niedriger sind, könnten große Bevölkerungsgruppen in Armut abrutschen.

Trotzdem sollte dies kein Grund sein, nicht über ein BGE nachzudenken und die herrschenden ungerechten und menschenunwürdigen Verhältnisse zu akzeptieren. Ob BGE allerdings eine realistische Alternative auf dem Weg aus der Armut ist, bleibt erst einmal unbeantwortet. Die Diskussion darüber weiterzuführen ist allerdings auf jeden Fall begrüßenswert.

8.9 Zusammenfassung

Automatisierung und Digitalisierung werden voraussichtlich zu weitreichenden Veränderungen der Arbeitswelt führen, von denen aber nicht jeder Arbeitsplatz gleichermaßen betroffen sein wird. Um den vielfältigen Veränderungen gerecht zu werden, muss im Bereich der Politik der neuen und zunehmend komplexen Realität vieler Arbeitnehmer durch adäquate Regelungen in Form eines juristischen Rahmenwerkes begegnet werden. Wichtig ist es hierbei, auch und besonders für die neuen, flexibleren Formen des Arbeitens Kontrollmechanismen zu finden, die die Rechte der Beschäftigten wahren.

Zusätzlich müssen die Konzepte der bestehenden sozialen Marktwirtschaft neu gedacht werden, um der zunehmenden Flexibilisierung der beruflichen Biographien Raum zu bieten und eine ökonomische Grundsicherheit für alle zu schaffen. Vorschläge wie das bedingungslose Grundeinkommen werden als potentielle Lösungsansätze diskutiert, eine unmittelbare Einführung ist in Deutschland aber bisher noch nicht absehbar.

KAPITEL 9

Big Data

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was man unter Big Data versteht
- ... welche Charakteristiken Big Data besitzt
- ... welche Herausforderungen, Chancen und Risiken Big Data mit sich bringt
- ... wo Big Data angewendet wird

Einleitung

Durch die Entwicklung von Computern, Fernsehen und dem Internet galt schon die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts als Informationszeitalter. Bei der Rechenleistung von Prozessoren kann man seit Beginn der Entwicklung eine permanente Steigerung verzeichnen. Laut des **Moore'schen Gesetzes** verdoppelt sich die Anzahl von Transistoren pro Flächeneinheit und damit die Rechenleistung ungefähr alle 18 Monate. Während die ersten 1965 auf dem Markt erhältlichen Schaltkreise aus 30 Transistoren bestanden, hatte der erste 1-Chip-Mikroprozessor 4004 von Intel wenige Jahre später schon 2300, der 1971 darauffolgenden Intel 8008 bereits 4500.

Die heutigen aktuellen Prozessoren wie der Intel Core i7 verfügen bereits über 1,5 Milliarden, wobei die nächste Prozessor Generation dann 5 bis 10 Milliarden Transistoren erreicht. Durch die steigende Rechenleistung, die damit verbundene Digitalisierung, künstliche Intelligenz, Technologien wie RFID (radio-frequency identification), Ambient Intelligence, Smartphones und die immer stärkere werdende Akzeptanz und Nutzung von Social-Media Anwendungen wie Facebook, Instagram, Blogs und Foren (vgl. Abbildung 2), kam es zu einem weltweiten **explosionsartigen Anstieg** der Datenmenge und der Datenvielfalt.

Jeder Einkauf, jeder Flug, jedes Telefonat, nahezu jede Tätigkeit, egal ob durch den Menschen oder durch Maschinen durchgeführt, erzeugt Daten. 2015 hat bereits jeder Mensch täglich zwischen 600 bis 700 Megabyte Daten produziert, 2020 lag dieser Wert bei 1,5 Gigabyte. Laut einer Prognose von einer durch Seagate finanzierten Marktstudie, soll das weltweite Datenvolumen zwischen 2018 und 2027 von **33** auf **284 Zettabyte** (1 Zettabyte= 10^{21} Bytes) steigen (vgl. Abbildung 1). Die durchschnittliche Wachstumsrate beträgt dabei etwa 27 Prozent. Für ein Drittel dieses Wachstums sind Videoanwendungen, Metadaten, Internet of Things und Social Media verantwortlich. Diese enorme Menge und Vielfalt an Daten erfordern neue Werkzeuge und Algorithmen, um weiterhin Informationen aus den Daten gewinnen zu können. Dieses Phänomen ist mit dem Begriff „Big Data“ betitelt.

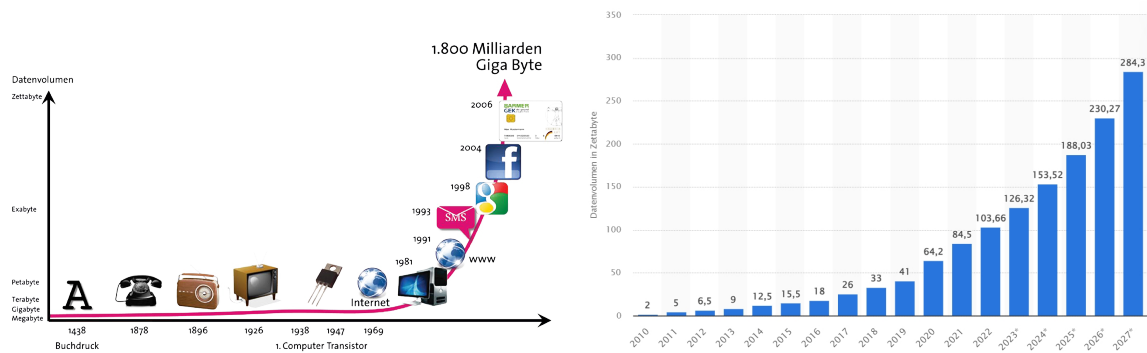


Bild 9.1: Wachstum der Datenmenge über die Zeit

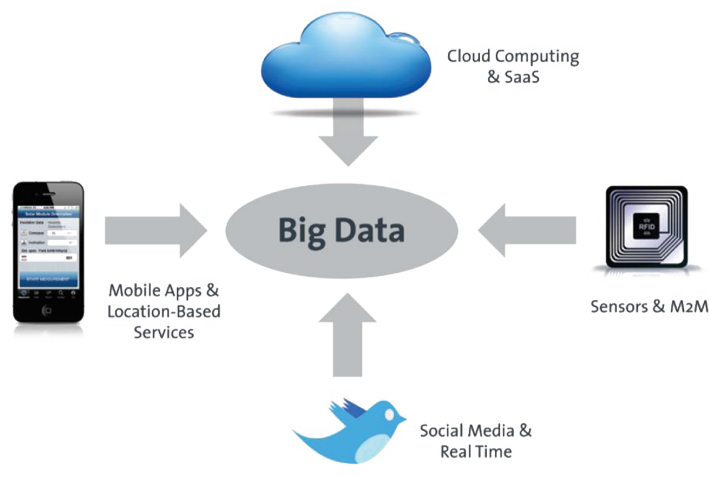


Bild 9.2: Informationstechnologien die für die Entstehung des Big Data Phänomens verantwortlich sind (Quelle: BITKOM 2012, S. 11)

9.1 Definition

Der Begriff „**Big Data**“ stammt aus dem englischen und ist ein Synonym für die enorme Datenflut, welche heute im privaten und öffentlichen Leben anfällt. Mit Big Data werden alle Arten von Daten und Informationen bezeichnet, bei welchen keine Ablage in einer Datenbank oder einer anderen speziellen Datenstruktur möglich ist und die nicht mit herkömmlichen Methoden der Datenverarbeitung ausgewertet werden können, da diese zu groß, zu komplex, zu schnelllebig oder zu schwach strukturiert sind. Diese **unstrukturierten** Daten sind weitaus heterogener als klassische Daten und können in verschiedenen Formen wie E-Mail-Nachrichten, Power-Point Präsentationen, Textdateien oder Ähnlichem vorliegen. Die Daten stammen dabei aus den unterschiedlichsten Bereichen und Anwendungen wie Finanzindustrie, Energiewirtschaft, Gesundheitswesen, Mobilfunk, Internet, Kreditkarten, Überwachungskameras, Flug- und Fahrdaten, soziale Medien und vielen Weiteren.

Big Data spiegelt aber nicht nur komplexe, teilweise nicht greifbare Datenmengen wider, sondern es wird auch oft als ein Sammelbegriff für digitale Technologien verwendet, die zum automatisierten Sammeln, Verwalten und Analysieren dieser Daten eingesetzt werden.

Für Big Data gibt es verschiedene Definitionen. Edd Dumbill definiert Big Data beispielsweise unter dem Aspekt der Verarbeitung:

„Big Data is data that exceeds the processing capacity of conventional database systems. The data is too big, moves too fast, or doesn't fit the structures of your databases architectures“.

Eine weitere Definition von Bitkom bezieht sich auf die verschiedenen Facetten von Big Data:

„Big Data bezeichnet den Einsatz großer Datenmengen aus vielfältigen Quellen mit einer hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit zur Erzeugung wirtschaftlichen Nutzens“.

Gartners Definition von Big Data umfasst zusätzlich noch die „**drei Vs**“ von Big Data:

*“Big data is **high-volume**, **high-velocity** and **high-variety** information assets that demand cost-effective innovative forms of information processing for enhanced insight and decision making“.*

Die erweiterten fünf Vs beschreiben folgende Eigenschaften von Big Data:

Volume

Volume bezieht sich auf die enorme Größe der Daten. Die Datenbestände bei Big Data sind sehr umfangreich und liegen im Tera- bis Zettabyte Bereich. (Megabyte = 10^6 Byte, Terabyte = 10^{12} Byte, Zettabyte = 10^{21} Byte). Ob ein Datenbestand also als Big Data betrachtet wird, hängt vom **Datenvolumen** ab. Aufgrund des explosionsartigen Anstiegs des Datenvolumens in den letzten Jahren handelt es sich hierbei um die bekannteste Eigenschaft von Big Data. Durch die große Menge der Daten ergibt sich das Problem der Speicherung dieser Daten. Denn umso größer das Volumen dieser Daten, desto mehr Speicherplatz wird benötigt, um die Daten weiterhin effizient ablegen zu können.

Velocity

Das letzte der drei Vs Velocity bezieht sich auf die hohe **Geschwindigkeit**, in welcher Daten erzeugt, produziert, erstellt oder aktualisiert werden, nicht selten ist auch die Verarbeitung in Echtzeit gefordert. Um Daten schnellstmöglich verarbeiten zu können, muss im Arbeitsspeicher und nicht wie üblich auf dem Festplattenspeicher gearbeitet werden. Die Verarbeitung dieser Datenmengen stellt im Blick auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit eine Herausforderung dar, da durch langsamere Verarbeitungsgeschwindigkeiten deutliche Performance Einbußen resultieren. Auch müssen die Daten möglichst aktuell sein, um zeitnah auf Veränderungen reagieren zu können. Gerade bei Echtzeit-Entscheidungen spielt die Verarbeitungsgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle. Die Daten dürfen nicht veraltet sein und so falsche Interpretationen ermöglichen. Neben den 3Vs von Big Data, sprechen einige Experten zusätzlich noch von Informationskapital oder Vermögenswert. Aus diesem Grund werden oft zwei weitere Charakteristiken zur Definition von Big Data hinzugefügt:

Variety

Wenn man sich mit Big Data beschäftigt, kommt man nicht nur mit strukturierten Daten in Kontakt. Es werden immer mehr Daten erzeugt, die aus den unterschiedlichsten Quellen stammen und unterschiedliche Strukturen aufweisen. Unter Variety versteht man also die Natur der Daten, in welcher Form diese Daten vorliegen. **Strukturierte** Daten sind im Grunde genommen organisierte Daten. Sie haben eine definierte Länge und ein eindeutiges Format. Sie verursachen für Datenbanksysteme keine Probleme und können in Tabellenform effizient verarbeitet werden. **Semi-Strukturierte** Daten können unstrukturierte sowie strukturierte Daten enthalten. **Unstrukturierte** Daten dagegen passen nicht in die traditionelle Zeilen- und Spaltenstruktur der relationalen Datenbanken.

Beispiele hierfür sind Texte, Bilder, Graphiken, Videos und Ähnliches. Umso vielfältiger die Daten sind, desto komplexer wird deren Speicherung und Verarbeitung. Viele Systeme eignen sich nur für die Ablage und Analyse von strukturierten Daten. Für Big Data bedarf es also neuer Ablage- und Verarbeitungsmöglichkeiten.

Veracity

Veracity (**Zuverlässigkeit**) ist eine der ungünstigen Eigenschaften von Big Data. Während die bisher genannten Eigenschaften einen positiven Einfluss ausüben, sinkt durch Big Data die Genauigkeit, Richtigkeit, Vollständigkeit und Verlässlichkeit der Daten. Viele Daten sind vage oder ungenau. Die Qualität und Genauigkeit sind teilweise schwer zu kontrollieren und daher müssen ungenaue bzw. zweifelhafte Daten rechtzeitig aus der Verarbeitung entfernt oder entsprechend bei der Auswertung berücksichtigt werden, da die Qualität der Daten einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Analyseergebnisses hat. Es wird immer schwerer zu prüfen, ob die Daten vollständig und korrekt vorliegen. Aus diesem Grund müssen **spezifische Algorithmen** zur Bewertung der Aussagekraft der Ergebnisse verwendet werden.

Value

Die letzte aber wahrscheinlich wichtigste Eigenschaft ist **Value**. Durch Big Data sollen auf konkrete Fragestellungen konkrete Antworten gefunden werden, um dann daraus einen **Mehrwert** zu generieren. Die anderen Charakteristiken sind bedeutungslos, wenn der Unternehmenswert durch Big Data nicht gesteigert werden kann. Durch die Anwendung von Big Data wird ein **besseres Verständnis für den Kunden** entwickelt, man richtet sich entsprechend auf den Kunden aus, Prozesse werden optimiert und die gesamte Unternehmensperformance kann verbessert werden. Bevor also eine Big Data Strategie entwickelt werden kann, muss das Potenzial der anspruchsvollen Eigenschaften verstanden und sich über die eigenen Ziele klar geworden werden, denn Investitionen sollten nur dort gemacht werden, wo ein Mehrwert generiert werden kann. Neben diesen fünf Charakteristiken werden Big Data auch noch von weiteren Charakteristiken wie **Vulnerability**, **Visualization** oder **Volatility** zugeschrieben. Big Data sind so umfangreich und finden in so vielen Gebieten Anwendung, dass es keine allgemein gültige Definition gibt und ihnen dadurch auch verschiedenen Charakteristiken zugeschrieben werden. Die fünf oben genannten Charakteristiken Volume, Veracity, Variety, Velocity und Value sind dabei aber die Haupteigenschaften von Big Data.

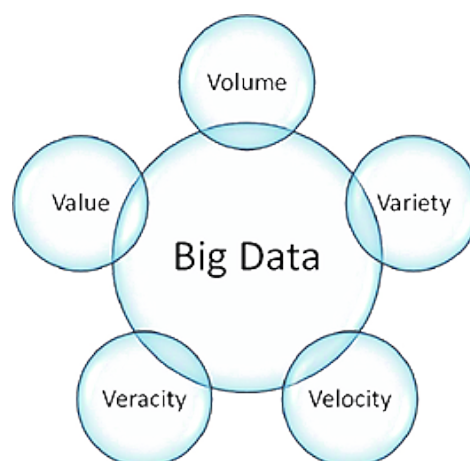


Bild 9.3: Die Haupteigenschaften von Big Data (Elragal 2014)

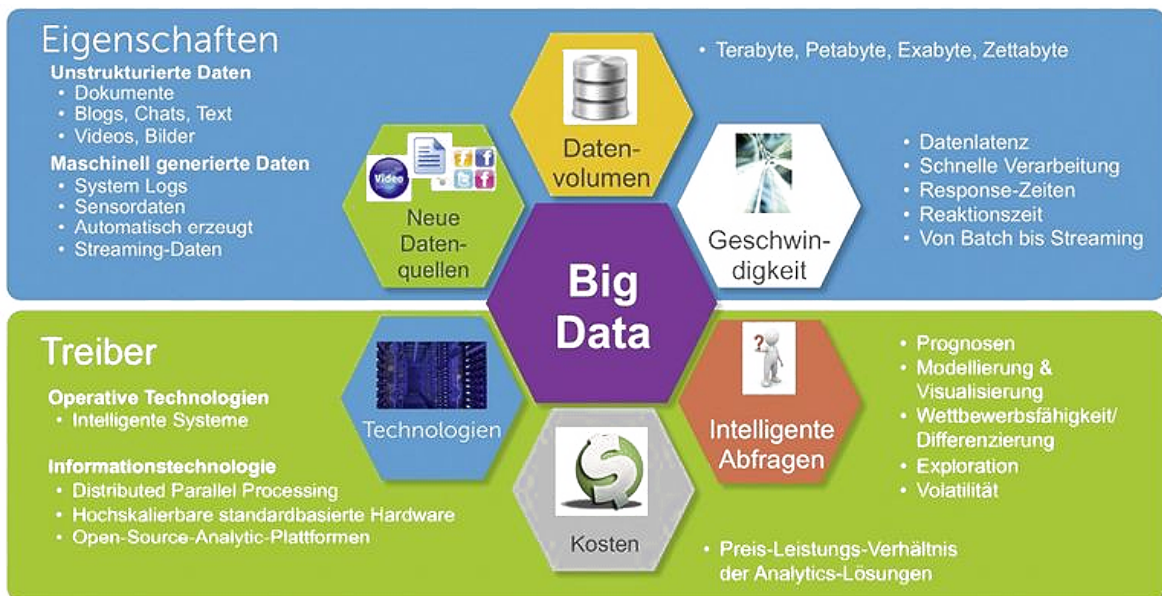


Bild 9.4: Big Data Übersicht (Zeman 2016)

9.2 Big Data Analytics

Daten sind heutzutage ein wichtiger Bestandteil für Unternehmen. Für die rasant ansteigende und immer komplexer werdende Datenmenge stellt Big Data Konzepte, Technologien und Methoden zur Verfügung, wo konventionelle Ansätze der Informationsverarbeitung an ihre Grenzen stoßen. Durch die Sammlung, Verwaltung Analyse, Validierung, Aufbereitung und Visualisierung der Daten, erhalten die Unternehmen wichtiges Datenmaterial, wie Informationen über das **Kaufverhalten** von Kunden, Auskunft über die **Performance** von Maschinen in der Produktion, den wahrscheinlichen **Erfolg von neuen Marketing Kampagnen** und vielem Weiterem. Diese Informationen bilden die Basis, um die betriebswirtschaftlich richtigen Entscheidungen zu treffen. Man kann also sagen, dass es sich bei Big Data Analytics um ein **Managementverfahren** handelt.

Die wichtigsten Teilgebiete von Big Data Analytics sind:

- Mittels Suchabfragen die Beschaffung von Daten aus verschiedenen Quellen
- Die Auswertung und Aufbereitung der gewonnenen Daten
- Die Analyse der Daten und Visualisierung/Präsentation der Ergebnisse



Bild 9.5: Big Data Analytics Prozess (Intellipaat 2017)

Als Basis für die Sammlung und Analyse der Daten werden **Algorithmen** benötigt. Diese Algorithmen arbeiten oft auf einer Ebene, die wir als Menschen gar nicht bewusst wahrnehmen.

Bereits lange vor dem Computerzeitalter wurden Algorithmen genutzt. Die Ägypter beispielsweise nutzten Algorithmen, um mit Hieroglyphen zu rechnen. Ein Algorithmus ist eine Lösungsvorschrift zur Beseitigung eines Problems oder zur Erledigung einer bestimmten Aufgabe. Der Prozess soll dabei immer auf die gleiche, zuvor definierte Weise erfolgen. Voraussetzung für das Aufkommen der Algorithmen war die enorm **gestiegene Rechnerleistung** der Computer in den letzten Jahren (vgl. Einleitung). Erst dadurch war es möglich, auch komplexe Algorithmen verarbeiten zu können. Auch die **zunehmende Vernetzung** einzelner Geräte und Systeme begünstigte die Entwicklung der Algorithmen, da diese für eine effiziente und sinnvolle Vernetzung benötigt werden.

Heutzutage werden Algorithmen gerade im Internet dazu eingesetzt, Klick-, Such- und Kaufverhalten von Nutzern zu ermitteln, um dann personalisierte Inhalte anbieten zu können. Algorithmen sind daher auch die Ursache, dass zwei verschiedene Menschen bei derselben Suchanfrage mit Google zwei völlig verschiedene Suchergebnisse erhalten können. Denn die Ergebnisse basieren auf den bisherigen Klick- und Suchverhalten der Nutzer.

Komplexe Algorithmen sind dabei auch auf die verschiedenen Szenarien vorbereitet, die eintreten können. Verändert sich also der Umstand, passt sich auch der Lösungsweg an. So ändert sich bei Navigationssystemen während der Fahrt bei neu auftretenden Staus die gewählte Route. Des Weiteren können Algorithmen **lernfähig** sein und selbständig neue Zusammenhänge erkennen. Anhand von Fotos von Haustieren mit entsprechender Benennung kann der Algorithmus beispielsweise lernen wie Hunde und Katzen aussehen. Das System ist dann nach einiger Zeit in der Lage neue Fotos der richtigen Tierart zuzuordnen, da es die Unterscheidungsmerkmale gelernt hat.

Schlüsseltechnologien für Big Data Analytics

Es gibt nicht nur eine Technologie auf der Big Data Anwendungen basieren. Natürlich gibt es fortgeschrittene Analysemethoden, die für die Analyse von Big Data verwendet werden können. Jedoch ist Big Data Analytics in Wirklichkeit ein **Zusammenspiel mehrerer Technologien und Innovationen**, um den größtmöglichen Nutzen aus den Daten herauszuziehen. Folgend sind die bedeutendsten Akteure aufgelistet:

Machine Learning. Machine Learning (maschinelles Lernen) ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz (KI). Systeme werden hierbei in die Lage versetzt, aufgrund von Algorithmen und vorhandenen Datenbeständen, Muster und Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und automatisch Modelle zu erstellen, welche größere und komplexere Daten analysieren und schnelle und genaue Ergebnisse liefern. Auch werden den Ergebnissen entsprechend Lösungen entwickelt. Der Vorteil für Unternehmen liegt dabei in der Vermeidung noch unbekannter Risiken und die Wahrscheinlichkeit, profitable Möglichkeiten und Chancen zu identifizieren, steigt.

Bei Machine Learning wird **aus Erfahrungen künstliches Wissen** generiert. Data Management. Bevor Daten zuverlässig analysiert werden können, müssen diese von hoher Qualität, gut gepflegt und organisiert sein. Daten fließen ständig in Unternehmen ein und aus. Deshalb ist es wichtig, wiederkehrende und nachvollziehbare Prozesse zu etablieren, um gewisse Standards für die Datenqualität zu schaffen und aufrechtzuerhalten.

Data Mining. Bei Data Mining handelt es sich um eine Methodik zur **Analyse und Untersuchung von großen Datenmengen**, um Muster, Erkenntnisse und Wissen in den Daten zu entdecken. Diese Informationen können dann für weitere Analysen verwendet werden, um komplexe betriebswirtschaftliche Fragestellungen zu beantworten. Mit Hilfe von Data Mining Software kann das chaotische und sich wiederholende Datengewirr durchsucht, die wichtigsten Punkte bestimmt, die möglichen Ergebnisse bewertet und somit der Entscheidungsprozess beschleunigt werden.

Hadoop. Dieses **Open-Source-Software Framework** kann große Datenmengen speichern und ermöglicht die parallele Datenbearbeitung auf hoch-skalierbaren Cluster-Servern. Aufgrund

der ständig wachsenden Datenmengen und Datenvielfalten und seinem Rechenmodell, welche Big Data schnell verarbeiten, ist Hadoop zu einer Schlüsseltechnologie in der Geschäftswelt geworden.

In-memory Analytics. Durch die Analyse von Daten aus dem **Arbeitsspeicher** heraus, anstatt von der Festplatte, können unmittelbar Erkenntnisse aus den Daten abgeleitet und schnell entsprechend reagiert werden. Dadurch wird Zeit für die Datenvorbereitung und Datenverarbeitung gespart. In-memory Analytics ist für die Unternehmen nicht nur eine einfache Möglichkeit agil zu bleiben und **bessere Geschäftsentscheidungen** zu treffen, sondern ermöglicht auch die Durchführung von sich wiederholenden und **interaktiven Analyseszenarien. Predictive Analysis.**

Diese Technologie verwendet Daten, statistische Algorithmen und Machine Learning Methoden, um die Wahrscheinlichkeit künftiger Ergebnisse auf Grundlage historischer Daten zu ermitteln. Es geht darum, eine bestmögliche Einschätzung zu erhalten, was in der **Zukunft** passieren wird. Unternehmen sollen sich so beim Treffen von Entscheidungen sicher fühlen können, dass Sie die bestmögliche Wahl getroffen haben. **Text Mining.**

Mit der Text-mining Technologie können Textdateien aus dem Web, aus Kommentaren, aus Büchern und anderen textbasierten Quellen analysiert werden, um bisher nicht entdeckte Erkenntnisse, aufzudecken. Text Mining nutzt Machine Learning oder Natural Language Processing , um Dokumente, wie E-Mails, Blogs, Twitter-Beiträge, Umfragen, Wettbewerbsinformationen und Ähnliches zu untersuchen, um große Mengen an Informationen analysieren zu können und **neue Themen** und **Beziehungen** zu entdecken.

9.3 Chancen und Vorteile von Big Data

Durch den Anstieg der technischen Möglichkeiten große Mengen an Informationen in hoher Geschwindigkeit zu verarbeiten und generieren, eröffnen sich viele Chancen und Vorteile. Folgend sind die wesentlichsten aufgelistet:

Kundenverständnis

Big Data ermöglicht es Unternehmen, ihre Kunden und Zielmärkte besser zu verstehen. Anhand der Analyse von Kundendaten, gerade von Kundenpräferenzen und der Nachfrage, lassen sich deren Verhalten und Vorlieben identifizieren. Auf diese Weise können sich Unternehmen auf die Bedürfnisse der Kunden einstellen und entsprechende Produkte und Dienstleistungen anbieten.

Des Weiteren können dadurch **zukünftige Trends** und Marktbewegungen vorausgesagt werden, was im Bereich der Forschung und Entwicklung von großer Bedeutung ist. Denn auf Basis dieser Erkenntnisse können Unternehmen reagieren und neue Produkte entsprechend den Trends entwickeln, bestehende Produktlinien erweitern, bereits existierende Produkte modifizieren, oder auch für die bereits bestehenden Produkte neue Marketing Strategien entwickeln. Unternehmen können im Vorfeld entsprechend handeln, anstatt nur auf Veränderungen zu reagieren. Insgesamt verkürzt sich dadurch die **Time-to-Market** und Produkte können schneller auf den Markt gebracht werden. Big Data unterstützt Unternehmen dabei, ihre Kunden bestmöglich zu betreuen.

Optimierung von Unternehmensprozessen

Durch die aus der Datenanalyse gewonnenen Erkenntnisse ist es möglich, Unternehmensabläufe zu optimieren und sich Vorteile gegenüber Wettbewerbern zu sichern. Big Data fallen in allen Unternehmensbereichen an und leistungsstarke Analysesysteme können diese große Menge von Daten verarbeiten, versteckte Muster erkennen und miteinander in Verbindung bringen. Dadurch können Prozesse im Unternehmen optimiert und effizienter gestaltet werden. Ein

Beispiel hierfür ist der Transport von Waren mittels LKWs. Es spielen viele unterschiedliche Daten wie Staudaten, Wetterdaten oder Benzinpreise für den Transport eine Rolle, welche größtenteils messbar sind. Analysesysteme können all diese Daten auswerten, die optimalen Routen der LKWs festlegen und dadurch Zeit und Kosten sparen.

Entscheidungsfindung

Die Flut an Daten und Information, die täglich bei Unternehmen anfällt, ist riesig. Durch neue Formen der Datenauswertung und -aggregation werden Informationen mit bisher nicht erreichter Spezifik generiert. Auf Basis dieser neu gewonnenen Informationen, können Unternehmen Entscheidungen treffen, welche entscheidend für den weiteren Erfolg des Unternehmens sind. Auch können Big Data dazu beitragen, präventive Entscheidungen zu treffen. Beispielsweise können Maschinendaten ausgewertet werden und die Abstände der Maschinenausfälle erkannt werden. Durch den Einsatz von **zusätzlicher Sensorik** kann dabei noch die Abhängigkeit zwischen verschiedenen Faktoren und den Ausfällen ermittelt werden. Auf Basis dieser Informationen lassen sich dann präventive Maßnahmen, wie beispielsweise bestimmte Instandhaltungsintervalle vor dem erneuten Ausfall, festlegen.

Optimaler Ressourceneinsatz

Der optimale Ressourceneinsatz spielt für Unternehmen eine große Rolle. Durch Big Data können intelligente Gebäude mit automatisierten Produktionsanlagen kombiniert und so der Ressourcenverbrauch signifikant reduziert werden. Durch diese Einsparungen und die Verkürzung der Herstelldauer für Einzelteile dank stärker vernetzten Produktionsprozessen, können Firmen weltweit konkurrenzfähig bleiben. Big Data spielt also in der Smart Factory durch die Aufarbeitung und Auswertung großer Datenmengen eine wichtige Rolle.

9.4 Mit Big Data verbundene Herausforderungen

Neben den Herausforderungen, welche die fünf Merkmale Volume, Variety, Veracity, Velocity und Value (siehe Kapitel 9.1) mit sich bringen, ergeben sich durch Big Data noch weitere. Unternehmen müsse sich diesen Herausforderungen stellen und Antworten auf die damit verbundenen Fragestellungen entwickeln.

Total Cost of Ownership

Big-Data Projekte sind in der Regel mit hohen Kosten verbunden. Heterogene und komplexe Informationslandschaften führen zu hohen Betriebskosten. Zusätzlich zu den Anschaffungskosten fallen auch Kosten für neue Mitarbeiter, Softwarekonfigurationen, Softwarewartungen, Schulungen, etc. an.

IT-Sicherheit

Durch steigendes Volumen, Komplexität und Wert der Daten ist stärker auf die Vorbeugung von Betrug und Manipulation zu achten. Cyber-Kriminelle können falsche Daten in den Datenpool einfließen lassen und so die Ergebnisse manipulieren. Außerdem werden sensible Daten oft nicht verschlüsselt, da die ständige Verschlüsselung und Entschlüsselung von großen Datenmengen ein Verlust der Verarbeitungsgeschwindigkeit bedeutet. Es muss eine Data Governance aufgebaut werden, also ein Regelwerk erstellt werden, das die ordnungsgemäße Verwaltung digitaler Daten regelt, damit Betrug und Manipulation verhindert werden.

Transparenz

Geeignete Datenstrukturen sind durch die große Menge und Vielfalt der Daten von hoher Bedeutung. Geregelte und klare Datenstrukturen und Abläufe bilden die Basis für die Interpretation der Daten, die Informationsflüsse und die Verantwortlichkeiten. Nur so kann ein Überblick über das Datengewirr geschaffen und Transparenz ermöglicht werden.

Datenverluste

Alle wesentlichen Daten und Informationen müssen erfasst werden und dürfen nicht verloren gehen. Das Speichern und Verarbeiten von großen Datenmengen stellt hierbei das Problem dar, da das Datenvolumen ständig wächst und Kapazitäten von bestehenden Technologien an ihre Grenzen stoßen. Datenintegrität, Performance und Verfügbarkeit dürfen nicht beeinträchtigt werden. Infrastruktur Die Beschaffung, Inbetriebnahme, Wartung und der Betrieb unterscheiden sich bei Big Data von herkömmlichen Infrastrukturen. Deshalb ist hier besonderes Know-How gefordert.

9.5 Mit Big Data verbundene Risiken

Privatsphäre und Datenschutz

Das größte Risiko von Big Data ist der Eingriff in die Privatsphäre von Menschen. Selbst große Unternehmen wie Yahoo und Facebook waren bereits in dieser Thematik involviert. Durch die Analyse der von Unternehmen gesammelten Daten, können diese tiefe Einblicke über die Gewohnheiten und die charakterlichen Züge der Menschen gewinnen. Beim Surfen durch das Netz zieht jeder Mensch eine Spur aus Daten hinter sich her.

Gerade durch **Cookies** kann dabei das Surfverhalten der Nutzer analysiert und die Bewegungen im Netz aufgezeichnet werden. Hier wird gespeichert, welche Seiten besucht, welche Produkte angeschaut, oder welche Produkte in den Warenkorb gelegt werden. Der Mensch kann durch Entschlüsselungen und Analyse der Spuren mit den Daten in Verbindung gebracht, wodurch er jede Art von **Anonymität** verliert. Die Daten der Menschen müssen unzugänglich aufbewahrt werden, um die Sicherheit und die Anonymität der Menschen zu gewährleisten.

Meist liegt allerdings kein Einverständnis der Betroffenen für die Verwendung der Daten vor. Vielmehr ist es so, dass sich die Nutzer explizit zu einer Ablehnung der Nutzung ihrer Daten äußern müssen. Nicht selten werden den Nutzern durch diese Entscheidung dann auch gewisse Funktionen verwehrt. Ein Verzicht auf die Datenerfassung ist deshalb oft so gut wie nicht möglich.

Daraus resultiert eine **Normalisierung der Datenerfassung** in der Gesellschaft. Auch wenn es auf den ersten Blick nicht so scheint, führt Big Data zu einer Einschränkung des Nutzerverhaltens der Menschen weltweit. Auch wenn es den Nutzern in der Regel nicht bewusst ist, handeln Sie nicht mehr nach ihrer eigenen persönlichen, sondern nach der durch die Gesellschaft oder der Unternehmen festgelegten Meinung.

Wettbewerbsnachteil

Die Arbeit mit Big Data ist für Unternehmen mit hohen Investitionen verbunden. Nicht alle Unternehmen sind in der Lage, diese Kosten zu decken. Für große Unternehmen ist es einfacher, diese Investitionen zu tätigen und von Big Data zu profitieren, was einen Nachteil für kleinere Unternehmen mit sich bringt. Es scheint, dass aufgrund der hohen Kosten und der Nachteile und Risiken von Big Data, nur die **großen** und vor allem die **etablierten Unternehmen** von Big Data profitieren. Dies vergrößert den **Wettbewerbsvorsprung** von großen Unternehmen zu den kleineren Unternehmen, denen nicht dieselben Möglichkeiten zur Verfügung stehen.

9.6 Anwendungsbeispiele

- Vernetzte Autos können Echtzeitdaten zur Verkehrssituation erhalten und dadurch Staus frühzeitig umfahren.
- Mobile Geräte wie z.B. Smartwatches und Smartphones, die Fitness- und Gesundheitsdaten sammeln und automatisch dem Hausarzt übermitteln.
- Die US-Kaufhauskette Target analysierte das Kaufverhalten von Kundinnen. Falls sich spezielle Kaufmuster abbilden, welche auf eine Schwangerschaft hindeuteten, wurden die Kundinnen mit gezielter Werbung und Gutscheinen auf die entsprechenden Produkte aufmerksam gemacht.
- Der Stromverbrauch von Haushalten kann durch Smartgrids (intelligent vernetzte Stromnetzte und Haushalte) optimiert werden.
- Predictive Policing – personenbezogenen Daten werden gesammelt und ausgewertet und so soll vorausgesagt werden, wer wo und wann höchstwahrscheinlich eine Straftat begehen wird. Straftaten sollen verhindert werden, bevor diese überhaupt stattfinden.
- Rolls-Royce nutzt Big Data bei der Modellierung neuer Flugzeugtriebwerke. In der Entwurfsphase werden Simulationen neuer Düsentriebwerke durchgeführt und damit die neuen Modelle vor deren Produktion getestet.
- Caterpillar untersuchte bei einem Kunden wie sich die Reinigung der Schiffsrümpfe auf die Flottenleistung auswirkt. Die Big Data Lösung analysierte Daten von Sensoren an Bord von Schiffen, bei denen die Schiffsrümpfe gereinigt oder nicht gereinigt wurden. Das Ergebnis war, dass die Reinigungsintervalle verkürzt werden mussten und sich die damit verbundenen Investitionen trotzdem lohnen. Big Data half Caterpillar, sein Produkt richtig einzusetzen und das Unternehmensimage zu verbessern.
- Big Data wird auch dazu benutzt, Kreditkartenbetrug aufzudecken. Durch die getätigten Transaktionen mit der Kreditkarte sammelt der Algorithmus Informationen über das Verhalten und die Angewohnheiten des Besitzers. Bei verdächtigen Transaktionen, beispielsweise ein Kauf in China, obwohl man die Tage davor noch in Deutschland Transaktionen getätigt hat, löst der Algorithmus einen Alarm aus und sperrt die Karte automatisch oder der Kartenbesitzer wird unverzüglich über die verdächtige Transaktion informiert.

9.7 Zusammenfassung

Big Data – ein sehr facettenreiches Phänomen, das von den Menschen ganz unterschiedlich aufgenommen wird. Die Einen sind voller Erwartungen und schwärmen von dem unendlichen Potenzial, die Anderen fühlen sich in ihrer Privatsphäre bedroht und sehen Big Data als „Überwachung“.

Für beide Seiten gibt es viele Argumente, jedoch schreitet die Entwicklung immer weiter voran und lässt sich inzwischen nicht mehr aufhalten, denn Big Data spielt bereits in zu vielen Lebensbereichen eine Rolle. Wahrscheinlich ist es auch der richtige Weg, die Entwicklung einfach voranschreiten zu lassen, denn Big Data bietet Konsumenten und Unternehmen viele Vorteile und Möglichkeiten. Die Challenge besteht darin, die Herausforderungen anzunehmen und die Chancen zu nutzen ohne die Risiken dabei zu stark werden lassen. Wichtig dabei ist, als Konsument weiterhin auf einen achtsamen Umgang mit den eigenen Daten zu achten.

KAPITEL 10

Medizin 4.0

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... welche Begriffe rund um das Thema Medizin 4.0 von Bedeutung sind
- ... warum die Digitalisierung des Gesundheitswesens alternativlos ist
- ... welche Veränderungen im Krankenhaus (Klinik 4.0) stattfinden
- ... welche Fortschritte die Telemedizin mit sich bringt
- ... welche Herausforderungen und Risiken entstehen

10.1 Einführung

Sinkende Geburtenraten sowie die steigende Lebenserwartung der Bevölkerung in Deutschland führen gleichermaßen zu einer finanziellen Überlastung im Bereich des Gesundheitswesens.

Aufgrund von medizinischen Fortschritten, besserer Hygiene, gesünderer Ernährung, geeigneteren Wohnsituationen, verbesserten Arbeitsbedingungen sowie steigendem Wohlstand wächst die Lebenserwartung von Neugeborenen immer weiter an. Die aktuelle Lebenserwartung in Deutschland von neugeborenen Jungen liegt bei 78,6 und die der Mädchen bei 83,4 Jahren.

Eine Möglichkeit zur Kostensenkung ist die Reduktion der medizinischen Notwendigkeit im Alter durch weitere qualitative Steigerungen der bereits beschriebenen Aspekte. Da diese Option allerdings nur begrenzt möglich ist, müssen weitere Alternativen gesucht werden.

Die Digitalisierung des Gesundheitssystems bietet hierbei die beste Lösung. Sie kann die Leistungen kostengünstiger gestalten und gleichzeitig die Qualität verbessern. Sie bringt aber auch einige Herausforderungen mit sich, die es zu bewältigen gilt.

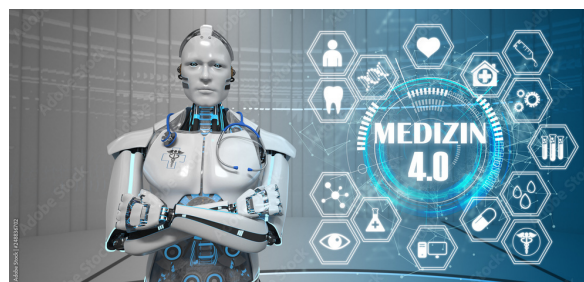


Bild 10.1: Medizin 4.0

10.2 Herausforderungen im Bereich des Gesundheitswesens

Damit eine Digitalisierung im Gesundheitswesen bzw. im Krankenhaus stattfinden kann gilt es viele Herausforderungen zu bewältigen, z. B.

- Digitales Versorgungsnetz
- Interoperabilität und isolierte Systeme
- Zahlreiche Papierdokumente und Systembrüche
- Telemedizin
- Marktkonsolidierung und Fachkräftemangel
- Patienten im Fokus und Komplexität

Das **digitale Versorgungsnetz** umfasst die Apps auf Rezept sowie die Videosprechstunden. Eine App auf Rezept kann beispielsweise eine Tagebuchapp zur Dokumentation des Blutzuckers für Diabetiker oder eine Begleitapp für Schwangere sein. Hierfür gibt es seit dem 19. Dezember 2019 das **Gesetz für eine bessere Versorgung durch Digitalisierung und Innovation**. Dieses ermöglicht den sicheren Zugriff auf das Datennetz im Gesundheitswesen rund um die Uhr. Allerdings stellt die Sicherheit, Funktionstauglichkeit, Qualität, Datensicherung sowie der Datenschutz das **BfArM**¹ vor weitere Herausforderungen. Das Gesundheitswesen ist ein extrem sensibler Bereich und daher muss vor allem der Datenschutz sowie die Verbesserung der Versorgung der Patienten voll umfänglich gewährleistet sein [112].

Die nächsten Herausforderungen stellen die **Interoperabilität**² sowie die **Isolierten Systeme** dar. Es ist momentan keine interoperable Interaktion zwischen den einzelnen Geräten innerhalb bzw. außerhalb eines Krankenhauses möglich. Für die Digitalisierung des Gesundheitswesens ist es allerdings von grundlegender Notwendigkeit, dass mit offenen Standards gearbeitet wird, um die Interoperabilität zu ermöglichen. Mit Hilfe der offenen Standards werden Schnittstellen geschaffen, die eine Kommunikation zwischen den Geräten innerhalb eines Krankenhauses, sowie eine externe Kommunikation zu anderen Parteien ermöglichen. Aktuell wird mit isolierten Insellösungen für die Krankenhausinformationssysteme, **PVS-Systeme**³ und die Kernsysteme der Krankenkassen gearbeitet.

Damit einhergehend zeichnen sich die nächsten Herausforderungen ab: die **zahlreichen Papierdokumente** sowie die **Systembrüche zwischen ambulanten und stationären Bereichen** müssen beseitigt werden. Anamnese-Bögen, Datenschutzerklärungen, Entlassungsbriefe sowie weitere, von Hand auszufüllende Dokumente werden häufig in Papierform erfasst. Anschließend müssen diese digital eingepflegt werden oder beim nächsten Besuch erneut aufgesetzt werden. Auch müssen diese Dokumente häufig in jeder Station, die ein Patient durchläuft, separat ausgefüllt werden. Dieser Vorgang kostet eine Menge Zeit und damit auch Geld. Das gleiche Problem zeichnet sich im Systembruch zwischen stationärer und ambulanter Pflege ab. Die Versorgungsprozesse müssen folglich mit Hilfe von digitalen und organisatorischen Lösungen optimiert werden.

Für die ambulante Pflege beziehungsweise medizinische Betreuung bietet sich die **Telemedizin** sehr gut an. Routinevisiten, für die der Patient bislang in die Praxis fahren musste, können in Zukunft als Televisiten stattfinden. Weitere Vorteile und Möglichkeiten der Telemedizin werden in Kapitel 10.10 **Telemedizin** auf Seite 119 beschrieben.

1 **BfArM**=Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte

2 Unter **Interoperabilität** versteht man die Fähigkeit eines Systems (z.B. eines Medizingeräts oder einer Software) mit anderen Systemen zusammenzuarbeiten [113].

3 **PVS**=Praxis Verwaltungssystem

Das deutsche Gesundheitssystem umfasst etwa 1.900 Krankenhäuser, die mittlerweile einem hohen Kostendruck ausgesetzt sind. Gleichzeitig herrscht dazu ein **Fachkräftemangel**. Um wettbewerbsfähig zu bleiben müssen demnach Veränderungen getroffen werden und neue Geschäftsmodelle entwickelt werden. Um Kosten einzusparen müssen **Marktkonsolidierungen**¹ stattfinden. Krankenhäuser, Arztpraxen, Krankenkassen und alle anderen Teilnehmer des Gesundheitswesens müssen in Zukunft enger zusammen arbeiten und Vorgänge digitalisieren, um den Herausforderungen gewachsen zu sein. Die Digitalisierung des Gesundheitswesens ist also keine Option, die getroffen werden kann, sondern eine Notwendigkeit, die getroffen werden muss.

Eine weitere Herausforderung, die in Zukunft auf die Krankenhäuser bzw. Ärzte zukommt wird als **patient centricity** (Patienten im Fokus) bezeichnet. Durch die allgemeine Digitalisierung und Vernetzung informieren sich Patienten immer selbstständiger über Ursachen von Beschwerden. Dieses Vorgehen muss vom Gesundheitssystem genutzt werden und digitale Anamnesen müssen zuverlässig gestellt werden können. Der Patient muss in Zukunft mehr im Alleingang machen können, um Kosten einzusparen. Hierfür müssen die verschiedenen Stakeholder des Gesundheitssystems zusammenarbeiten und sich untereinander vernetzen. Dadurch können digitale Services voll umfänglich angeboten werden. Gleichzeitig wird dadurch die **Komplexität**, die sich durch die vielen Stakeholder ergibt gesenkt.

Der erste Schritt für die Digitalisierung des Gesundheitswesens ist folglich das Einführen von offenen Standards, um Schnittstellen zu erzeugen. Dadurch wird die Zusammenarbeit intern, extern sowie mit dem Patienten vereinfacht und weitere Digitalisierungsschritte können eingeleitet bzw. weitere Herausforderungen können gemeistert werden [115].

10.3 Digitalisierung im Gesundheitswesen

Die Digitalisierung im Gesundheitswesen kann auch unter dem Begriff **eHealth** zusammengefasst werden. Unter dem Begriff eHealth versteht man den kostengünstigen und sicheren Einsatz von **IKT** um die allgemeine Gesundheit beziehungsweise gesundheitsbezogene Bereiche zu fördern. Der Begriff eHealth lässt sich in fünf verschiedene Bereiche unterteilen:

- **eCare** (Gesundheitsversorgung - z.B. Telemonitoring, Telekonsile)
- **eAdministration** (Administrative Prozesse - z.B. **eGK**², **ePA**³)
- **ePrevention** (Prävention - z.B. Altersgerechte Assistenzsysteme)
- **eResearch** (Forschung - z.B. Genforschung mittels **KI**)
- **eLearning** (Lehre - z.B. Blended Learning⁴)

Innerhalb der einzelnen Bereiche kommt es immer wieder zu Überschneidungen, weshalb sie nicht vollständig voneinander getrennt werden können.

Grundlage für die für das Zusammenwirken der verschiedenen Bereiche ist eine sichere **TI**⁵. Die ersten Weichen dafür wurden in Deutschland im Jahre 2015 durch das eHealth-Gesetz gestellt.

1 Generell bezeichnet **Konsolidierung** in den meisten Bereichen eine Erlangung von Stabilität oder das Zusammenfassen mehrerer Teile zu einem Ganzen [114].

2 **eGK** = elektronische Gesundheitskarte

3 **ePA** = elektronische Patientenakte

4 **Blended Learning**: von engl. blended = vermischt, didaktisches Konzept, das Online- und Präsenzanteile von Unterricht kombiniert.

5 Die Telematikinfrastruktur (**TI**) ist die Datenautobahn des Gesundheitswesens. Sie soll eine schnelle und sichere Kommunikation zwischen Ärzten, Psychotherapeuten, Krankenhäusern und anderen ermöglichen.

Es wird auch als Gesetz für sichere digitale Kommunikation und Anwendungen im Gesundheitswesen bezeichnet. Es befasst sich mit dem Aufbau einer sicheren Telematikinfrastruktur sowie der Einführung digitaler medizinischer Anwendungen.

Weitere Gesetze haben die Digitalisierung des Gesundheitswesens daraufhin weiter vorangetrieben. Einen großen Fortschritt brachte dann das, am 9. Juni 2021 in Kraft getretene, **DVPMG**¹. Es umfasst die Weiterentwicklung der TI sowie die Einführung der **ePA**² und der **E-Rezepte**.

Die Telematikinfrastruktur verbindet die verschiedenen Akteure (Krankenhäuser, Ärzte, Patienten und Krankenkassen) sowie die fünf verschiedenen Bereiche des eHealth miteinander.

In Deutschland ist folglich die Grundlage für ein digitales sowie modernes Gesundheitssystem geschaffen und es kann sich mit der Umsetzung beispielsweise innerhalb des Krankenhauses (Klinik 4.0) oder dem genauen Vorgehen mittels Telemedizin auseinandergesetzt werden.

Einsparmöglichkeiten in Deutschland

Bereits im Jahr 2018 hätten in Deutschland bis zu 34 Mrd.€ eingespart werden können, wenn das Gesundheitssystem bereits digitalisiert wäre. Dies entspricht etwa 12 Prozent der Gesamtkosten des deutschen Gesundheitssystems, welche sich absolut auf 290 Mrd.€ beläuft. Die Tendenz dieser Kosten ist aufgrund des demographischen Wandels steigend. Schätzungsweise um 4,5 Prozent wachsen die Kosten jährlich. Eine relativ neue Studie von McKinsey (Juni, 2022) bestätigt die etwa 12 % und beträgt mittlerweile **42 Mrd. Euro** Einsparpotential pro Jahr.

Es besteht nach wie vor dringender Handlungsbedarf die Kosten zu senken, um das Gesundheitssystem zukünftig finanziell absichern zu können.

In einer Studie des Unternehmens "McKinsey", wurde das Nutzenpotential der derzeit verfügbaren, 26 digitalen Gesundheitstechnologien identifiziert. Diese 26 Technologien wurden dafür in sechs verschiedene Kategorien eingeteilt:

- Papierlose Daten
- Onlineinteraktion
- Arbeitsabläufe/ Automatisierung
- Ergebnistransparenz/ Entscheidungsunterstützung
- Patientenselbstbehandlung
- Patient-Self-Service

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich der Abb. 10.2 "Nutzenpotential nach Digitalisierungsmaßnahmen" entnehmen.

Die drei Bereiche mit dem größten Einsparpotential sind die papierlose Daten, die Onlineinteraktion sowie die Arbeitsabläufe/ Automatisierung. Insgesamt lassen sich hier 24 Mrd.€ einsparen.

Der Bereich der **Papierlosen Daten** beinhaltet die **ePA**, die **E-Rezepte**, die krankenhausinterne Mitarbeiterkommunikation sowie die virtuellen Arztassistenten.

Die **Online-Interaktion** ist gleichzusetzen mit der Telemedizin. Die Technologien sind die Teleberatung, die Fernüberwachung chronisch kranker Patienten sowie die E-Triage.

1 **GSAV** = Gesetz zur digitalen Modernisierung von Versorgung und Pflege

2 **ePA** = elektronische Patienten Akte

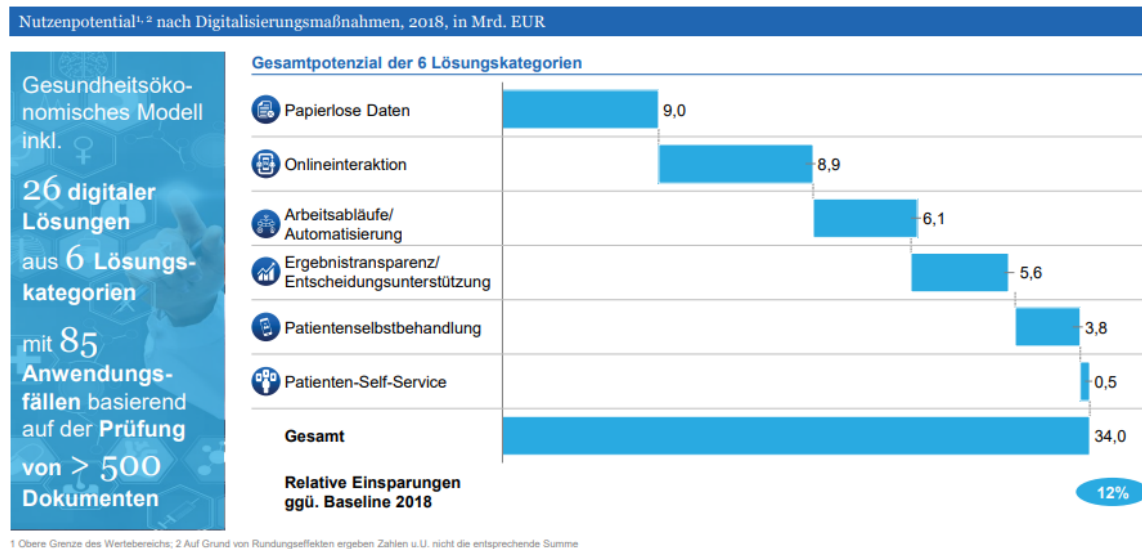


Bild 10.2: Nutzenpotential nach Digitalisierungsmaßnahmen

Die **Arbeitsabläufe/ Automatisierungen** umfassen größtenteils die Digitalisierung der Krankenhäuser (Klinik 4.0). Hierzu gehören die mobile Vernetzung des Pflegepersonals, die barcodebasierte Verabreichung von Medikamenten, das Tracking mittels **RFID**, die Überwachung von Vitalparametern, die Roboter für Krankengymnastik, die Automatisierung einfacher Prozessschritte sowie die elektronischen Überweisungen. Aber auch in den anderen Kategorien finden sich Parameter wieder, die sich der Klinik 4.0 zuordnen lassen. Hierzu zählen zum Beispiel die virtuellen Arztassistenten aus dem Bereich der papierlosen Daten. Von den 24 Mrd.€ Einsparpotential der drei größten Bereiche können allein durch digitalisierte Kliniken etwa 16 Mrd.€ eingespart werden.

Aufgrund der enormen Einsparpotentiale in den Bereichen **Klinik 4.0** und **Telemedizin** werden diese in den folgenden Kapiteln näher betrachtet und mit konkreten Anwendungsfällen dargestellt.

10.4 Digitalisierung im Krankenhaus (Klinik 4.0)

Mit der **Digitalisierung im Krankenhaus** oder auch **Klinik 4.0** genannt, wird die Einführung von vernetzten Technologien sowie der Kommunikation in Echtzeit bezeichnet.

Ein Blick auf die Geschichte zeigt die Veränderungen von der Klinik 1.0 bis hin zur Klinik 4.0:

- Klinik 1.0: Einführung neuer **Prozesse** (Anästhesie)
- Klinik 2.0: Einführung neuer **Technologien** (Röntgen)
- Klinik 3.0: Einführung von **informationsverarbeitenden und informationsspeichernden Maschinen**
- Klinik 4.0: Einführung **vernetzter Technologien** sowie die **Kommunikation in Echtzeit**

Das Ziel der Vernetzung des Krankenhauses ist, Informationen zum richtigen Zeitpunkt der richtigen Person bereitzustellen. Damit werden Entscheidungen erleichtert und die passenden Prozesse, als Reaktion auf ein Ereignis, eingeleitet.

Für den Grad der Digitalisierung eines Krankenhauses hat die **HIMSS**¹ das **EMRAM** entwickelt. Dieses Modell ist seit 2015 der weltweite Standard und unterteilt den Grad der Digitalisierung eines Krankenhauses in sieben verschiedene Stufen. Auf Stufe 0 sind nicht einmal die drei wichtigsten Systeme der Nebenabteilungen (Labor, Apotheke und Radiologie) installiert. Von der Stufe 1 bis zur Stufe 6 steigt der Grad der Digitalisierung immer weiter an. Auf siebten Stufe läuft das Krankenhaus dann fast komplett papierlos und alle Bereiche sind, soweit es der aktuelle Stand der Technik zulässt, automatisiert.

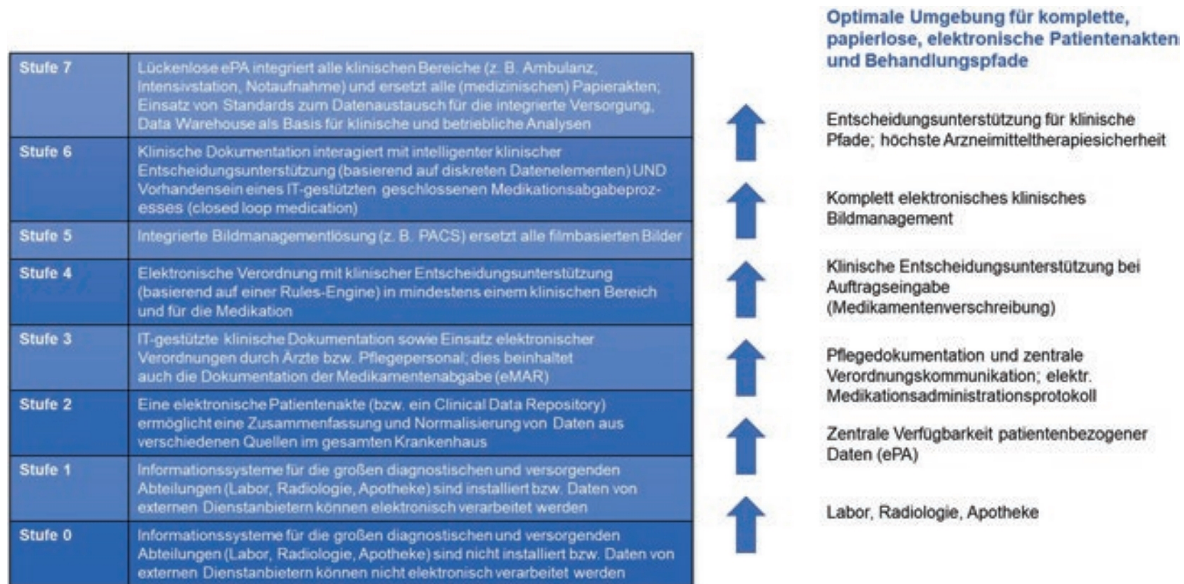


Bild 10.3: EMR Adoption Model (EMRAM), Reifegradmodell für die Digitalisierung von Krankenhäusern

Krankenhausbereiche:

Abbildung 10.4 zeigt die verschiedenen Bereiche eines Krankenhauses auf. In der Grafik ist eine räumliche Trennung der einzelnen Bereiche erkennbar. Die Trennung ist bei der aktuell vorherrschenden Klinik 3.0 auch aus technischer Sicht vorhanden.

Um den Schritt von der Klinik 3.0 hin zur Klinik 4.0 gehen zu können, müssen die einzelnen Bereiche miteinander in Echtzeit kommunizieren können. Auch in den einzelnen Bereichen selbst gibt es einige Ansätze, die entscheidend sind für eine Digitalisierung im Krankenhaus.

Mit der Digitalisierung des Krankenhauses werden die einzelnen Bereiche innerhalb der Klinik einer Veränderung unterzogen. Gleichzeitig entwickeln sich der Arzt, der Patient sowie die Forschung und Lehre weiter.

¹ **HIMSS** = Healthcare Information and Management Systems Society

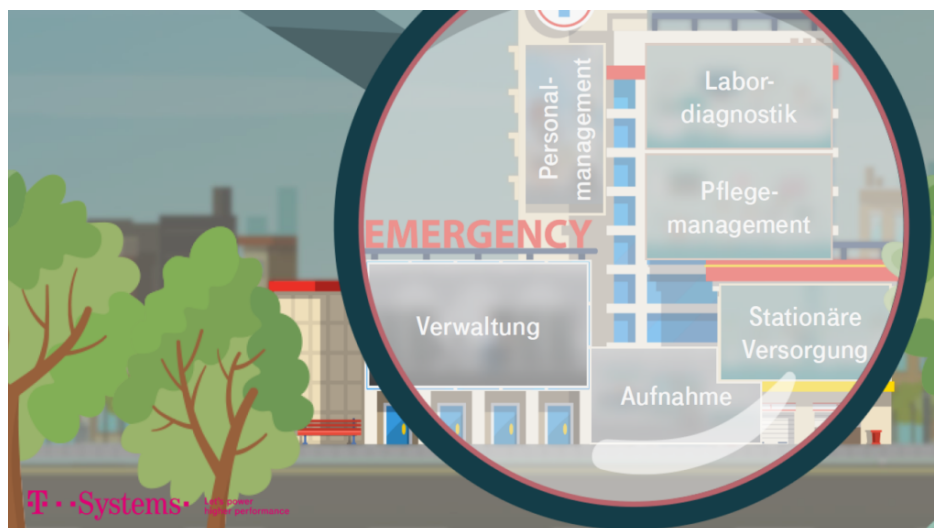


Bild 10.4: Krankenhausbereiche

10.5 Arzt 4.0

Durch die Vernetzung, der digitalisierten Klinik, entwickelt sich auch die Rolle der Ärzte weiter. In Zukunft wird es **Netzwerke** aus einer Vielzahl von Kliniken geben, die miteinander kooperieren. Verschiedene Kliniken behandeln verschiedene Schwerpunkte. Eine Kooperation dieser unterschiedlichen Schwerpunktkliniken bietet dem Patienten die bestmögliche Leistung.

Wird ein Patient mit Beschwerden eingeliefert, auf die die Klinik nicht spezialisiert ist, wird Kontakt mit der nächsten spezialisierten Klinik aufgenommen. Die Bilder des Patienten, aus dem **MRT**¹, **CT**² etc., werden an die spezialisierte Klinik übersendet. In einer **Video-konferenz** behandeln sowohl der Arzt des aktuellen, als auch der Arzt des spezialisierten Krankenhauses, den Patienten gemeinsam. In dieser Zusammenarbeit können die Ärzte über die Folgebehandlung urteilen. Es kann entschieden werden, ob der Patient im aktuellen Krankenhaus weiter behandelt werden kann oder ob er in die Spezialklinik verlegt werden muss. Ist eine Verlegung aufgrund des kritischen Zustands nicht möglich besteht die Option, dass ein Spezialist ins aktuelle Krankenhaus gerufen wird.

Auch Informationen über Vorerkrankungen, Medikamente etc. sind einfacher und schneller zugänglich. Durch die **Vernetzung** von Hausärzten, Fachärzten sowie Kliniken werden Informationen in Zukunft rund um die Uhr verfügbar sein. Informationslücken, Informationsbrüche sowie Zeitverluste durch lange Anamnesen oder Suchen nach Vorbefunde werden entfallen. Dem Arzt liegen sofort alle Informationen über den Patienten zur Hand und er kann sich dadurch schon vor der Einlieferung über seinen Patienten informieren. Dadurch wird wertvolle Zeit gewonnen und die Chancen für kritische Patienten steigen an.

Die Rolle des Arztes wird sich mit der Klinik 4.0 weg von einem Allgemeinmediziner, hin zu einem **Spezialisten** entwickeln. Er wird ein Teamplayer werden, der mit anderen Ärzten eng zusammen arbeitet. Dadurch wird eine optimale Versorgung der Patienten gewährleistet. Die Aufgabe des Hausarztes wird die des Teamleiters sein. Er wird seinem Patienten das bestmögliche Netzwerk an medizinischen Experten zusammenstellen und dieses dynamisch weiterentwickeln [116].

1 **MRT** = Magnetresonanztomographie / Kernspintomographie → Kontrastmittel Weichteile

2 **CT** = Computertomographie → Röntgen, 3D-Schnittbilder möglich

10.6 Pflege 4.0

Die Pflegekräfte eines Krankenhauses haben nicht nur die eigentliche Pflege zur Aufgabe, sondern auch viele bürokratische Arbeiten. Für die morgendlichen Visiten haben die Pflegekräfte häufig nur 20 - 30 Minuten Zeit, bis die ersten Operationen beginnen. Während dieser Visite werden die Wunden des Patienten begutachtet sowie der Behandlungsplan für den laufenden Tag festgelegt. Aufgrund der knappen Zeitbemessung werden diese Informationen meist nicht in das Krankenhausinformationssystem eingepflegt, sondern auf einem Zettel niedergeschrieben. Verschwindet dieser Zettel kann nicht nachvollzogen werden, ob bereits alle Punkte der Liste erledigt wurden. Hier können **mobile Dokumentationssysteme** Unterstützung leisten. Mit diesen haben alle Mitarbeiter eines Krankenhauses jederzeit einen Überblick über die wichtigsten Informationen des Patienten. Des Weiteren können To-Do-Listen erstellt werden, welche dann im Laufe des Tages abgearbeitet werden können. Die Gefahr des Datenverlustes wäre damit gebannt [116].

Häufig müssen Patienten oder Mitarbeiter lange gesucht werden, da der genaue Aufenthaltsort im Krankenhaus nicht bekannt ist. Dies kann vor allem dann geschehen, wenn Patienten selbstständig die Station, beispielsweise von der Notaufnahme zum MRT, wechseln müssen und sich dabei verlaufen. Andere Szenarien sind, das Aufsuchen der Cafeteria aufgrund von Besuchen oder Friseurterminen etc. Auch Ärzte, die spontan in den OP-Saal gerufen werden, werden manchmal lange gesucht. Abhilfe können hier **Ortungssysteme**, die mit Hilfe von RFID-Chips fungieren, schaffen. Dieser Prozess wird auch als **Tracking und Tracing** bezeichnet. Die RFID-Chips werden in Patientenarmbändern, an den Krankbetten oder auch an den Krankenhausobjekten angebracht. Damit lässt sich jederzeit der Standort von Verschwundenem bestimmen. Es wird Zeit gespart und die Prozesse effizienter gestaltet.

Neben mobilen Dokumentationssystemen und Ortungssystemen stellen **elektronische Order-Entry-Systeme** eine wichtige Veränderung in der Pflege dar. In einem solchen System werden Anforderungen und Anordnungen, z.B. für das Röntgen, elektronisch erfasst. Nach dem Röntgen erhält der Arzt, durch das klinische Informationssystem, die Röntgenbilder. Order-Entry-Systeme verknüpfen die unterschiedlichen Subsysteme eines Krankenhauses miteinander und sorgen so für einen ununterbrochenen Austausch von Informationen. Werden sie mit der Krankenhausapotheke verbunden, kann beispielsweise die Verfügbarkeit von Medikamenten geprüft und bei Bedarf direkt, automatisch nachbestellt werden. Eine Verbindung mit den weiter versorgenden Pflegediensten trägt zu einer schnelleren Umsetzung von organisatorischen bzw. strukturellen Maßnahmen nach dem Krankenhausaufenthalt bei. Rollstühle, Gehhilfen oder der Umbau der Wohnung des Patienten können vor dessen Entlassung bestellt bzw. veranlasst werden, sodass keine vermeidbaren Wartezeiten für den Patienten entstehen.

Ein weiterer Punkt, der zur Verbesserung des Pflegemanagements beiträgt wird als **Hospitality Entertainment** bezeichnet. Hierbei handelt es sich um eine Entertainmentstation in Form eines Tablets oder ähnlichem, das sich direkt am Krankenbett des Patienten befindet. Es können alle möglichen Streamingdienste genutzt werden, die der Unterhaltung dienen. Daneben können auch nicht medizinische Dienstleistungen des Krankenhauses in Anspruch genommen werden. Beispielsweise können Friseurbesuche geplant oder die Essensauswahl getroffen werden.

Der **Mobile Identity Access** dient dem Zugangsmanagement bzw. Zugriffsmanagement. Es handelt sich um ein zentrales, digitales Schlüsselmanagement, mit welchem die Zugriffe auf den Betäubungsmittelschrank oder andere kritische Bereiche überwacht und dokumentiert werden können. Dadurch wird ein Missbrauch der Medikamente verhindert.

Die **Pflegedokumentation via Sprach-Bot** erleichtert die täglichen Visiten der Pflegekräfte enorm. Mit Hilfe von Sprach-Bots können Dokumentationen erstellt werden, die dann

vollautomatisiert ins Krankenhausinformationssystem übernommen werden. Des Weiteren kann der Patient diesen Sprach-Bot als Assistenten nutzen. Ähnlich, wie beispielsweise Alexa, bietet dieser Sprach-Bot dem Patienten Entertainment Angebote sowie die Steuerung smarter Geräte an.

Der letzte Bereich im Pflegemanagement ist das **Hygienemanagement**. Hierbei kann mit Hilfe von Sensoren der Füllstand von Desinfektionsstationen überwacht werden. Des Weiteren werden Hygienemaßnahmen genau dokumentiert. Die IoT-Sensorik unterstützt, das Krankenhaus durchgehend sauber zu halten. Damit entlastet sie die Mitarbeiter des Krankenhauses weiter.

10.7 Krankenhausverwaltung 4.0

Zusätzlich zu den wertschöpfenden Kernprozessen müssen auch die unterstützenden Prozesse digitalisiert werden. Diese profitieren ebenfalls von der intelligenten Vernetzung innerhalb des Krankenhauses.

Bewerbungen, welche mittlerweile fast ausschließlich online eingereicht werden, können innerhalb weniger Sekunden an die richtige Station weitergeleitet werden. Die **Abwesenheitsplanung** wird aufgrund der elektronischen Urlaubsanträgen, Fortbildungsanträgen oder Krankmeldungen enorm erleichtert. Auch werden diese Anträge nach der Genehmigung des Vorgesetzten, voll automatisiert, an die entsprechenden Abteilungen weitergeleitet.

Momentan werden viele sensible Daten über nicht ausreichend geschützte Kanäle, wie beispielsweise WhatsApp übermittelt. Hier kann eine **Mitarbeiter-App** Abhilfe schaffen. Diese vereinfacht die Kommunikation innerhalb eines Krankenhauses und es werden Datenschutzbestimmungen eingehalten sowie die IT-Sicherheit gewährleistet.

10.8 Patient 4.0

Die Entwicklung zur Klinik 4.0 verändert nicht nur die Prozesse im Krankenhaus und die Rolle des Arztes, sondern auch die Rolle und Aufgaben des Patienten. Der Fokus bei der Digitalisierung sollte nicht nur auf den monetären Möglichkeiten, sondern vielmehr auf der **optimalen Versorgung der Patienten** liegen.

Die Abgrenzung von stationärer und ambulanter Versorgung verschwindet zunehmend. Telemedizinische Methoden bieten dem Patienten die Möglichkeit, von zuhause aus bzw. vom nächstgelegenen Krankenhaus die Kenntnisse von Experten in Anspruch zu nehmen. Durch **Home-Monitoring** sowie das Tragen von **Wearables** bleibt dem Patienten eine stationäre Behandlung unter Umständen erspart. Die benötigten Daten können von der Ferne erfasst werden und weitere Behandlungen können darauf basieren geplant werden.

Die **ePA** speichert alle Daten und Informationen an einer zentralen Stelle. So müssen beispielsweise Röntgenbilder nicht mehr von Arzt zu Arzt gesendet werden, sondern ein Zugriff ist jederzeit möglich. Dadurch erhält der Patient volle Kontrolle darüber, wer seine Krankheitsdaten einsehen kann.

Durch das **Hospitality Entertainment** kann der Patient Informationen über seine nächsten Termine und die behandelnden Ärzte abrufen oder online Termine zur Nachbehandlung vereinbaren.

Die Rolle des Patienten wandelt sich und der Patient wird selbst Herr seiner Selbst. Er ist aktiv in die Behandlung miteinbezogen und kann seinen Behandlungsverlauf selbst mitgestalten und mitverwalten. Dadurch erhält er zwar auch Verantwortungen, die er davor nicht hatte, aber dafür bieten sich ihm so all die beschriebenen Vorteile eines Digitalisierten Gesundheitssystems.

10.9 Forschung und Lehre 4.0

Die Weiterentwicklung der Medizin stellt einen enorm vorteilhaften Seiteneffekt der Digitalisierung der Krankenhäuser dar. Auch die Ausbildung neuer Ärzte wird erleichtert.

Durch das Nutzen von Krankenhaus übergreifenden **Videokonferenzsystemen** können Studenten virtuell an Operationen teilnehmen. **VR** sowie **AR** bieten die Möglichkeit, dass angehende Ärzte erste Operationen in einer Simulation üben. So können sie Erfahrungen sammeln, ohne dass Patienten gefährdet werden. Auch bereits erfahrene Ärzte können diese Techniken nutzen, um komplexe Operationen oder seltene Zwischenfälle zu trainieren.

Algorithmen, die auf **KI** oder **machine Learning** basieren, bringen die Forschung der Medizin voran. Um neue Kenntnisse über gewisse Krankheiten zu erlangen, werden große Mengen an Daten (**Big Data**) benötigt. Die für solche Algorithmen benötigten Daten liegen zwar häufig in den einzelnen Krankenhäusern vor, können aber nicht so einfach kombiniert werden. Durch eine Vernetzung der Krankenhäuser wäre diese Problem gebannt. Mit Hilfe von **Big Data Analytics** können diese Daten ausgewertet werden und neue Erkenntnisse erlangt werden. Diese Informationen dienen nicht nur der medizinischen Forschung, sondern unterstützen Ärzte in der Entscheidungsfindung für die individuelle Behandlung von beispielsweise Tumoren. Bei einer solchen Erkrankung gibt es eine Vielzahl von Behandlungsmöglichkeiten, weshalb die Auswahl der besten Option für den Arzt eine große Herausforderung darstellt.

Risikobetrachtung

Das größte Risiko sind **Computer-Viren**, welche die Daten manipulieren, unzugänglich machen oder veröffentlichen. Ein Ransomware-Virus z.B. verschlüsselt die Daten auf einer Festplatte und ein Zugriff kann erst nach Eingabe eines Passworts wieder erfolgen. Die Hacker verlangen für dieses Passwort in der Regel ein Lösegeld. Das Krankenhaus hat zwar die Möglichkeit ein Backup wiederherzustellen, dies nimmt jedoch eine Menge Zeit in Anspruch. Eine solche Situation kann extreme Auswirkungen haben. Es entstehen Schäden in Millionen Höhe, da im gesamten Krankenhaus kein Informationsaustausch mehr möglich ist. Des weiteren können in einem digitalisierten Krankenhaus, in solch einem Vorfall, keine Operationen stattfinden, was im schlimmsten Fall Menschenleben kosten kann. Die IT-Sicherheit spielt demnach eine entscheidende Rolle für die Klinik 4.0. Kann diese nicht gewährleistet werden, fehlt die Grundlage für eine Digitalisierung.

Ein ähnliches Thema ist der **Datenschutz**. Patienten bezogene Informationen dürfen keinesfalls an Unbefugte gelangen. Der Patient muss jederzeit vollständigen Zugriff auf seine eigenen Daten haben und die Gewissheit besitzen, dass die Daten tatsächlich nur die Personen erreichen, denen er es selbst gestattet.

Das führt zum nächsten Risiko, nämlich dem **Haftungsrisiko**. Fällt ein System aufgrund eines Cyberangriffs aus oder entscheidet die künstliche Intelligenz falsch über die weitere Behandlung und ein Menschenleben geht verloren, entstehen Unstimmigkeiten über Schuldzuweisungen und Haftung. Wer in einem solchen Fall haftet muss vor dem Einsatz modernster Technologien geklärt sein.

Zusammengefasst muss gesagt sein, dass die Risiken, die durch die Klinik 4.0 entstehen, eine große Bedrohung darstellen. Alle neue Risiken basieren hauptsächlich auf Software

Lösungen. Daher dürfen in der Entwicklung keine Kosten und Mühen gescheut werden, um jede Software so sicher und zuverlässig wie möglich zu gestalten. Wird diese Hürde gemeistert, bietet die Klinik 4.0 mehr Vorteile als Nachteile. Zeit und Kosten werden eingespart und vor allem wird die Patientenversorgung verbessert. Forschung und Lehre werden vorangebracht, was zu neuen medizinischen Erkenntnissen führen wird und die Sterblichkeit weiter sinken wird.

10.10 Telemedizin

Die Telemedizin lässt sich definieren als eine ärztliche Beratung über räumliche Distanz. Im Kontext von eHealth lässt sie sich dem Bereich eCare zuordnen. Es wird medizinische Unterstützung in den Bereichen Diagnostik, Therapie und Rehabilitation geboten. Dies geschieht durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien.

Die Telemedizin bietet einige Anwendungsmöglichkeiten, sowohl für den Informationsaustausch zwischen den Ärzten (doc2doc), als auch für die Kommunikation zwischen Arzt und Patient (doc2patient). Eine solche Betreuung kann einen Arzt jedoch nicht ersetzen, sondern ergänzt die Behandlung, um die Behandlungsqualität zu steigern. Die verschiedenen Szenarien können in drei Bereiche eingeteilt werden:

- Telekonsile
- Telemonitoring
- Teletherapie, Teleberatung und E-Triage

Bei **Telekonsilen** kommen mehrere Ärzte zusammen und tauschen sich über die weitere Behandlung von beispielsweise Patienten mit Tumoren aus. Der Aufbau eines solchen Telekonsils ist eine Kooperation gleichberechtigter Teilnehmer. Die Röntgenbilder liegen jedem Arzt, durch die intelligente Vernetzung der Krankenhäuser, zur Hand und gemeinsam bzw. im Optimalfall sogar mit Unterstützung der künstlichen Intelligenz kann die bestmögliche Behandlungsoption definiert werden.

Ein solches Szenario wird in Abbildung 10.5 "Telekonsil", veranschaulicht. Die Krankenschwester, welche die Vital-Parameter des Patienten abnimmt ist per Videokonferenz direkt mit dem Arzt und einem Spezialisten verbunden. Diese können sich bzw. Live-Parameter vor sich sehen. Gemeinsam kann in diesem Fall die beste Behandlungsstrategie entwickelt werden. Alle Informationen, die besprochen werden, können zentral beim Patienten und der Krankenschwester gedruckt und auf der ePA gespeichert werden.

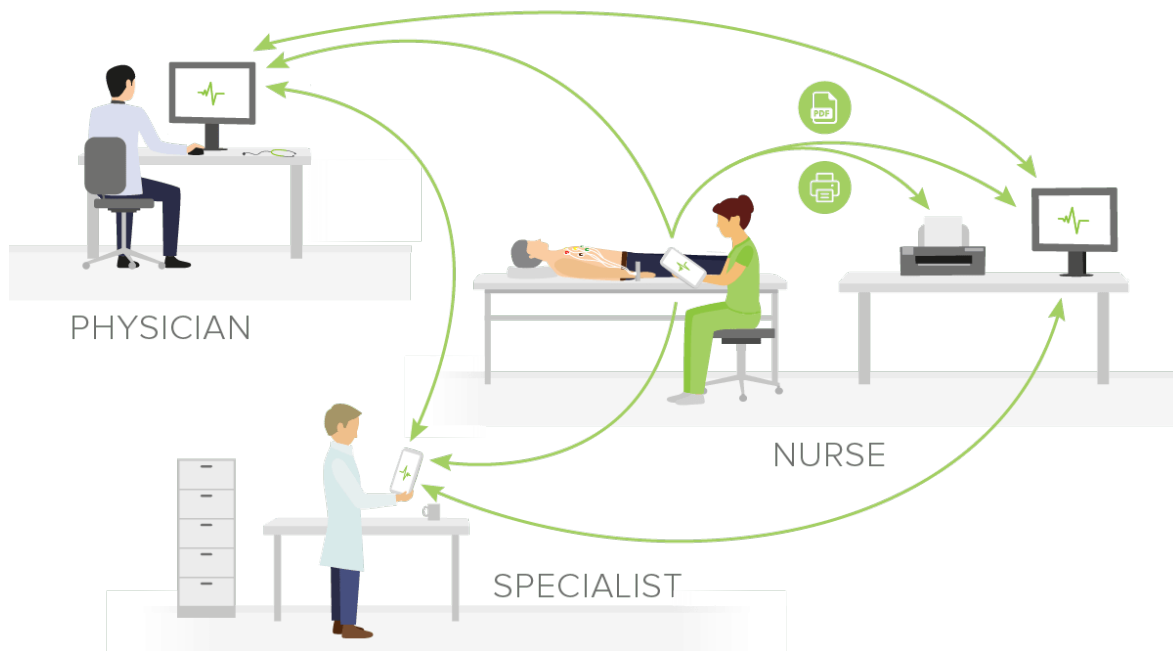


Bild 10.5: Telekonsil

Telemonitoring dient der kontinuierlichen Überwachung bestimmter Gesundheitsparameter des Patienten. Vor allem die Fernüberwachung chronisch kranker Patienten kann deren Leben erleichtern bzw. unter Umständen sogar retten. Hier unterstützen Wearables sowie Home-Monitoring, Veränderungen des Krankheitsstadiums oder Notfallsituationen rechtzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen einzuleiten [117].

Die **Teletherapie** kann bei psychischen Erkrankungen zum Einsatz kommen. Sprechstunden mit einem Psychiater können online abgehalten werden. Bei physischen Anliegen bietet die **Teleberatung** gute Chancen, Zeit und Geld einzusparen. Bei der Teleberatung findet eine doc2patient Interaktion statt. Diese Möglichkeit wird vor allem bei unkomplizierten Anliegen sowie bei Nachuntersuchung angewendet. Bei der **E-Triage** handelt es sich um ein Onlinetool oder Telefonservice, das die Patienten dabei unterstützt, abschätzen zu können, ob ein Krankenhausbesuch wirklich notwendig ist. Häufig können Beschwerden schon über die Ferne abgeklärt werden und das Krankenhaus wird dadurch entlastet.

Tele-Intensivmedizin

Die Tele-Intensivmedizin stellt mit der Kombination der zwei Bereiche Telekonsile und Telemonitoring einen eigenen Bereich der Telemedizin dar. Die Besonderheit bei der Tele-Intensivmedizin ist, dass ein Telekonsil, bei Bedarf, rund um die Uhr einberufen werden kann. Der Ablauf ist der gleiche, wie bei Abbildung 10.5 „Telekonsil“ bereits beschrieben. Der strukturelle Aufbau eines Telekonsils der Intensivmedizin kann entweder als **Hub-and-Spoke-Struktur** oder als **Kooperation gleichberechtigter Intensivstationen** erfolgen.

Die häufigste Art stellt die Hub-and-Spoke Struktur. In Abbildung 10.6 „Hub-and-Spoke-Struktur“, wird ein Schema eines solchen Aufbaus veranschaulicht. Den Kern der Hub-and-Spoke-Struktur bietet die Tele-Intensiv-Zentrale. Sie agiert als Videokonferenzeinheit und baut eine sichere Datenverbindung, beispielsweise über VPN-Server, auf. Sie ist auch für die Datenübertragung von Laborwerten, Bildern oder dem Monitoring verantwortlich. Des Weiteren ist sie für die elektronische Dokumentation zuständig. Die Teilnehmenden in diesem Bereich sind speziell ausgebildete Tele-Intensivmediziner sowie weitere Experten. Die Tele-Intensiv-Zentrale verbindet sich mit den unterschiedlichsten Krankenhäusern bzw. Partner-Intensivstationen.

Jede Partner-Intensivstation muss über eine mobile Video Konferenzeinheit verfügen, damit sie sich jederzeit mit der Tele-Intensiv-Zentrale verbinden kann. Die Partner-Intensivstationen sind die Orte, an denen die Patienten aufgenommen und behandelt werden. Ein Behandlungsteam, bestehend aus Ärzten und Pflegepersonal, ist hier unabhkömmlich. Dadurch ergibt sich ein 4-Augen-Prinzip für die Behandlung, durch welches Entscheidungen leichter und präziser getroffen werden können. Falls benötigt, können bei einer solchen Visite auch zusätzliche Spezialisten teilnehmen.

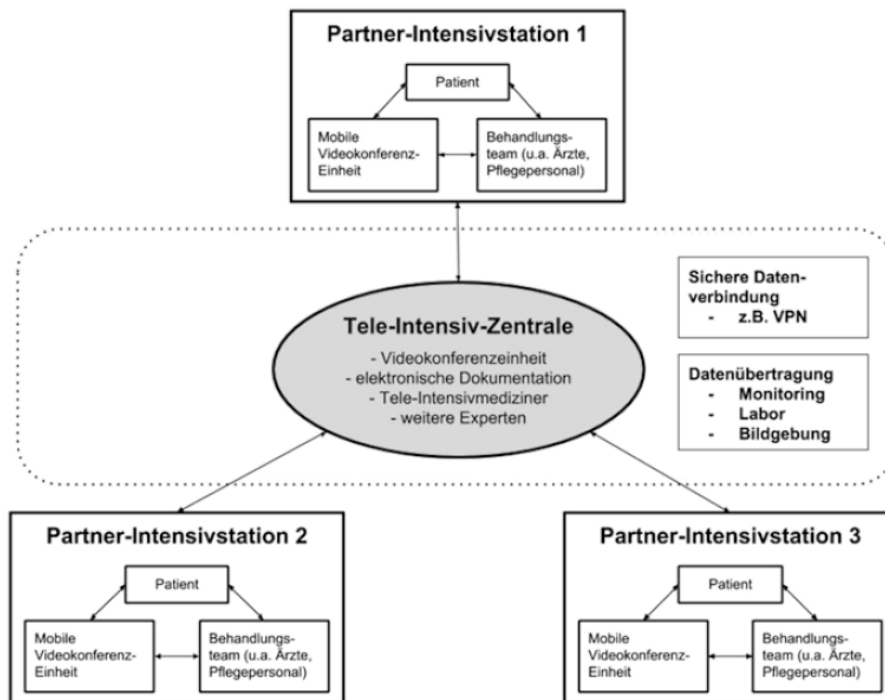


Bild 10.6: Hub-and-Spoke-Struktur

Effekte der Telemedizin

Die Telemedizin bietet eine Menge Vorteile und beeinflusst folgende Aspekte:

- Einfluss auf Sterblichkeit und Liegedauer
- Einfluss auf die Umsetzung von Behandlungsleitlinien
- Einfluss auf die Sepsissterblichkeit
- Algorithmen und Frühwarnsysteme
- Tele-Notfallmedizin
- Tele-Schlaganfall-Versorgung
- Smartphone Applikationen

Die Telemedizin bzw. Tele-Intensivmedizin nimmt einen positiven Einfluss auf die **Sterblichkeit und Liegedauer**. Aufgrund von:

- Häufigeren Besprechungen
- Früherer Analysen von klinischen Kennzahlen
- Höhere Therapietreue
- Schnellere Reaktion in Notfällen

wird die Sterblichkeit sowie die Liegedauer verringert. Des Weiteren müssen Patienten seltener verlegt werden. Dadurch werden Zeit und Kosten, die durch Transporte anfallen würden, eingespart und die Chance auf eine Heilung wird gesteigert.

Die Umsetzung der Behandlungsleitlinien wird ebenfalls positiv beeinflusst. Durch Telemedizin können Spezialisten von anderen Standorten hinzugezogen werden. Häufig wird ein Pharmakologe in die Behandlung mit eingebunden, welcher Missachtungen der Medikation schnell feststellen kann.

Etwa elf Prozent der rund 2 Millionen Menschen, die in Deutschland jährlich auf der Intensivstation landen, erkranken an einer schweren Sepsis (Blutvergiftung). Tritt eine Sepsis auf, gibt es genaue Vorgaben, zu welchem Zeitpunkt welche Maßnahme ergriffen werden muss. Werden diese Maßnahmen nicht eingeleitet, sind die Überlebenschancen für den Patienten relativ gering. Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt zur Zeit sehr unzuverlässig. Durch Tele-Visiten können die Maßnahmen effektiver umgesetzt werden und die Überlebenschancen für die Patienten steigen enorm an.

Durch **algorithmusbasierte Überwachungssysteme** können Fehlfunktionen von Organen frühzeitig erkannt werden. Ein unmittelbares Einleiten der entsprechenden Maßnahmen steigern die Überlebenschancen des Patienten signifikant. Telemedizinische **Frühwarnsysteme** werden überwiegend im ambulanten Bereich angewendet und ermöglichen den Patienten, ihr normales Leben fortsetzen zu können. Die nicht-invasiv gemessenen Vitalwerte werden kontinuierlich in einem Telemedizin-Zentrum überwacht. Veränderungen bzw. Auffälligkeiten dieser Daten werden frühzeitig erkannt und eine medizinische Betreuung kann beginnen.

Kommt es zu einem Rettungseinsatz kann die **Tele-Notfallmedizin** eine entscheidende Rolle spielen. Es werden alle Daten, die das Rettungsteam vor Ort erfasst, per mobiler Kommunikations- und Übertragungseinheit, an eine Telenotarzt-Zentrale weitergeleitet. Hier sitzt ein Telenotarzt, der in Echtzeit zum Unglücksort dazugeschaltet werden kann. Er erhält alle Vitaldaten sowie eine Live Videoübertragung. In nicht-lebensbedrohlichen Situationen kann der Telenotarzt das Rettungspersonal delegieren. In lebensbedrohlichen Situationen kann die Zeit, bis der Notarzt eintrifft, sinnvoll genutzt werden. Dadurch kommt es insgesamt zu einer Reduktion an Notarzteinsätzen und einer Entlastung des Gesundheitssystems.

Vor allem in ländlichen Regionen vergeht zu viel Zeit, ab dem Zeitpunkt eines Schlaganfalls bis zur richtigen Behandlung. Abhilfe schafft hier die **Tele-Schlaganfall-Versorgung**. Unmittelbar nach der Einlieferung eines Schlaganfall-Patienten wird ein Schlaganfall-Experte mit Hilfe einer telemedizinischen Methode hinzugezogen. Dieser kann dann, basierend auf seinem Fachwissen, die richtigen Behandlungsschritte sowie passende Therapie veranlassen, ohne direkt vor Ort sein zu müssen.

Letztendlich können auch **Smartphone-Applikationen** das Leben kranker Personen erleichtern. Nachuntersuchungen sollten nach abgeschlossener Behandlung zwar eine Selbstverständlichkeit sein, finden allerdings viel zu häufig nicht statt. Durch Smartphone-Applikationen können Patienten Symptome in der Nachzeit einer Behandlung elektronisch dokumentieren. Diese können vom Behandlungsteam und Spezialisten überwacht werden. Durch Einbindung einer Audio-Video-Konferenz kann der Kontakt aufrecht erhalten werden und die Behandlungsqualität insgesamt gesteigert werden.

Zusammengefasst kann man also sagen, dass die Telemedizin sowohl in der ambulanten Pflege chronisch kranker Patienten, als auch in Notfällen eine umfangreiche Unterstützung bietet. Die Behandlungsqualität wird gesteigert und die Überlebenschancen in besonders dringlichen Fällen wachsen enorm an. Aufgrund dessen müssen telemedizinische Anwendungen in Zukunft fokussiert und ausgebaut werden. Dafür müssen allerdings erst einmal die

Voraussetzung durch eine Vernetzung des Gesundheitssystem im Rahmen einer Klinik 4.0 erfolgen.

10.11 Zusammenfassung

Nach allen, nun dargestellten, Gesichtspunkten ist die Digitalisierung des Gesundheitssystems ein fester Bestandteil der medizinischen Zukunft. Der demographische Wandel sowie die steigende Lebenserwartung erzwingen eine Veränderung und stellen das Gesundheitssystem vor eine Menge Herausforderungen. Ein digitales Versorgungsnetz muss entwickelt werden und die Interoperabilität muss gewährleistet werden können. Papierdokumente müssen wegfallen und Systembrüche beseitigt werden. Alle Akteure des Gesundheitssystems müssen in Zukunft auf einer gemeinsamen Plattform (Telematikinfrastruktur) zusammenarbeiten. Nur so kann der Fachkräftemangel besiegt, die Kosten der Gesundheitsversorgung im Rahmen gehalten und eine Verbesserung der Versorgung der Patienten gewährleistet werden.

In Deutschland können jährlich circa 34. Mrd.€ durch ein digitalisiertes Gesundheitssystem eingespart werden. Die meisten Kosten können im Bereich einer modernisierten bzw. digitalisierten Klinik 4.0 sowie mittels Telemedizin eingespart werden.

In der Klinik 4.0 werden vernetzte Technologien eingeführt sowie die Kommunikation in Echtzeit ermöglicht. Damit werden sich alle Bereiche weiterentwickeln. Der Arzt wird seine Rolle als Allgemeinmediziner verlieren und eine Rolle in einem Team als Spezialist einnehmen. Von dem Patient wird mehr Verantwortung und Selbstständigkeit verlangt, dafür erhält er aber auch mehr Einfluss auf seinen Behandlungsprozess. Die Pflege wird durch mobile Dokumentationssysteme, Ortungssysteme, elektronische Order-Entry-Systeme, Hospitality Entertainment und weitere Systeme enorm entlastet. Die Verwaltung wird reibungsloser zwischen den einzelnen Abteilungen ablaufen. Die Forschung und die Lehre kann sich VR und AR zur Hilfe machen und damit Operationen sowie seltene Situationen proben. Mittels Algorithmen oder Machine Learning sowie Big Data Analysen werden neue Erkenntnisse erlangt werden und bisher unheilbare Krankheiten unter Kontrolle gebracht werden können.

Die Telemedizin nimmt mit Telekonsilen, Telemonitoring, Teletherapie, Teleberatung sowie der E-Triage einen positiven Einfluss auf viele Bereiche des Lebens. Beispielsweise werden Sterblichkeit und Liegedauer positiv beeinflusst. Menschen in ländlichen Regionen können dadurch schneller versorgt werden und Frühwarnsysteme steigern die Chancen für Risikopatienten.

Computer-Viren, Datenschutz sowie Haftungsrisiken stellen zwar neue Risiken dar, die es zu bewältigen gilt. Sind diese allerdings beseitigt blüht mit der Klinik 4.0 in Verbindung mit der Telemedizin eine aussichtsreiche Zukunft für ein besseres Leben.

KAPITEL 11

Digitale Verwaltung

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was unter digitaler Verwaltung verstanden wird
- ... welche Vor- und Nachteile die digitale Verwaltung mit sich bringt
- ... welche Herausforderungen in Deutschland bewältigt werden müssen
- ... welche Technologien dabei helfen und wie diese eingesetzt werden können
- ... wie ein vollständige digitale Verwaltung aussehen kann.

11.1 Einführung

In der Bevölkerung wächst das Verlangen nach digitalen Prozessen über den privatwirtschaftlichen Bereich hinaus hin zu digitalen Prozessen im staatlichen Bereich. Treiber dieser Affinität zur Digitalisierung im privatwirtschaftlichen Bereich sind die großen Techkonzerne, welche mit ihren einfachen, günstigen und nutzerfreundlichen Anwendungen und Produkten die Begeisterung zur Digitalisierung der Menschen entfacht haben, sei es durch Smartphones, Smartwatches oder die zahlreichen weiteren nützlichen Erfindungen wie beispielsweise ApplePay.

Zudem zeigte die Corona Krise eindrucksvoll, wie es um die digitale Vernetzung der deutschen Behörden bestellt ist und wie viel Arbeit in Bezug zur digitalen Verwaltung in Deutschland noch betrieben werden muss. Als gute Beispiele dienen hier die zahlreichen Corona Pannen, welche der breiten Masse der deutschen Bevölkerung in diesem Maße zuvor nicht bekannt waren. Darunter fällt zum Beispiel die Kontaktnachverfolgung von Personen, welche sich mit dem Coronavirus infiziert hatten. Hierbei haben Gesundheitsämter mit telefonischem Kontakt versucht, Infektionsketten nachzuverfolgen. Des weiteren gibt es das immer noch bestehende Problem, dass die deutschen Behörden es nicht geschafft haben eine Schnittstelle zu schaffen, bei welchen die Coronafallzahlen digital an eine Stelle gemeldet werden können, ohne sich dem sinnbildlichen technischen Stand der deutschen Behörden, dem Fax, bedienen zu müssen.

11.2 Definition

Unter der digitalen Verwaltung, auch E-Government genannt, wird die Vereinfachung von internen sowie externen Arbeitsabläufen in behördlichen Institutionen verstanden. Dabei wird diese Vereinfachung mithilfe von **IKT (Information und Kommunikationstechnologie)** erreicht. Der Einsatz dieser modernen IKT-Technologien soll einem den Zugang zu Dienstleistungen zukünftig auch **digital** ermöglichen. Bei den internen sowie externen Arbeitsabläufen kann zwischen vier verschiedenen Beziehungen unterschieden werden. Diese sind: [118]

Government to Government = G2G

Government to Citizen = G2C

Government to Business = G2B

Government to Employees = G2E

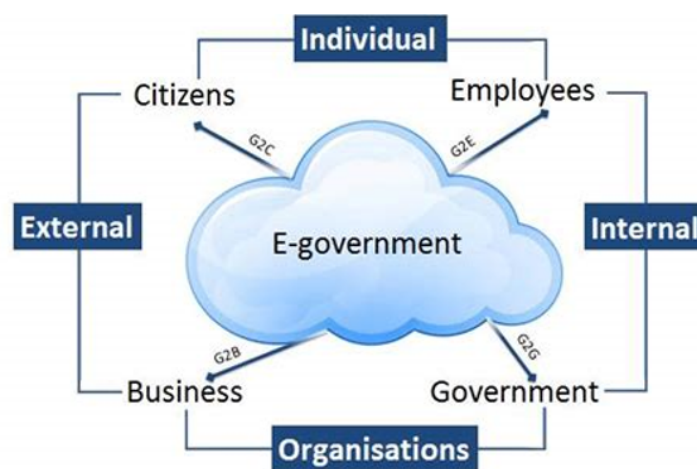


Bild 11.1: Die verschiedenen Beziehungen bei E-Government [119]

Die oben genannten Beziehungen zeigen, dass die digitale Transformation in den verschiedenen staatlichen Institutionen eine Vielzahl an neue Möglichkeiten für die unterschiedlichsten Interessengruppen wie Städte, Kommunen, Gemeinden sowie Unternehmen und Bürgern bietet. Behördliche Verwaltungsgänge werden für verschiedene Interessengruppen somit **einfacher, flexibler und transparenter**.

11.3 Gründe für die Digitalisierung sowie Vor und Nachteile

Aufgrund der privatwirtschaftlichen Digitalisierung und deren **Anspruch an den Wirtschaftsstandort Deutschland**, ist es aus Gründen der Attraktivität, welchen Deutschland als internationaler Industriestandort darstellen will, in ihrem eigenen Interesse, die Digitalisierung von Prozessen voranzutreiben. Nur so kann ein gesamtgesellschaftlicher Digitalisierungsprozess gelingen, wovon alle Interessengruppen voneinander profitieren können. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der Nutzung frei verfügbarer Möglichkeiten, welche von privatwirtschaftlichen Unternehmen zur Verfügung gestellt werden, zu nutzen, um **die Aufgaben besser, wirtschaftlicher und effizienter zu erfüllen**.

Die großen Vorteile des E-Government ergeben sich zum einen aus der **ständigen Verfügbarkeit der Dienstleistungen**, welche damit unabhängig von zeitlichen Einschränkungen abgerufen werden können, und zum anderen durch den Vorteil, dass zukünftig Ämter nicht

mehr persönlich aufgesucht werden müssen, sondern eine Abwicklung der Anträge online in vielen Fällen auch **in Echtzeit**, erfolgen kann.

Diese Vorteile beschränken sich nicht nur auf die Bedürfnisse der Bürger, sondern bieten auch für die Ämter zahlreiche positive Effekte, da hier für viele Routinearbeiten ein Einsatz von Fachpersonal eingespart werden kann und sich dieses Fachpersonal somit herausfordernden Tätigkeiten widmen kann. Ferner lassen sich elektronische Daten viel einfacher handhaben und speichern, wodurch sich Effizienzgewinne ergeben, welche zukünftig anderen städtischen Projekte zugute kommen können. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die dadurch entstehende Flexibilität, welche Einzug erhält. So können Unterlagen von Überall abgerufen werden, was ein Home Office auch bei der Verwaltung ermöglicht, was aus Gründen der Attraktivität des Arbeitsplatzes eine wichtige Rolle spielt, da Behörden mit privaten Unternehmen um qualifizierte Mitarbeiter konkurrieren. Alles in allem lässt sich festhalten dass sich ein **verschlankter, beschleunigter Prozess** einstellt.

Nachteile des E-Government bestehen hauptsächlich in **datenschutzrechtlichen Themen**, welche durch die Übermittlung der Informationen von Bürgern über das Internet erfolgen. Mit durchdachten Maßnahmen bezüglich der IT-Sicherheit kann hier dem Thema Datenschutz wirkungsvoll entgegnet werden. Zudem besteht der Nachteil der **nicht vollständigen Barrierefreiheit**, da für den Zugriff auf Online-Dienste bestimmte Kenntnisse von Nöten sind [120].

11.4 Gesetze

E-Government-Gesetz

Das E-Government-Gesetz wurde am 25 Juli 2013 erlassen und trat am 01. August 2013 in Kraft. Das Gesetz dient zur Förderung der elektronischen Verwaltung.

„Die Kernpunkte des Gesetzes stellen sich folgendermaßen dar: Artikel 1 ist das E-Government-Gesetz. Die wesentlichen Regelungen sind:

- Verpflichtung der Verwaltung zur Eröffnung eines elektronischen Kanals und zusätzlich der Bundesverwaltung zur Eröffnung eines De-Mail-Zugangs,
- Grundsätze der elektronischen Aktenführung und des ersetzenden Scannens,
- Erleichterung bei der Erbringung von elektronischen Nachweisen und der elektronischen Bezahlung in Verwaltungsverfahren,
- Erfüllung von Publikationspflichten durch elektronische Amts- und Verkündungsblätter,
- Verpflichtung zur Dokumentation und Analyse von Prozessen,
- Regelung zur Bereitstellung von maschinenlesbaren Datenbeständen durch die Verwaltung („open data“) [121]

Regierungsprogramm „Digitale Verwaltung 2020“

Das Regierungsprogramm „Digitale Verwaltung 2020“ wurde vom Bundeskabinett am 17 September 2014 verabschiedet und stellt eine Art **Handlungsleitfaden** zur Umsetzung des E-Government-Gesetz dar [122].

Online Zugang Gesetz

Das Online Zugang Gesetz, kurz OZG ist das zweite wichtige Gesetz in Deutschland, welches die Digitalisierung in den Behörden ermöglicht.

Das OZG ist ein am 18 August 2017 verabschiedetes Gesetz, welches den Zugang zu allen Verwaltungsdienstleistungen bis Ende 2022 garantieren soll. Dabei verpflichtet das Gesetz die behördlichen Beteiligten alle Verwaltungsleistungen auch elektronisch über das Behördenportal

zugänglich zu machen. Dabei gibt es nur für wenige Verwaltungsdienstleistungen, welche aus besonderen Gründen nicht digital zur Verfügung gestellt werden können, Ausnahmen. Diese Ausnahmen sind folgende:

citeVorteile

- „die faktische Unmöglichkeit (bspw. Leeren einer Mülltonne),
- die rechtliche Unmöglichkeit (z.B. die Ausstellung eines neuen Personalausweises, die gesetzlich die persönliche Inaugenscheinnahme des Antragstellers fordert) sowie
- die wirtschaftliche Unmöglichkeit nach dem Kosten-Nutzen-Kalkül (also etwa die Beantragung des Betrieb eines neuen Kernkraftwerks).“

Das **Bundesportal** ist ein Portal, in welchem zukünftig alle Verwaltungsdienstleistungen der deutschen Behörden abgebildet werden. Ferner kann nach Eingabe in der Suchmaske ein Status über den Digitalisierungsfortschritt der jeweiligen Dienstleistung ausgelesen werden. Hierbei wird die Information bereitgestellt, ob die Dienstleistung vollständig, teilweise oder gar nicht digitalisiert ausgeführt werden kann.



Bild 11.2: Startseite des Bundesportals [123]

Nachfolgend wird exemplarisch der Prozess für einen vollständig automatisierten Verwaltungsdienst dargestellt.



Bild 11.3: Prozess eines digitalen Dienstes

Wie in der Abbildung ersichtlich wurde, muss zunächst das Bundesportal aufgerufen werden. Anschließend kann der gewünschte Verwaltungsdienst in die Suchmaske eingegeben werden. Wenn dieser Dienst dann digital möglich ist, muss eine Anmeldung mithilfe des Personalausweis, welcher die E-Id Funktion freigeschaltet hat, erfolgen. Daraufhin kann der entsprechende Antrag ausgefüllt und abschließend abgesendet werden.

11.5 Anwendung bestehender Technologien im Staatsapparat

Da die Digitalisierung stetig voranschreitet und sich die Welt im laufenden Wandel befindet, gibt es auch im Bereich der Digitalisierung in der Verwaltung ständig neue Möglichkeiten und Technologien, welche in Zukunft implementiert werden können.

So befasst sich die Wissenschaft schon heute mit weiteren Ergänzungen zur Weiterentwicklung der digitalen Verwaltung. Dabei wird unter anderem der Begriff **Smart Government** genannt, was als zutreffend für die zukünftige Einbettung der Technologien in die digitale Verwaltung angesehen wird. Hierbei finden Technologien wie **Blockchain, Künstliche Intelligenz und Big Data Anwendung**.

Die nachfolgende Graphik illustriert und benennt die heute verfügbaren Technologien und zeigt Anwendungsbeispiele auf, wie diese im staatlichen Apparat genutzt werden können.

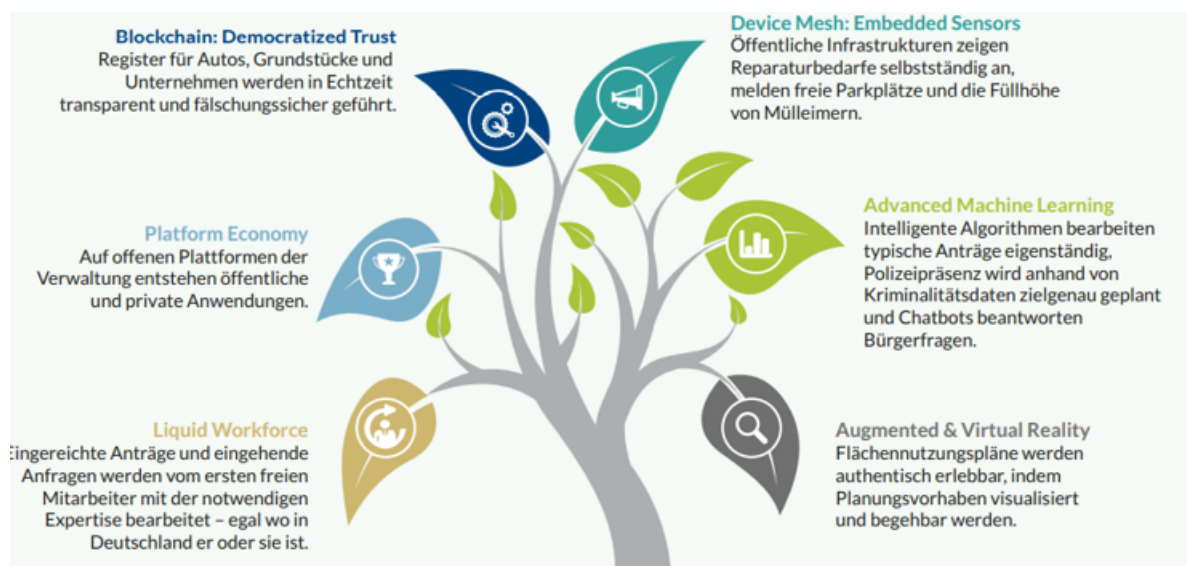


Bild 11.4: Technologien und ihre Anwendungsbereiche [124]

Diese Technologien werden nachfolgend mit ihren Anwendungsfeldern in der staatlichen Institution vorgestellt. Dabei sollen zum einen Möglichkeiten aufgezeigt werden, welche derzeit unberücksichtigt sind, zum anderen soll aktiv auf Anwendungsfelder eingegangen werden, welche derzeit bereits in der Umsetzung sind.

Eine der Technologien, welche sich die Verwaltung zu nutzen machen könnte, ist die **Blockchain Technologie**. Mit Blick auf die Aufgaben der Verwaltung lassen sich hierbei besonders zwei große Themenblöcke identifizieren. Einerseits spielt in der Prozesslandschaft der Verwaltung die Thematik der Beurkundungen sowie die diversen Registerführungen eine äußerst wichtige Rolle. Dabei geht es sowohl um die Pflege der Daten des Bürgers als auch um die Pflege von Daten des KFZ sowie der Grundstücke, welche alle die Organisation des gemeinschaftlichen Zusammenlebens möglich machen. Andererseits hält die Verwaltung die Rolle des fairen, objektiven und neutralen Intermediärs inne, welche mit ihrem Auftreten bestimmte

Vorgänge, bei welchen die Vertrauenswürdigkeit eine zentrale Rolle spielt, möglich macht. Hierfür entwickelte die Verwaltung über Jahrhunderte hinweg eine Vielzahl an Werkzeugen wie Urkunden, Siegel, Stempel, Zertifikate und Weiteres, um die Rechtssicherheit gegenüber allen zu wahren.

Hier kann die Blockchain Technologie eingreifen und die **Rolle der Verwaltung neu definieren**, da die Blockchain Technologie gerade dafür prädestiniert ist Daten neutral, unveränderbar und dezentral zu halten. Damit ist eine Ablösung der bestehenden Register und Beurkundungen möglich. Datenhaltung in der Blockchain, wie Personalausweise, Waffen- oder Kfz-Daten, Patientendaten sowie Geburtsurkunden und Grundbucheinträge werden möglich [125].

Argumented Reality kann zukünftig genutzt werden, um Planungsvorhaben zunächst virtuell begutachten zu können. Dabei können verschiedenste Blickwinkel eingenommen werden, die das natürliche Umfeld miteinbeziehen. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Vermessung von Objekten, welche mit Hilfe der VR-Brillen dem Anwender direkt die Maße einblendet [126].

Im Rahmen des Machine Learnings und der Künstlichen Intelligenz gibt es eine Vielzahl an Anwendungsfällen, welche mithilfe der neuen Technologie abgedeckt werden können. Verschiedene Möglichkeiten werden in der nachfolgenden Abbildung aufgezeigt.

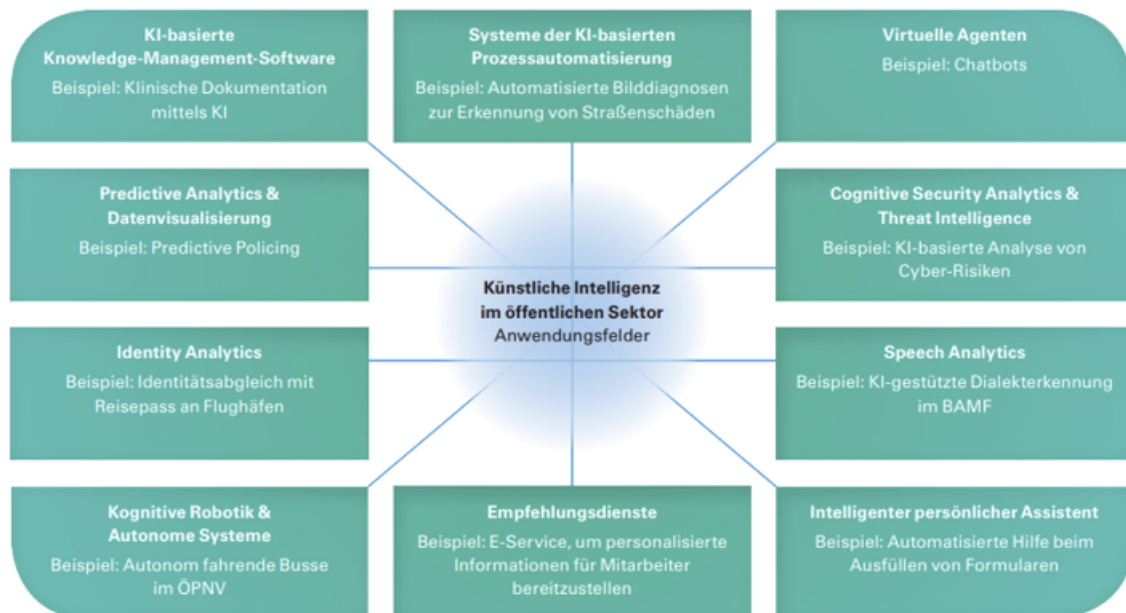


Bild 11.5: Anwendungsfelder künstlicher Intelligenz [127]

Die Technologie **Internet of Things** wird die Smart City Konzepte realisierbar machen, welche auf eine effiziente, technologische, nachhaltige, soziale und gerechte Stadt abzielen. Dabei sollen Embedded Sensors die zentrale Rolle spielen, welche mit ihren Daten aus der Umgebung zur intelligenten Steuerung der Stadt beitragen. Hierfür nehmen die Sensoren diverse Daten in den Straßen auf, beispielsweise die der Luftqualität oder der Umstand der leeren Straßen, welche die Straßenlaternen dann zum Abschalten bewegen, um Strom zu sparen. Des Weiteren werden schon heute Sensoren verwendet um Wasser und Windgefahren frühzeitig zu erkennen, damit entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können. Auch die Verkehrsmessungen auf den Autobahnen sind heute schon Realität und versuchen frühzeitig Gefahren sowie aufkommende Staus zu verhindern [128].

11.6 Herausforderungen

Um die Transformationspotentiale, welche die Digitalisierung in der deutschen Verwaltung bietet, heben zu können, bedarf es Entscheidungen, welche die Bremsen lösen.

Eine große **Herausforderung** stellt hier unser **föderales System** dar, nach welchem Deutschland organisiert ist. Da hier Innovationen oftmals nur im Kleinen gelingen und sich das Gesamtsystem nur wenig innovationsfähig zeigt.

Ein „Gemeinsames Handeln wird dadurch erschwert,

- dass politische Meinungsbildungsprozesse weitgehend entkoppelt und in versetzten Zyklen verlaufen,
- dass die Akteure in den Ressorts und IT-Stellen, in Kommunen, Ländern und Bund unterschiedliche Ziele verfolgen und
- dass die IT-Investitionsentscheidungen aus der Vergangenheit nachwirken, weil unterschiedliche Pfade beschritten wurden, die aufgrund von Lock-in-Effekten nur mühsam verlassen werden können.“¹

Diese Herausforderungen werden im nachfolgenden Schaubild nochmals graphisch illustriert und zeigen die **Trägheit**, mit welchem **der Ausbau der Digitalisierung in der Verwaltung in Deutschland erfolgt**.

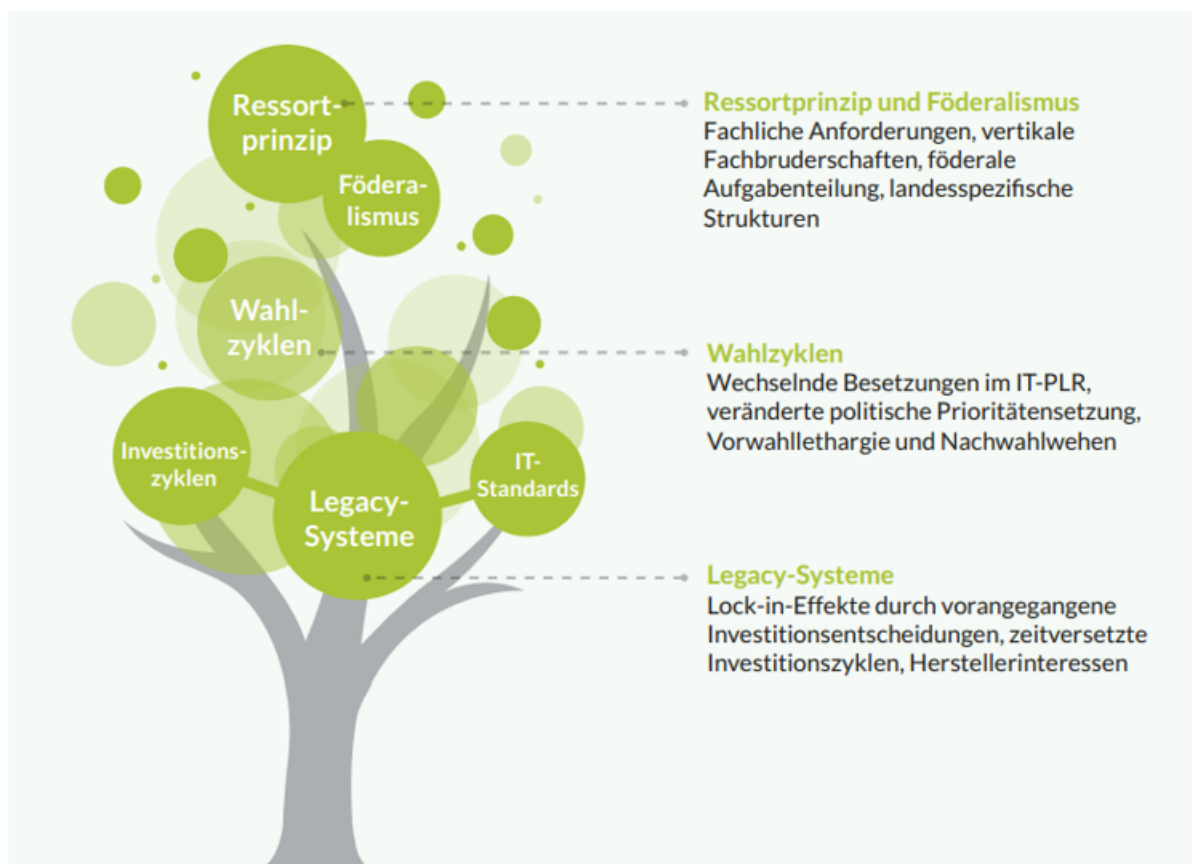


Bild 11.6: Herausforderungen föderales System [124]

Um die Digitalisierung in den Behörden konsequent mit Erfolg nach vorne zu treiben, bedarf es der Einhaltung einer Strategie. Zunächst muss ein **gemeinsamer Konsens** gefunden

¹ [124, Beck S. 21]

werden, anhand dem sich alle orientieren und ausrichten. Zudem muss ein gemeinsames Leitbild formuliert werden. Wenn diese erste Hürde genommen ist, kann der zweite Schritt der Empfehlungspyramide (Abbildung darunter) angewandt werden. Hierbei geht es darum, dass die Verwaltung sich offen für Innovationen zeigt, die Ideen der Stakeholder mit aufnimmt und die **Umsetzungsgeschwindigkeit** erhöht. Zudem müssen die Prozesse über bestehende Organisationsgrenzen hinweg genutzt werden können. Hierfür müssen einheitliche Schnittstellen und Standards geschaffen werden. Aufbauend darauf ist es notwendig, eine sichere Verwaltung sicherzustellen, so dass die Daten der Bürger verantwortungsvoll behandelt werden. Ferner muss es gelingen, die erhobenen Daten intelligent in die Entscheidung miteinzubeziehen. Das Fundament der Systematik der Digitalisierung bildet ein rechtlichen Rahmen, welcher entworfen werden muss. Die Gesetze welche in diesem rechtlichen Rahmen beschlossen werden bedarf es, um die Digitalisierung richtungweisend zu begleiten.



Bild 11.7: Empfehlungspyramide zur Umsetzung der digitalen Verwaltung

11.7 Beispiel eines vollständigen digitalen Staates

Im Folgenden soll anhand von Estland eine Möglichkeit der digitalen Verwaltung aufgezeigt werden.

In Estland ist ein digitaler Nachweis seiner Identität schon lange Standard. Anders als in Deutschland ersetzt der Personalausweis in Estland auch weitere Funktionen, wie die des Führerscheins oder die der Punktekarte in Supermärkten. Estland hat eine Möglichkeit geschaffen, wie eine digitale Unterschrift rechtsverbindlich möglich ist. Dafür benötigt es nur den Personalausweis und eine Pin, mit der sich eine digitale Signatur bilden lässt. Keine Dokumente müssen daher mehr von Hand unterzeichnet werden. Das System dahinter heißt **X-Road**. In Estland müssen alle Daten lediglich einmal einer Behörde zur Verfügung gestellt werden. Diese wiederum können dann auf die Daten der anderen Behörde zugreifen, wenn dies mit dem Datenschutz konform ist. Damit erhalten alle Behörden nur Zugriff zu Daten der Bürger mit denen sie arbeiten müssen. Der Vorteil des Bürgers ist dabei das **Once Only-Prinzip**. Jegliche Daten müssen nur einmal abgegeben werden, sodass bei Änderung der Anschrift dies nur einmal zu erfolgen hat.

Um das Vertrauen in den staatlichen Apparat zu fördern, hat Estland einen Zugang geschaffen, in welchem die Bürger nachschauen können, wer aus welchen Gründen welche Daten zu welchem Zeitpunkt abgerufen hat. Ferner können so die Informationen ausgelesen werden, welche Daten der Staat über einen besitzt.

Daten, welche das Einwohnermeldeamt in Estland nach der Geburt eines Kindes wissen muss werden direkt vom Krankenhaus übermittelt. Zudem bekommt man nach der Geburt direkt eine persönliche ID, mit der man identifizierbar ist. Staatsleistungen wie Kindergeld müssen damit nicht beantragt werden, sondern werden automatisch überwiesen. Zum Vergleich: in Deutschland muss die Geburtsurkunde mindestens dreimal postalisch an unterschiedliche Behörden verschickt werden. Nach Angaben der estländischen Regierung sind 99 Prozent der Verwaltungsvorgänge digital möglich. Lediglich Heiraten, Scheidungen und der Hauskauf geht noch nicht digital. Hierfür muss man selbst in Estland noch persönlich erscheinen¹.

¹ [124, Vgl. Beck S. 16 ff.]

Zum Abschluss soll die nachfolgende Abbildung eindrucksvoll zeigen, welche Themen und welche Handlungsfelder bei der Transformation hin zur digitalen Verwaltung in Deutschland beachtet und berücksichtigt werden müssen.

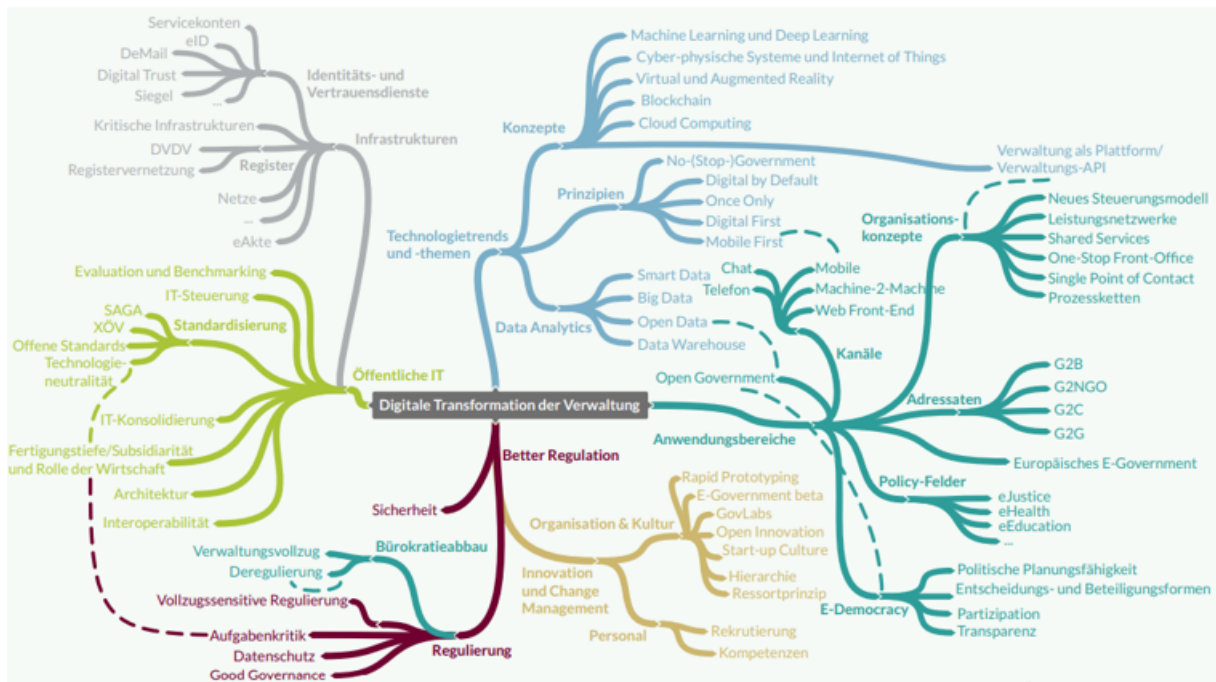


Bild 11.8: Handlungsbereiche der digitalen Transformation

11.8 Zusammenfassung

Bereits heute findet die digitale Verwaltung Anwendung, was anhand des Beispiels Estland aufgezeigt wurde. Die digitale Verwaltung wird sich über kurz oder lang auch in Deutschland durchsetzen, wobei hier deutlich wurde, dass in Deutschland einige grundlegende Konflikte noch gelöst werden müssen, bevor hier die gleichen Verwaltungsvorgänge anzutreffen sind, wie in Estland. Nichtsdestotrotz wurde aufgezeigt, welche Potentiale mit der digitalen Verwaltung in Deutschland gehoben werden können und wie es Deutschland als Industriestandort sichert. Die digitalen Verwaltungsprozesse versprechen eine viel schnellere, effizientere und kostengünstigere Alternative für Deutschland. Nicht nur dass in Zukunft damit eine erhebliche Anzahl an Stellen eingespart werden kann, nein auch der Vorteil, welche Bürger mit einem E-Government erhalten. Sie können zukünftige Behördengänge vermeiden und zu einem gewünschten Zeitpunkt vollziehen.

KAPITEL 12

Kulturdigitalisierung

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... was Digitalisierung in der Kunst bedeutet.
- ... wie Projekte zur Kulturdigitalisierung aussehen können.
- ... wie digitale Kunst aussehen kann.
- ... was der Fonds Digital ist.

Einführung

Die **Kulturdigitalisierung** beschreibt den Ansatz, die Kultur in möglichst allen Bereichen, wie z. B. Musik, Schauspiel und Kunstwerke zu digitalisieren. Da dies sämtliche Aspekte in der Kultur umfasst, ist dies ein auch sehr weitläufiges Thema. Es reicht von Digitalisierung bei Kunstwerken über neue Möglichkeiten bei den Konzepten für Kultureinrichtungen bis hin zu digital erstellter Kunst. Aktuell ist bereits eine Vielzahl an Projekten, die sich mit der Digitalisierung in allen Aspekten beschäftigen, im Gange und täglich kommen neue hinzu. Dieses Kapitel gibt einen ersten Einblick in die Kulturdigitalisierung und einige im Zuge dessen entstandener Projekte.

Dabei werden zuerst bereits umgesetzte Projekte und Kunstformen vorgestellt, danach folgt eine kurze Beschreibung der Kulturstiftung des Bundes und warum diese so wichtig für die Förderung digitaler Kultur ist. Das ganze wird mit dem Förderprogramm Kultur Digital abgeschlossen. Hier wird beschrieben, wie Projekte in Zukunft gefördert und umgesetzt werden.

12.1 Projekte

In diesem Kapitel werden unterschiedliche Projekte vorgestellt, um das Thema Kulturdigitalisierung greifbarer zu machen, sowie nochmals die verschiedenen Aspekte und Möglichkeiten der Digitalisierung hervorzuheben. Allgemein lassen sich die Projekte in drei künstlerische Bereiche einteilen:

1. Digitalisierung von Kunstinstitutionen
2. digitalisierte Kunstwerke
3. Digitalisierung von Musik- und Theaterinszenierungen

12.1.1 Digitalisierung von Kunstinstitutionen

Das **Museum als Co-Labor** fällt unter die Kategorie "Digitalisierung von Kulturinstitutionen. Beim Museum als Co-Labor setzen sich die Projektpartner dafür ein, dass durch das Kreieren von digitalen Anwendungen die archäologische Praxis und Kompetenz auf einem neuen Weg vermittelt wird. Museen werden durch einen Beirat bei der Konzeption **digitaler Serious Games**¹ und Entwicklung digitaler Installationen für die verschiedenen Häuser unterstützt. In Game Jams und Workshops entwickeln die Teilnehmer digitale und interaktive Formate mit und testen diese. Beim Testen experimentiert man mit Techniken wie:

- Augmented Reality (AR)
- Mixed Reality Brillen
- LiDAR-Scanning ²
- Photogrammetrie

Im Vordergrund steht das kollaborative, prozessorientierte und co-kreative Arbeiten. Das erklärte Ziel dieses Projektes "Museum als Co-Labor" ist es, digitale Anwendungen langfristig in die Ausstellungspraxis zu implementieren und dadurch den Wandel der Museen hin zu Co-Laboren nachhaltig zu gestalten. Unterstützt werden die Einrichtungen durch Expert von Digital-, Marketing- und Beratungsagenturen, die nicht nur technisches Wissen mitbringen, sondern auch das Arbeiten mit agilen und digitalen Methoden schulen. Die junge Generation ist künftig für den Erhalt und die Weiterverbreitung von Geschichte und Kultur zuständig, jedoch stellt sich dabei die Frage wie dies funktionieren soll, wenn der Umgang mit Geschichte und Kultur fehlt?

Das **Museum als Co-Labor** stellt sich genau diesen Fragen, denn es ist den Teilnehmern schon lange bewusst:

Digitalisierung ist nicht mehr die Zukunft, sondern schon längst Gegenwart!

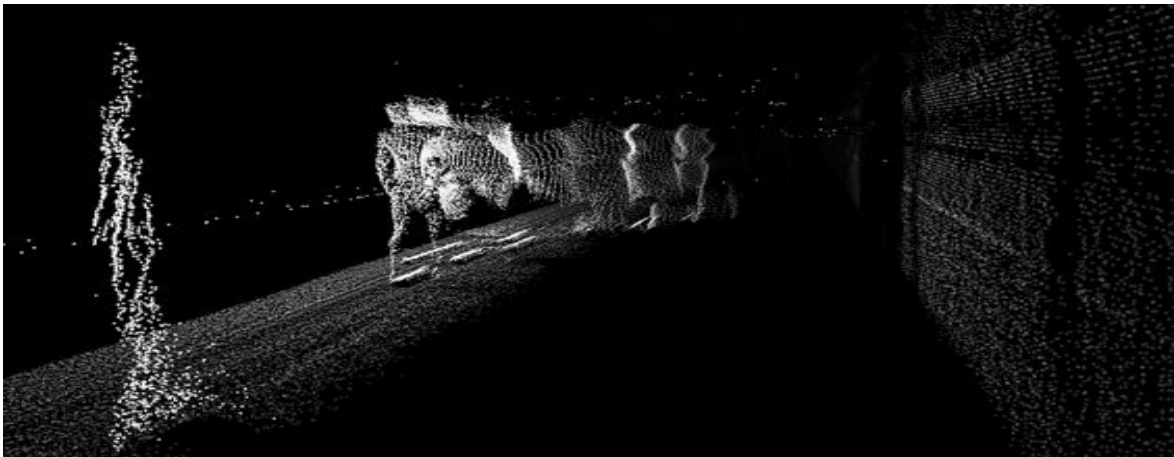


Bild 12.1: Mithilfe der LiDar-Technologie gescannter Innenraum eines Museums

1 Es handelt sich um Spiele, die in einer hard- und softwarebasierten virtuellen Umgebung stattfinden und das Lernen spezifischer und erwünschter Inhalte anregen wollen.

2 Form eines dreidimensionalen Laserscannings zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, sowie zur Fernmessung atmosphärischer Parameter

12.1.2 Digitale Kunst

Die digitale Kunst lässt sich von verschiedenen Blickwinkeln betrachten. Diese lassen sich in folgende fünf Punkte kategorisieren:

1. historische Sicht
2. Kunstgattung
3. Informatik
4. Videospiele
5. Computer als Werkzeug

Bei der digitalen Kunst aus **historischer Sicht** tastet man sich zurück in die Geschichte des Computers und darüber hinaus in die Geschichte der Maschine im Dienst der Kunst.

Aus Sicht der **Kunstgattung** kann man digitale Kunst in allen Bereichen finden. Es gibt sie in der bildenden Kunst, sowie in der darstellenden Kunst als auch in Literatur und Musik.

Der Aspekt der Wissenschaftsdisziplin **Informatik** geht die digitale Kunst über viele Bereiche, es reicht von dem Spektrum der Digitalisierung über Digital humanities bis hin zu Datenarchivierung. Einen besonderen Fall der digitalen Kunst aus Betrachtung der Informatiksicht sind **Videospiele**. Hier werden ganze Welten und Landschaften geschaffen, die in verschiedensten Designs und Darstellungsmöglichkeiten abgebildet werden.



Bild 12.2: Hier sieht man einen Ausschnitt aus dem Spiel Ghost of Tsushima, welches den Game Developer Choice Award in der Kategorie visuelle Gestaltung gewann

Die letzte Betrachtungssicht ist der **Computer als Werkzeug**. Hier sticht besonders die vielfältige Einsatzmöglichkeit in der Kunst heraus. Die Maschine ist zugleich auch ein adäquates Mittel um Kunst **zeitgerecht** zu machen.

Bei digitaler Kunst fällt es auf, dass es für sie eine erstaunlich geringe Sichtbarkeit in Museen, Archiven sowie in künstlerischen Diskussionen gibt.

NFT-Kunst

Bei sogenannten **NFTs** (non fungible Tokens) handelt es sich um nicht ersetzbare Tokens. Das bedeutet, dass ein NFT nach seinem Erwerb nicht mehr für den selben Preis verkauft werden kann. Er verhält sich wie ein Investment, dessen Wert sich je nach Marktlage sinkt oder steigt.

Bei einem NFT handelt es sich um ein rein **digitales Gut**, welches nur im digitalen Universum existiert. Für den Erwerber bedeutet dies, dass man ein NFT lediglich besitzen kann. NFTs können jegliche digitale Datei sein. Sie reichen von Kunstwerken, Artikel, Musik bis hin zu Memes¹.

Der Boom für NFT-Kunst begann ca. im April/ Mai 2021. Seit diesem Zeitpunkt sind gerade auf Plattformen wie TikTok, Twitter und Instagram Suchbegriffe die sich mit NFTs auseinandersetzen im Trend. Hierbei stellt sich berechtigterweise die Frage: „Welchen Einfluss wird die digitale Art des Kunstverkaufs auf Kreative und die Branche haben?“ Was man jetzt schon sagen kann ist, dass es sich bei NFTs längst nicht mehr nur um einen **Hype**, sondern viel mehr um einen länger **anhaltenden Trend** handeln wird.

Mit NFTs gibt es erstmals die Chance, digitale Inhalte zu besitzen. Davor hat man lediglich digitale Inhalte wie Lieder heruntergeladen oder Bilder versendet, ohne dabei Eigentümer über diese Inhalte zu werden. Das hat sich mit NFTs grundlegend geändert. Künstler können nun frei entscheiden, ob sie ihre NFTs verleihen, verkaufen oder sogar ausstellen möchten. Es entwickelt sich im **digitalen Raum** eine Umwelt, die sich immer mehr an die **Realität angleicht**.

Um NFTs **legal** besitzen zu können, müssen diese zuerst mithilfe einer **Block Chain** geminted bzw. zu einem **Token** gemacht werden. Der Vorteil, der Blockchain besteht darin, dass sie sehr gut vor **Hackerangriffen geschützt ist**. Das kann gerade bei Rückverfolgung des Urheberrechts sehr wichtig sein, da man nur sehr schwer Falschinformationen einspielen kann. Vereinfacht lässt sich sagen, dass ein digitales Kunstwerk **ausschließlich dem Künstler gehört**, sofern er es geminted hat. Aktuell wird allerdings die Rechtslage zum Besitz von digitalen Kunstwerken nochmals überprüft.

Das Handeln von digitaler Kunst ermöglicht Künstlern einen neuen Weg Kunstwerke zu kategorisieren und auch mit ihrer Arbeit Geld zu verdienen. Das Ziel dieser Art der Kunstverbreitung ist, aus Sicht des Künstlers, eine sehr **schnelle und einfache** Möglichkeit Werke zu produzieren und deren Früchte zu ernten. Der große Vorteil, der sich daraus ergibt ist, dass man nicht mehr auf Zahlungen der Kunden warten, keine Dateien für den Druck vorbereiten und auf Feedback bezüglich Anpassungen vom Kunden warten muss.

Außerdem gibt es auf NFTs **Lizenzgebühren** die vom Ersteller erhoben werden. Sie betragen meistens **8-10 Prozent**, wenn das Werk in Zukunft **weiterverkauft** wird. Die allgemeine Gefahr beim Handel mit Digitaler Kunst ist, dass der Wert von ihr nur auf Cryptowährungen basiert. Wenn also die Cryptowährungen über einen langen Zeitraum sinken, dann sinkt gleichzeitig auch der Wert von NFTs und Cryptokunstwerken. Die Cryptowährung in welcher gehandelt wird, nennt sich **Ethereum**².

Um die Dimensionen des NFT-Handels besser einordnen zu können, sind hier ein paar Beispiele für die aktuell teuersten NFTs:

- Platz 1: **Everyday the First 5000 Days**
- Platz 2: **CryptoPunk #7523**
- Platz 3: **CryptoPunk #3100**

1 Hierbei handelt es sich um kreative Inhalte, meist Bilder oder kurze Videos, die sich vorwiegend im Internet verbreiten. Der Inhalt ist meistens humoristisch und aufheiternd, manchmal auch gesellschaftskritisch und satirisch

2 Es handelt sich um ein quelloffenes verteiltes System, welches Anlegen, Verwalten und Ausführen von dezentralen Programmen bzw. Kontrakten in einer eigenen Blockchain anbietet. Es ist somit ein Gegenentwurf zur klassischen Client-Server-Architektur

- Platz 4: **Crossroad**
- Platz 5: **erste Twitternachricht**

Ende des Jahres 2021 wurde die **40 Milliarden US-Dollar** Marke auf dem NFT Markt geknackt. Im März 2021 wurde das bislang **teuerste NFT Kunstwerk** mit einem Preis von **69,3 Millionen USD** verkauft. Mit dem Titel **”Everyday: the First 5000 Days”**. Das Kunstwerk zeigt eine Zusammenstellung der ersten 5000 digitalen Kunstwerken von Beeple. Das besondere an dem Kunstwerk ist, dass der Künstler Beeple schon 2007 begann, digitale Kunstwerke zu kreieren. Seit diesem Tag hat er jeden Tag ein neues Kunstwerk kreiert und diese in dem Werk: ”Everyday: the first 5000 Days” zusammengeführt. Die Zusammenstellung beinhaltet verschiedene Stile, Inhalte und Medien. Die ersten Kunstwerke waren definitiv nicht auf der Höhe der Zeit, aber durch die Gesamtkonzeption stieg der Wert des Kunstwerks rasant an.



Bild 12.3: In diesem Bild des Kunstwerks ”Everyday the first 5000 Days” erkennt man sehr gut die einzelnen 5000 Elemente des Gesamtwerks

Bei dem zweit teuersten NFT handelt es sich um den **”CryptoPunk #7523”**. Es stellt ein verpixeltes Portrait einer fiktiven Figur dar. Passend zur Pandemie trägt er eine OP-Maske und steigert den Hype um Blockchain Produkte weiter.

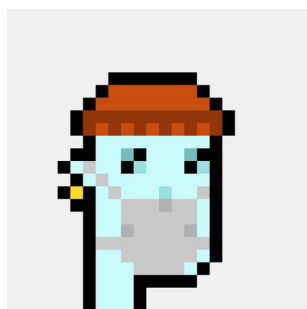


Bild 12.4: CryptoPunk #7523 mit seiner OP-Maske

Platz drei belegt ebenfalls einen CryptoPunk. Dieses Kunstwerk hat den Titel **”CryptoPunk #3100”**. Ob dieser in Zukunft der teuerste seiner Art wird, ist bis jetzt noch unklar. Der jetzige Besitzer hofft seinen Punk für **91 Mio USD** weiterverkaufen zu können. Somit würde er nicht nur zum teuersten seiner Art, sondern sogar zum **teuersten NFT überhaupt werden**.

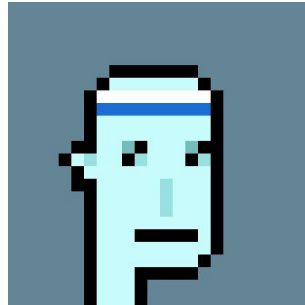


Bild 12.5: CryptoPunk #3100, der einmal Rekordsummen einbringen soll

Das Video **”Crossroad”** wurde für **6,66 Mio USD** erworben und ist somit das viert teuerste NFT. Wenn man genauer Hinsicht, erkennt man einen deutlichen **Seitenhieb** gegen den amerikanischen Ex-Präsidenten **Donald Trump**. In dem Video laufen Spaziergänger an einem überdimensionalen, gefallenen Donald Trump vorbei, welcher mit Beleidigungen versehen wurde. Das besondere an diesem NFT ist, dass es sich am Wahlkampf in Amerika orientiert hat. Wäre die Wahl zu Gunsten Trumps ausgefallen, hätte das NFT eine Gestalt, die Trump mit **Krone zeigt, wie er durch eine Hölle geht**.



Bild 12.6: Bei dem Bild handelt es sich um einen Ausschnitt des 10 sekündigen Videos **”Crossroad”**

Das fünfte und letzte NFT in dieser Liste ist die **erste Twitter Nachricht, welche jemals geschrieben wurde**. Sie besteht gerade einmal aus den Wörtern **„Ich richte gerade Twtr ein”**. Diese Worte verkaufte Twitter Chef **Jack Dorsey** für **2,9 Mio USD**. Der Erlös dieser Auktion spendete er für arme Menschen in Ostafrika. Die Resonanz aus der Firmenwelt

folgte sofort. Der Geschäftsführer von **Bridge Oracle**, ein Startup das sich mit Blockchain Technologien beschäftigt, Sina Estavi, meinte dazu: „Ich denke, Jahre später werden die Leute den wahren Wert dieses Tweets erkennen, wie das Gemälde der Mona Lisa“



Bild 12.7: Jack Dorsey, Gründer von Twitter mit dem ersten Tweet überhaupt

12.1.3 Digitalisierung von Musik- und Theaterinszenierungen

Das Theater versteht sich schon immer als Ort der Reflexion über Politik und Gesellschaft. Wie sieht das jedoch im digitalen Zeitalter aus? Kann mittlerweile auch der Cyberspace als Ort für Theater genutzt werden? Sind die Formen, wie sie das Netz ausgebildet hat überhaupt für die Institution Theater nutzbar? Seit 2013 wird im Kontext der **Konferenz Theater und Netz** diskutiert und untersucht, was die Folgen der Digitalisierung für das Theater sind. Themen der jährlichen Diskussionen sind beispielsweise:

- Plattform oder Player? Politische Kunst und neuer Aktivismus
- Digitale Bühnen des Extremismus
- Behauptungsmaschinen: Fake, Fakten und Fiktionen
- Vom Publikum zur Community
- Die Innovationsschraube

In der 14. Ausgabe von **Netztheater** ist beschrieben, wie sich durch die Coronapandemie Hierarchien auflösen, neue Workflows entstehen und die Mitarbeiter durch Datenströme verbunden sind. Zu dieser Zeit schien es, als würde das Theater in seiner klassischen Form aussetzen, bis die Corona Pandemie vorbei ist. Nach der Meinung einiger Theaterschaffenden sei dies die bessere Lösung, als ein "schlechtes Fernsehen" auf der eigenen Internetseite anzubieten.

Für das Burgtheater aus Österreich war das Aussetzen jedoch keine Option. Aus dem Wunsch, den Kontakt zu ihrem Publikum aufrecht zu erhalten entstand die Serie **#MyHomeIsMy-Burgtheater**. In dieser Serie filmten sich Mitglieder des Ensembles, wie sie **selbstgewählte Texte**, die an einem Punkt ihres Lebens wichtig wurden oder sie schon lange begleiten, vorlasen. Diese Serie erreichte allein auf Facebook in kürzester Zeit **50.000** Menschen. Das Ziel des Burgtheaters war es, mithilfe des Alternativprogramms die Kundenbindung und Dienstleistung aufrecht zu erhalten.

Die große Gefahr dabei bestand darin, dass zu diesem Zeitpunkt das Internet von ästhetisch anspruchsloser selbst gefilmter Äußerungen unterzugehen. Um dem entgegen zu wirken, entstand die Serie **Wiener Stimmung**. Sie hat den künstlerischen Anspruch deutlich verstärkt indem sie 22 dotierte Aufträge an österreichische Künstler/-innen vergaben. Diese hielten jeweils 10-minütige Monologe, die mit einem kleinen Team (meist nur Tontechniker und Kameramann) krisenbedingt via Videokonferenz filmisch umgesetzt wurden. Dies führte dazu, dass die **Spielpläne** des Burgtheaters durch **online Kalender** ersetzt wurden. Das Programm wurde zudem ausgeweitet. Die angebotenen Formate waren u. a. Streams, Lesungen, Spielanleitungen, Zoom-Workshops. Alles stand unter dem Motto **Theater ohne Theater**. Hierbei entstand der Twitter Aufruf **#vorstellungsänderung**. Die Idee dahinter ist, dass Personen eine Vorstellung erzählen, die nur in ihrer Fantasie existiert. In kürzester Zeit wurden unter diesem Hashtag 3000 Tweets zu einer **kollektiven Erzählung eines Theaterabends** verfasst wurden. Das besondere hierbei ist, dass das Theater weder inhaltlich Themen vorgibt, noch in das Geschehen eingreift. Mithilfe des Twitter Algorithmus landet der Hashtag in Deutschland und Österreich in den Trends. Die Ankündigung des fiktiven Theaters entspricht den konventionellen Mindestanforderungen:

1. Titel
2. Genre
3. personale Setting

Da die Kunstform Theater sehr komplex ist, verfolgt **#vorstellungsänderung** einem sehr vereinfachten und extrem reduzierten Ansatz: gemeinsames Spiel, gemeinsame Imagination und Kreation, sowie traditionelle Mechanismen. Alle Teilnehmer erkennen die konventionelle Anordnung eines **abendlichen Besuchs** an. Die Freiheit, welche vom Theater gewährt wurde,

führt dazu, dass sich die Beteiligten der Serie sich in folgenden Aspekten damit auseinandersetzen:

- Handlung
- Stück
- Implikationen
- Abgleich zum Bühnengefühl
- Anforderungen an die Unterhaltung und den Sinn
- emotionale Beteiligung

Die Serie **#vorstellungsänderung** ist ein einmaliges Experiment im Spannungsfeld von Kunst und Kreativität gegenüber den Möglichkeiten der Quantifizierung und Kommerzialisierung. Das Ziel ist es, theatrale Vorstellungen nicht nur auf einer Bühne im klassischen Sinne zu haben, sondern viel mehr neue Formen von Theatralität in anderen als den angestammten Räumen mit sozialen Beschränkungen zu erspielen. Dabei stellt sich die Frage:

„Ist der Gedanke, dass Theater in getrennten Räumen stattfindet, schon längst passé?“

12.2 Kulturstiftung des Bundes

Um im weiteren Verlauf dieses Kapitels das Förderprogramm **Kultur Digital** besser verstehen zu können, muss zuerst einmal die Bedeutung der Kulturstiftung des Bundes hervorgehoben werden. Hierbei handelt es sich um eine Stiftung, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, innovative Programme und Projekte im internationalen Kontext zu fördern. Dafür steht ihr ein Jahresetat von 35 Mio. € zur Verfügung. Dieses hat die Kulturstiftung des Bundes seit 2002 dafür genutzt, um rund 4.000 Projekte aus dem Bereich Gegenwartskultur zu fördern. Im Zentrum des Vorhabens stehen neben der Kunstförderung auch der kulturelle Austausch und die grenzüberschreitende Zusammenarbeit. Diese kann in folgende drei Punkte untergliedert werden:

1. allgemeine Projektförderung
2. Programmförderung
3. kulturelle Leuchttürme

In der **allgemeinen Projektförderung** werden Vorhaben ohne Eingrenzung nach Sparten (Kunst, Musik, Theater, etc.) mit bis zu 10 Mio € gefördert. Kulturschaffende können zweimal im Jahr diese Fördergelder für ihre Projekte beantragen und im Idealfall auch in Anspruch nehmen. Die Förderung und finanzielle Unterstützung bezieht sich hierbei meist auf große **internationale und innovative Projekte** z. B. DOMiDLabs, Jupiter - Darstellende Künste für junges Publikum und Kultur Digital.

Die **Programmförderung** läuft parallel zur allgemeinen Projektförderung. Der Unterschied besteht darin, dass bei der Programmförderung **eigene Schwerpunkte** gesetzt werden. Dies können beispielsweise aus den folgenden Bereichen kommen:

- Klima
- Digitalisierung
- Strukturwandel
- Diversität

In die Kategorie Programmförderung gehört auch das Förderprogramm **Kultur Digital** auf welches im folgenden Kapitel näher eingegangen wird.

Der letzte Punkt, welche durch die Kulturstiftung des Bundes gefördert wird, sind die sog. **kulturellen Leuchttürme**. Hierbei erhalten ausgewählte Kulturinstitutionen und international renommierte Festivals eine mehrjährige Förderung. Durch diese Förderung erhalten sie in aller erster Linie eine mehrjährige Planungssicherheit. Unter diese Förderung fallen beispielsweise:

- die documenta in Kassel
- die Donaueschinger Musiktage
- das Berliner Theatertreffen
- der World Cinema Fund
- der Tanzkongress
- ...

12.3 Kultur Digital

Bei Kultur Digital handelt es sich um ein Förderprogramm, welches Kultureinrichtungen unterstützt, digitale Möglichkeiten und Herausforderungen selbstbestimmt und gemeinwohlorientiert mitzugestalten. Allerdings haben bisher erst wenige Einrichtungen digitale Konzepte und Angebote erarbeitet und die Institutionen in diese Richtung weiterentwickelt. Gründe hierfür sind das Fehlen von fachlichem Know-How um die hochdynamischen Techniken zu beurteilen und zu nutzen. Das Förderprogramm Kultur Digital bezieht sich in erster Linie auf Projekte, die noch nicht umgesetzt wurden, bzw. die sich in der Initialisierungsphase befinden. Somit unterscheiden sich die hier vorgestellten Projekte von den Projekten aus dem vorherigen Kapitel.

Das dreiteilige Programm **Kultur Digital** verfolgt grundsätzlich einen **Open-Access, Open-Source und Open-Content** Ansatz.

Bestandteile dieses Programms sind:

- Fonds Digital
- Kultur Hackathon Coding da Vinci
- Akademie für Theater und Digitalität

12.3.1 Fonds Digital

Der **Fonds Digital** ist ein Zusammenschluss von Kultureinrichtungen aller künstlerischen Sparten. Er richtet sich an öffentliche Kultureinrichtungen, welche bereits digitale Strategien entwickelt und digitale Angebote erprobt haben. Der Fonds Digital soll Kulturinstitutionen ermöglichen ihre Veränderungsprozesse auszubauen und mit Hilfe von neuen digitalen Ästhetiken und Profilierung ihre Häuser voranzubringen.

Geförderte Projekte kommen aus den Bereichen **digitales Kuratieren, digitale künstlerische Produktion, digitale Vermittlung und Kommunikation**. Der projektbezogene Verbund besteht immer aus jeweils zwei Kultureinrichtungen und einem digitalen Partner, die bei der Umsetzung der bereits entwickelten Konzepten unterstützen soll. Der Partner hilft, neue digitale Kompetenzen anzueignen, welche die Kultureinrichtungen zusammen mit neuen Inhalten austauschen und in öffentlichen Netzwerken veröffentlichen. Um diese Institutionen

und Verbände zu begleiten, sind regelmäßige **Digital Labs**¹, sowie Kolloquien, internationale Exkursionen und Fortbildungen geplant. Insgesamt stehen dem Fonds Digital 15,8 Mio € zur Verfügung.

Vom Fonds Digital ausgeschlossene Vorhaben sind welche, die sich ausschließlich auf die Digitalisierung von Sammlungsbeständen abzielen.



Bild 12.8: Der Soundgraph 3.0 entstand aus einem der Projekte des Fonds digital, er visualisiert ein digital komponiertes Stück

12.3.2 Kultur-Hackathon Coding da Vinci

Der **Kultur-Hackathon Coding da Vinci** soll Institutionen motivieren, Kulturdaten mit Möglichkeiten digitaler Technologien für die Öffentlichkeit aufzubereiten. Dabei handelt es sich um ein Veranstaltungsformat, welches darauf eingeht, Angebote offener und frei zugänglicher Kulturdaten weiter auszubauen.

Coding da Vinci unterstützt nicht nur die **digitale Transformation**, sondern schafft darüber hinaus attraktive Angebote für die Netzgemeinschaft, sich mit Kultur(-daten) schöpferisch auseinanderzusetzen. Die Kulturstiftung unterstützt acht Ausgaben des Kultur-Hackathons und kooperiert hierzu mit den Gründerinstitutionen von Coding da Vinci.

Darüber hinaus gibt es Stipendien, welche die Teilnehmer bei Ideen, die im Hackathon entstanden sind, zu unterstützen. Inhalt dieser Stipendien sind neben 1.250€/Monat die Teilnahme an Coachings und Workshops um neue Skills im Hinblick auf ihre Projekte zu erlernen und gegebenenfalls weiter zu vermitteln.

Allgemein ist der Hackathon ein **gemeinsames Projekt** der Deutschen Digitalen Biblio-

¹ Akademien, die von der Kulturstiftung des Bundes veranstaltet werden um Institutionen fachlich zu begleiten und den gemeinsamen Austausch zu befördern.

thek, Forschungs- und Kompetenzzentrums Digitalisierung, Open Knowledge Foundation Deutschland und Wikimedia Deutschland.

12.3.3 Theater und Digitalität

Hierbei handelt es sich um das dritte Programm innerhalb von Kultur Digital. Im Zeitraum 2019-2022 werden 54 Künstlerstipendien vergeben, welche für jeweils fünf Monate an der Akademie für Theater und Digitalität an dem Theater in Dortmund.

Hierdurch entsteht erstmals für Theater in Deutschland ein Ort der digitalen künstlerischen Forschung, Kooperation und der Aus- und Weiterbildung des künstlerischen und technischen Personals.

Einzelne Forschungsstipendien werden mit bis zu 1 Million € gefördert. Insgesamt steht ein Budget von 18 Mio € zur Verfügung.

Zwei Projektbeispiele für Theater und Digitalität sind:

1. **Das House-Reinventing the Real**
2. **UnBoxing Stages-digitale Praxis im Theater**

Das House-Reinventing the Real

Hierbei handelt es sich um ein Virtual Reality Theaterprojekt, das sich mit den Fragen beschäftigt: „Ob und wie digitale Räume von Theatern bespielt werden können?“ sowie die Frage :„Wie funktionieren theatrales Erzählen und Ko-Präsenz in virtuellen Landschaften?“. „Das House“ lädt in atmosphärische und rätselhafte Zwischenwelten ein, welche aus neuen sowie bestehenden 3D-Scans aufgebaut sind. Darüber hinaus gibt es 3D-gescannte Avatare von Mitwirkenden. Mittlerweile gibt es sogar schon zwei Episoden dieses Projekts: „Das House 0.1“, sowie „Das House 0.2“.

Ob sich allerdings diese Art der Inszenierung eines Theaters durchsetzen kann, wird sich erst in Zukunft weisen.

UnBoxing Stages-digitale Praxis im Theater

Hierbei handelt es sich um eine Kooperation des Theatertreffens, der Akademie für Theater und Digitalität und der Initiative Digitale Dramaturgie im Rahmen von Theater virtuell. Durch die Coronapandemie sind Theater gezwungen, von ihrem typischen Arbeitsalltag abzuweichen. „Theater im Netz“ waren anfangs eine Notlösung, jedoch stellte sich heraus, dass darin gewaltige Potenziale und Möglichkeiten versteckt liegen. Mithilfe neuer Ästhetiken und neuen Erzählweisen lässt sich ein neues Publikum begeistern. Jedoch stellen sich auch hier wichtige Fragen für die Zukunft:

- Wie geht man sinnvoll mit Theater im Netz um?
- Welche Risiken und Potentiale verbergen sich hinter dieser Initiative?
- Wie gelingt eine nachhaltige Auseinandersetzung mit Theater im Netz und digitalen Technologien?
- Welche Ästhetiken, Formen der Interaktion und Präsentations-Modi sind auf dem Vormarsch?
- Welches technische Know-How ist für eine nachhaltig erfolgreiche Inszenierung nötig?

Mit all diesen und noch weiteren Fragen beschäftigt sich das Forschungsprojekt: "UnBoxing Stages-digitale Praxis im Theater" und lädt zum Austausch über Theaterformen im und über das Netz ein.

Vorgegangen wird dabei über drei **Paneldiskussionen**, bei denen alle benötigten Parteien vertreten sind. Des weiteren gibt es die "**Lange Nacht der Tutorials**" bei der Experten und Expertinnen eine Reihe von 60 minütigen Hands-On-Vorträgen halten und ihr handwerkliches Wissen über die Kombination Netz und Theater teilen.

12.4 Zusammenfassung

Zum Abschluss dieses Kapitels gibt es nochmal die wichtigsten Informationen zum Thema **Kulturdigitalisierung** auf einen Blick. In puncto konkrete Projekte rund um das Thema Kulturdigitalisierung gibt es beispielsweise "**Museum als Co-Labor**", bei denen durch die Kreation digitaler Anwendungen die archäologische Praxis und Kompetenz auf einem neuen Weg vermittelt wird. Dabei werden neue Technologien wie beispielsweise LiDAR-Scanning eingesetzt. Im Bereich **Digitale Kunst** darf die ganze Thematik **NFT** nicht fehlen. Dabei handelt es sich um rein digitales Gut, das man nur über das mining mithilfe der Blockchain besitzen kann. Die NFTs sind bei Künstlern sehr beliebt, da sie eine schnelle und einfache Möglichkeit darstellen, an ihrer Kunst Geld zu verdienen. Die Währung bei NFTs nennt sich **Ethereum**.

Bei der **Digitalisierung von Musik- und Theaterinszenierungen** gibt es seit 2013 die Konferenz "Theater und Netz". Diese beschäftigt sich mit dem Thema wie kann ich das Theater in Zukunft digital gestalten. Unter den Hashtags "**#MyHomeIsMyBurgtheater**" und "**#vorstellungsänderung**" gab es hierzu schon erfolgreiche Versuche. Auf langfristige Sicht stellt sich die Frage: **Ist der Gedanke Theater in getrennten Räumen stattfinden zu lassen, schon längst passé?**

Beim Förderprogramm Kultur Digital gibt es nur wenige Einrichtungen. Das liegt unter anderem daran, dass es noch sehr wenig Konzepte und Angebote in diese Richtung gibt. Erschwerend kommt dazu, dass die Institutionen in diese Richtung nicht weit genug entwickelt sind.

Kultur Digital verfolgt drei Ansätze: Open-Source, Open-Access und Open-Content. Die grundlegenden Bestandteile des Programms sind: "Kultur Digital", "Kultur Hackathon Coding da Vinci" und "Akademie für Theater und Digitalität".

Der **Fonds Digital** ist ein Zusammenschluss von Museen, Theatern, Opern und Gedenkstätten. Die Projektteams im Fonds Digital bestehen aus **zwei Kultureinrichtungen mit jeweils einem digitalen Partner**. Geförderte Projekte stammen aus Bereichen wie: digitales Kuratieren, digitale künstlerische Produktion, digitale Vermittlung und Kommunikation. Um diese Projekte zu begleiten gibt es regelmäßige "Digital Labs", Kolloquien, internationale Exkursionen und Fortbildungen.

Der **Kultur-Hackathon Coding da Vinci** soll dazu motivieren, Kulturdaten mit Möglichkeiten digitaler Technologien für die Öffentlichkeit aufzubereiten. Neben der digitalen Transformation soll er attraktive Angebote für die Netzgemeinschaft schaffen, sich mit Kultur(-daten) sich schöpferisch auseinander zu setzen.

Bei **Theater und Digitalität** gibt es 54 Künstlerstipendien, an der Akademie für Theater und Digitalität. Dabei entsteht erstmals für deutsche Theater ein Ort der digitalen künstlerischen Forschung, Kooperation und Aus- bzw. Weiterbildung.

KAPITEL 13

Cloud-Computing

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... wie Cloud-Computing grundsätzlich funktioniert.
- ... welche Modelle des Cloud-Computing auf dem Markt verfügbar sind.
- ... wie Cloud-Computing technische realisiert wird.
- ... welche Vor- und Nachteile das Cloud-Computing bietet.

13.1 Grundkonzept von Cloud-Computing

Der stetig wachsende Bedarf an IT-Infrastruktur der Industrieunternehmen, welcher durch die Digitalisierung hervorgerufen wurde, hat den Lösungsansatz des Cloud-Computing (dt. Rechner- bzw. Datenwolke) hervorgebracht. Hierbei handelt es sich um eine Infrastruktur, die Unternehmen die Möglichkeit bietet, Software, Speicherkapazität und Rechenleistung kundenspezifisch, ortsunabhängig und auf Abruf (eng. on demand) über das Internet zu beziehen. Abgerechnet werden dabei der Funktionsumfang, die Nutzungsdauer und die Anzahl der Nutzer. Die Bedeutsamkeit einer flexiblen und skalierbaren Hard- und Softwareinfrastruktur hat sich vor allem im letzten Jahrzehnt herausgestellt. Nicht umsonst nutzen, laut einer repräsentativen Umfrage von Bitkom Research, zwei von drei Unternehmen in Deutschland zwischenzeitlich diese Technologie [129].

Jedoch setzt eine Inanspruchnahme von Cloud-Diensten zwingend eine Breitbandverbindung voraus, welche so schnell ist, dass es keinen Unterschied mehr macht ob die Daten lokal oder in der Cloud gespeichert sind. Im privaten Bereich ist die Nutzung also auch an die Marktversorgung mit DSL oder LTE Verbindungen gekoppelt. Grundsätzlich richtet sich jedoch der Bandbreitenbedarf nach dem jeweiligen Service-Modell, welche im späteren Verlauf näher Betrachtet werden [130].

Cloud-Computing wird im Wesentlichen über fünf Technologie Merkmale definiert (siehe Abbildung 13.1). Diese wurden vom „National Institute of Standards and Technology“ (NIST) folgendermaßen festgelegt [131]:

- **Selbstbedienung auf Abruf:** Bei Bedarf kann Rechenkapazität wie z. B. Server-zeit und Netzwerkspeicher automatisch ohne weitere Interaktion mit dem Anbieter abgerufen werden.

- **Breiter Netzzugang:** Die Funktionen des Cloud-Computing werden über das Netzwerk zur Verfügung gestellt und sind über Standardmechanismen (z. B. Internetbrowser) erreichbar
- **Gemeinsamer Ressourcenpool:** Ressourcen wie Speicherkapazität, Rechenleistung und Netzwerk, werden dynamisch entsprechend der Verbrauchernachfrage zugewiesen.
- **Schnelle Elastizität:** virtuelle Ressourcen werden schnell und elastisch entsprechend der Nachfrage skaliert. Aus Nutzersicht erscheint diese Skalierung nahezu unbegrenzt.
- **Gemessene Leistungen:** Beinhalten die Überwachung und Kontrolle der Ressourcennutzung. Hierdurch wird sowohl für Anbieter als auch Verbraucher eine Transparenz geschaffen. Das kann ebenfalls für die automatische Skalierung und Abrechnung genutzt werden.

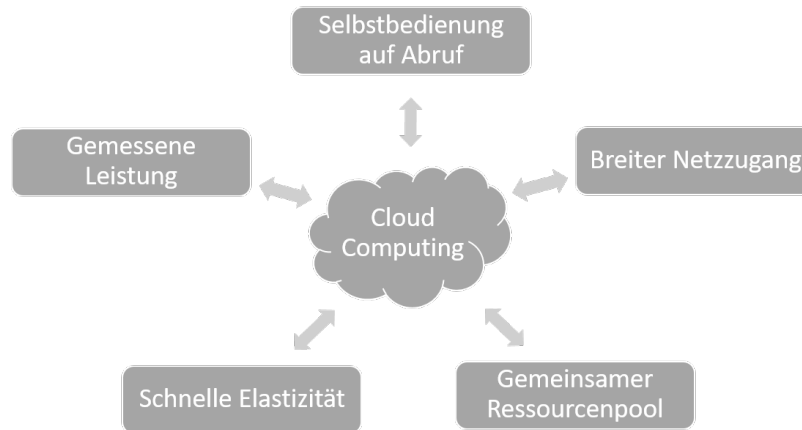


Bild 13.1: Technologie Merkmale.

Eine wesentliche Chance, die der Einsatz von Cloud-Computing bietet, ist die Steigerung der Effizienz durch die optimale Verfügbarkeit und Auslastung von IT-Ressourcen. Auch die leistungsorientierte Bezahlung der Dienste in Kombination mit dem Wegfall kostenintensiver Investitionen im Bereich der IT-Infrastruktur, können zu einem Kostenvorteil führen, was vor allem jungen Unternehmen (Start-Ups) zugutekommt [132].

Dem gegenüber steht die zwangsläufige Notwendigkeit einer schnellen Internetanbindung, um eine optimale Nutzung überhaupt zu ermöglichen. Hinzu kommt ein gewisses Risiko hinsichtlich des Datenschutzes, da die Server der Cloud-Anbieter vorwiegend im EU-Ausland liegen. Es gelten somit die Datenschutzgesetze des jeweiligen Landes, welche in der Regel weniger streng ausgelegt sind als EU-Richtlinien.

13.2 Cloud-Computing Modelle

Zusätzlich zu den obengenannten Charakteristika, wird Cloud-Computing auch über Service- und Bereitstellungsmodelle definiert. Die verfügbaren Servicemodelle orientieren sich hierbei an den drei Ebenen der IT-Infrastruktur (Hardware, Betriebssystem, Software). Bei den Bereitstellungsmodellen hingegen wird nach der Verwendung öffentlicher Netzwerkstrukturen unterschieden. Die Form des jeweiligen Modells kann sich dabei von offen (public) bis komplett geschlossen (private) erstrecken.

Servicemodelle [131]

- **Software as a Service (SaaS):** Dem Nutzer werden Software- und Anwendungsprogramme über die Cloud zur Verfügung gestellt. Der Zugriff erfolgt meist über den Webbrowser oder eine eigene Programmoberfläche
- **Platform as a Service (PaaS):** PaaS richtet sich primär an Anwendungsentwickler und Systemarchitekten. Bei diesem Servicemodell wird dem Entwickler eine Programmierungs- oder Laufzeitumgebung mit dynamischer Rechen- und Datenkapazität zur Verfügung gestellt. Das Bietet dem Nutzer die Möglichkeit eigene Software zu programmieren sowie diese auch auf der Cloud ausführen zu lassen.
- **Infrastructure as a Service (IaaS):** Beschreibt die Bereitstellung von virtueller Computerhardware, wie Speicher, Netzwerk und Rechenkapazität. Der Nutzer ist hierbei in der Lage sich sein eigenes virtuelles Computer-Cluster zu gestalten. Dabei hat er Kontrolle über Betriebssystem, Speicher und Anwendungen und kann diese selbstständig verwalten.

Bereitstellungsmodelle

- **Private Cloud:** Die Nutzung erfolgt ausschließlich durch eine einzige Organisation, was eine einfachere Integration anderer Geschäftseinheiten (z. B. Unternehmensstandorte) in die Cloud ermöglicht. Die Cloud-Plattform kann dabei sowohl firmenintern als auch über dritte verwaltet (gehostet) werden. Durch den exklusiven Zugriff der Organisation wird ein hohes Maß an Individualität erreicht. Hierdurch bieten sich Vorteile in den Bereichen der Datensicherheit und der Gesetzeskonformität (Compliance).
- **Public Cloud:** Der Anbieter und der Nutzer gehören bei der Public Cloud unterschiedlichen organisatorischen Einheiten an. Um möglichst große Skaleneffekte zu erreichen wird die IT-Infrastruktur der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht, daher ist eine hohe Anzahl an Nutzern Charakteristisch für dieses Modell. Die Bezahlung erfolgt hier entsprechend der tatsächlichen Nutzung (**pay-as-you-go**).
- **Community Cloud:** Es handelt sich hierbei um einen Zusammenschluss interessensverwandter Organisationen, die dabei auf eine gemeinsame Cloud-Infrastruktur zugreifen können. Der Nutzerkreis ist dabei eher klein und örtlich verteilt. Die Nutzungskosten werden bei diesem Modell auf alle teilnehmenden Organisationen verteilt. Beispiele hierfür wären: mehrere städtische Behörden, Universitäten, Genossenschaften
- **Hybrid Cloud:** Ist eine Kombination aus Public und Private Cloud, bei der bestimmte Funktionen und Services in eine Public Cloud ausgelagert werden, auf die bei Spitzenlast oder Ausfall zurückgegriffen werden kann. Man nutzt somit sowohl den Kostenvorteil einer Public Cloud als auch den Vorteil der Datensicherheit aus der Private Cloud.

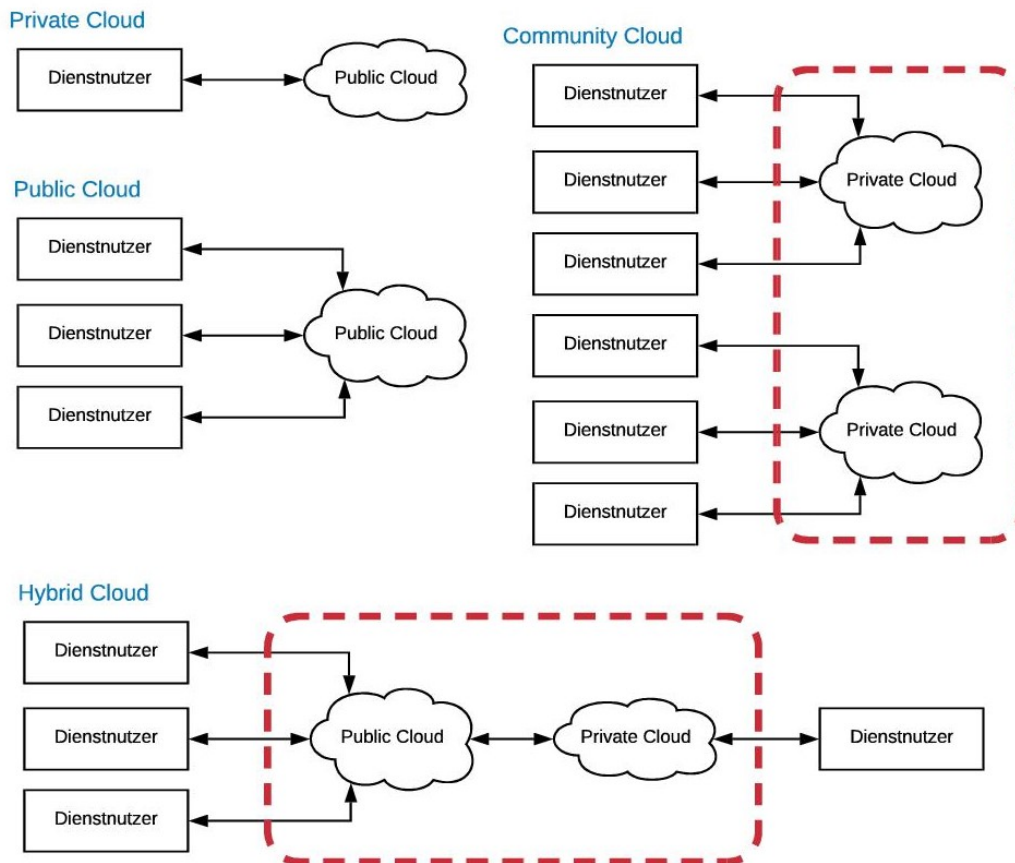


Bild 13.2: Bereitstellungsmodelle Cloud Computing.

13.3 Architektur und technische Realisierung

Die Architektur des Cloud-Computing ist am besten mit dem Aufbau eines Computers zu vergleichen. Prozessorkerne, Arbeitsspeicher, Festplatte und Programme sind Komponenten, die sich in ähnlicher Form in einer Cloud wiederfinden, die jedoch eine enorme Skalierung ermöglicht. Wie bereits in Kapitel 13.2 erläutert, gibt es beim Cloud-Computing unterschiedliche Modelle (Arten). Eine Möglichkeit die Cloud zu gliedern, ist diese in drei Schichten aufzuteilen, wobei jede Schicht einen Grad der Abstraktion darstellt.

- **Anwendung**
- **Plattform**
- **Infrastruktur**

Die Schichten der Cloud können dazu genutzt werden, die Verschiedenen Modelle des Cloud-Computing zu klassifizieren.

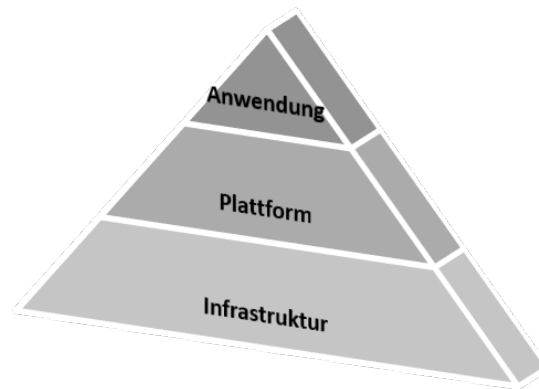


Bild 13.3: Schichtenmodell Cloud-Computing.

Anwendung (SaaS)

Das Servicemodell Software as a Service bedient die Anwendungsschicht, welche die abstrakteste Schicht der Cloud-Dienste ist. Der Benutzer greift dabei auf eine ihm von der Cloud angebotene Applikation zu. Der Anwendungsfall inkludiert bereits die beiden darunterliegenden Schichten jedoch ohne dass der Nutzer mit Ihnen in Kontakt kommt. Das bedeutet, dass Skalierbarkeit und Datenhaltung vom Clouddienst verwaltet werden, somit kommt der Nutzer damit nicht in Berührung.

Typischerweise reicht in diesem Bereich eine Upload-Geschwindigkeit von 128 Kbit pro Sekunde aus, da nur die Information des jeweiligen Arbeitsschrittes übertragen wird, anstatt des gesamten Vorgangs bzw. des kompletten Dokumentes [130].

Merkmale für eine SaaS-Anwendung:

- Modulares und Serviceorientiertes Design
- Die Last ist nicht vorhersehbar, da die Nutzungsintensität und Nutzerzahl unbekannt ist
- Dynamik und Mandantenfähigkeit der Anwendung

Der Einsatzbereich von SaaS erstreckt sich von Online-Backup über Langzeitdatenarchivierung bis hin zu der Bereitstellung von Dokumenten der Teamarbeit und Netzlaufwerken. Bekannte Beispiele für SaaS-Anwendungen sind Apple iCloud, Google Drive oder Microsoft OneDrive.

Plattform (PaaS)

Auf der Plattform-Ebene werden dem Entwickler Plattformen, Werkzeuge und Schnittstelle zur Programmierung oder dem Betrieb von Anwendungen angeboten. Die Cloud selbst dient dem Entwickler als Programmierschnittstelle, über die er ausschließlich seine Programmlogik einbringt. Die Cloud-Plattform steuert dann eigenständig die Aufteilung der zu verarbeitenden Daten auf die Verarbeitungseinheiten (Ressourcen). Der Benutzer hat somit bei diesem Modell selbst keinen Zugriff auf die Recheninstanzen. Die Abstraktion der technischen Komponenten ist hierbei gewünscht, da der Benutzer primär Daten verarbeiten und nicht das System verwalten möchte. Unternehmen nutzen PaaS normalerweise in drei zentralen Bereichen:

- Entwicklungsframework
- Business Intelligence oder Analyse der Unternehmensdaten
- Internet of Things (IoT)

Da die PaaS-Schicht die rechenintensiven Operationen leistet und hier durch den großer Informationsaustausch viel Durchsatz entsteht, wir hier eine Datentransferrate von 10 GBit/s benötigt. Beispiele für solcherlei Cloud-Produkte sind Windows Azure oder App Engine von Google.

Infrastruktur (IaaS)

Die Infrastruktur stellt die unterste Schicht der Architektur dar. Der Benutzer hat bei diesem Service-Modell Zugriff auf die Recheninstanzen und kann diese damit weitgehende selbst verwalten. Das IaaS-Konzept beinhaltet Speicher- und Nachrichtendienste, welche hochskalierend ausgelegt sind. Das trifft jedoch nicht auf die vom Benutzer eingebrachten Programme zu. Das IaaS Modell bietet gegenüber dem traditionellen Datenzentrum den Vorteil der Skalierbarkeit. Das bedeutet, dass die Recheninstanzen je nach Anforderung beliebig erweitert oder verringert werden können. Infrastructure as a Service eignet sich daher besonders bei stark schwankendem Bedarf an Server- Netzwerk- und Speicherkapazität wie es beispielsweise bei der Durchführung von Tests bei der Anwendungsentwicklung oder einer höheren Kapazitätsauslastung eines Onlineshops in verkaufsstarken Zeiten der Fall ist [133].

Da Auf der IaaS-Schicht die größte Menge an Daten bewegt und gespeichert werden, ist hier auch der Bandbreitenbedarf mit ca. 100 Gbit/s am größten [130].

Die bekanntesten Beispiele im IaaS-Bereich sind Amazon Web Services und die Open Telekom Cloud. Die Grenzen der Skalierbarkeit der IT-Ressourcen (Arbeitsspeicher, Prozessorkernanzahl, Storage-Speicher), richten sich hierbei nach dem jeweiligen Anbieter.

Arbeitsspeicher	Zwischen 100 und 240 GB
Prozessorkerne	16 - 32
Storage-Speicher	1 - 2 TB

Tabelle 13.1: Typische Skalierungsgrenzen IaaS

13.4 Abgrenzung von anderen Technologien

Der Wunsch IT-Ressourcen gemeinschaftlich zu nutzen und damit besser auszulasten, hat neben Cloud-Computing noch weitere Technologien hervorgebracht.

Grid-Computing

Ein mit dem Cloud-Computing eng verwandter Begriff ist das Grid-Computing. Diese Mitte der 90er Jahre entwickelte Technologie bildet die Vorstufe zur Cloud. Im Fokus der Technologie steht die kontrollierte, gemeinsame Nutzung von dezentralen IT-Ressourcen. Im Gegensatz zur Cloud-Technologie. Grid-Computing beachtet wirtschaftliche Kriterien wie z.B. Geschäfts- und Preisgestaltungsmodelle nicht. Das hat zur Folge, dass eine Zentralisierung von IT-Ressourcen (Rechenzentren, Management usw.), welche gerade die ökonomischen Vorteile bietet, nicht weiterverfolgt wird [134], [135].

Edge-Computing

Ziel des Edge-Computing ist es, die Datenströme größtenteils an Ort und Stelle (ressourcenschonend) zu verarbeiten, gleichzeitig aber von den Vorteilen der Cloud zu profitieren. Durch eine nähere Platzierung der Ressourcen (Speicher, Rechenleistung, Software) an den Endgeräten und mithilfe einer optimalen Aufteilung soll eine höhere Effizienz und geringere Latenzzeiten erreicht werden. Lediglich die relevanten Daten werden anschließend komprimiert und an die zentralen Systeme weitergeleitet.

Fog-Computing

Wird als Begriff teilweise auch synonym zu Edge-Computing verwendet. Das liegt primär an den großen Überschneidungen die es zwischen Fog- und Edge-Computing gibt. Tatsächlich fokussiert sich das Fog-Computing weniger auf die Endgeräte, sondern vielmehr darauf, die Cloud Ressourcen den Anwendungen anzunäher. Dies wird durch kleinere Rechenzentren realisiert, welche vor der Übermittlung an die Cloud eine Teilauswertung der Daten durchführen.

Vergleich alternativer Techniken	Grid-Computing	Edge-Computing	Fog Computing
Ziel	Kontrollierte, gemeinsame Nutzung von IT-Ressourcen	Datenströme werden an Endgeräten (vor Ort) verarbeitet. Nur relevante Daten werden an Cloud weitergeleitet	Ähnlichkeit zum Edge-Computing. Unterschied: Annäherung der Cloud Ressourcen an die Anwendung.
Vorteile	Flexible Kapazität bei Lastspitzen	Verringerung des zu übertragenden Datenvolumens, führt zu geringeren Übertragungskosten und Wartezeiten und gleichzeitig zu Höhere Servicequalität	
Nachteile	Fehlende Verschlüsselung der Daten Abhängigkeit vom Cloud Anbieter	Unregelmäßiger Rechen- oder Speicherbedarf und Kapazitätsengpässe bei Verarbeitung großer Datenmengen.	

Tabelle 13.2: Überblick: alternative Techniken

13.5 Datensicherheit und Datenschutz

Die größte Herausforderung beim Cloud-Computing ist es, die Sicherheit von gespeicherten Informationen zu gewährleisten. Dabei geht es nicht nur um den Schutz der Unternehmensinformationen, sondern auch aller Kunden-, Partner- und Mitarbeiterdaten. Da die zentralisierte Speicherung von großen Datenmengen eine breite Angriffsfläche für Cyberkriminelle bildet, ist der Aufwand zum Schutz der Daten vor Missbrauch, Verlust oder Diebstahl durch Dritte oder auch den Cloud-Anbieter entsprechend höher. Maßgebliche Vorgabe für den Schutz von personenbezogener Daten, ist die EU-Datenschutzrichtlinie 95/46/EG des Europäischen Parlaments.

Speziell unsichere Schnittstellen sowie eine gemeinsam genutzte Systemumgebung bilden mögliche Angriffspunkte. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Datensicherheit hier durch die verwendete Technik, und die verwendeten Anwendungen des Anbieters bestimmt werden. Besonders größere Cloud-Anbieter profitieren hier von Skaleneffekten, da die Kosten für technische, finanzielle, und personelle Mittel, auf eine größere Zahl an Nutzern aufgeteilt wird.

Anforderungen an den Cloud Anbieter

Nach dem Bundesdatenschutzgesetz (§ 3 Abs. 7 BDSG) ist der Nutzer der Cloud im Außenverhältnis weiterhin für die Sicherheit der Daten verantwortlich. Daher muss nach § 11 BDSG mit dem Cloud Anbieter ein Vertrag zur Auftragsdatenverarbeitung (ADV) geschlossen

werden.

Dabei muss speziell auf folgende Punkte eingegangen werden [136]:

- **Beauftragung von Subunternehmen:** Sämtliche Subunternehmer die durch den Cloud Anbieter beauftragt wurden, sind abschließend zu benennen. Außerdem muss der Nutzer sich ein Widerspruchsrecht hinsichtlich künftiger Subunternehmer einräumen lassen, welches ihn befähigt den Vertrag in solchen Fällen aufzulösen.
- **Kontrollrechte:** Der Cloud-Nutzer besitzt das Recht eine Kontrolle beim Anbieter durchzuführen. Da eine Kontrolle Vor-Ort schwer zu realisieren ist, kann der Cloud-Anbieter der Forderung auch durch Nachweis von Zertifikaten nachkommen.
- **Möglichkeit eines Anbieterwechsels:** inklusive Transfer der Daten zum neuen Anbieter
- **Löschung der Daten nach Auftragsbeendigung**
- **Eigentumsrechte an Daten**

Datenübermittlung ins EU-Ausland

Ein großer Teil der Cloud-Anbieter speichert seine Daten außerhalb des EU Raumes. Da grundsätzlich die jeweiligen Datenschutzrechte des Standortes gelten und die Bestimmungen im EU-Ausland vergleichsweise locker sind, führt das in Summe dazu, dass der Abschluss einer ADV-Vereinbarung oftmals nicht mehr ausreicht. Jedoch bedarf die Datenübermittlung einer Rechtsgrundlage, daher muss hier ein adäquates Datenschutzniveau hergestellt werden.

Hierzu existieren zwei Möglichkeiten:

- **Zertifizierung nach dem Privacy Shield** (= informelle Absprache zwischen der EU und USA auf dem Gebiet des Datenschutzrechtes, welche den Schutz personenbezogener Daten regelt)
- **EU-Standardvertragsklauseln**

Oftmals wird in beiden Fällen jedoch eine zusätzliche ADV-Vereinbarung von den Aufsichtsbehörden gefordert. Dieser zusätzliche ADV-Vertrag ist allerdings nicht mit jedem Anbieter verhandelbar. In diesen Fällen bleibt nur noch die Möglichkeit einen Cloud Anbieter zu wählen, welcher Rechenzentren in der EU besitzt [135].

KAPITEL 14

Robotik in der Smart Factory

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

- ... welche Bedeutung Robotik in der Industrie und der Smart Factory hat.
- ... wie industrielle Roboter aufgebaut sind und wie sie sich bewegen.
- ... welche Arten von Robotern es gibt und wofür sie eingesetzt werden.
- ... wie vernetzte Roboter zusammenarbeiten und Prozesse optimieren.
- ... wie Robotik eine flexible und individuelle Produktion ermöglicht.

Einführung

Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung prägen seit Jahren die industrielle Produktion und bilden die Grundlage für das Konzept der Smart Factory. In diesem Kontext bekommt die Robotik eine zentrale Rolle. Roboter gelten als Schlüsseltechnologie, um Produktionsprozesse effizienter, flexibler und qualitativ hochwertiger zu gestalten.

14.1 Entwicklung und Begriffsbestimmung

Ihre Entwicklung hat eine lange Geschichte, bereits in den 1960er-Jahren wurden die ersten Industrieroboter vorgestellt. Diese waren dem menschlichen Arm nachempfunden und als Universalmaschinen konzipiert, mit dem Ziel, wiederkehrende Fertigungsprozesse ohne menschliche Arbeitskraft zu automatisieren.

Die Hauptziele des Robotereinsatzes liegen bis heute in der wirtschaftlichen Rationalisierung und der Sicherstellung einer konstant hohen Produktqualität, unabhängig von menschlicher Leistungsfähigkeit. Besonders deutlich zeigt sich das im Automobilrohbau, der als nahezu vollständig automatisierter Bereich zum Maßstab für viele andere Industrien geworden ist. Neben der Automobil- und Zulieferbranche finden Industrieroboter auch in der Elektro-, Metall-, Chemie- und Lebensmittelindustrie breite Anwendung. Während ihr Einsatz traditionell in Hochlohnländern besonders ausgeprägt war, gilt heute China als größter Robotermarkt weltweit, gefolgt von Ländern wie Südkorea, Japan, den USA und Deutschland.

Eine allgemeingültige Definition des Begriffs "Roboter" existiert nicht, was vor allem auf die Vielfalt der Robotertypen und ihrer Einsatzumgebungen zurückzuführen ist. Die ISO 8373:2021 definiert ein Industrieroboter als „Ein automatisch gesteuertes, wiederprogrammierbares, universell einsetzbares Manipulationsgerät, das in drei oder mehr Achsen programmiert werden kann und entweder ortsfest oder auf einer mobilen Plattform für den

Einsatz in Automatisierungsanwendungen in einer industriellen Umgebung verwendet werden kann.“

Roboter werden zunehmend zu einem festen Bestandteil des Alltags und tragen entscheidend zur Weiterentwicklung intelligenter, vernetzter Produktionssysteme bei. In der Smart Factory ermöglichen sie die enge Kooperation zwischen Mensch, Maschine und digitalen Systemen, ein entscheidender Schritt in Richtung Industrie 4.0.

14.2 Grundlagen Robotik

Der Aufbau und die Funktionsweise eines industriellen Roboters lassen sich exemplarisch am sechsachsigen Knickarmroboter verdeutlichen, da dieser den in der Industrie am weitesten verbreiteten Typ darstellt. Der Knickarmroboter orientiert sich in seiner Konstruktion am menschlichen Bewegungsapparat. Sein Aufbau ist dem menschlichen Arm nachempfunden. Die rotierenden Hauptachsen verleihen dem Roboter seine hohe Beweglichkeit und ermöglichen eine freie Positionierung und Orientierung im dreidimensionalen Raum.

Mit insgesamt sechs Freiheitsgraden kann der Knickarmroboter nahezu jeden Punkt innerhalb seines Arbeitsraums erreichen. Dadurch ist er in der Lage, komplexe Bewegungsabläufe präzise und wiederholbar auszuführen. Seine Bewegungen umfassen Translationen und Rotationen in allen Raumrichtungen, was ihn besonders vielseitig macht. Diese Flexibilität ist ein wesentlicher Grund für seine weite Verbreitung in der industriellen Praxis.

Ein Knickarmroboter besteht aus mehreren grundlegenden Komponenten, die zusammen seine Beweglichkeit und Funktionalität gewährleisten. Dazu zählen der Roboterarm, die Zentralhand sowie die Schwinde und das Karussell, die für die Bewegungen des Systems im Raum verantwortlich sind.

Das Grundgestell bildet die stabile Basis des Roboters, während der Gewichtsausgleich die Lasten während der Bewegungen ausgleicht und die Präzision unterstützt. Die Robotersteuerung übernimmt die Koordination der Achsen und Bewegungsabläufe, gesteuert über das Programmierhandgerät. Schließlich sorgt der Anbauflansch für die Verbindung des Endeffektors oder weiterer Werkzeuge mit der Zentralhand.

Diese Bestandteile bilden zusammen die funktionale Einheit eines Knickarmroboters und ermöglichen die präzise Ausführung komplexer Bewegungen in industriellen Anwendungen.

Die Bewegungen eines Industrieroboters werden durch Haupt- und Nebenachsen realisiert. Die Hauptachsen (A1–A3) werden auch als „große Achsen“ bezeichnet. Sie dienen der Positionierung des Endeffektors und bestimmen den Arbeitsraum. Ihre Bewegungen erfolgen linear oder rotatorisch und ermöglichen die Makrobewegungen des Roboters. Nebenachsen (A4–A6), auch „kleine Achsen“ oder „Handachsen“ genannt, übernehmen die Feinausrichtung und Orientierung im Greifbereich. Sie sind fast immer rotatorisch ausgeführt und ermöglichen präzise Feinpositionierungen.

Die Achsnummerierung beginnt am Sockel des Roboters. Achse 1 ist die erste Bewegungsachse an der Befestigungsfläche. Von dort erfolgt die Zählung entlang der kinematischen Kette bis zum Endeffektor, also dem Anbauflansch. Diese Nummerierung gilt auch für überkopf montierte Roboter.

Der Freiheitsgrad (f) beschreibt die unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten eines Körpers. Im dreidimensionalen Raum besitzt ein starrer Körper sechs Freiheitsgrade, drei Translationen entlang der x-, y- und z-Achse sowie drei Rotationen um diese Achsen. Industrieroboter verfügen in der Regel über sechs Achsen, wodurch sie jede beliebige Position und Orientierung im Raum erreichen können. Eine hohe Anzahl an Achsen ermöglicht eine größere Bewegungsfreiheit und eine flexiblere Bahnsteuerung, erfordert jedoch einen höheren mechanischen und elektrischen Aufwand bei Bau und Steuerung.

Roboter mit weniger als sechs Freiheitsgraden gelten als global degeneriert. Sie besitzen einen eingeschränkten Bewegungsraum und erlauben nur eine limitierte Orientierung des Werkzeugs. Standard-Industrieroboter hingegen verfügen über sechs Freiheitsgrade, was ihnen volle Bewegungsfreiheit im dreidimensionalen Raum ermöglicht und die präzise Positionierung und Orientierung von Werkzeugen erlaubt. Roboter mit mehr als sechs Freiheitsgraden werden als redundant oder überbestimmt bezeichnet. Sie bieten mehr Bewegungsmöglichkeiten, als für die reine Aufgabenbewältigung notwendig wäre, wodurch sie besonders flexibel Hindernisse umgehen und komplexe Bewegungsabläufe ausführen können.

14.3 Einsatzgebiete von Robotern in der Industrie

Industrieroboter haben sich in der industriellen Produktion als unverzichtbare Helfer etabliert, insbesondere dort, wo präzise, schnelle und wiederholbare Arbeitsschritte erforderlich sind. Die Roboter sind in der Lage, tonnenschwere Lasten zu bewegen und Tätigkeiten auszuführen, die für Menschen unangenehm, gefährlich oder monoton sind. Industrieroboter kommen heute vor allem in der vollautomatisierten Massenproduktion zum Einsatz. Ein zentraler Anwendungsbe- reich ist die Automobilindustrie. In der Karosseriefertigung übernehmen Roboter nahezu alle repetitiven und körperlich belastenden Aufgaben, während in der Endmontage der Mensch weiterhin den Großteil der Arbeit leistet und Roboter unterstützend eingesetzt werden. Neben der Automobilindustrie finden Industrieroboter auch in der Konsumgüterproduktion und der Elektronikfertigung breite Anwendung.

Weitere Aufgaben sind Schweißen, Heben, Transportieren, Lackieren, Palettieren, Maschinenbeschickung, Entgraten und Kleben. Dort übernehmen sie Fließbandarbeit, körperlich belastende Tätigkeiten sowie Mess- und Prüfanwendungen.

Mit Aufgaben wie Kleben sowie Messen und Prüfen tragen sie entscheidend zur Produktivitätssteigerung, Sicherheit und Qualität in modernen Fertigungsprozessen bei. Ein aktueller Trend zeigt den wachsenden Einsatz von Montage- und Prüfrobotern, wodurch die Effizienz und Präzision der Produktionsprozesse weiter steigt. In bestimmten Bereichen des Automobilbaus erreicht der Automatisierungsgrad bereits über 95 Prozent.

14.4 Roboterarten in der Industrie

Industrielle Roboter unterscheiden sich nicht nur in ihrer Aufgabe, sondern vor allem in ihrer Kinematik, Bauweise und Freiheitsgraden. Je nach Anwendungsbereich kommen unterschiedliche Robotertypen zum Einsatz, die jeweils spezifische Stärken und Einschränkungen aufweisen. Im Folgenden soll genauer erläutert werden, welche unterschiedlichen Roboterarten in der industriellen Produktion die größte Bedeutung besitzen, wie sie sich in ihrem Aufbau voneinander unterscheiden und für welche Aufgaben sie jeweils am besten geeignet sind.

Portalroboter gehören zu den kinematisch unterbestimmten Systemen und verfügen über drei bis vier Freiheitsgrade. Ihre Bewegungen erfolgen entlang linearer Achsen, wodurch sie große Arbeitsräume präzise abdecken können, während der Boden frei bleibt. Aufgrund ihrer hohen Traglasten und präzisen Positionierung eignen sie sich besonders für die Maschinenbeschickung, die Mehrmaschinenbedienung, die Montage großer Baugruppen, wie Motorenfertigung, sowie die Verkettung von Materialflüssen in Produktionslinien. Varianten wie Linear-, Ausleger- oder Flächenportale ermöglichen flexible Anpassungen an unterschiedliche Produktionsanfor-

derungen.

Palettierroboter sind auf das Stapeln von Paletten, Kartons oder Packstücken spezialisiert und besitzen typischerweise vier Freiheitsgrade. Dank der Parallelogrammkinematik bleibt das Werkzeug immer parallel zum Boden, was eine exakte Handhabung schwerer Lasten bei hoher Taktgeschwindigkeit ermöglicht. Typische Anwendungen finden sich im automatischen Beladen von Paletten, etwa in der Getränke- oder Verpackungsindustrie.

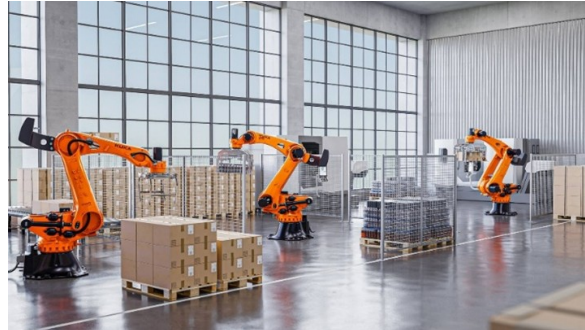


Bild 14.1: Palettierroboter

SCARA-Roboter (Selective Compliance Assembly Robot Arm) zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise, geringe Stellfläche und schnelle Bewegungen aus. Sie verfügen über vier Freiheitsgrade, drei horizontale Rotationen und einen vertikalen Hub, und können am Boden, an Wänden oder an der Decke installiert werden. Ihre hohe Wiederholgenauigkeit und kurzen Taktzeiten machen sie besonders geeignet für Kleinteilmontage, Pick-and-Place-Aufgaben, Leiterplattenbestückung sowie Sortier- und Verpackungsprozesse.



Bild 14.2: SCARA-Roboter

Delta-Roboter basieren auf einer Parallelkinematik, bei der mehrere Gelenkarme die Basis mit einer beweglichen Plattform verbinden. Sie besitzen drei bis vier Freiheitsgrade und sind sehr leicht, schnell sowie präzise. Durch die stationären Hauptantriebe können sie hochdynamische Bewegungen ausführen, eignen sich jedoch nur für geringe Traglasten und kleine Arbeitsräume. Typische Anwendungsfelder sind Hochgeschwindigkeits-Pick-and-Place, Verpackung, Sortierung und Montage, insbesondere in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie. In Kombination mit Kamerasystemen können Delta-Roboter flexibel Objekte erkennen und handhaben.

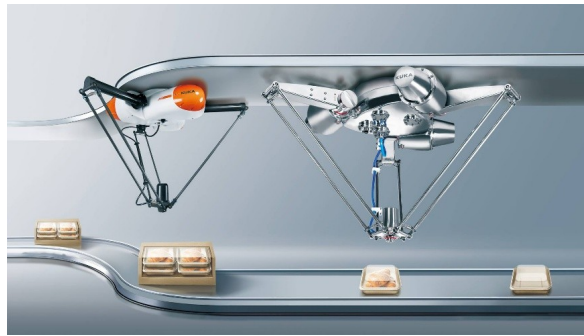


Bild 14.3: Delta-Roboter

Mobile Roboterplattformen unterscheiden sich grundlegend von fest installierten Systemen, da sie ihre Position selbstständig verändern können. Sie kommen vor allem in der Intralogistik, Lagerlogistik und beim Materialtransport zum Einsatz. Mobile Roboter bieten hohe Flexibilität, unterstützen Werker direkt an Produktionslinien und benötigen keinen festen Arbeitsplatz. Moderne Entwicklungen führen zunehmend zu kollaborativen Systemen („Cobot“), die ohne Schutzzaun arbeiten und direkt mit Menschen interagieren, wodurch sie zu echten Kooperationspartnern in der Fertigung werden.

Jeder dieser Robotertypen ist auf spezifische Aufgaben zugeschnitten, wodurch Unternehmen die Möglichkeit haben, ihre Produktionsprozesse gezielt zu optimieren und die Effizienz, Präzision sowie Sicherheit in der Fertigung deutlich zu steigern.



Bild 14.4: Mobile Roboterplattformen

14.5 Humanoide Roboter

Humanoide Roboter sind Maschinen, die in Form, Bewegungen und teilweise auch Verhalten dem Menschen nachempfunden sind. Sie sollen Aufgaben ausführen, die normalerweise von Menschen erledigt werden, insbesondere in Bereichen, die gefährlich, monoton oder körperlich belastend sind. Ein aktuelles Beispiel ist der Tesla Optimus, auch bekannt als Tesla Bot, der von Tesla entwickelt wird, um Industrie und Alltag zu unterstützen.

Tesla Optimus ist als voll humanoider Roboter konzipiert. Der Aufbau orientiert sich am menschlichen Körper, um Flexibilität und Vielseitigkeit zu gewährleisten. Er ist etwa 173cm groß, wiegt zwischen 55 und 60kg und verfügt über zwei Arme mit mehreren Freiheitsgraden, zwei Beine zum Laufen und Balancieren sowie einen Kopf mit Kameras, Mikrofonen und Sensoren zur Umgebungswahrnehmung. Die Hände sind so konstruiert, dass sie Objekte präzise greifen und manipulieren können, während das Gehäuse aus leichten Materialien wie Aluminium und Verbundstoffen besteht, um Beweglichkeit und Energieeffizienz zu gewährleisten. Seine Energieversorgung erfolgt über eine interne Batterie, die genaue Kapazität ist jedoch nicht öffentlich.

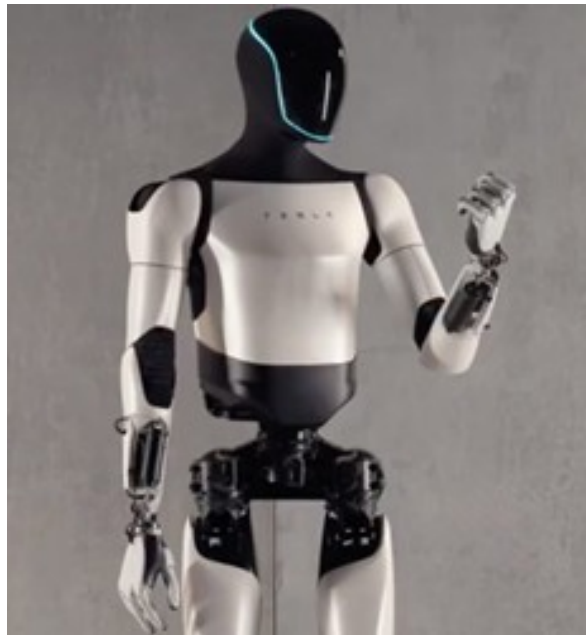


Bild 14.5: Tesla Optimus

Die Funktionsweise von Optimus basiert auf einer Kombination aus Hardware, Software und künstlicher Intelligenz. Kameras und Sensoren erfassen die Umgebung in Echtzeit, während das Gehirn des Roboters auf Teslas Full-Self-Driving-Chip und neuronalen Netzen basiert. Dieser Chip wurde ursprünglich für das autonome Fahren entwickelt und ist extrem leistungsfähig. Dadurch kann Optimus Objekte erkennen, Bewegungen planen und autonom Entscheidungen treffen. Die 40 elektrischen Aktuatoren steuern Arme, Beine und Hände und ermöglichen feinmotorische Bewegungen. Sensorisches Feedback sorgt dafür, dass Position, Kraft und Gleichgewicht kontinuierlich angepasst werden, sodass der Roboter Bewegungen präzise ausführen kann.

Technisch verfügt Optimus über eine Vielzahl von Funktionen, die ihn für industrielle Aufgaben qualifizieren. Er kann bis zu 8km/h laufen, trägt Lasten 9 kg zwischen 68kg je nach Körper und Armhaltung.



Bild 14.6: Tesla Optimus erledigt Aufgabe

In der Industrie könnten humanoide Roboter wie Optimus in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden. Dazu zählen die Montage und Fertigung, bei der sie kleinere Komponenten einbauen, verschrauben oder Teile handhaben. Auch in der Logistik könnten sie Materialien transportieren, ein- und auslagern oder Waren bewegen. Zudem könnten sie in der Qualitätskontrolle eingesetzt werden, um Produkte auf Schäden oder Abweichungen zu prüfen und in gefährlichen Umgebungen Tätigkeiten übernehmen, die für Menschen riskant wären, beispielsweise in heißen, giftigen oder strahlenbelasteten Bereichen.

Zu den Pionieren im Einsatz humanoider Roboter in der Produktion zählt auch Mercedes. Das Unternehmen erprobt derzeit den Roboter „Apollo“ in einem Werk in Ungarn, unter anderem in den Bereichen Montage, Intralogistik sowie im direkten Zusammenspiel mit menschlichen Mitarbeitenden.

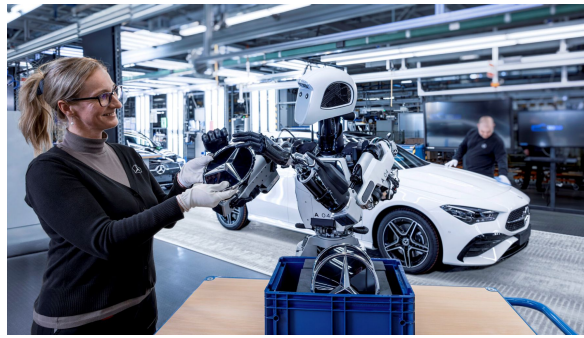


Bild 14.7: Apollo von Mercedes mit Mensch

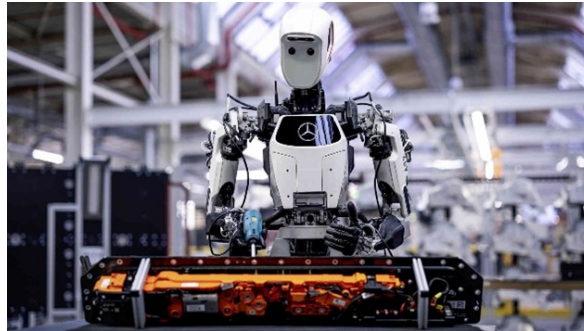


Bild 14.8: Apollo von Mercedes bei Montageaufgabe

Die Vorteile solcher humanoide Roboter liegen in ihrer Flexibilität, der Möglichkeit, Menschen von gefährlichen oder monotonen Aufgaben zu entlasten und der leichten Integration in bestehende Abläufe dank ihres menschenähnlichen Aufbaus. Nachteile bestehen jedoch in den hohen Kosten, der technischen Komplexität und der noch nicht vollständig erreichten Autonomie bei komplexen Montageaufgaben.

Insgesamt zeigt Tesla und Mercedes, wie humanoide Roboter die Grenze zwischen menschlicher Flexibilität und roboterbasierter Präzision verschieben können. Die Kombination aus künstlicher Intelligenz, sensorischer Wahrnehmung und humanoidem Design macht ihn besonders für industrielle Anwendungen interessant. Auch wenn die Technologie noch in den Kinderschuhen steckt und die vollständige Autonomie in komplexen Fertigungsprozessen noch nicht erreicht ist, verdeutlicht Optimus das Potenzial humanoider Roboter, menschliche Arbeit zu ergänzen, zu erleichtern und langfristig in vielen Bereichen der Industrie einzusetzen.

14.6 Internet of Robotic Things

Das Internet of Robotic Things (IoRT) erweitert das Konzept des Internet of Things (IoT) um Roboter, die nicht nur Daten austauschen, sondern aktiv in ihrer Umgebung handeln können. Während das IoT physische Geräte wie Sensoren, Maschinen oder autonome Fahrzeuge miteinander vernetzt und Informationen austauschen lässt, integrieren IoRT-Systeme Roboter, die diese Daten nutzen, um ihre Handlungen autonom und adaptiv zu steuern. Ziel ist die Bildung vernetzter Roboterteams, die Aufgaben effizienter erledigen, voneinander lernen und Fehler erkennen können. Dabei verbinden IoRT-Systeme Smart Spaces, wie Smart Rooms, Smart Factories, Smart Buildings oder Smart Cities, mit autonomen Robotern. Während die Smart Spaces Zustände überwachen und einfache Aktionen ausführen können, übernehmen die Roboter komplexe Tätigkeiten, wie die Bewegung von Objekten oder die Interaktion mit Menschen.

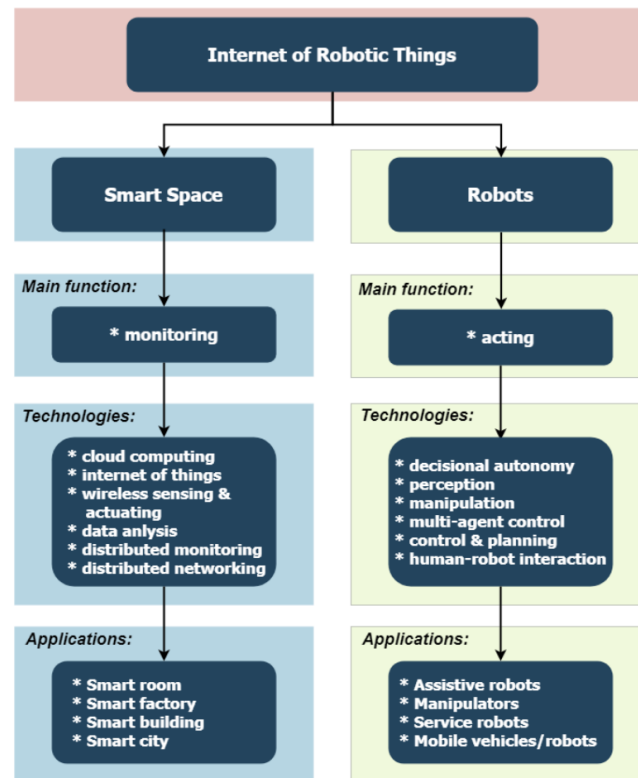


Bild 14.9: Schema IoRT

Die Vorteile des IoRT liegen insbesondere darin, dass Roboter nicht jede kognitive Fähigkeit selbst entwickeln müssen, sondern auf die im IoT verfügbaren Informationen zurückgreifen können. Dadurch lassen sich Prozesse lokal und verteilt optimieren und klassische “Maschine-zu-Maschine“-Abläufe entwickeln sich zu “Roboter-zu-Roboter“-Interaktionen weiter. Roboter in einem IoRT-Netzwerk können Daten teilen, aus Fehlern lernen und Optimierungspotenziale erkennen, was insbesondere in Produktionsanlagen mit kollaborierenden Robotern zu Effizienzsteigerungen führt. Praxisbeispiele, wie das Amazon Fulfillment Center, verdeutlichen den Nutzen.



Bild 14.10: Multi-Robot-System bei Amazon

Hierbei bewegen Roboter autonom Warenablagen zu den Mitarbeitern, erkennen Hindernisse über Kameras und Infrarotsensoren, navigieren mithilfe von QR-Codes auf dem Boden und werden über eine zentrale Wi-Fi-Verbindung koordiniert. Das Ergebnis ist eine deutliche Reduzierung langer Laufwege, schnellere Auftragsbearbeitung und eine flexible Handhabung verschiedener Produktarten und -größen.

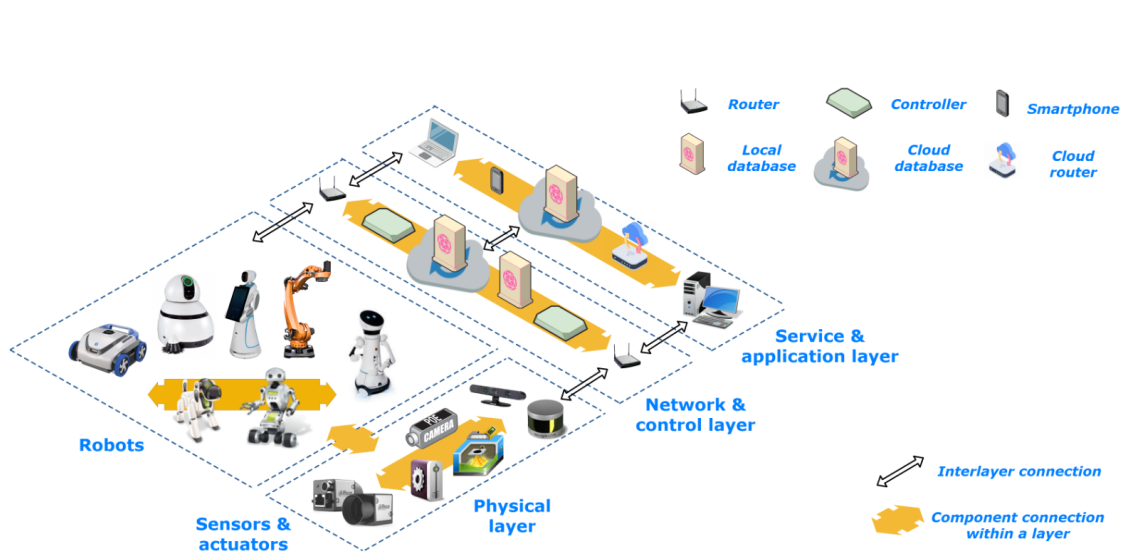


Bild 14.11: IoRT Systemarchitektur

Die Architektur des IoRT kann in drei Schichten unterteilt werden. In der physischen Schicht agieren die Roboter als intelligente Agenten, kommunizieren untereinander und bilden Multi-Robot-Systeme, unterstützt von Kameras oder Bewegungssensoren sowie Aktuatoren, beispielsweise Werkzeugmaschinen oder 3D-Druckern. Die Netzwerk- und Steuerungsschicht umfasst Router, Controller, lokale und Cloud-Datenbanken sowie die Kommunikations- und Steuerprotokolle, die die Koordination zwischen Robotern, Sensoren und Aktuatoren sicherstellen. In der Service- und Anwendungsschicht werden Programme zur Überwachung, Verarbeitung und Steuerung implementiert, die mithilfe von KI und Machine Learning die Prozesse optimieren. Vernetzung und Kommunikation erfolgen häufig über drahtlose Mesh-Netzwerke, um den Datenaustausch zwischen Robotern, Sensoren, Aktuatoren und Smart Spaces zu ermöglichen.

IoRT unterstützt besonders Multi-Robot-Systeme (MRS), bei denen mehrere Roboter in derselben Umgebung zusammenarbeiten. Ziele sind dabei eine höhere Effizienz, verteilte Aufgabenbewältigung, erweiterte Funktionalität und Fehlerresistenz durch Redundanz. Herausforderungen bestehen in der Koordination, möglichen Interferenzen, Kosten und Robustheit. Multi-Robot-Systeme lassen sich nach verschiedenen Dimensionen klassifizieren, etwa in Bezug auf Kooperationsgrad, Wissen, Art der Koordination, Teamorganisation, Kommunikationsmechanismen, Teamzusammensetzung, Architektur und Teamgröße. IoRT bietet hier eine natürliche Lösung, um die Netzwerk- und Kommunikationsanforderungen effizient zu unterstützen.

Die öffentliche Wahrnehmung von vernetzten Robotern ist oft von Ängsten geprägt, die auf Science-Fiction-Szenarien zurückgehen, in denen Roboter gegen Menschen agieren. Tatsächlich ist eine vollständig autonome, menschenfeindliche Roboterwelt reine Fiktion. Dennoch wirft IoRT gesellschaftliche Fragen auf, etwa hinsichtlich möglicher Arbeitsplatzverluste oder der Neuschaffung von Arbeitsplätzen durch KI-gestützte Robotersysteme. Gleichzeitig ermöglicht IoRT die flexible Zusammenarbeit von Mensch und Maschine, wobei Roboter Routineaufgaben übernehmen und Menschen ihre kognitiven Fähigkeiten, Flexibilität und Problemlösungsfähigkeiten einbringen können.

Insgesamt stellt das IoRT die nächste Evolutionsstufe der Robotik dar. Es verbindet physische Robotik mit datenbasierter Intelligenz, ermöglicht vernetzte, autonome und lernfähige Roboterteams und optimiert Prozesse in Smart Spaces. Praxisbeispiele wie das Amazon Fulfillment Center zeigen, dass IoRT die Effizienz steigert, Ressourcen schont und die Grundlage für eine neue, flexible Form der Produktion legt, in der Robotik und menschliche Arbeit effektiv kombiniert werden.

14.7 Losgröße 1 in der Industrie 4.0

Die Losgröße 1 beschreibt die Fertigung eines Produkts als Einzelstück, also ein Los mit der Größe 1, mit dem Ziel, individuelle Kundenwünsche bei gleichzeitiger wirtschaftlicher Produktion zu erfüllen. Im Gegensatz zur traditionellen Fertigung, bei der eine optimale Losgröße größer als 1 angestrebt wird, um Umrüstkosten zu minimieren und große Produktionsmengen effizient abzuwickeln, stellt die Losgröße-1-Produktion besondere Anforderungen an die industrielle Wertschöpfung. Klassische Produktionsanlagen waren aufgrund hoher Rüstzeiten und beschränkter Flexibilität nur bedingt in der Lage, eine hohe Variantenvielfalt wirtschaftlich zu fertigen.

Die Realisierung von Losgröße 1 wird durch die Kombination moderner Robotik, des Internet of Robotic Things (IoRT) und autonomer Transportsysteme wesentlich erleichtert. Industrieroboter ermöglichen präzise, schnelle und wiederholbare Arbeitsschritte, die für die Fertigung individueller Produkte in Einzelstücken erforderlich sind. Durch flexible Robotersysteme lassen sich unterschiedliche Produktionsaufträge ohne lange Umrüstzeiten umsetzen, während humanoide Roboter und Cobots die direkte Zusammenarbeit mit Menschen in der Montage und bei anstrengenden Arbeitsschritten ermöglichen.

Das IoRT erweitert diese Möglichkeiten, indem vernetzte Roboter in Echtzeit Informationen austauschen, ihre Handlungen autonom anpassen und voneinander lernen können. Durch die Integration in Smart Spaces lassen sich Prozesse flexibel steuern, Engpässe vermeiden und mehrere Roboter gleichzeitig effizient koordinieren. Die Daten aus IoRT-Netzwerken unterstützen zudem die kontinuierliche Optimierung der Produktion und reduzieren den Programmieraufwand einzelner Maschinen.

Autonome Transportsysteme tragen zusätzlich dazu bei, Materialflüsse und Logistikprozesse innerhalb der Fertigung flexibel zu gestalten. Waren, Werkstücke oder Bauteile können bedarfsgerecht und ohne menschliche Eingriffe zwischen den Fertigungsstationen transportiert werden, wodurch Wartezeiten minimiert und die Durchlaufzeit einzelner Aufträge reduziert werden.

In Kombination schaffen diese Technologien die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche, flexible und individualisierte Fertigung. Durch die Automatisierung, Vernetzung und adaptive Steuerung wird die Produktion von Produkten mit der Losgröße 1 möglich, ohne dass Effizienz oder Qualität verloren gehen. Die Smart Factory bildet so die Grundlage, um auf Kundenwünsche schnell, präzise und ressourcenschonend reagieren zu können.

14.8 Zusammenfassung

Die Robotik bildet das Rückgrat der Smart Factory und ermöglicht durch flexible, präzise und wiederholbare Arbeitsschritte die Automatisierung industrieller Produktionsprozesse. Unterschiedliche Robotertypen, vom Knickarmroboter über SCARA- und Delta-Roboter bis hin zu mobilen Plattformen und humanoiden Robotern, decken ein breites Spektrum an Aufgaben ab, von der Montage kleiner Bauteile über Palettierung bis hin zur direkten Zusammenarbeit mit Menschen. Humanoide Roboter wie Tesla Optimus oder Apollo verdeutlichen, wie menschenähnliche Flexibilität mit roboterbasierter Präzision kombiniert werden kann, um auch komplexe und körperlich belastende Aufgaben zu übernehmen.

Das Internet of Robotic Things (IoRT) erweitert diese Möglichkeiten, indem Roboter in Echtzeit vernetzt arbeiten, Daten austauschen und voneinander lernen. Die Integration in Smart Spaces ermöglicht eine adaptive Steuerung, optimiert Multi-Robot-Systeme und reduziert den Programmieraufwand einzelner Roboter. Praxisbeispiele wie das Amazon Fulfillment Center zeigen, dass vernetzte Roboter die Effizienz steigern, Prozesse optimieren und die Ressourcennutzung verbessern können.

Diese Technologien schaffen die Grundlage für die Umsetzung der Losgröße 1 in der Industrie 4.0. Durch die Kombination von Robotik, IoRT und autonomen Transportsystemen wird eine wirtschaftliche und flexible Fertigung individueller Produkte in Einzelstücken möglich. Die

Smart Factory ermöglicht so eine schnelle, präzise und ressourcenschonende Produktion, bei der Kundenwünsche direkt in den Fertigungsprozess integriert werden können, ohne dass Effizienz oder Qualität verloren gehen.

KAPITEL 15

Additive Fertigung in der Industrie 4.0

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels werden Sie wissen, ...

-was additive Fertigung ist.
-welche Prozessschritte von der Datei bis zum fertigen Bauteil nötig sind.
-welche Fertigungsverfahren es für die additive Fertigung gibt.
-welche Rolle die additive Fertigung in der Industrie 4.0 spielt.
-welche Vor-und Nachteile die Technologie in der Industrie bietet.

Einführung

Additive Fertigung, auch bekannt als 3D-Druck, wird immer wichtiger, weil sie neue Möglichkeiten in der Produktion eröffnet. Sie ermöglicht die Herstellung komplexer Formen und individueller Produkte auf effiziente Weise. Mit zunehmendem Bedarf an Flexibilität, schneller Umsetzung und Ressourcenschonung gewinnt diese Technologie in vielen Bereichen an Bedeutung.

15.1 Grundlagen der Additiven Fertigung

Bei einem subtraktiven Fertigungsverfahren wird Material aus einem Block abgetragen, bis das Werkstück die gewünschte Geometrie besitzt. Dieses Prinzip ist seit Jahrtausenden bekannt und wurde bereits von Bildhauern angewendet, etwa bei der Erschaffung von Marmorstatuen oder bei Holzschnitzereien.

Auch moderne Fertigungsverfahren wie CNC-Fräsen und CNC-Drehbänke beruhen auf demselben Grundprinzip. Dabei werden Werkzeuge oder Werkstücke aus Metallen mittels Zerspanung herausgearbeitet.

Die Additive Fertigung (AF), auch als Additive Manufacturing (AM) oder 3D-Druck bezeichnet, beschreibt ein Verfahren zur schichtweisen Herstellung dreidimensionaler Objekte. Im Gegensatz zu traditionellen Fertigungsverfahren, bei denen Material durch Fräsen, Bohren oder Gießen entfernt oder geformt wird, entsteht das Werkstück bei der additiven Fertigung durch das schichtweise Auftragen von Material genau dort, wo es benötigt wird. Dieses Prinzip ermöglicht eine besonders ressourcenschonende, flexible und individuelle Produktion.

Seit den 1970er-Jahren ergänzt die Additive Fertigung klassische Produktionsverfahren und hat sich zu einer Schlüsseltechnologie der modernen Industrie entwickelt. Der Begriff „3D-Druck“ fand ab etwa 2012 zunehmend Verbreitung und führte zu großem öffentlichen und medialen Interesse. Der dadurch ausgelöste weltweite Hype machte die Technologie auch außerhalb

der Industrie bekannt und trug wesentlich zu ihrer Weiterentwicklung und Anwendung in verschiedensten Bereichen bei.

Die Kernidee der Additiven Fertigung liegt in der direkten Umsetzung digitaler Modelle in physische Produkte. Dadurch können selbst komplexe Geometrien und individuelle Einzelstücke effizient hergestellt werden, was die Technologie zu einem wichtigen Bestandteil moderner, flexibler Produktionssysteme und der Industrie 4.0 macht.

15.2 Funktionsprinzip und Prozesskette

Die Additive Fertigung durchläuft mehrere aufeinander abgestimmte Prozessschritte, von der digitalen Modellierung bis zur Nachbearbeitung des physischen Bauteils. Jeder dieser Schritte hat entscheidenden Einfluss auf die Qualität, Präzision und Reproduzierbarkeit des Endprodukts.

Grundlage für den additiven Fertigung ist eine digitale STL-Datei (Standard Tessellation Language), die das zu fertigende Objekt in Form eines Polygonnetzes, meist aus Dreiecken, beschreibt. Diese Datei kann entweder aus einem CAD-Programm erstellt oder mithilfe von 3D-Scannern und anderen Digitalisierungsverfahren erzeugt werden. Die STL-Datei bildet somit die Brücke zwischen Konstruktion und Fertigung.

Im nächsten Schritt wird die STL-Datei in einer Slicing-Software verarbeitet. Diese wandelt das digitale 3D-Modell in einen Maschinencode (G-Code) um, der die additiven Fertigungsanlagen steuert. Dazu wird das Modell in viele horizontale Schichten unterteilt, ein Prozess, der als „Slicing“ bezeichnet wird. Anschließend können in der Slicing-Software verschiedene Parameter konfiguriert werden, wie Druck- und Bewegungsgeschwindigkeit, Temperatur, Füllmuster oder die Positionierung des Bauteils im Bauraum.

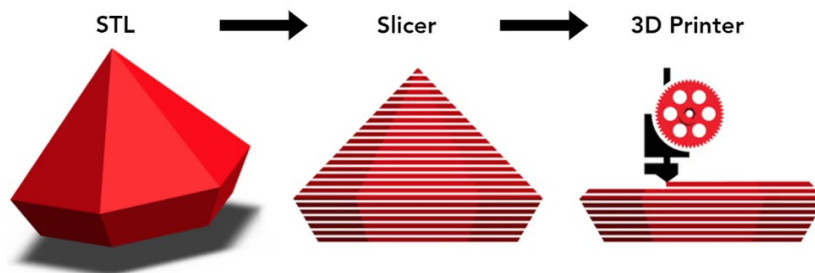


Bild 15.1: Prozess im 3D Druck

Bevor die eigentliche Fertigung startet, ermöglicht die Software eine Simulation des Bauprozesses, um potenzielle Fehler oder Kollisionen zu erkennen und den Material- sowie Zeitaufwand zu optimieren. Der fertige G-Code wird über unterschiedliche Wege an die Fertigungsanlage übertragen, typischerweise per Speicherkarte, Kabelverbindung oder Netzwerk (WLAN/Ethernet). Die Speicherkarte bietet dabei Vorteile wie eine geringere Fehleranfälligkeit und Energieeinsparung, die Kabelverbindung hingegen erlaubt eine Echtzeitüberwachung des Prozesses. Während des Druckvorgangs entsteht das physische Objekt Schicht für Schicht. Überhänge, die einen Neigungswinkel von mehr als 45° aufweisen, erfordern Stützstrukturen. Diese können entweder aus demselben Material wie das Bauteil bestehen und mechanisch entfernt werden oder aus einem löslichen Fremdmaterial, das nach dem Druck chemisch aufgelöst wird.

Die Detailgenauigkeit und Oberflächenqualität hängen dabei maßgeblich von der gewählten Schichtdicke (Z-Auflösung) und dem Düsenausgangsdurchmesser (X/Y-Auflösung) ab. Dünnere Schichten führen zu einer glatteren Oberfläche, aber erhöhen jedoch auch die Fertigungszeit.

Nach Abschluss der additiven Fertigung folgt die Nachbearbeitung, um die optische und funktionale Qualität der Oberfläche zu verbessern. Besonders bei FDM/FLM-Verfahren sind mechanische Nacharbeiten erforderlich, da Oberflächen häufig sichtbare Schichtlinien aufweisen.

In der Regel erfolgt eine mehrstufige Veredelung.

Durch mechanisches Bearbeiten der Oberfläche werden überschüssiges Pulver, Treppenstufen und Stützkonturen entfernt. Anschließend können optional noch Wärmebehandlungen durchgeführt werden.

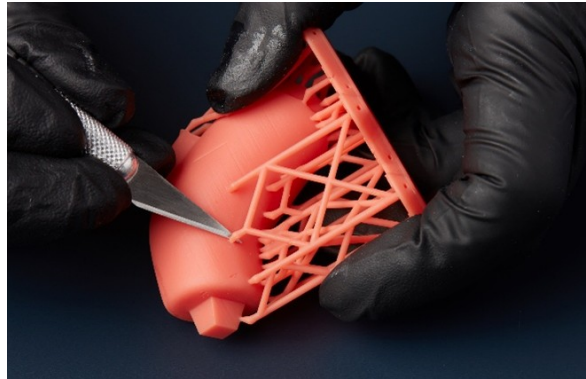


Bild 15.2: Entfernen der Stützkontur

15.3 Additive Fertigungsverfahren und Werkstoffe

Die Additive Fertigung umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren, die sich vor allem in der Art des Materialauftrags und der Energiezufuhr unterscheiden. Grundsätzlich werden Bauteile schichtweise aufgebaut, wobei verschiedene Materialien (fest, flüssig) zum Einsatz kommen. Die Auswahl des geeigneten Verfahrens hängt maßgeblich von den gewünschten Werkstoffeigenschaften, der Bauteilgeometrie und dem Anwendungsgebiet ab.

Zu den wichtigsten additiven Fertigungsverfahren zählt das **Binder Jetting**. Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine besonders breite Materialkompatibilität aus, da sich unterschiedlichste Werkstoffe wie Metalle, Kunststoffe, Keramiken, Gips oder Sand verarbeiten lassen. Es wird daher sowohl im Prototypenbau als auch für funktionale Endbauteile eingesetzt.

Der Druckprozess beginnt mit dem Auftragen einer feinen Pulverschicht auf eine Bauplattform. Diese Platte senkt sich zunächst leicht ab, während eine Walze das Pulver gleichmäßig verteilt. Anschließend bewegt sich ein Tintenstrahlkopf, der in seiner Funktionsweise dem eines herkömmlichen 2D-Druckers ähnelt, präzise über das Pulverbett. Dabei trägt er das flüssige Bindemittel in Form winziger, etwa 80 µm großer Tröpfchen gezielt dort auf, wo das Material verfestigt werden soll.

Nach Abschluss einer Schicht senkt sich die Bauplattform erneut ab, und eine neue Pulverschicht wird ausgebracht. Der Vorgang wiederholt sich Schicht für Schicht, bis das vollständige Bauteil aufgebaut ist. Nach dem Druck wird das überschüssige Pulver entfernt, das nicht mit dem Bindemittel in Kontakt gekommen ist. Dieses ungebundene Pulver kann teilweise recycelt und für weitere Druckprozesse wiederverwendet werden, was die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit des Verfahrens verbessert.

Ein großer Vorteil des Binder Jettings liegt darin, dass keine zusätzlichen Stützstrukturen erforderlich sind. Das Pulverbett selbst fungiert während des gesamten Bauprozesses als natürliche Stütze, was eine höhere Gestaltungsfreiheit und komplexere Geometrien ermöglicht.

Die Festigkeit und Robustheit der hergestellten Objekte hängen stark vom verwendeten Bindemittel und den anschließenden Nachbearbeitungsschritten ab. Unbehandelte Bauteile weisen in der Regel eine geringere mechanische Stabilität auf als Metall- oder Keramikteile. Durch anschließendes Sintern, also das thermische Verdichten des Materials, kann die Festigkeit jedoch deutlich gesteigert werden.

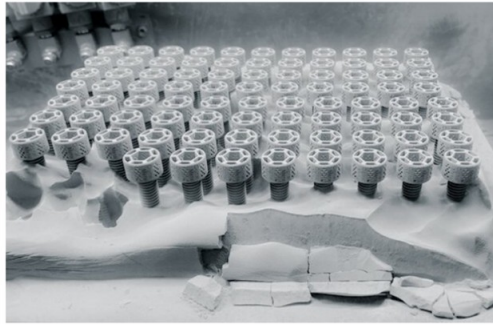


Bild 15.3: Binder Jetting

Beim **Material Jetting** wird eine Bauplattform Schicht für Schicht mit winzigen Tropfen des Bau- oder Stützmaterials versehen, die über Druckköpfe aufgetragen werden. Die Tröpfchen härten unmittelbar aus, entweder durch UV-Bestrahlung oder Abkühlung, wie zum Beispiel bei Wachsmaterialien. Nach jeder abgeschlossenen Schicht senkt sich die Bauplattform geringfügig ab, damit die nächste Lage aufgetragen werden kann. Überhänge und komplexe Strukturen werden dabei durch Stützmaterial stabilisiert, das ebenfalls in Tropfenform aufgebracht und nach Abschluss des Drucks durch Wegschmelzen oder Auflösen entfernt wird.

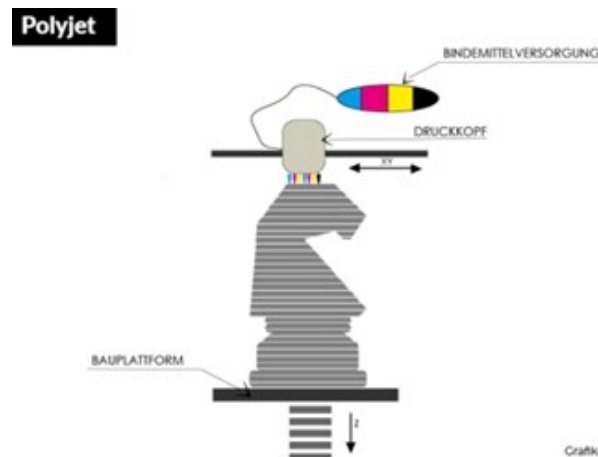


Bild 15.4: Material Jetting

Das Material Jetting überzeugt durch eine hohe Präzision bei der Platzierung der Tropfen und der Schichtdicke. Dadurch entstehen sehr glatte Oberflächen und fein detaillierte Strukturen. Zudem ermöglicht das Verfahren eine flexible Kombination von Farben, Transparenzgraden und Materialeigenschaften wie Härte oder Elastizität. Diese Eigenschaften machen das Material Jetting besonders geeignet für Prototypen, Designmodelle und Anwendungen mit hohen ästhetischen Anforderungen, etwa in der Medizintechnik oder beim Feinguss.

Einschränkungen ergeben sich durch die begrenzte Festigkeit der verwendeten Polymere, die meist nicht die Beständigkeit klassischer Thermoplaste erreichen. Hinzu kommen hohe Anschaffungs- und Betriebskosten, da sowohl die Druckköpfe als auch das Aushärtesystem spezielle Umgebungsbedingungen und eine regelmäßige Wartung erfordern. Zudem ist das Bauvolumen vieler Maschinen begrenzt, da sich die hochpräzisen Druckköpfe nur schwer vergrößern lassen. Aus diesem Grund findet das Material Jetting in der Großserienfertigung nur selten Anwendung.

Beim **Material Extrusion** wird ein thermoplastisches Filament oder eine pastöse Masse über einen Zuführmechanismus in eine beheizte Düse gefördert. Dort schmilzt das Material oder wird stark plastifiziert und anschließend durch die Düse auf die Bauplattform aufgetragen.

Der Druckkopf (oder alternativ die Bauplattform) bewegt sich präzise in der X- und Y-Richtung, um die erste Materiallage entsprechend den vorgegebenen 3D-CAD-Daten zu erzeugen. Sobald eine Schicht abgeschlossen ist, senkt sich die Bauplattform oder der Druckkopf hebt sich an, um Platz für die nächste Schicht zu schaffen. Durch das schnelle Abkühlen des extrudierten Materials verfestigt sich jede Lage, wodurch Schicht für Schicht ein dreidimensionales Objekt entsteht.

Für eine stabile Verbindung der Schichten ist eine exakte Abstimmung zentraler Prozessparameter erforderlich. Dazu gehören Extrusionsgeschwindigkeit, Düsentemperatur, Schichthöhe und Vorschubgeschwindigkeit. Nur bei optimaler Abstimmung entsteht eine gleichmäßige, haftstarke Verbindung zwischen den Bahnen. Ein charakteristisches Merkmal dieser Technik sind die sichtbaren Schichtrillen in den Bauteilen.

Ein wesentlicher Vorteil der Material-Extrusion liegt in ihrer einfachen technischen Umsetzung und den damit verbundenen niedrigen Investitionskosten. Die Anlagen sind meist kompakt, leicht zu bedienen und eignen sich für eine breite Materialvielfalt, vom kostengünstigen PLA für einfache Prototypen bis hin zu Hochleistungskunststoffen wie PEEK für industrielle Anwendungen.

Im Vergleich zu präziseren Verfahren wie dem Material Jetting weist die Material-Extrusion jedoch eine geringere Oberflächenqualität und Detailauflösung auf. Die sichtbaren Schichtlinien bleiben oft bestehen und durch Schrumpfungs- oder Verzugseffekte beim Abkühlen können Rissbildungen oder Haftungsprobleme zwischen den Schichten auftreten. Auch die mechanischen Eigenschaften der Bauteile sind stark von Druckparametern, Materialwahl und Bauraumtemperatur abhängig.

Um die Bauteilqualität zu verbessern, können Nachbearbeitungsschritte wie Schleifen, Polieren oder Wärmebehandlungen notwendig sein.

Beim der **Vat-Photopolymerization** wird flüssiges Harz in einen meist lichtdurchlässigen Behälter (z.B. Glas oder spezieller Kunststoff) gefüllt. Eine Lichtquelle wie beispielweise ein Laser, Projektor oder ein LCD-Panel, härtet gezielt die Kontur der Bauteilschicht aus. Anschließend bewegt sich entweder die Bauplattform oder das optische System, sodass eine neue Harzschicht verfügbar ist. Dieser Prozess wiederholt sich Schicht für Schicht, bis das Bauteil die gewünschte Höhe erreicht hat. Nach Fertigstellung wird das Objekt aus dem Harzbad genommen und häufig einer Nachhärtung unter UV-Licht unterzogen, um die Endfestigkeit zu gewährleisten.

Die Methode überzeugt durch sehr hohe Oberflächenqualität und präzise Maßhaltigkeit. Die Bauteile wirken oft nahezu spritzgegossen und dank spezieller Harze sind Einsätze in Medizin-

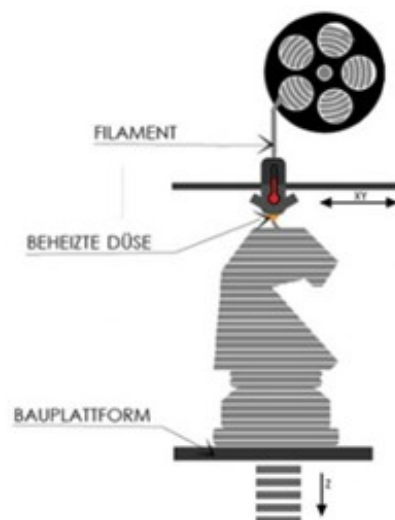


Bild 15.5: Material Extrusion

und Zahntechnik, Schmuckfertigung und Designprototyping möglich. Zudem lassen sich sehr feine Details darstellen und durch transparente oder farbige Harze sind vielfältige ästhetische und funktionale Eigenschaften realisierbar.

Einschränkungen ergeben sich durch die mechanischen Eigenschaften der Photopolymere, die oft spröde sind und nur begrenzte Wärme- oder Chemikalienbeständigkeit aufweisen. Die Harze sind teilweise teuer und erfordern sorgfältige Handhabung (z.B. Schutzkleidung, UV-Schutz). Auch die Bauraumgrößen sind im Vergleich zu Powder-Bed-Fusion- oder Material-Extrusionsverfahren oft limitiert. Abschließend ist häufig eine UV-Nachhärtung notwendig, um die finalen Materialeigenschaften zu erreichen.

Beim Powder Bed Fusion (PBF) wird eine dünne Pulverschicht gleichmäßig auf die Bauplattform aufgetragen. Anschließend schmilzt oder sintert eine Energiequelle, meist ein Laser oder Elektronenstrahl, die Pulverkörner gezielt an den Stellen, an denen später das Bauteil entstehen soll. Nach jeder Schicht senkt sich die Plattform minimal ab und eine neue Pulverschicht wird verteilt. Dieser Zyklus wiederholt sich, bis das Werkstück Schicht für Schicht vollständig aufgebaut ist. Das überschüssige Pulver stützt das Bauteil während des Druckprozesses, wodurch separate Stützstrukturen oft überflüssig werden. Bei Polymer-PBF-Verfahren genügt es meist, das fertige Teil aus dem Pulverbett zu entnehmen und überschüssiges Pulver abzubürsten oder abzusaugen. Bei Metall-PBF-Verfahren sind in manchen Fällen Stützstrukturen nötig, etwa zum Wärmemanagement oder zur Bauteilfixierung, die sich nachträglich wieder entfernen lassen.

Das Verfahren erlaubt nahezu uneingeschränkte Formfreiheit, da das lose Pulver eine natürliche Stützfunktion übernimmt. Zudem sind feine Details, hohe Auflösungen, geringe Wandstärken und bei metallischen Bauteilen hohe Dichte möglich. Komplexe innere Strukturen und funktionsintegrierte Designs, etwa für Leichtbauanwendungen, lassen sich so realisieren, die mit konventionellen Verfahren schwer umsetzbar wären.

Nachteile bestehen in den hohen Investitionskosten für Maschinen und Pulvermaterialien sowie im aufwendigen Pulverhandling, insbesondere bei reaktiven oder gesundheitsschädlichen Metallen. Die Baugeschwindigkeit kann bei filigranen oder sehr großen Teilen begrenzt sein. Metallische PBF-Bauteile erfordern zudem häufig eine Nachbearbeitung, z.B. Entfernen von Stützstrukturen, Oberflächenbearbeitung oder Wärmebehandlung, um die gewünschten Endmaterialeigenschaften zu erreichen.

Beim Directed Energy Deposition (DED) erzeugt ein gebündelter Energieträger eine kleine Schmelzzone, in die gleichzeitig Pulver oder Draht eingebracht wird. Das neue Material verschmilzt dabei mit der Oberfläche des Grundwerkstoffs, sodass das Bauteil Schicht für Schicht aufgebaut wird. Die Steuerung erfolgt über 3D-Daten, die den Auftragspfad und die Schichtstärke bestimmen. Ein wesentliches Merkmal von DED ist, dass nur der Bereich aufgeschmolzen wird, der für die Haftung der neuen Schicht nötig ist, wodurch thermische Belastungen und Verzug reduziert werden.

DED bietet besonders bei Reparaturen und großvolumigen Bauteilen Vorteile. Beschädigte Bereiche lassen sich gezielt reparieren, ohne das gesamte Werkstück hohen Temperaturen auszusetzen. Das Verfahren erlaubt hohe Ablagerungsraten und große Bauraumflexibilität,



Bild 15.6: Vat-Photopolymerization

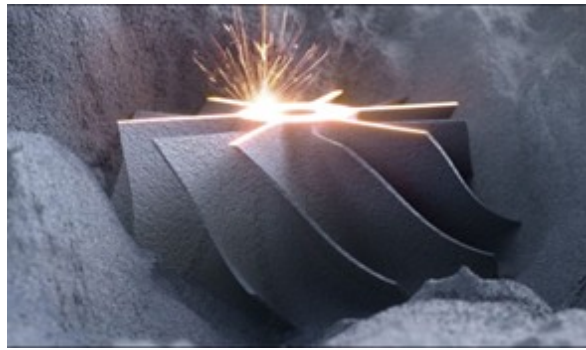


Bild 15.7: Powder Bed Fusion

da es nicht zwingend an eine feste Kammer gebunden ist. Manche Anlagen nutzen Industrieroboter, um auch komplexe Konturen oder gekrümmte Oberflächen präzise aufzutragen.

Nachteilig sind häufig relativ grobe Oberflächen und Konturen, sodass eine mechanische Nachbearbeitung nötig sein kann, wenn enge Toleranzen gefordert sind. Pulverbasierte DED-Systeme liefern zwar feinere Schichten, erfordern jedoch teureres Ausgangsmaterial. Zudem erfordert die Koordination von Energieträger und Materialzufuhr eine präzise Prozessüberwachung und komplexe Maschinensteuerung.

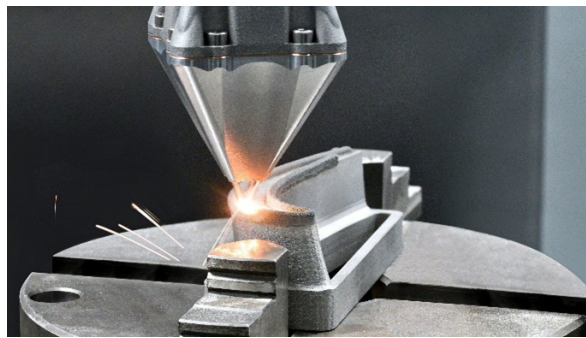


Bild 15.8: Directed Energy Deposition

Im Folgenden sollen die wichtigsten Werkstoffe der additiven Fertigung aufgezeigt werden. Bei festen Werkstoffen, wie Pulver oder Granulat, lassen sich großformatige Werkstücke herstellen, beispielsweise im Maschinenbau oder der Luft- und Raumfahrt. Verfahren mit flüssigen Stoffen eignen sich für kleinere bis mittelgroße Werkstücke, etwa in der Medizintechnik.



Bild 15.9: Werkstoffe für den 3D-Druck

Hinsichtlich der Materialkategorien kommen vor allem vier Gruppen zum Einsatz. Metalle (z. B. Stahl, Aluminium, Titan), die für hochbelastbare Bauteile genutzt werden, Polymere wie ABS, PA oder PEEK für Prototypen und funktionsfähige Kunststoffteile, Keramiken für hochtemperatur- oder verschleißfeste Komponenten, sowie Biomaterialien wie Hydro-

gele oder Kollagen, die in der Medizintechnik und im Tissue Engineering Anwendung finden.

Auch die Materialformen unterscheiden sich je nach Verfahren. Pulver ermöglicht präzise Bauteile mit hoher Genauigkeit, während Granulate kostengünstiger, aber weniger präzise sind. Filamente (fadenförmige Kunststoffe) zeichnen sich durch eine einfache Handhabung aus. Flüssige Harze liefern sehr glatte Oberflächen.

Damit bietet die Additive Fertigung ein breites Spektrum an Verfahren und Werkstoffen, das von der Herstellung feiner Prototypen bis hin zu robusten Metallstrukturen reicht. Durch die gezielte Auswahl des passenden Verfahrens und Materials lassen sich maßgeschneiderte Lösungen für unterschiedlichste industrielle Anforderungen realisieren.

15.4 Additive Fertigung in der Industrie 4.0

Die fortschreitende Digitalisierung verändert die industrielle Fertigung grundlegend und macht Produktionsprozesse deutlich flexibler und effizienter. Durch die Datenintegration entlang der gesamten Prozesskette, von der Produktentwicklung über die Fertigung bis zur Logistik, wird eine hohe Transparenz und Effizienz erreicht. Besonders die Additiven Fertigungsverfahren tragen dazu bei, die sogenannte Time-to-Market zu verkürzen, also den Zeitraum zwischen der Entwicklung und dem Markteintritt eines Produkts erheblich zu reduzieren. Dank moderner Datenübertragungsmöglichkeiten kann die Additive Fertigung nahtlos in digitale Produktionsketten eingebunden werden, ein entscheidender Schritt in Richtung vollständig vernetzter und selbststeuernder Fertigungssysteme. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Digitalisierung ist das Konzept des Digital Warehousing. Dabei werden Ersatzteile nicht physisch, sondern digital gespeichert, etwa in Form von 3D-Datenbanken. Bei Bedarf können diese Teile sofort additiv gefertigt werden, wodurch Lagerkosten entfallen und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen langfristig gewährleistet bleibt.

Die Additive Fertigung ist zudem durch einen hohen Automatisierungsgrad gekennzeichnet. Über digitale Prozessketten werden sämtliche Maschinensteuerungsdaten automatisch bereitgestellt, sodass der Druckprozess per Knopfdruck startet und weitgehend autonom abläuft. Diese menschenunabhängige Produktion ermöglicht eine kontinuierliche 24/7-Fertigung, gleichbleibende Produktionsraten und eine stabile Produktqualität.

Trotzdem sind manuelle Schritte weiterhin erforderlich, etwa bei der Bestückung der Drucksysteme, der Nachbearbeitung der Bauteile oder der Qualitätsprüfung. Langfristig wird die Additive Fertigung damit zu einem zentralen Bestandteil der digitalisierten Industrieproduktion. Sie verbindet Flexibilität, Individualisierung und Wirtschaftlichkeit und stärkt so die Konkurrenzfähigkeit gegenüber der konventionellen Serienfertigung.

15.5 Einsatzgebiete der additiven Fertigung

Die additive, werkzeuglose Fertigung eignet sich besonders für die Herstellung von Produkten in geringen Stückzahlen. Sie ermöglicht einen hohen Individualisierungsgrad, da Anpassungen direkt in der CAD-Datei vorgenommen und ohne großen Aufwand in das fertige Produkt übertragen werden können. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass die Bauteilkomplexität kaum Einfluss auf den Fertigungsprozess hat, selbst komplexe Geometrien lassen sich effizient und präzise realisieren.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Additive Fertigung vor allem dann sinnvoll, wenn geringe Stückzahlen und eine hohe Variantenvielfalt gefragt sind. Sie erlaubt eine Produktion nach Bedarf (On-Demand) und reduziert dadurch Lagerbestände und Kapitalbindung. Dabei kann man die Additive Fertigung hinsichtlich ihres Einsatzzwecks in verschiedene Kategorien einteilen, die den technologischen Reifegrad und den Verwendungszweck der hergestellten Bauteile widerspiegeln. Grundsätzlich werden drei Hauptbegriffe unterschieden. Rapid Prototyping (RP), Rapid Tooling (RT) und Additive Manufacturing (AM).

Unter Rapid Prototyping (RP) versteht man die schnelle und kostengünstige Herstellung

von Muster- oder Prototypenteilen. Ziel ist es, in frühen Entwicklungsphasen Design- und Funktionsprüfungen durchführen zu können, ohne auf aufwendige oder teure Werkzeuge angewiesen zu sein. RP-Verfahren ermöglichen somit ein abteilungsübergreifendes Testen und eine deutlich verkürzte Entwicklungszeit.



Bild 15.10: Prototyp aus 3D-Druck und Originalteil



Bild 15.11: Prototyp aus 3D-Druck

Das Rapid Tooling (RT) geht einen Schritt weiter und bezieht sich auf die Fertigung von Werkzeugen oder Werkzeugkomponenten, die anschließend in urformenden oder umformenden Verfahren, wie dem Spritzgießen oder Tiefziehen, eingesetzt werden. Diese Vorgehensweise erlaubt eine effiziente Herstellung von Formeinsätzen, Vorrichtungen oder Gießformen und trägt zur Verkürzung der Produktionsvorbereitung bei.



Bild 15.12: Form aus 3D-Druck

Der Begriff Additive Manufacturing (AM) schließlich beschreibt die industrielle Nutzung additiver Verfahren zur Serienproduktion marktfähiger Endprodukte. Im Gegensatz zu Rapid Prototyping oder Rapid Tooling steht hier nicht mehr der Modellbau oder die Werk-

zeugerstellung im Vordergrund, sondern die direkte Fertigung funktionaler Bauteile oder Kleinserien.



Bild 15.13: Geldablagefach: Von Daimler additiv gefertigt

Durch diese Einordnung wird deutlich, dass sich die Additive Fertigung von einer reinen Prototypentechnologie zu einem vollwertigen Produktionsverfahren entwickelt hat. Damit leistet sie einen zentralen Beitrag zur Flexibilisierung moderner Fertigungsprozesse und zur Realisierung individueller Produkte im Sinne der Industrie 4.0.

15.6 Vorteile und Herausforderungen

Ein großer Vorteil der Additiven Fertigung liegt in ihrer Flexibilität. Sie ermöglicht eine individuelle Anpassung von Produkten an spezifische Anforderungen und ist dabei oft kostengünstiger als viele klassische Fertigungsverfahren. Entwicklungszeiten können deutlich verkürzt werden, da Ergebnisse häufig innerhalb weniger Stunden statt Tagen oder Wochen vorliegen. Zudem erlaubt das Verfahren die Herstellung kleiner Losgrößen oder komplexer Geometrien ohne hohen Kostenaufwand.

Auch im Entwicklungs- und Testprozess ergeben sich klare Vorteile. Designkonzepte können bereits vor dem Bau physischer Prototypen geprüft werden, wodurch sich ergonomische, optische und haptische Eigenschaften frühzeitig bewerten lassen. Funktionale Tests mechanischer, elektrischer oder aerodynamischer Eigenschaften sind ebenfalls möglich. So lassen sich Entwicklungszyklen beschleunigen und Konstruktionsfehler frühzeitig erkennen.

Ein weiterer positiver Aspekt ist die Nachhaltigkeit. Durch den schichtweisen Aufbau wird nur so viel Material verwendet, wie tatsächlich benötigt wird, Materialverschwendung wird dadurch deutlich reduziert. Zudem verbessert sich die CO₂-Bilanz durch kürzere Transportwege und die Möglichkeit lokal im Absatzmarkt zu fertigen. Umweltfreundliche Filamente aus nachwachsenden Rohstoffen, etwa PLA aus Maisstärke oder Zuckerrohr, tragen zusätzlich zur ökologischen Nachhaltigkeit bei. Thermoplaste wie HDPE oder PET können mehrfach verarbeitet werden, wodurch auch Recyclingmaterialien aus Flaschen, Filamentresten oder sogar Meereskunststoff genutzt werden können.

Neben diesen Vorteilen bestehen jedoch auch Herausforderungen. Die Oberflächengüte additiv gefertigter Bauteile ist aufgrund des Schichtaufbaus häufig eingeschränkt. Es entstehen sichtbare Stufeneffekte, die insbesondere bei Metallbauteilen eine aufwendige Nachbearbeitung erfordern. Auch die Massenfertigung stellt derzeit noch eine Grenze dar. Der Druckprozess dauert vergleichsweise lange und die Produktionskosten sind bei großen Stückzahlen noch zu hoch, um wirtschaftlich mit klassischen Verfahren zu konkurrieren.

Trotz dieser Einschränkungen bietet die Additive Fertigung erhebliche Potenziale für die industrielle Produktion. Sie ist individuell, materialsparend und ermöglicht Konstruktionen, die mit konventionellen Verfahren nicht realisierbar wären. Damit stellt sie eine Schlüsseltechnologie für flexible, nachhaltige und zukunftsorientierte Produktionsprozesse dar.

15.7 Zusammenfassung

Die Additive Fertigung hat sich von einer ursprünglich vor allem für Prototypen genutzten Technologie zu einem zentralen Bestandteil moderner Produktionsprozesse entwickelt. Sie vereint die Möglichkeit, komplexe Geometrien und individuelle Bauteile effizient herzustellen, mit der Flexibilität digital gesteuerter Fertigungsprozesse. Durch die direkte Umsetzung von CAD-Daten in physische Objekte wird nicht nur Material gespart, sondern auch die Entwicklungszeit drastisch verkürzt. Unterschiedliche Verfahren wie Binder Jetting, Material Jetting, Material-Extrusion, Vat-Photopolymerisation, Powder Bed Fusion und Directed Energy Deposition bieten jeweils spezifische Vorteile hinsichtlich Materialvielfalt, Detailgenauigkeit, mechanischer Festigkeit und Bauraumgröße, wodurch eine breite Palette von Anwendungen abgedeckt werden kann, von Prototypen und Designmodellen über funktionale Kunststoff- und Metallteile bis hin zu hochpräzisen medizinischen oder industriellen Komponenten.

Die Additive Fertigung spielt eine entscheidende Rolle in der Industrie 4.0, da sie durch hohe Automatisierung, digitale Vernetzung und flexible Produktionsplanung die Effizienz und Reaktionsfähigkeit der Fertigung erhöht. Konzepte wie Digital Warehousing und On-Demand-Produktion ermöglichen eine Reduktion von Lagerbeständen und eine schnelle Verfügbarkeit von Ersatzteilen, während die direkte Integration in die digitale Prozesskette die Transparenz und Steuerbarkeit der gesamten Fertigung verbessert. Gleichzeitig eröffnet die Technologie neue Möglichkeiten für Individualisierung, Funktionsintegration und Leichtbau, die mit konventionellen Verfahren nur schwer realisierbar sind.

Trotz der zahlreichen Vorteile bestehen weiterhin Herausforderungen, etwa bei der Oberflächenqualität, der Produktionsgeschwindigkeit für große Serien, den Investitionskosten und der Nachbearbeitung. Dennoch überwiegen die Potenziale. Die Additive Fertigung ermöglicht ressourcenschonendes Arbeiten, reduziert Materialverluste und bietet gleichzeitig eine Flexibilität, die mit traditionellen Fertigungsmethoden kaum erreichbar ist. Sie stellt somit nicht nur eine Ergänzung klassischer Produktionsverfahren dar, sondern hat das Potenzial, Produktionsprozesse grundlegend zu transformieren und neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Als Schlüsseltechnologie der modernen Industrie leistet die Additive Fertigung einen nachhaltigen Beitrag zur Individualisierung, Effizienzsteigerung und Innovationskraft in unterschiedlichsten Branchen und wird auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

Literaturverzeichnis

- [1] Gerhard Oswald and Helmut Krcmar, editors. *Digitale Transformation: Fallbeispiele und Branchenanalysen*. SpringerLink Bücher. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018. (Zitiert auf Seite 1)
- [2] Daniel R. A. Schallmo, Joachim Reinhart, and Evelyn Kuntz. *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen, Erfolgreich Gestalten: Trends, Auswirkungen und Roadmap*. Schwerpunkt Business Model Innovation Ser. Gabler, Wiesbaden, 2018. (Zitiert auf Seiten 2, 4, 6 und 8)
- [3] Robert Obermaier. *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen*. 2019. (Zitiert auf Seite 3)
- [4] Stefan Meinhardt and Alexander Pflaum. *Digitale Geschäftsmodelle – Band 1: Geschäftsmodell-Innovationen, digitale Transformation, digitale Plattformen, Internet der Dinge und Industrie 4.0*. Edition HMD. 2019. (Zitiert auf Seite 7)
- [5] Daniel Schallmo. *Jetzt digital transformieren: So gelingt die erfolgreiche digitale Transformation Ihres Geschäftsmodells*. essentials. Springer Gabler, Wiesbaden, 2., überarbeitete und erweiterte auflage edition, 2019. (Zitiert auf Seite 9)
- [6] Ernest Wallmüller. *Praxiswissen Digitale Transformation: Den Wandel verstehen, Lösungen entwickeln, Wertschöpfung steigern*. Hanser and Gabler Verlag, München, 2017. (Zitiert auf Seiten 10 und 11)
- [7] FrankfurterAllgemeinZeitung. Disruption, baby, disruption! (Zitiert auf Seite 12)
- [8] Clayton Christensen. *The innovator's dilemma : when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business School Press, 1997. (Zitiert auf Seiten 13 und 15)
- [9] Bundesministerium. Einführungsszenarien und migrationspfade industrie 4.0. (Zitiert auf Seite 13)
- [10] Timo Strathmann. *Elektromobilität als disruptive Innovation*. Springer Gabler, 2019. (Zitiert auf Seite 14)
- [11] Christoph Schlautmann. Fotoindustrie kodak selbst laeutete den niedergang ein. (Zitiert auf Seite 16)
- [12] Thales Teixeira. Harvard business review: Disruption starts with unhappy customers not technology. (Zitiert auf Seite 17)
- [13] Greg Satell. Forbes: 4 ways to beat disruptive innovation. (Zitiert auf Seite 18)
- [14] Walter Isaacson. Harvard business review: The real leadership lessons of steve jobs. (Zitiert auf Seite 18)
- [15] GoogleX. Company website. (Zitiert auf Seite 19)
- [16] Daimler. Der weg zum otto-motor. (Zitiert auf Seite 20)
- [17] RechnerOnline. Elektroauto verbrauch. (Zitiert auf Seite 20)

- [18] Wolfgang Ertel. *Grundkurs Künstliche Intelligenz: Eine praxisorientierte Einführung*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden and s.l., 4 // 3. aufl. 2013 edition, 2016 // 2013. (Zitiert auf Seite 22)
- [19] K. Mainzer and Klaus Mainzer. *Künstliche Intelligenz - Wann übernehmen Maschinen? // Künstliche Intelligenz - Wann übernehmen die Maschinen?* Technik im Fokus. Springer Verlag and Springer, Deutschland, 2019 // 2016. (Zitiert auf Seite 22)
- [20] Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult. and Wolfgang Wahlster. Künstliche Intelligenz für den Menschen: Digitalisierung mit Verstand. Technical report, Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur, Mainz, May 2017. (Zitiert auf Seiten 23 und 24)
- [21] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Technologieszenario – „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“. (Zitiert auf Seiten 25 und 26)
- [22] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0: Technologieszenario. *Working Paper*, 2019. (Zitiert auf Seiten 26 und 27)
- [23] SAP. Was ist maschinelles lernen? (Zitiert auf Seite 27)
- [24] Tobias Müller. Spielarten der künstlichen Intelligenz: Maschinelles lernen und künstliche neuronale Netze, 2019. (Zitiert auf Seite 30)
- [25] SAS Insights. Data mining: What it is and why it matters, 2019. (Zitiert auf Seite 31)
- [26] Wortbedeutung, 2020. (Zitiert auf Seite 31)
- [27] Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Arbeitsmarkt 2030 - Digitalisierung der Arbeitswelt. 2016. (Zitiert auf Seite 32)
- [28] Susanne Beck. Künstliche Intelligenz – ethische und rechtliche Herausforderungen. In Klaus Mainzer, editor, *Philosophisches Handbuch Künstliche Intelligenz*, pages 1–28. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2020. Series Title: Springer Reference Geisteswissenschaften. (Zitiert auf Seite 33)
- [29] Julia Klaus. Warum das Papst-Foto nicht nur witzig ist. Technical report, ZDFheute, March 2023. (Zitiert auf Seite 33)
- [30] Marie-Christin Barton and Jens Pöppelbuß. Prinzipien für die ethische Nutzung künstlicher Intelligenz. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 59(2):468–481, April 2022. (Zitiert auf Seite 35)
- [31] Markus Maurer, Christian Gerdes, Barbara Lenz, and Hermann Winner. *Autonomes Fahren; Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer Verlag GmbH Berlin, Berlin, 2015. (Zitiert auf Seiten 37, 39, 42, 43 und 44)
- [32] Andrea Uhr. Automatisiertes Fahren. (Zitiert auf Seiten 37 und 41)
- [33] Runter vom Gas. Die häufigsten Unfallursachen. (Zitiert auf Seite 37)
- [34] Statistisches Bundesamt. Verkehrstote in Deutschland ab 1950. (Zitiert auf Seite 38)
- [35] Uwe Kloos, Natividad Martinez, and Gabriela Tullius. Design the future. (Zitiert auf Seite 40)
- [36] Philip Bethge. Warum Menschen und Maschinen nicht zusammen Auto fahren können. (Zitiert auf Seite 40)
- [37] n.a. Machine learning in Mensch-Maschine-Schnittstellen. (Zitiert auf Seiten 40 und 41)
- [38] Vanessa Schäffner. Wenn Ethik zum Programm wird: Eine risikoethische Analyse moralischer Dilemmata des autonomen Fahrens. (Zitiert auf Seiten 42 und 43)
- [39] DPMA. Rechtlicher Rahmen. (Zitiert auf Seite 45)

- [40] ADAC. Gesetz zum autonomen fahren: Diese regeln gelten. (Zitiert auf Seite 45)
- [41] Dennis Zentgraf Olaf Carstens. (Zitiert auf Seite 46)
- [42] Johannes Pistorius. *Industrie 4.0 - Schlüsseltechnologien für die Produktion: Grundlagen - Potenziale - Anwendungen*. Springer Vieweg, Berlin, 2020. (Zitiert auf Seite 47)
- [43] Marion Steven, Jan Niklas Dörseln. *Smart Factory: Einsatzfaktoren-Technologie-Produkte*. 2019. (Zitiert auf Seite 48)
- [44] Anett Mehler-Bicher, Michael Reiß, and Lothar Steiger. *Augmented Reality: Theorie und Praxis*. Oldenbourg, München, 2011. (Zitiert auf Seite 48)
- [45] Kevin Kelly. Hyper vision, 2016. (Zitiert auf Seite 49)
- [46] Catalina Schröder. Eine neue dimension. *Impulse*, 2017. (Zitiert auf Seite 49)
- [47] Dr. Markus Siepermann. Pflichtenheft, 2018. (Zitiert auf Seite 51)
- [48] Steffan Heuer. Schöne neue welten, 2020. (Zitiert auf Seite 52)
- [49] Michael E. Porter, James E. Heppelmann. Eine brücke zwischen digitaler und physischer welt, 2020. (Zitiert auf Seite 54)
- [50] Andreas Frintrup. Virtual reality. mehr als nur ein spiel., 2021. (Zitiert auf Seite 58)
- [51] Aleksander Berentsen and Fabian Schär. *Bitcoin, Blockchain und Kryptoassets*. BoD - Books on Demand, Norderstedt, erste auflage edition, 15. Januar 2017. (Zitiert auf Seite 61)
- [52] Dieter Uckelmann. Blockchain – anwendungen in logistik und supply chain: Funktionsweise, use cases und leitfaden für unternehmen, 2019. (Zitiert auf Seite 61)
- [53] Rodrigo da Rosa Righi, Antonio Marcos Alberti, and Madhusudan Singh, editors. *Blockchain Technology for Industry 4.0: Secure, Decentralized, Distributed and Trusted Industry Environment*. Blockchain Technologies. 1st ed. 2020 edition, 2020. (Zitiert auf Seiten 61 und 71)
- [54] Bartek Mika and Alexander Goudz. *Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft: Blockchain als Treiber der Energiewende*. 1st ed. 2020 edition, 2020. (Zitiert auf Seiten 62 und 72)
- [55] Johannes Hinckeldeyn. *Blockchain-Technologie in der Supply Chain: Einführung und Anwendungsbeispiele*. essentials. 2019. (Zitiert auf Seite 62)
- [56] Stephan Spitz, Michael Pramateftakis, and Joachim Swoboda. *Kryptographie und IT-Sicherheit: Grundlagen und Anwendungen*. Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2., überarbeitete auflage edition, 2011. (Zitiert auf Seite 63)
- [57] Matthias Groß, Matthias Müller-Wiegand, and Daniel F. Pinnow, editors. *Zukunftsfähige Unternehmensführung*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019. (Zitiert auf Seite 65)
- [58] Cong T. Nguyen, Dinh Thai Hoang, Diep N. Nguyen, Dusit Niyato, Huynh Tuong Nguyen, and Eryk Dutkiewicz. Proof-of-stake consensus mechanisms for future blockchain networks: Fundamentals, applications and opportunities. *IEEE Access*, 7:85727–85745, 2019. (Zitiert auf Seite 65)
- [59] Norbert Pohlmann, editor. *Cyber-Sicherheit: Das Lehrbuch für Konzepte, Prinzipien, Mechanismen, Architekturen und Eigenschaften von Cyber-Sicherheitssystemen in der Digitalisierung*. 1st ed. 2019 edition, 2019. (Zitiert auf Seite 66)

- [60] Sigurd Schacht and Carsten Lanquillon. *Blockchain und maschinelles Lernen: Wie das maschinelle Lernen und die Distributed-Ledger-Technologie voneinander profitieren*. 1st ed. 2019 edition, 2019. (Zitiert auf Seite [67](#))
- [61] M. Petersen. *Blockchains für Produktion und Logistik – Grundlagen, Potenziale und Anwendungsfälle*. ZWF 111 (2016) 10, S. 626 – 629. 2016. (Zitiert auf Seite [68](#))
- [62] SAP (Hrsg.). *Verifying pharmaceutical products using blockchain* (film), 2019. (Zitiert auf Seite [70](#))
- [63] AXA. *Axa goes blockchain with fizzy*, 2017. (Zitiert auf Seite [70](#))
- [64] Robert Wilkens and Richard Falk. *Smart Contracts: Grundlagen, Anwendungsfelder und rechtliche Aspekte*. essentials. 1st ed. 2019 edition, 2019. (Zitiert auf Seite [70](#))
- [65] Hans-Georg Fill and Andreas Meier. *Blockchain kompakt: Grundlagen, Anwendungsoptionen und kritische Bewertung*. IT kompakt. 1st ed. 2020 edition, 2020. (Zitiert auf Seite [71](#))
- [66] Satoshi Nakamoto. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*, 2008. Zugriff am 10.02.2025. (Zitiert auf Seite [74](#))
- [67] Statista. *Anzahl verfügbarer kryptowährungen weltweit in ausgewählten monaten von juni 2013 bis 2025*. Zugriff am 23.01.2025. (Zitiert auf Seite [74](#))
- [68] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. *Blockchain macht daten praktisch unveränderbar*. Zugriff am 19.02.2025. (Zitiert auf Seiten [74](#), [76](#) und [77](#))
- [69] Christoph Sorge and Artus Krohn-Grimberghe. *Bitcoin - das zahlungsmittel der zukunft?* *Wirtschaftsdienst*, 93(10):720–722, 2013. (Zitiert auf Seite [74](#))
- [70] Deutsche Bundesbank. *Funktionen und formen des geldes*, 2024. Zugriff am 24.01.2025. (Zitiert auf Seite [75](#))
- [71] Mirko Ellrich. *Infoblatt die geschichte des geldes*. Ernst Klett Verlag, 2024. Zugriff am 10.02.2025. (Zitiert auf Seite [75](#))
- [72] Achim Pollert and Bernd Kirchner. *Duden Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag*, volume 6. Dudenverlag, 2016. (Zitiert auf Seite [75](#))
- [73] Caspar Dohmen. *Geldfunktion*. Bundeszentrum für politische Bildung, 2024. Zugriff am 11.02.2025. (Zitiert auf Seite [75](#))
- [74] Paul Engelkamp and L. Friedrich Sell. *Einführung in die Volkswirtschaftslehre*, volume 7. Springer Gabler, 2017. (Zitiert auf Seite [75](#))
- [75] Bitcoinwiki. *Bitcoin-transaktion*. Zugriff am 17.03.2025. (Zitiert auf Seite [76](#))
- [76] CoinMarketCap. *Today's cryptocurrency prices by market cap*. Zugriff am 26.03.2025. (Zitiert auf Seite [78](#))
- [77] Blockchaincenter. *Bitcoin kurs*. Zugriff am 21.02.2025. (Zitiert auf Seite [78](#))
- [78] coinbase. *Bitcoin-blockbelohnung, blockgröße, blockzeit: Was ist der unterschied?* Zugriff am 17.03.2025. (Zitiert auf Seite [79](#))
- [79] Sören Imöhl. *Wie bitcoin die transaktionen beschleunigen will*. *Wirtschaftswoche*, 2024. (Zitiert auf Seite [79](#))
- [80] Julia Kruslin. *Bitcoin-statistiken fuer deutschland & weltweit*, 2025. Zugriff am 17.03.2025. (Zitiert auf Seiten [79](#) und [80](#))
- [81] bitcoinwiki. *Mining-farm*. Zugriff am 17.03.2025. (Zitiert auf Seite [79](#))

- [82] RIOT Platforms Inc. North America's largest Bitcoin mining facility by developed capacity. Zugriff am 17.03.2025. (Zitiert auf Seite 79)
- [83] University of Cambridge Judge Business School. Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. Zugriff am 16.03.2025. (Zitiert auf Seite 80)
- [84] Alex de Vries and Christian Stoll. Bitcoin's growing e-waste problem. *Resources, Conservation and Recycling*, 175:105901, 2019. (Zitiert auf Seite 80)
- [85] Etherscan. Ethereum node tracker. Zugriff am 23.02.2025. (Zitiert auf Seite 80)
- [86] Crypto Carbon Ratings Institute. CERI Crypto Sustainability Metrics. Zugriff am 23.02.2025. (Zitiert auf Seite 80)
- [87] Seongcheol Paeng, Dave Senteney, and Taewon Yang. Spillover effects, lead and lag relationships, and stable coins time series. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 95:45–60, 2024. (Zitiert auf Seite 80)
- [88] Kriptomat. Was ist die Kryptowährung Tether (USDT) und wie funktioniert es? Zugriff am 09.03.2025. (Zitiert auf Seite 81)
- [89] Coinbase. XRP. Zugriff am 10.03.2025. (Zitiert auf Seite 81)
- [90] Binance. Binance. Zugriff am 09.03.2025. (Zitiert auf Seite 82)
- [91] CoinGecko. Binance. Zugriff am 09.03.2025. (Zitiert auf Seite 82)
- [92] Saskia Ebert. Was ist ein Meme? *Stuttgarter Zeitung*, 2022. (Zitiert auf Seite 82)
- [93] Dogecoin. Dogecoin - the people's cryptocurrency. Zugriff am 09.03.2025. (Zitiert auf Seite 82)
- [94] CoinGecko. Top Artificial Intelligence (AI) Coins by Market Cap. Zugriff am 10.03.2025. (Zitiert auf Seite 83)
- [95] Prof. Dr. Thomas K. Birrer and Ceyda Majeen. Zum Potenzial von dezentralisierter Finanzierung im Bereich Leihen und Darlehen im Vergleich zum traditionellen Kreditmarkt. *CARF Luzern*, 2021. (Zitiert auf Seiten 83 und 84)
- [96] DefiLlama. Total Value Locked in DeFi. Zugriff am 22.03.2025. (Zitiert auf Seite 84)
- [97] Bundesamt für Wirtschaft und Klimaschutz. 5 Fragen zu Smart Contracts. Zugriff am 16.03.2025. (Zitiert auf Seite 84)
- [98] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Kryptowährungen und NFTs erklärt. Zugriff am 20.03.2025. (Zitiert auf Seite 84)
- [99] Katharina Krings and Jakob Schwab. Blockchain-Technologie in Lieferketten – welche Chancen bietet sie für nachhaltige Entwicklung? 2020. (Zitiert auf Seite 85)
- [100] Sören Imöhl. Was kostet eine Auslandsüberweisung und wie lange dauert sie? *Wirtschaftswoche*, 2024. (Zitiert auf Seite 86)
- [101] Bitinfocharts. Bitcoin Transaktionsgebühr Grafiken. Zugriff am 22.03.2025. (Zitiert auf Seite 86)
- [102] Carlos Link-Arad. Wie man mit Kursschwankungen am Krypto-Markt umgehen sollte. 2024. (Zitiert auf Seite 86)
- [103] Cryptomus. Liste der Länder, in denen Kryptowährungen legal oder verboten sind. Zugriff am 22.03.2025. (Zitiert auf Seite 87)
- [104] Anna Bank. Quantencomputer: eine Bedrohung für Bitcoin und Blockchain?, 2024. Zugriff am 31.03.2025. (Zitiert auf Seite 87)

- [105] *Arbeit 4.0 - Digitalisierung, IT und Arbeit: IT als Treiber der digitalen Transformation*. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018. (Zitiert auf Seite 90)
- [106] Steffen Wischmann and Ernst Andreas Hartmann, editors. *Zukunft der Arbeit - eine praxisnahe Betrachtung*. Autonomik Industrie 4.0. Springer Vieweg, Berlin, Germany, [1. auflage] edition, 2018. (Zitiert auf Seite 91)
- [107] Industrie und Handelskammer. Praxisleitfaden arbeiten 4.0: Der mensch ist entscheidend! (Zitiert auf Seite 91)
- [108] J. Keynes. *Essays in Persuasion*. Palgrave Macmillan UK, London, 3rd ed. edition, 2016. (Zitiert auf Seite 93)
- [109] Ute Klammer, Susanne Steffes, Michael F. Maier, Daniel Arnold, Oliver Stettes, Lutz Bellmann, and Hartmut Hirsch-Kreinsen. Arbeiten 4.0 — folgen der digitalisierung für die arbeitswelt. *Wirtschaftsdienst*, 97(7):459–476, 2017. (Zitiert auf Seite 94)
- [110] Walter Frenz, editor. *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*. Springer Berlin Heidelberg and Springer, Berlin, Heidelberg, 1st ed. 2020 edition, 2020. (Zitiert auf Seite 94)
- [111] Thomas Straubhaar. *Radikal gerecht: Wie das bedingungslose Grundeinkommen den Sozialstaat revolutioniert*. Edition Körber-Stiftung, Hamburg, 2017. (Zitiert auf Seite 95)
- [112] Bundesinstitut für Gesundheit. Ärzte sollen apps verschreiben können; <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/digitale-versorgung-gesetz.html>, 2020. (Zitiert auf Seite 110)
- [113] Johner Institut. Schlagwort: Interoperabilität; <https://www.johnerinstitut.de/blog/tag/interoperabilitat/>, o.J. (Zitiert auf Seite 110)
- [114] Denzhorn. Was ist unternehmenskonsolidierung?; <https://www.denzhorn.de/was-ist-unternehmenskonsolidierung/>, o.J. (Zitiert auf Seite 111)
- [115] David Schreiber. ehealth - digitale innovation im gesundheitswesen; <https://www.youtube.com/watch?v=l-hatwwopoe>: Herausforderungen im healthcare-sektor, 2020. (Zitiert auf Seite 111)
- [116] Christian Juhra and Judith Born. Klinik 4.0 - das digitale krankenhaus. In Walter Frenz, editor, *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*, pages 1037–1051. Springer, 2020. (Zitiert auf Seiten 115 und 116)
- [117] Gernot Marx, Katrin Gilger, and Deisz Robert. Telemedizin. In Walter Frenz, editor, *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*, pages 1017–1036. Springer, 2020. (Zitiert auf Seite 120)
- [118] Annette Guckelberger. *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2020. (Zitiert auf Seite 125)
- [119] Relationships e-government. (Zitiert auf Seite 125)
- [120] Jochen Hahnen. Teil 1: OZG und e-government-gesetze – warum der weg der digitalisierung für meine öffentliche einrichtung unausweichlich ist. (Zitiert auf Seite 126)
- [121] BMI. E-government-gesetz. (Zitiert auf Seite 126)
- [122] Bundesregierung. *Digitale Verwaltung 2020 Regierungsprogramm 18. Legislaturperiode*. Bundesministerium des Innern, Berlin, 2014. (Zitiert auf Seite 126)
- [123] Bundesregierung. Online prozess. (Zitiert auf Seite 127)
- [124] Dirk-Hinnerk Fischer Roman Beck. *Digitale Transformation der Verwaltung*. Bertelsmann Stiftung, Gütersloh, 2017. (Zitiert auf Seiten 128, 130 und 132)

- [125] Prof. Helmut Krcmar, Dr. Marcus M. Dapp, and Dian Balta. *Blockchain - Disruption der öffentlichen Verwaltung?* Konrad-Adenauer-Stiftung e.V, Berlin, 2017. (Zitiert auf Seite 129)
- [126] Mobile augmented reality: Geodaten für die öffentliche verwaltung. (Zitiert auf Seite 129)
- [127] Christian Raffer Prof. Dr. Gerhard Hammerschmid. *Künstliche Intelligenz im öffentlichen Sektor: Potenziale nutzen, Risiken bedenken.* Institut für den öffentlichen Sektor e.V., 2020. (Zitiert auf Seite 129)
- [128] Christian Djeffal. *Das Internet der Dinge und die öffentliche Verwaltung.* Carl Heymanns Verlag, 2017. (Zitiert auf Seite 129)
- [129] BITKOM. Zwei von drei unternehmen nutzen cloud computing, 2018. Zugriff am 20.01.2020. (Zitiert auf Seite 147)
- [130] storage insider.de. Der bedarf an bandbreite des cloud-nutzers wird überschätzt, 2011. Zugriff am 27.02.2020. (Zitiert auf Seiten 147, 151 und 152)
- [131] P.M. Mell and T. Grance. *The NIST Definition of Cloud Computing.* NIST special publication. 2011. (Zitiert auf Seiten 147 und 149)
- [132] S. Reinheimer. *Cloud Computing: Die Infrastruktur der Digitalisierung.* Edition HMD. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018. (Zitiert auf Seite 148)
- [133] cloudcomputing insider.de. was ist infrastructure as a service, 2017. Zugriff am 02.03.2020. (Zitiert auf Seite 152)
- [134] S. Labes and R. Zarnekow. *Grundlagen des Cloud Computing: Konzept und Bewertung von Cloud Computing.* Projektberichte IKM. Universitätsverlag der TU Berlin, 2012. (Zitiert auf Seite 152)
- [135] Wikipedia. Cloud computing, 2019. Zugriff am 20.01.2020. (Zitiert auf Seiten 152 und 154)
- [136] Intersoft Consulting. Datenschutz und datensicherheit beim cloud computing, 2017. Zugriff am 29.01.2020. (Zitiert auf Seite 154)