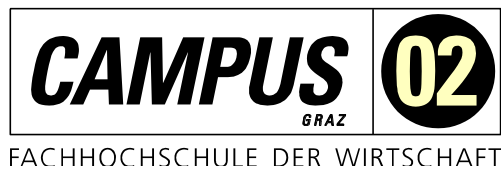


# MASTERARBEIT

## AUTONOMIE UND AUSFALLSICHERHEIT VON IOT-GERÄTEN

ausgeführt am



Studiengang

Informationstechnologien und Wirtschaftsinformatik

Von: Christian Werner

Personenkennzeichen: 2010320022

Graz, am 1. Juli 2022

.....  
Unterschrift

## **EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....

Unterschrift

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich speziell bei der Umsetzung dieser Masterarbeit unterstützt haben:

Ein großes Dankeschön gilt meinem Betreuer Dipl.-Ing. (FH) Günther Zwetti für das stets schnelle und konstruktive Feedback.

Ein weiterer Dank geht an die Experten, die sich für meine Interviews die Zeit genommen haben und mir damit wertvolle Informationen und Wissen zu den Themenpunkten geliefert haben.

## KURZFASSUNG

In den letzten Jahren kam es vermehrt zu Ausfällen von verschiedenen Internet of Things (IoT) Geräten, die mit Cloud-Computing betrieben wurden. Diese Ausfälle machten es unmöglich, die Geräte sowohl lokal als auch über das Internet zu steuern.

Ziel dieser Arbeit ist es nun, die Forschungsfrage „Welchen Einfluss hat Cloud/Edge/FOG-Computing auf die Autonomie von IoT-Geräten“ zu beantworten. Als Forschungsmethoden wurden Literaturrecherche und Experteninterviews ausgewählt. Die Literaturrecherche bildet dabei die Basis für die theoretischen Grundlagen. In den Grundlagen wurden zu diesem Zweck die Themen Ausfallsicherheit, Aufbau und Steuerung von IoT-Geräten sowie Cloud/Fog/Edge Computing mit Einsatzbereichen erarbeitet.

Auf dieser Basis wurde ein Interviewleitfaden erstellt und anschließend Experteninterviews durchgeführt. Als Experten wurden Firmen, die IoT-Geräte herstellen, ausgewählt. Die Interviews wurden transkribiert und anschließend zusammenfassend ausgewertet. In den Interviews wurden Fragen zu Vor- und Nachteilen der eingesetzten Computing-Art gestellt. Zusätzlich wurde danach gefragt, welche Informationen vorab für den Ausfall zur Verfügung gestellt werden.

Als Ergebnisse der Arbeit konnte unter anderem festgestellt werden, dass eine kombinierte Computing-Art eingesetzt wird, die aus Cloud-Computing und Edge-Computing besteht und bei der das IoT-Gerät via Cloud-Computing gesteuert wird. Diese Computing-Art ermöglicht es, bei Netzunterbrechungen in einen Offlinemodus zu wechseln. In diesem Modus arbeitet das Gerät weiterhin eigenständig und verarbeitet die Daten. Laut Experten eignet sich diese Kombination besonders für IoT-Geräte in kritischen Bereichen.

Aus den Ergebnissen der Interviews werden zum Abschluss der Arbeit Empfehlungen für die Entwicklung von IoT-Geräten gegeben. Die Empfehlungen umfassen den Einsatz eines Device Management Portals sowie die Implementierung eines autonomen Modus in den Geräten. Das Portal dient zum Administrieren und Aufzeichnen der Verfügbarkeit der IoT-Geräte. Der autonome Modus erlaubt den Geräten, unabhängig von einer Cloud Verbindung zu arbeiten. IoT-Geräte Hersteller können diese Empfehlungen umsetzen, um ihre Geräte resistenter gegenüber Ausfällen zu gestalten.

## ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in failures of various Internet of Things (IoT) devices powered by cloud computing. Such failures made it impossible to control the devices both locally and over the internet.

The aim of this thesis is to answer the research question "What influence does cloud/edge/fog computing have on the autonomy of IoT devices". Literature research and expert interviews were selected as research methods. In this context, the literature review forms the basis for the theoretical foundations. For this purpose, the topics of failure safety, control of IoT devices and cloud/fog/edge computing with application areas were elaborated in the basics.

On this foundation, an interview guideline was created and then expert interviews were conducted. Companies that manufacture IoT devices were selected as experts. The interviews were transcribed and then analyzed in summarized form. In the interviews, questions were asked about the advantages and disadvantages of the used type of computing. In addition, questions were asked about what information is provided in advance for failures.

Part of the findings of the thesis was that a combined computing type is used, which consists of cloud computing and edge computing and in which the IoT device is controlled via cloud computing. This computing type makes it possible to switch to an offline mode in the event of network interruptions. In this mode, the device continues to operate independently and is processing the data. According to experts, this combination is most suitable for IoT devices in critical areas.

Based on the results of the interviews, the thesis concludes with recommendations for the development of IoT devices. The recommendations include the use of a device management portal and the implementation of an autonomous mode in the devices. The portal is used to administer and record the availability of the IoT devices. The autonomous mode allows the devices to operate independently of a cloud connection. IoT device manufacturers can implement these recommendations to design their devices to be more resistant to failures.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Aufgabenstellung.....	2
1.3	Zielsetzung.....	3
1.4	Forschungsfrage & Hypothesen.....	3
1.5	Methode.....	4
1.6	Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2</b>	<b>AUSFALLSICHERHEIT UND ROBUSTHEIT VON CLOUD – ANWENDUNGEN</b> .....	<b>5</b>
2.1	Service Level Management.....	5
2.2	Ausfallsicherheit.....	6
2.3	Computing Abwandlungen.....	8
2.3.1	Cloud.....	8
2.3.2	Arten und Abwandlungen.....	11
2.3.3	Cloud-Core Computing.....	13
2.3.4	Fog.....	13
2.3.5	Edge.....	14
2.3.6	Multi-Access-Edge-Computing (MEC).....	14
2.3.7	Cloudlet-Computing.....	14
2.3.8	Mobile-Cloud-Computing (MCC).....	15
2.4	Architektur von Fog/Edge-Computing (Gill, 2022).....	15
<b>3</b>	<b>INTERNET OF THINGS (IOT)</b> .....	<b>16</b>
3.1	IoT-Architektur.....	17
3.1.1	Coding Layer.....	17
3.1.2	Perception Layer.....	18
3.1.3	Network Layer IoT-Verbindungen.....	18
3.1.4	Transport Layer.....	18
3.1.5	Middleware / Processing / Service Management Layer.....	19
3.1.6	Applikation Layer.....	19
3.1.7	Business Layer.....	19
3.2	Kommunikationstechnologien.....	20

3.2.1	LPWAN.....	20
3.2.2	Mobil.....	21
3.2.3	Zigbee- und Mesh-Protokolle.....	21
3.2.4	Bluetooth und BLE.....	21
3.2.5	Wi-Fi.....	21
3.2.6	RFID.....	21
3.3	Kommunikationsprotokolle.....	22
3.3.1	AMQP.....	22
3.3.2	MQTT.....	22
3.3.3	OPC UA.....	22
3.3.4	DDS.....	22
3.4	Beispiele für IoT-Anwendungsbereiche und Geräte.....	23
3.4.1	Anwendungsbereiche.....	23
3.4.2	Beispiel für IoT-Geräte.....	23
<b>4</b>	<b>AUTONOME SYSTEME.....</b>	<b>25</b>
4.1	Einteilung autonomer Systeme.....	25
4.1.1	Ferngesteuerte Systeme ohne Automatisierung.....	25
4.1.2	Programmierte Systeme mit Assistenzfunktion.....	25
4.1.3	Teilautomatisierte Systeme.....	26
4.1.4	Hochautomatisierte teilautonome Systeme.....	26
4.1.5	Selbstregulierte autonome Systeme.....	26
4.2	Selbstlernende Systeme – Ausführung in die KI-Einteilung des maschinellen Lernens.....	27
4.2.1	Überwachtes Lernen (Supervised Learning).....	29
4.2.2	Unüberwachtes Lernen (Unsupervised Learning).....	29
4.2.3	Verstärktes Lernen (Reinforcement Learning).....	29
4.3	Durchführung des Lernens.....	30
4.4	Durchführungszeitpunkt des maschinellen Lernens.....	30
4.5	Leistung zum Lernen – Leistungsanforderungen, Leistungsbedarf.....	31
4.6	Zusammenfassung.....	33
<b>5</b>	<b>METHODEN.....</b>	<b>34</b>
5.1	Experteninterviews.....	34
5.1.1	Erstellung des Interviewleitfadens.....	34

5.1.2	Erhebung der Daten – Interviewdurchführung .....	34
5.1.3	Interviewpersonen .....	35
5.2	Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring .....	35
5.2.1	Deduktive Kategorienanwendung .....	36
5.2.2	Aufbereitung und Auswertung der Daten .....	36
5.2.3	Kategorienbildung .....	38
5.2.4	Codierung .....	38
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE DER EXPERTENINTERVIEWS .....</b>	<b>40</b>
6.1	Vorteile des Cloud-Computing laut Experten .....	43
6.1.1	Der schnelle Einsatz der Cloud und weiterer Cloud-Dienste .....	43
6.1.2	Sensitive Daten sind nicht exponiert .....	43
6.1.3	Steuerung über die Cloud .....	44
6.1.4	Device Management Portal .....	44
6.1.5	Geringe Ausfallwahrscheinlichkeit.....	45
6.1.6	Geringe Latenz.....	45
6.1.7	Private Cloud .....	45
6.1.8	Kombination mit Edge-Computing.....	45
6.1.9	Auslagerung von Aufgaben des Kunden .....	45
6.2	Nachteile des Cloud-Computing laut Experten .....	46
6.2.1	Die Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter.....	46
6.2.2	Eine Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud ist erforderlich.....	46
6.2.3	Abhängigkeit vom IoT-Hub.....	46
6.3	Vorteile des Edge-Computing laut Experten .....	47
6.3.1	Verarbeitung der Daten erfolgt am Gerät .....	47
6.3.2	Anbindung an die Cloud .....	47
6.4	Nachteile Edge-Computing laut Experten .....	47
6.4.1	Supportmöglichkeiten .....	47
6.4.2	Netzwerkzugriff.....	48
6.4.3	Update Prozesse.....	48
6.5	Informationsbereitstellung laut Experten .....	48
6.5.1	Keine Bereitstellung von Informationen.....	48
6.5.2	Informationen werden zur Verfügung gestellt.....	49
6.5.3	Bereitstellung eines Device Management Portales .....	49



6.6	Bereitstellung von SLA laut Experten .....	49
6.7	Entscheidungskriterium laut Experten .....	50
<b>7</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>51</b>
7.1	Vorteile Cloud-Computing .....	51
7.1.1	Der schnelle Einsatz der Cloud und weitere Cloud-Dienste .....	51
7.1.2	Sensitive Daten sind nicht exponiert .....	51
7.1.3	Steuerung über die Cloud .....	51
7.1.4	Device Management Portal .....	52
7.1.5	Geringe Ausfallwahrscheinlichkeit .....	52
7.1.6	Geringe Latenz .....	52
7.1.7	Steuerung und Auslesen der Werte .....	52
7.1.8	Kombination mit Edge-Computing .....	53
7.1.9	Auslagerung von Aufgaben des Kunden .....	53
7.2	Nachteile Cloud-Computing .....	53
7.2.1	Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter .....	53
7.2.2	Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud ist erforderlich .....	54
7.2.3	Abhängigkeit vom IoT-Hub .....	54
7.3	Vorteile Edge-Computing .....	54
7.3.1	Verarbeitung der Daten am Gerät .....	54
7.3.2	Anbindung an die Cloud .....	54
7.4	Nachteile Edge-Computing .....	55
7.4.1	Eingeschränkte Supportmöglichkeit .....	55
7.4.2	Netzzugriff .....	55
7.4.3	Update Prozesse .....	55
7.5	FOG-Computing .....	56
7.6	Informationsbereitstellung .....	56
7.7	SLA .....	56
7.8	Entscheidungskriterium .....	57
<b>8</b>	<b>CONCLUSIO .....</b>	<b>58</b>
8.1	Beantwortung der Forschungsfrage .....	58
8.1.1	Einsatz von Cloud-Computing zur Steuerung von IoT-Geräten .....	58
8.1.2	Einsatz von Fog-Computing zur Steuerung von IoT-Geräten .....	59

8.1.3	Einsatz von Edge-Computing zur Steuerung von IoT-Geräten .....	59
8.1.4	Kombination von Edge-Computing mit Cloud-Computing .....	59
8.2	Beantwortung der Hypothese .....	59
8.2.1	Hypothese 1: Bereitstellung von Informationen .....	59
8.2.2	Hypothese 2: Bereitstellung von SLA .....	60
8.2.3	Hypothese 3: Entscheidungskriterium für den Kunden .....	60
8.3	Empfehlungen für die Entwicklung von IoT-Geräten .....	61
8.4	Kritische Diskussion der Arbeit .....	61
8.5	Ausblick .....	62
 <b>ANHANG A - INTERVIEWLEITFADEN .....</b>		<b>63</b>
 <b>ANHANG B - QUALITATIVE INHALTSANALYSE .....</b>		<b>64</b>
 <b>ANHANG C - CODIERLEITFADEN .....</b>		<b>69</b>
 <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>		<b>71</b>
 <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>		<b>72</b>
 <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>		<b>73</b>
 <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>		<b>74</b>

# 1 EINLEITUNG

*“IoT-Coming soon in a “THING” near you.” — Syed Sharukh*

Der Drang nach mehr Konnektivität macht auch im Haushalt nicht Halt. Das führt dazu, dass immer mehr Geräte miteinander verbunden werden, um sie über ein anderes Gerät steuern zu können. Begonnen bei der Heizungssteuerung über Markisen, Jalousiensteuerungen, Staubsauger, Stereoanlage, Fernseher bis hin zu den kleinen Geräten wie Schalter oder Lampen, die heute bereits als IoT-Geräte die einzelnen Märkte erobert haben. Prognosen der Firma Gartner erwarten bis 2029 mehr als 15 Billionen IoT-Geräte, die mit einer Enterprise-Infrastruktur verbunden sind (Costello, 2021).

## 1.1 Ausgangssituation

IoT-Geräte bieten durch ihre Konnektivität einen Mehrwert gegenüber konventionellen Geräten. So können Heizungen, Markisen und Jalousien nicht erst auf äußere Einflüsse von Sensoren reagieren, sondern mit Unterstützung von Wetterprognosen aktiv gesteuert werden. Staubsauger-Roboter fahren selbstständig durch die Wohnung und zeichnen ihre bereits gefahrenen Flächen in der Cloud auf. Doch diese Geräte verfügen weder über ausreichend große Speicherkapazität, noch wird ihnen die Rechenleistung mitgegeben, um selbstständig und autonom arbeiten zu können.

Und so ist auch klar, dass Ausfälle von IoT- und Cloud-Services, wie sie im Folgenden beschrieben werden, massive Auswirkungen auf die Funktionsweise solcher Geräte haben:

- Im Juni 2019 kam es zu einem Ausfall des Cloud-Anbieters Google. Über diese Cloud-Plattform wurden die IoT-Geräte von „Google Nest“ betrieben. Nest vertreibt Smart-Home Produkte, unter anderem Thermostate, die Heizung und Klimaanlage ansteuern können. Durch den Ausfall des Service konnte das Thermostat nicht mehr über die mobile Applikation gesteuert werden (Born, 2019).
- Staubsaugerroboter: Roboter der Firma Roomba sind im November 2020 ausgefallen. Diese Roboter sind über die Dienste von Amazon-Web-Services betrieben worden (Muth, 2020).

- Staubsauger der Firma Vorwerk konnten im Mai 2020 nicht mehr autonom betrieben werden. Ab diesem Zeitraum war nur noch eine manuelle Steuerung möglich, da sich Zeit- und Lagepläne auf den Servern der Firma Vorwerk befinden. Aufgrund eines abgelaufenen Zertifikates konnte keine Verbindung mehr zwischen dem Gerät und dem Server aufgebaut werden. Besitzer des Roboters, die versuchten, das Problem mit einem Reset des Gerätes zu beheben, standen danach mit einem nicht mehr aktivierbaren Gerät da (Bauer, 2020).
- Durch einen Brand im Rechenzentrum der Firma OVH im März 2021 sind rund 3,6 Millionen Webseiten auf über 464.000 Domains ausgefallen. Es ist davon auszugehen, dass hierbei auch IoT-Geräte durch den Ausfall betroffen waren (Ehneß, 2021).
- Durch den Ausfall der Amazon-Web-Services (AWS) im Dezember 2021 sind Dienste, die in dem regionale Bereich US-EAST-1<sup>1</sup> gehostet waren, ausgefallen, unter anderem auch Streaming Dienste wie Disney Plus oder Netflix. Amazon eigene Dienste waren ebenfalls von diesem Ausfall betroffen, darunter die Seite Amazon.com und deren Assistent Alexa. Weitere betroffene IoT-Systeme waren Sicherheitskameras von Ring und Wyze (Lawler, 2021; Palmer, 2021)

Diese Ereignisse zeigen, dass IoT-Geräte durch den Ausfall der Cloud teilweise nicht mehr verwendbar sind. In die Cloud werden hierbei Speicher als auch Rechenkapazität vom Gerät ausgelagert und stehen bei Unterbrechungen nicht zur Verfügung. Der Auslagerungsort ist unterscheidbar in den Varianten: Cloud, FOG und Edge-Computing.

IoT-Geräte können in allen Varianten ausfallen. Diese Arbeit soll jedoch aufzeigen, dass dies unter den anderen Bedingungen wie z. B. eine Materialermüdung aufgrund zunehmenden Betriebsalters, möglich ist. Die Geräte sind abhängig von weiteren Komponenten, die nicht im Gerät verbaut sind und eventuell auch nicht im Einflussbereich des Betreibers liegen. Unternehmen sollten daher in ihre Kostenrechnung die mögliche Standzeit eines Gerätes mit aufnehmen, die durch einen Ausfall der Cloud verursacht wird. Aus Sicht der Konsumenten sollte der Fokus daher auch darauf gerichtet werden, dass diese Geräte eine zusätzliche Abhängigkeit nach außen besitzen und dass diese Geräte somit auch ausfallen können.

## 1.2 Aufgabenstellung

Die beschriebene Ausgangssituation zeigt, dass es im Bereich von IoT-Geräten Bedarf für Lösungen gibt, die zumindest temporär resistent gegenüber Ausfällen der Cloud sein sollten.

Mit konkret aufgezeigten Möglichkeiten zur alternativen Steuerung von IoT-Geräten soll das Produktmanagement weitere Entwicklungsentscheidungen in diesem Bereich treffen können.

---

<sup>1</sup> [https://aws.amazon.com/de/about-aws/global-infrastructure/regions\\_az/](https://aws.amazon.com/de/about-aws/global-infrastructure/regions_az/)

### 1.3 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, IoT-Geräte und das Konzept von Cloud-Computing und deren Ableger FOG/Edge-Computing genauer zu erforschen. Dabei soll dargestellt werden, welche Abhängigkeiten zwischen den IoT-Geräten und der Computing-Art bestehen, um diese gegen Ausfälle der Cloud resistenter gestalten zu können.

### 1.4 Forschungsfrage & Hypothesen

Es ergibt somit folgende Forschungsfrage:

*„Welchen Einfluss hat Cloud/Edge/FOG-Computing auf die Autonomie von IoT-Geräten?“*

In weiterer Folge sollen die nachfolgenden Hypothesen geprüft werden:

- H1: Informationen über die Ausfallsicherheit werden durch den Hersteller von IoT-Geräten bereitgestellt.
- H0: Hersteller von IoT-Geräten stellen keine Informationen über die Ausfallsicherheit bereit.
  
- H1: Den Betreibern von IoT-Geräten/Systemen ist das Ausfallrisiko beim Einsatz von Edge/Fog-Computing bewusst und es gibt entsprechende Service Level Agreements (SLA).
- H0: Betreiber und Hersteller stellen dem Kunden keine Service-Level-Agreements zur Verfügung, die sich auf die Steuerungssysteme und deren Ausfallsicherheit beziehen.
  
- H1: Die Art des Computings stellt für den Kunden ein Entscheidungskriterium beim Einsatz von IoT-Geräten dar.
- H0: Für den Kunden ist die Computing-Art kein Entscheidungskriterium beim Einsatz von IoT-Geräten.

## 1.5 Methode

Die Arbeit ist unterteilt in drei Bestandteile, wobei im ersten Schritt mithilfe einer umfangreichen Literaturrecherche die Grundlagen für dieses Themengebiet erarbeitet, werden:

- Ausfallsicherheit generell
- IoT-Geräte: Anwendungsfälle und Steuerung
- Cloud/FOG/Edge-Computing: Erklärung, Einsatzbereiche

Im zweiten Schritt werden die Erkenntnisse der Literaturrecherche weiterverarbeitet. Auf dieser Basis wird ein Interviewleitfaden erstellt, der für die anschließende Experteninterviews eingesetzt wird, um Forschungsfrage und Hypothesen beantworten zu können.

Abhängig von der bereits erhobenen Datenbasis besteht die Möglichkeit, dass zusätzlich auch eine Online-Befragung durchgeführt wird, falls nach den durchgeführten Experteninterviews nicht ausreichend Daten zur Beantwortung der Hypothesen vorhanden sind.

## 1.6 Aufbau der Arbeit

Nach der Definition von Forschungsfrage und Hypothesen wird die Theorie zu den Themengebieten Ausfallsicherheit und Cloud in Kapitel 2 erarbeitet. Um ein Verständnis für den Bereich aufzubauen, werden die Begriffe Service-Level-Management und Service-Level-Agreement definiert. Anschließend wird der Begriff der Cloud und die Computing-Arten erläutert. In Kapitel 3 werden die Grundbegriffe für IoT erläutert. Erklärt werden das IoT-Architekturmodell und die einzelnen Ebenen des Modells. Im Anschluss werden die Kommunikationstechniken und Protokolle erläutert, die im Bereich von IoT eingesetzt werden. Abgeschlossen wird das Kapitel mit Anwendungsbereichen für IoT und beispielhafte IoT-Geräte. Im Kapitel 4 werden die autonomen Systeme und verschiedenste Algorithmen des maschinellen Lernens erklärt. Im praktischen Teil dieser Arbeit werden in Kapitel 5 die eingesetzten Methoden beschrieben. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Interviews dargestellt, um diese in Kapitel 7 zu diskutieren. Abschließend wird in Kapitel 8 das Ergebnis der Arbeit zusammengefasst und die Forschungsfrage beantwortet. Zudem wird ein Ausblick auf weiterführende Forschung gegeben.

## **2 AUSFALLSICHERHEIT UND ROBUSTHEIT VON CLOUD – ANWENDUNGEN**

Nachdem die anfängliche Problematik erläutert wurde, wird in diesem Kapitel auf die Ausfallsicherheit und Beschreibung der Cloud eingegangen. Zuerst werden die Begriffe aus dem Servicemanagement erklärt und anschließend auf die Grundbegriffe der Cloud-Infrastruktur und deren Abwandlungen eingegangen.

### **2.1 Service Level Management**

Das Service Level Management (SLM) beschreibt die Zusammenarbeit während oder auch nach der Leistungserbringung zwischen Unternehmen und Kundinnen. Nach Ellis & Kauferstein ist SLM die „zielgerichtete Steuerung und Überwachung von Dienstleistungsprozessen“. Dieses steuert und überwacht kundenorientierte Prozesse. Die Kenngrößen für das SLM werden in sogenannten Service Level Agreements (SLA) definiert. SLA sind verbindliche Leistungszusagen, die definieren, dass zu einem festgelegten Zeitpunkt eine definierte Dienstleistung in einer bestimmten Qualität bereitgestellt wird. Diese Vereinbarungen sind zwischen internen Abteilungen als auch zwischen Unternehmen möglich. Sollten SLA noch nicht verbindlich fixiert sein, so werden diese als Service Level Requirements (SLR) bezeichnet (Ellis & Kauferstein, 2013).

Im Bereich des Cloud-Computings haben sich Anbieter angepasst und bieten Produkte mit fixen und nicht verhandelbaren SLA an. Der Kunde hat nur die Wahl, sich für oder gegen einen Anbieter zu entscheiden. Diese SLA-Verträge sind ausgelegt auf kurze Vertragslaufzeiten, z. B. von einem Monat oder einer Stunde. Das Vertragsvolumen einer Transaktion ist sehr gering und entspricht wenigen Cent (Matros, 2012).

Die Anbieter von Cloud-Computing müssen ebenfalls eine gleich hohe Leistungsqualität zur Verfügung stellen wie traditionelle Outsourcing-Anbieter. Bei der Durchsetzbarkeit von SLA zu Cloud-Providern bestehen jedoch Schwierigkeiten, insbesondere bei der Einhaltung der gegebenen Garantien, da Leistungen eines Cloud-Computing-Providers in der Regel über das Internet transportiert werden, das sich nicht unter vollständiger Kontrolle des Anbieters befindet. Trotz dieser Einschränkungen im Bereich des Cloud-Computings werden Leistungskriterien definiert. Allgemeine Kriterien wie Antwortzeit und Bandbreite als auch Verfügbarkeit werden als Qualitätskriterium von Cloud-Computing-Infrastrukturen eingesetzt. Die Verfügbarkeit bezieht sich dabei auf den angebotenen Dienst und ist in der Regel auf den Zeitraum von einem Jahr normiert (Matros, 2012).

## 2.2 Ausfallsicherheit

Um eine Ausfallsicherheit zu gewährleisten, existieren unterschiedliche Redundanzprinzipien. Redundanz erfordert bei Hardware und Software unterschiedliche Methoden. Bei Hardwareredundanz wird dies durch Verdoppelung der Systemkomponenten erreicht. Beispielsweise ist bei Flugzeug-Computern eine dreifache Redundanz vorhanden. Bei Routern oder Server, die sich in Rechenzentrum finden, ist eine geringere Redundanz ausreichend (Pink & Koßmann, 2002).

Die Verfügbarkeit (A) kann als Formel ausgedrückt werden und gibt die Verfügbarkeit in Prozent an.

$$A = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime} * 100$$

Formel 2-1: Verfügbarkeit

Der Bereich der Verfügbarkeit wird durch die vier Parameter ausgedrückt,

- Mean-Time-To-Diagnose (MTTD): Beschreibt die mittlere Zeit, die benötigt wird, zur Erkennung der Ursache des Fehlers (Allspaw & Robbins, 2010).
- Mean-Time-To-Failure (MTTF): Beschreibt die mittlere Zeit, in der das System fehlerfrei funktioniert (Allspaw & Robbins, 2010).
- Mean-Time-Between-Failures (MTBF): Beschreibt die mittlere Zeit zwischen dem Auftreten von Fehlern (Schweiger, 2009).
- Mean-Time-To-Repair (MTTR): Beschreibt die mittlere Zeit bis zur Wiederherstellung des Betriebs nach dem Auftreten eines Fehlers (Schweiger, 2009).

Die vier Parameter sind in der Abbildung 2-1 dargestellt. Sichtbar ist die zeitliche Abfolge der unterschiedlichen Zustände. Begonnen beim Eintreten des Schadens mit anschließender Reparatur und Wiederherstellung der gewünschten Funktionalität.

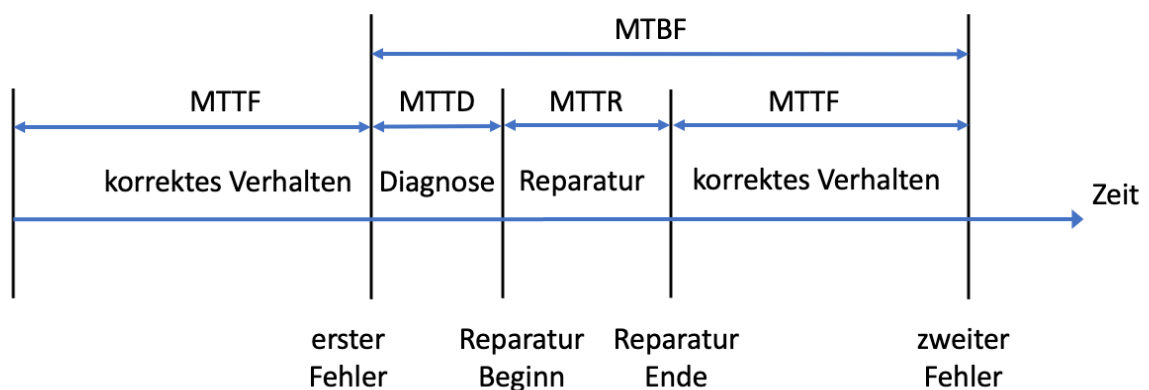


Abbildung 2-1: Zeitlicher Ablauf eines Schadens (in Anlehnung an Allspaw & Robbins, 2010)



Durch Einsetzen der Parameter in Formel 2-1 kann die Verfügbarkeit als die folgende Gleichung dargestellt werden:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTD + MTTR} * 100$$

Formel 2-2: Verfügbarkeit

Üblicherweise wird die Verfügbarkeit als Anzahl von 9en angegeben (Allspaw & Robbins, 2010). Nachfolgend die Tabelle 2-1 zur leichteren Veranschaulichung der Werte und die damit ergebende Ausfallzeit.

Verfügbarkeit	Ausfallzeit
90 % (eine 9)	36,5 Tage im Jahr
99 % (zwei 9en)	3,65 Tage im Jahr
99,9 % (drei 9en)	8,76 Stunden im Jahr
99,99 % (vier 9en)	52 Minuten im Jahr
99,999 % (fünf 9en)	5 Minuten im Jahr
99,9999 % (sechs 9en)	31 Sekunden im Jahr

Tabelle 2-1: Verfügbarkeit - Ausfallzeit

Für das in Kapitel 2.1 angesprochene SLM sind die folgenden Messwerte für den Ausfall einsetzbar:

- Verfügbarkeit in %
- MTBF
- MTTR

In dem Bereich Softwarequalität sind folgende Merkmale einsetzbar:

- Software-Zuverlässigkeit (reliability)
- Robustheit (robustness)
- Resilienz

Die Software-Zuverlässigkeit beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass Software für eine definierte Zeitperiode in einer definierten Umgebung ohne Fehlverhalten arbeitet. Ein Fehlverhalten bedeutet, dass die Anwenderanforderungen erfüllt hat (Pink & Koßmann, 2002).

Robustheit beschreibt die Fähigkeit einer Anwendung, ein fehlerhaftes Verhalten seiner Umwelt zu erkennen und in einer definierten Weise zu reagieren, die keine unvorhersehbaren Reaktionen entstehen lässt (Lackes, 2018).

Resilienz bezeichnet die Widerstandsfähigkeit eines Systems. Darunter wird die Zeit oder der Aufwand verstanden, um wieder einen störungsfreien Zustand zu erreichen (Möhring et al., 2019).

Für den Betrieb ist wünschenswert, wenn die Hardware in Cloud-Rechenzentren redundant vorhanden ist und die Software entsprechend zuverlässig, robust und resilient ausgelegt ist.

## 2.3 Computing Abwandlungen

Der folgende Abschnitt dient zum besseren Verständnis der Bezeichnung Cloud und erklärt, welche Aufgaben der Bereich IoT übernimmt. Neben der allgemeinen Einführung und Definition des Begriffes soll auch die Abgrenzung zu diesem Begriff getroffen werden.

### 2.3.1 Cloud

Laut Bräuninger et al. (2012) hat sich Cloud-Computing als Schlagwort in den letzten Jahren eingebürgert. So sollen Daten nicht mehr am Rechner zu Hause gespeichert werden, sondern „die Wolke“ übernimmt das Sichern und Bereitstellen von Dokumenten, Fotos, Musik und Video. Der Zugriff auf die Daten ist überall und zu jeder Zeit möglich. Cloud-Computing kann auch in vielen Unternehmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen. So ergeben sich gesamtwirtschaftliche Effekte. Durch die Auslagerung der IT-Kapazitäten sinken die Kapitalbindung und der Bedarf an internen IT-Experten. Die Anschaffungskosten und Personalfixkosten werden in variable Kosten umgewandelt. Dadurch ist ein Einsatz auch bei klein und mittelständischen Unternehmen möglich (Bräuninger et al., 2012).

Um die Grundlagen für das Thema zu beschreiben, wird auf die NIST Definition von Mell und Grance (2011) zurückgegriffen. Diese Ausführungen sollen als Vergleichsmöglichkeiten zwischen Cloud-Diensten und Strategien für die Bereitstellung dienen. Außerdem werden darin Anwendungsfälle für den Einsatz der Cloud beschrieben. Dabei wird auch hingewiesen, dass Cloud-Computing ein sich entwickelndes Paradigma ist (Mell & Grance, 2011).

*“Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction. This cloud model is composed of five essential characteristics, three service models, and four deployment models.” (Mell & Grance, 2011)*

Das Cloudmodel besitzt essenzielle Merkmale (Mell & Grance, 2011):

- Self-Service auf Abruf (on-demand self-service): Ein Kunde kann in einer Art von Selbstbedienungsladen Ressourcen und Speicherkapazität anfordern, die automatisch ohne menschliche Interaktion vom Dienstleister bereitgestellt werden (Mell & Grance, 2011).

- **Broad network access:** Die Funktionalität wird über das Netzwerk (Internet) bezogen und dabei werden Standardmechanismen eingesetzt (Mell & Grance, 2011).
- **Resource Pooling:** Die Ressourcen werden hierbei vom Anbieter in einem Pool zusammengefasst und werden dem Anwender in einem mandantenfähigen Modell zur Verfügung gestellt. Die Ressourcen umfassen physische oder virtuelle Ressourcen, die je nach Kundenbedarf dynamisch zugeteilt oder umverteilt werden. Diese Ressourcen umfassen z. B: Speicher, Rechenkapazität, Arbeitsspeicher oder Netzwerkbandbreite. Der Nutzer hat im Allgemeinen keine Kontrolle oder Kenntnis vom exakten Standort der bereitgestellten Ressourcen. In einigen Fällen kann er auf der höheren Ebenen beschränkt Einfluss auf den geografischen Ort nehmen (Mell & Grance, 2011).
- **Rapid elasticity:** Kapazitäten können flexibel bereitgestellt und freigegeben werden, in einigen Fällen automatisch, um schnell mit dem Bedarf zu skalieren. Für den Verbraucher erscheinen die für die Bereitstellung verfügbaren Kapazitäten oft unbegrenzt und können in beliebiger Menge und zu jeder Zeit in Anspruch genommen werden (Mell & Grance, 2011).
- **Measured Service:** Die Ressourcennutzung wird bei Cloud-Systemen automatisch gesteuert und optimiert. Anbieter und Nutzer können die Nutzung überwachen und kontrollieren (Mell & Grance, 2011).

Die Dienstmodelle beschreiben, welcher Dienst vom Betreiber der Cloud zur Verfügung gestellt wird.

- **Software as a Service (SaaS):** Dem Endkunden wird eine sofort einsetzbare Anwendung zur Verfügung gestellt. Der Anbieter betreibt die Software und stellt diese als Leistung zur Verfügung. Der Zugriff auf die Anwendung ist dabei über diverse Clients oder Web-Browser möglich. Der Kunde hat keinen Einfluss auf die Cloud-Infrastruktur und ebenfalls nur eingeschränkt Konfigurationsmöglichkeiten in der Anwendung (Mell & Grance, 2011).
- Die Benutzung der Software wird üblicherweise pro Aufruf abgerechnet und dem Endkunden wird keine Software-Lizenz mehr verkauft. Der Anbieter ist für den reibungslosen Betrieb, Sicherheitsupdates und Back-ups zuständig (Bräuninger et al., 2012).
- **Platform as a Service (PaaS):** Die Funktionalität erlaubt es dem Benutzer, direkt auf die Cloud Infrastruktur seine eigene Software oder Anwendung bereitzustellen. Benötigte Unterstützung für Programmiersprachen, Software-Bibliotheken, Dienste oder Werkzeuge werden vom Plattformbetreiber zur Verfügung gestellt (Mell & Grance, 2011).
- **Infrastructure as a Service (IaaS):** Das Geschäftsmodell ermöglicht es dem Anwender, Rechnerinfrastruktur in Form von virtueller als auch realer Hardware zu nutzen. Auf dieser kann die eigene Software bereitgestellt werden, inklusive dem dazu benötigten Betriebssystem. Die Verwaltung bleibt weiterhin eingeschränkt, mit keinem bzw. nur limitieren Zugriff auf die eingesetzten Netzwerkkomponenten (Mell & Grance, 2011). Der Kunde kann die Infrastruktur mit größtmöglicher Flexibilität nutzen, verwaltet dabei alle

anderen Aspekte außer die Infrastruktur selbst. Dieses Modell stellt einen Gegensatz zum klassischen Erwerb von Hardware da (Bräuninger et al., 2012).

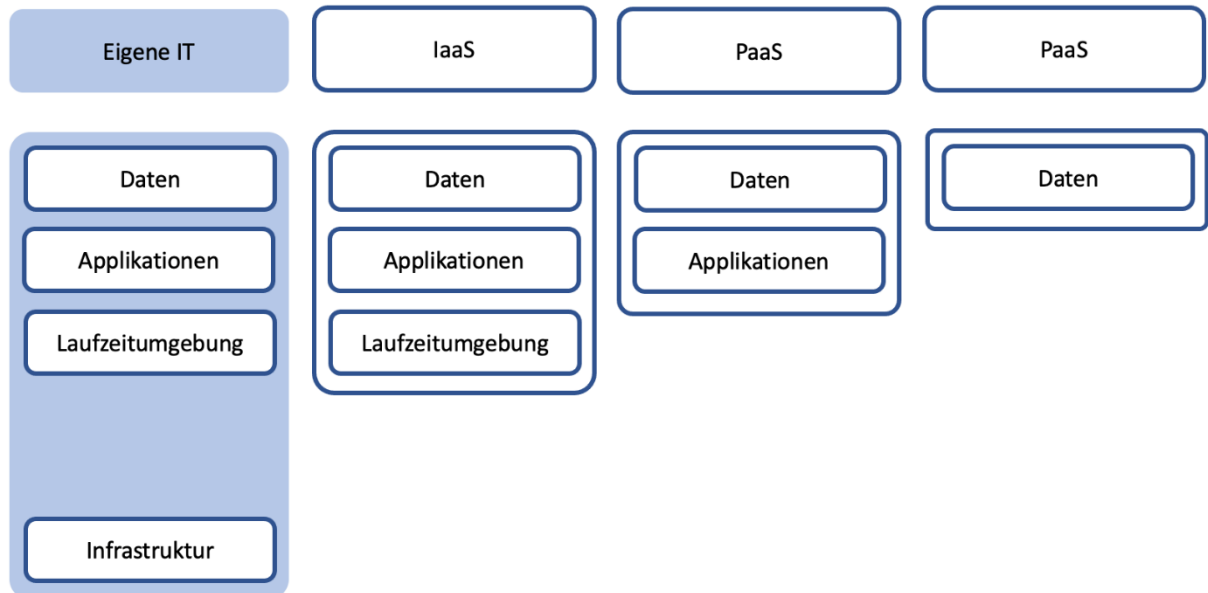


Abbildung 2-2: Service Modelle im Vergleich (in Anlehnung an Plass et al., 2013)

#### Bereitstellungsmodelle der Cloud:

- Private Cloud: Die Cloud kann am Gelände der Organisation sein oder ausgelagert. Der Zugriff auf die Dienste ist nur auf Mitglieder der Organisation beschränkt (Mell & Grance, 2011).
- Community Cloud: Diese Art ist eine nicht öffentliche Cloud. Die Nutzer sind eine Gemeinschaft von Kunden aus verschiedensten Organisationen, die ähnlichen Anforderungen stellen. Die Cloud kann von einer oder mehreren Organisationen, einem Dritten oder einer Kombination aus beidem verwaltet werden (Mell & Grance, 2011).
- Public Cloud: Die Dienstleistungen, die in der öffentlichen Cloud angeboten werden, können von jedem Kunden genutzt werden. Die Nutzer sind weder Eigentümer der Infrastruktur noch der Softwarelösung. Die Verwaltung der Cloud übernimmt der Anbieter. Die Cloud befindet sich am Gelände des Anbieters und der Kunde hat keine Kontrolle über die örtliche Speicherung der Daten (Mell & Grance, 2011).
- Hybrid-Cloud: Dies ist eine Mischform aus mindestens zwei Cloud Varianten. Diese bleiben unabhängig, werden aber durch standardisierte oder proprietäre Technologien miteinander verbunden, die Daten und Anwendungs-Portabilität ermöglichen (Mell & Grance, 2011).

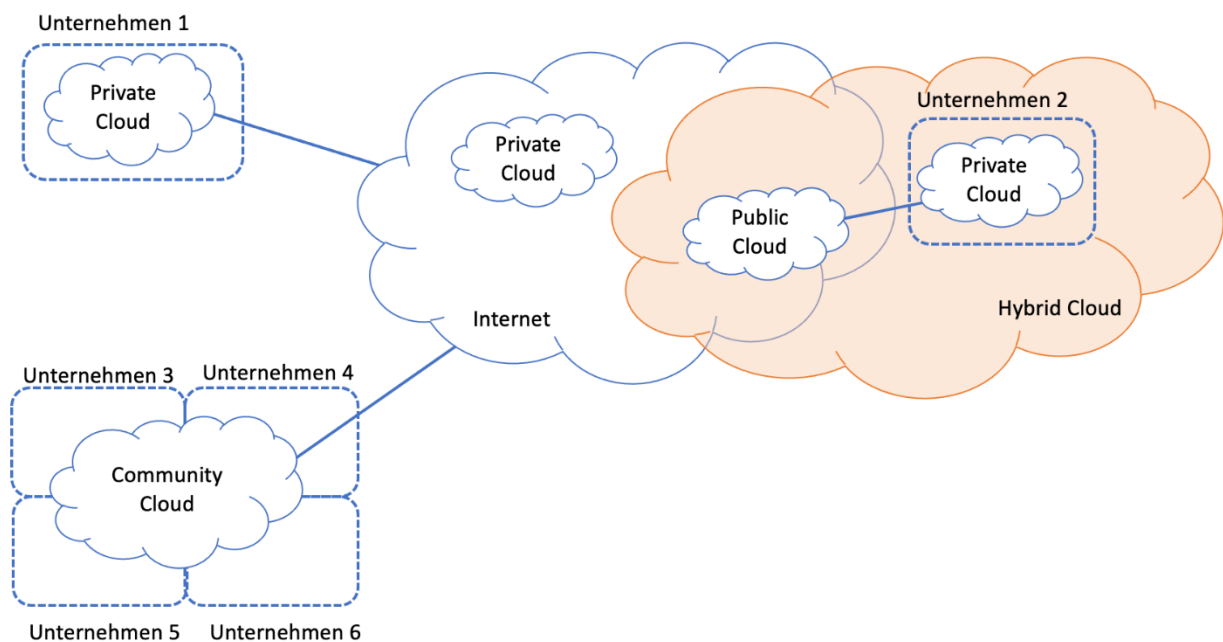


Abbildung 2-3: Arten des Cloudbetriebs (in Anlehnung an Bräuninger et al, 2012)

Für den Betreiber als auch den Konsumenten ergeben sich wirtschaftliche Aspekte. Mit der Durchführung der nutzungsabhängigen Bezahlung lassen sich Kosten für die IT-Dienste reduzieren und für den benötigten Fall auch skalieren (Bräuninger et al., 2012).

In der Organisation wird der Bedarf für IT-Experten gesenkt. Es kommt hierbei zur Umwandlung der fixen Personalkosten in variable Kosten (Bräuninger et al., 2012).

Den größten Anteil am Markt der Cloud-Dienstleistungen haben Cloud-Anwendungen - SaaS und Cloud-Infrastruktur - IaaS. Der Marktführer ist hierbei Amazon-Web-Services (AWS), gefolgt von Microsoft und Google (Kaufmann & Servatius, 2020).

### 2.3.2 Arten und Abwandlungen

Nachdem im vorherigen Kapitel eine Definition des Begriffs Cloud bestehend aus den Merkmalen, Dienstmodellen und Bereitstellungsmodellen gegeben wurde, befasst sich dieses Kapitel mit der Weiterentwicklung der Cloud.

Für den Einsatz der Cloud sprechen die Merkmale Kosten und Verfügbarkeit.

- So ergibt sich ein Kostenvorteil durch das IT-Outsourcing (Rickmann et al., 2013).
- Der Einsatz der Cloud kann über eine Breitbandverbindung durchgeführt werden (Mell & Grance, 2011).

Die Cloud wurde als zentralisiertes System aufgebaut, jedoch haben sich die Anforderungen weiterentwickelt. Durch die steigende Interkonnektivität und die größere Geräteanzahl war es

nötig, die Dienste der Cloud näher zu den Geräten zu bringen, um die Latenz zu reduzieren und die Bandbreite zu erhöhen (Dolui & Datta, 2017).

*„Some critical and deadline oriented IoT applications such as traffic management, military or healthcare, needs to process their requests with minimum latency and response time“ (Gill, 2022)*

In Abbildung 2-4 ist der Aufbau einer Edge/Fog/Core-Cloud Konfiguration dargestellt. In der Core-Cloud Ebene befinden sich Rechenzentren. Diese verarbeiten die Anfragen und benötigen dafür eine ausreichende Rechenkapazität zur Verarbeitung von großen Datenmengen.

Die Fog-Ebene überbrückt den Bereich zwischen Cloud und Endgeräten. In der Ebene können ebenfalls Berechnungen oder Speicherung von Daten vorgenommen werden. Durch die nahe Platzierung kann sowohl die Latenz für die Beantwortung der Anfragen reduziert werden als auch eine höhere Netzwerkbandbreite zur Verfügung gestellt werden (Yousefpour et al., 2019).

EDGE-Geräte in der Edge-Ebene verarbeiten Anfragen, ohne diese an FOG oder Cloud-Services weiter zu senden. In der IoT-Ebene befinden sich IoT-Devices (Gill, 2022).

Carvalho et al. beschreiben jeweils, dass sich im Edge-Bereich weitere Unterteilungen wie etwa das Multi-Access-Edge-Computing, Fog-Computing, Cloudlet-Computing oder Mobile-Cloud-Computing entwickelt haben. Die Grenzen sind nicht genau definiert, jedoch wurden ausreichend Merkmale gefunden, um diese zu unterscheiden (Carvalho et al., 2021).

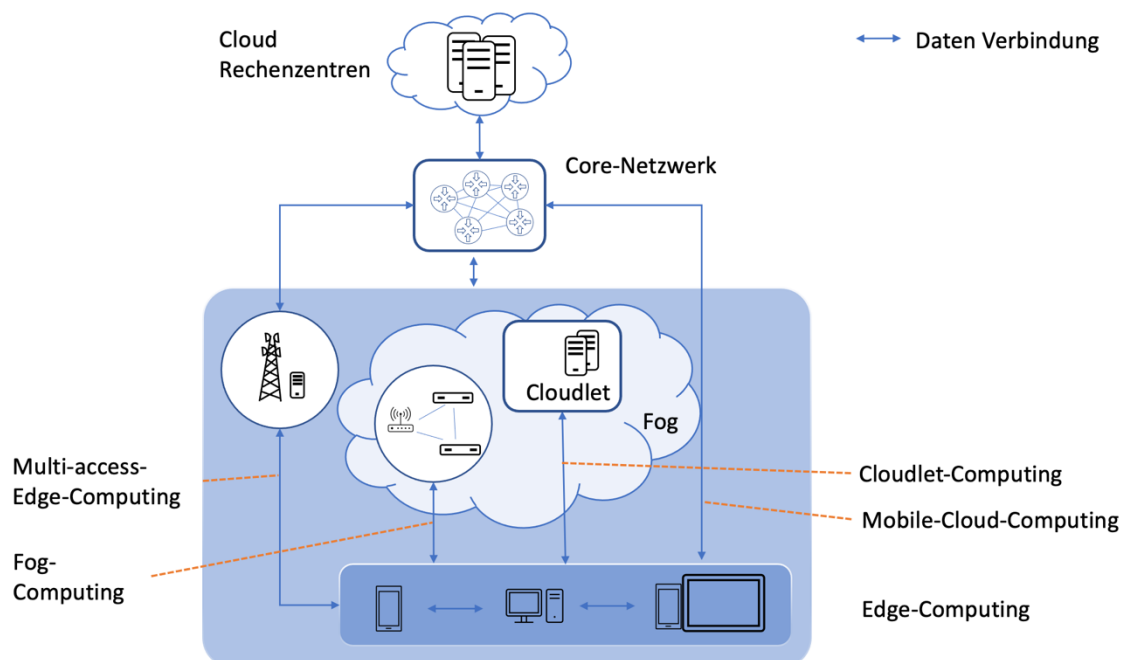


Abbildung 2-4: Übersicht der Edge-Netzwerk Architektur (in Anlehnung an Carvalho et al., 2021)

### 2.3.3 Cloud-Core Computing

Cloud-Computing ermöglicht es Anwendern, IT-Dienstleistungen zu beziehen, ohne die notwendige Hardware oder Infrastruktur selbst zu betreiben. Der Anwender nutzt hierbei nicht mehr lokale Infrastruktur oder Anwendung, sondern verteilte entfernte Systeme. Die Verbindung zu diesen Systemen erfolgt über eine Internetverbindung. Der Zugriff und Datenaustausch erfolgt über definierte Schnittstellen oder Standardanwendungen, wie z. B. einem Webbrowser. Cloud-Computing stellt einen Ersatz zum herkömmlichen Outsourcing dar (Matros, 2012).

In Rechenzentren sind die Server nur zu 5 % bis 20 % ausgelastet (Armbrust et al., 2009).

Durch das Zusammenlegen von mehreren Servern in der Cloud und durch Einsatz von Techniken zur Virtualisierung kann die Auslastung erhöht werden (Bräuninger et al., 2012; Plass et al., 2013).

### 2.3.4 Fog

Fog Nodes sind nahe zur IoT-Nodes platziert, um die Latenz zu reduzieren. Diese sind im Vergleich zu zentralen Cloud-Daten-Center allgemein in weniger zentralen Stellen platziert.

Im Gegensatz zu Cloud-Computing, das auf zentrale Datacenter aufbaut, setzt Fog-Computing auf kleinste Server, Router, Switches, Gateways, Set-Top-Boxen oder Accesspoints. Durch die geringe Baugröße der Fog-Hardware können diese Geräte näher beim Benutzer platziert werden.

Dienste, die auf FOG-Nodes laufen, sind unabhängig und benötigen nur eine schwache oder keine Internetverbindung. Manche Anwendungen benötigen zum Fog-Computing weiterhin das zentrale Cloud-Computing, um Analysen durchzuführen (Bonomi et al., 2012; Yousefpour et al., 2019).

Fog-Computing kann dabei als Puffer zum Zwischenspeichern der Daten dienen, falls keine durchgängige Verbindung zur Cloud vorhanden ist (Vasisht et al., 2017).

Ein mögliches Einsatzgebiet für Fog-Computing kann das Überwachen von großen Sensor-Netzwerken gesehen werden (Bonomi et al., 2012).

Im Bereich von Smart-Grids, läuft die Anwendung auf den Smart-Metern oder den Micro-Grids. Dabei kann die Anwendung anhand des derzeitigen Energiebedarfs entscheiden, welche Energiequelle verfügbar und kostengünstiger ist, und wechselt die Stromquelle zu Fotovoltaik oder Windkraft. Die generierten Daten der Sensoren und Geräte werden mit Fog-Kollektoren gesammelt und verarbeitet. Anhand der gefilterten und ausgewerteten Daten können Entscheidungen getroffen werden. Die Daten werden ebenfalls an die höheren Ebenen der Cloud weitergeleitet. Dort werden diese benötigt, um Visualisierungen, Echtzeit-Auswertungen durchzuführen und zum Speichern der Daten (Stojmenovic & Wen, 2014).

### **2.3.5 Edge**

Beim Edge-Computing (EC) wird Rechenleistung und Speicherkapazität an den Punkt gebracht, an denen die Daten generiert als auch konsumiert werden. Dieser Bereich nahe zum Endkunden oder der Anwendung wird „Edge of the network“ genannt. Mit dieser Architektur können Problem mit Latenz und Bandbreiten-Engpässe, die sonst im Zusammenhang zu Cloud-Computing stehen, vermieden werden.

EC ersetzt nicht die Cloud-Services, sondern erweitert diese nur und bringt die Ressourcen näher zum Endkunden. Edge-Nodes haben auch die Möglichkeit auf die Cloud-Services zuzugreifen, wenn es nötig ist. EC umfasst weiterhin alle Global-Core-Paradigmen innerhalb des Edge-Scopes und beinhaltet verteilte Berechnung, Speicherung und Vernetzung außerhalb der zentralisierten Cloud (Carvalho et al., 2021).

Durch die Platzierung von daten- oder rechen-intensiven Anwendungen „at the Edge“ wird die Menge und Distanz reduziert, über die Daten dafür übermittelt werden müssen. Durch die höhere Bandbreite und niedrigere Latenz lässt sich die User-Experience steigern (Maldonado et al., 2018).

### **2.3.6 Multi-Access-Edge-Computing (MEC)**

Hierbei werden bei den Basisstationen der Netzbetreiber Server aufgestellt, die zusätzlich noch Daten von weiteren Sensoren aus dem Bereich IoT oder Mobilgeräte erfassen können. Mobilgeräte lagern die Berechnungen der Aufgaben an die Server der Basisstation aus. Durch die geringe physische Entfernung, die nur aus einem Sprung besteht, erhält das System eine niedrige Latenz. MEC kann die zentrale Cloud als Zwischenspeicher unterstützen, um Daten an die Geräte zu übertragen. Bei dieser Art ist nachteilig, dass die Basisstationen eine begrenzte Reichweite haben und dass jede Station einen eigenen Server benötigt (Carvalho et al., 2021).

### **2.3.7 Cloudlet-Computing**

Cloudlets werden als Datenzentren „in a Box“ angesehen. Sie sind dezentralisiert im Besitz von lokalen Geschäften oder werden durch Netzanbieter aufgestellt. Als Einsatzort bieten sich z. B. Arztpraxen oder Coffeeshops an. Auf dem Cloudlet laufen virtuelle Maschinen, die das Gastsystem von der Cloudlet-Infrastruktur abkapseln. Die virtuellen Maschinen werden vom mobilen Endgerät bereitgestellt oder aus der Cloud geladen. Die mobilen Endgeräte erkennen die Cloudlet-Infrastruktur selbstständig, und können darauf ihre rechenintensiven Aufgaben auslagern. Durch die geringe Anzahl der Benutzer und die geringe Entfernung können die Anfragen im Vergleich zur zentralisieren Cloud schneller verarbeitet werden. Auf den Cloudlets werden nur Daten oder Codes gespeichert, die ebenfalls an einem zweiten Ort verfügbar sind, um einen Verlust der Daten durch Zerstörung oder Entwendung des Cloudlets zu verhindern. Die Infrastruktur der Cloudlets besteht aus einem Rechner mit mehreren Prozessorkernen, WLAN-Anbindung und aus einer optionale Cloud-Anbindung. Dadurch können Cloudlets unabhängig von der zentralen Cloud betrieben werden (Satyanarayanan et al., 2009).



### 2.3.8 Mobile-Cloud-Computing (MCC)

MCC definiert, dass die Verarbeitung und Speicherung von Daten außerhalb vom Gerät durchgeführt werden. Die Rechenleistung und Speicherkapazität werden an die Core-Cloud ausgelagert. Die Applikationen laufen auf den Servern der Core-Cloud und stellen den Endgeräten ihre Dienste zur Verfügung. Der Zugriff auf diese erfolgt über die Internetverbindung mit dem Nachteil von Latenz und Bandbreite. MCC reduziert die Probleme der Batterielaufzeit und Speicherbeschränkung bei mobilen Endgeräten (Carvalho et al., 2021; Dinh et al., 2013).

### 2.4 Architektur von Fog/Edge-Computing (Gill, 2022)

Eine Einteilung der Cloud-Steuerung wurde von Gill gemacht (2022). Dabei wird die Architektur in drei Bereiche „hierarchisch“, „zentralisiert“ und „dezentralisiert“ unterteilt.

Im hierarchischen Aufbau wird unterschieden zwischen einer oberen und unteren Ebene. In der oberen Ebene ist ein Chief-Broker vorhanden, der alle Nachrichten für die untere Ebene verwaltet, während in der unteren Ebene unabhängig die Aufgaben durchgeführt werden (Gill, 2022).

Im zentralisierten Aufbau ist eine zentrale Steuerung zuständig für die Aufgabenverteilung und Verwaltung von Ressourcen (Gill, 2022).

Im dezentralisierten System werden die Ressourcen zu einzelnen Anfragen verteilt, basierend auf den Anforderungen zur Erfüllung der Aufgaben (Gill, 2022).

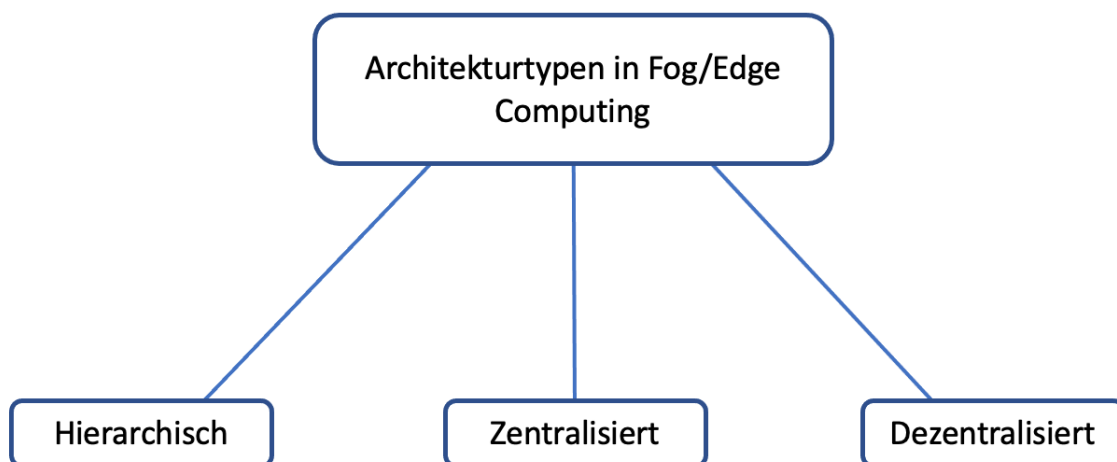


Abbildung 2-5: Architektur in Fog/Edge-Computing (in Anlehnung an Gill, 2022)

### 3 INTERNET OF THINGS (IOT)

IoT ist eine Zusammensetzung von verschiedensten Technologien, die zusammenarbeiten. Der Begriff „Dinge“ ist in der IoT-Vision der ITU sehr breit gefasst. Dieser umfasst portable persönliche Dinge wie Smartphones, Tablets und Digitalkameras.

Zusätzlich werden Elemente aus der Umgebung wie Gegenstände aus dem Haus, aus dem Auto oder aus dem Büro, mit einem Sensor ausgestattet und mit einem Gateway verbunden. Von diesen Geräten wird ein Großteil mit dem Internet verbunden sein und Daten und Informationen liefern (International Telecommunications Union, 2005).

Die Internationale Fernmelde Union ITU (International Telecommunication Union) ist zuständig für die Förderung der internationalen Zusammenarbeit im Bereich des Nachrichtenwesens. Diese beschreibt IoT-Objekte als Geräte, die sich mit der Welt verbinden.

*„Internet of Things will connect objects from the world, both in a sensory an intelligent way“  
(International Telecommunications Union, 2005)*

Aus Sicht der ITU sind die nachfolgenden Bereiche erforderlich, um alltägliche Gegenstände zu verbinden:

- Identifikation: zur eindeutigen Identifikation der Geräte.
- Sensor Netzwerke: Sensoren können den Zustand der Umgebung erkennen.
- Integrierte Systeme: Diese Systeme erlauben es den Geräten selbständig Entscheidungen zu treffen.
- Miniaturisierung: Die Geräte werden immer kleiner und interagieren miteinander.

Die CISCO Internet Business Solutions Group IBG definiert den Begriff Internet-of-Things (IoT) dem Zeitpunkt, an dem mehr Dinge oder Objekte mit dem Internet verbunden waren als Menschen. Der Zeitpunkt wurde durch die Auslastung der IP-Adressen und der Anzahl der Personen, die Zugriff auf das Internet hatten, ermittelt. Die Anzahl der verbundenen Geräte stieg rasant mit der Einführung von Smartphones und Tablets. Der Zeitpunkt konnte nur auf einen Zeitraum eingegrenzt werden zwischen 2008 und 2009 (Evans, 2011).

### 3.1 IoT-Architektur

Wie in Abbildung 3-1 ersichtlich wird für die Architektur ein, drei oder fünf Ebenen Modell verwendet. Das konventionelle Architekturmodell umfasst 3 Ebenen: Applikation, Network und Perception Layer. In der Forschung ist das drei Ebenen Modell nicht ausreichend detailliert genug, daher wurden weitere Ebene hinzugefügt (Jamali et al., 2020).

Zusätzlich kann die Architektur noch eine weitere Ebene zur Identifikation enthalten (Zhang et al., 2012).

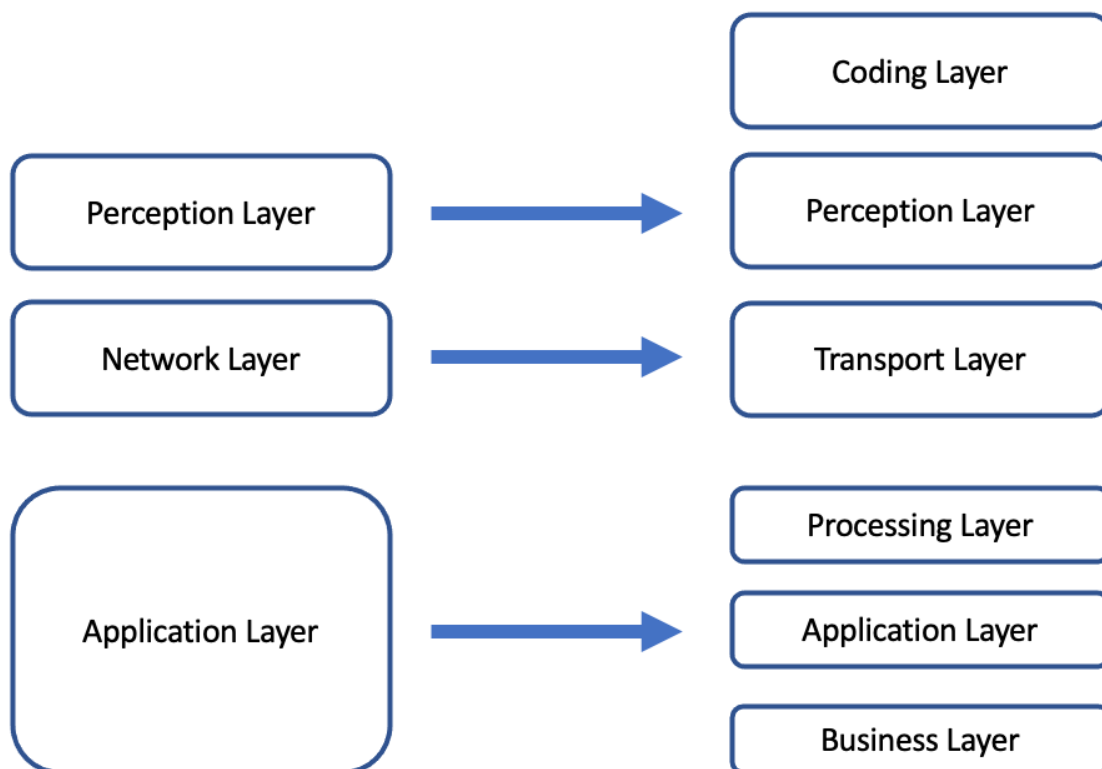


Abbildung 3-1: IoT-Architektur mit fünf Ebenen (in Anlehnung an Jamali et al., 2020 und Zhang et al., 2012)

#### 3.1.1 Coding Layer

Dies ist die wesentliche Ebene, die eine Identifizierung der Objekte ermöglicht. In dieser Schicht wird jedem Objekt eine eindeutige ID zugewiesen, die es sehr einfach macht, die Objekte zu unterscheiden (Farooq et al., 2015).

### 3.1.2 Perception Layer

Der Perception-Layer ist die physikalische Schicht mit Sensoren für Umweltinformationen und Aktoren. Diese ermöglichen eine Interaktion in der physischen Umgebung. In der Umgebung werden einige physikalische Parameter wahrgenommen oder andere intelligente Objekte identifiziert (Jamali et al., 2020; Sethi & Sarangi, 2017).

Der Begriff Sensor umfasst viele Möglichkeiten. So kann z. B. ein Mobiltelefon als auch eine Mikrowelle ein Sensor sein. Der Sensor liefert seinen derzeitigen Zustand, der aus seinem internen Zustand und dem Zustand der Umgebung besteht. Daten von den Sensoren werden gespeichert und verarbeitet, um daraus nützliche Schlüsse ziehen zu können. Die Verarbeitung der Daten und Speicherung erfolgt mithilfe von Edge-Computing oder auf einem Remote-Server. Eine Vorverarbeitung der Daten ist dabei möglich. Diese wird meist auf dem Sensor oder auf einem nahen Gerät ausgeführt (Sethi & Sarangi, 2017).

Ein Aktor ist ein Gerät, das ermöglicht, die Umgebung zu verändern. Diese lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- Elektrisch: Die Aktoren arbeiten mithilfe von elektrischer Energie (Sethi & Sarangi, 2017).
- Hydraulisch: Die Aktoren arbeiten mithilfe von Flüssigkeiten (Sethi & Sarangi, 2017).
- Pneumatisch: Aktoren arbeiten durch Einsatz von komprimierter Luft (Sethi & Sarangi, 2017).

Ein Aktor in einem Smart-Home kann zum Beispiel eingesetzt werden, um eine Türe abzusperrern oder aufzusperren (Sethi & Sarangi, 2017).

### 3.1.3 Network Layer IoT-Verbindungen

Die Netzwerkschicht stellt die Verbindung zu anderen intelligenten Geräten, Netzwerkgeräten und Servern her. Ihre Funktionen werden auch für die Übertragung und Verarbeitung von Sensordaten genutzt (Jamali et al., 2020). Dabei kommen bekannte Technologien wie Wifi, Bluetooth, Wimax, Zigbee, GSM, 3G, 4G oder 5G zum Einsatz, um eine Verbindung mit dem Netzwerk herstellen zu können (Zhong et al., 2015). Bei der Übertragung werden ebenfalls Protokolle eingesetzt wie IPv4, IPv6 und MQTT (Farooq et al., 2015).

### 3.1.4 Transport Layer

Die Transportschicht überträgt Sensordaten vom Perception Layer zum Processing Layer und umgekehrt über Netzwerke wie Bluetooth, Wireless, 3G, LAN (Near Field Communications), NFC und RFID (Jamali et al., 2020).

### **3.1.5 Middleware / Processing / Service Management Layer**

Sie ist eine Verbindungsebene zwischen Netzwerk und Applikation Layer. Die Middleware ist erforderlich, um diverse Applikationen und Services im IoT bereitzustellen (Razzaque et al., 2016).

In der Ebene können große Datenmengen gespeichert, analysiert und verarbeitet werden. Zum Einsatz kommen Technologien wie Datenbanken, Cloud-Computing und Big Data Processing Module (Sethi & Sarangi, 2017).

### **3.1.6 Applikation Layer**

Die Anwendungsschicht ist für die Bereitstellung spezifischer Anwendungsdienste für den Nutzer verantwortlich. Sie definiert verschiedene Anwendungen für das IoT, wie z. B. Smart-Homes, Smart-Citys oder Smart-Health (Mohamed, 2019).

### **3.1.7 Business Layer**

Das gesamte IoT-System wird über die Business-Ebene gesteuert. Die Daten aus den unteren Schichten werden verarbeitet und können zum Erstellen von Diagrammen, Geschäftsmodellen, Flussdiagrammen und Geschäftsberichten verwendet werden. Basierend auf den Analyseergebnissen hilft es Führungskräften, genauere strategische Entscheidungen zu treffen (Vashi et al., 2017).

### 3.2 Kommunikationstechnologien

Im Bereich der IoT-Kommunikation gibt es unterschiedliche Wireless- und Wired-Technologien. Die Wireless-Technologien lassen sich in sechs Arten je nach Anwendungsgebiet unterscheiden (Behr, 2018).

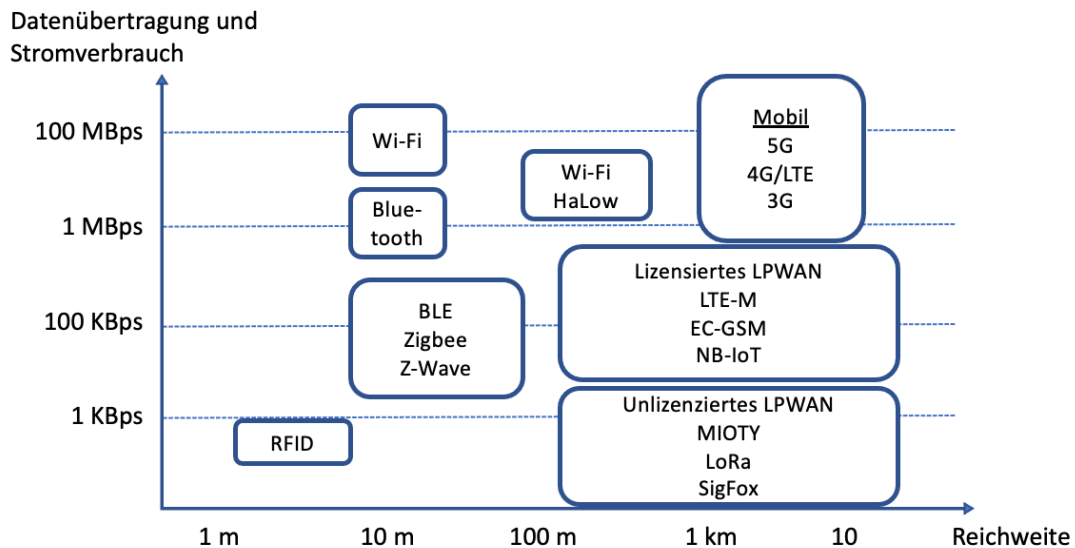


Abbildung 3-2: Kommunikationstechnologien (in Anlehnung an Behr, 2018)

#### 3.2.1 LPWAN

Low Power Wide Area Networks (LPWAN) ermöglichen Verbindungen über große Reichweiten. Diese Kommunikationsmethode eignet sich hervorragend für die Anwendungen mit Batteriebetrieb. Hierbei können Batterielaufzeiten von 10 Jahren erreicht werden. Der Einsatz ist sehr kostengünstig. Die einmaligen Kosten für die Technik im Gerät belaufen sich auf weniger als 2€ und die Betriebskosten belaufen sich auf unter 1€ pro Gerät und Jahr (Mekki et al., 2019).

Die LPWAN-Technologie lässt sich unterscheiden in ein lizenziertes und ein unlizenziertes Verfahren. Der Unterschied hierbei liegt bei den Kosten und der Anwendbarkeit (Kaufmann & Servatius, 2020).

Narrow Band-IoT (NB IoT) ist ein speziell entwickeltes Protokoll für den Anwendung bei IoT-Geräten. Durch Einsatz von einer schmalen Bandbreite von 180 Kilohertz ist es außerdem möglich, eine Kommunikation auch an schwer zugänglichen Orten herzustellen wie z. B. in einem Kellerraum. Die geringe Bandbreite reduziert die Download- und Upload-Datenraten auf maximal 250 Kilobit pro Sekunde (Luber & Donner, 2018).

### **3.2.2 Mobil**

Mobile Netzwerke ermöglichen Breitbandanwendungen mit sehr hohen Datenraten. Der höhere Aufwand verursacht einen höheren Energieverbrauch und höhere Kosten (Kaufmann & Servatius, 2020).

Unternehmen können ihre eigenen 5G-Netzwerke aufbauen und profitieren davon, dass ihre Verbindungen priorisiert in ihrem Netzwerk abgewickelt werden. Die Verarbeitung der Daten kann hierbei auf dem Campus der Firma erfolgen (Flughafen Wien, 2018; Gefeke, 2019).

### **3.2.3 Zigbee- und Mesh-Protokolle**

Die Protokolle lassen sich bei Anwendungen einsetzen, bei denen ein niedriger Energieverbrauch im Vordergrund steht. Die Reichweite der Protokolle ist gering. Hauptsächlich werden diese eingesetzt in der Home Automation (Kaufmann & Servatius, 2020; Krauß & Konrad, 2014).

### **3.2.4 Bluetooth und BLE**

Bluetooth und Bluetooth Low Energy (BLE) lässt sich in kleinen, batteriebetriebenen Geräten einsetzen. Zum Beispiel als tragbare Sensoren (Wearables), smarte Sensoren oder Computer-Zubehör wie digitale Stifte. Die Funktechnologie kann eingesetzt werden, um in Geschäften personalisierte Werbung auszuspielen. Dabei wird das Smartphone über die Media Access Control (MAC)-Adresse eindeutig identifiziert und Verhaltensmuster des Kunden aufgezeichnet (Becker et al., 2019).

### **3.2.5 Wi-Fi**

Wi-Fi hat sich zu einem der am weitesten verbreiteten drahtlosen Standard entwickelt. Der Standard ist für die Unterstützung eines Ethernet basierten drahtlosen lokalen Netzwerks (WLAN) konzipiert, weshalb die Reichweite und der Energieverbrauch zwangsläufig höher sind (Siu & Iniewski, 2018).

### **3.2.6 RFID**

Radio Frequency Identification (RFID) eignet sich zum Auslesen von RFID-Tags mit entsprechenden Lesegeräten. Die RFID-Tags lassen sich durch die eindeutige Kennung unterscheiden. Als Einsatzgebiet bietet sich hier die Logistik an, um Waren und Transportbehälter zu überwachen und zu identifizieren (Kaufmann & Servatius, 2020).

Der Anwendungsbereich der verschiedenen Technologien ist abhängig von der Reichweite, vom Stromverbrauch und den Kosten, die für ein Projekt aufkommen.

Im Bereich der niedrigen Kosten befinden sich RFID und unlicenzierten LPWAN-Technologien. Beim Einsatz von Wi-Fi sind die Implementierungskosten am höchsten. Bei

Mobilfunktechnologien wie 3G, 4G oder 5G fallen die Betriebskosten am höchsten aus (Kaufmann & Servatius, 2020).

### **3.3 Kommunikationsprotokolle**

Es gibt zahlreiche Protokolle, die für den Einsatz in der Applikations-Ebene geeignet sind. Jedes Protokoll hat seine eigenen Vor- und Nachteile. Die Protokolle müssen entsprechend für ihren Einsatzzweck ausgewählt werden (Elhadi et al., 2018).

Die nachfolgenden Unterkapitel sollen einen Überblick über die verschiedenen Protokolle geben:

#### **3.3.1 AMQP**

Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) ist ein offener Protokollstandard, der häufig bei IoT-Geräte zum Einsatz kommt (Vinoski, 2006).

#### **3.3.2 MQTT**

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) ist standardisiertes Publish / Subscribe Push Protokoll, das 1999 von IBM veröffentlicht wurde. Es wurden hohe Netzwerklatenz und niedrige Bandbreiten design. In MQTT kann einer Publisher eine Nachricht veröffentlichen. Nachrichten zu einem Thema können abonniert (Soni & Makwana, 2017).

#### **3.3.3 OPC UA**

Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA) ermöglicht eine plattformunabhängige Kommunikation. Es implementiert die bestehende Funktionalität von klassischen OPC und bietet eine bessere Interoperabilität. Als Basis wird eine serviceorientierte Architektur verwendet (OPC Foundation, 2008).

#### **3.3.4 DDS**

Data Distribution Service (DDS) ist ein Standard zur Echtzeit-Datenübertragung. Er ermöglicht durch seinen Aufbau eine einfache Skalierbarkeit, Interoperabilität und eine schnelle Übertragung (DDS Foundation, 2015).

Firmen entscheiden sich bei der Protokollauswahl bevorzugt für einen eigenen Standard. Das führt dazu, dass Geräte hergestellt werden, die nicht mit Geräten anderer Hersteller kommunizieren können (Al-Qaseemi et al., 2016).



## 3.4 Beispiele für IoT-Anwendungsbereiche und Geräte

Aufgrund der umfassenden Menge an Anwendungsbereichen und Geräten soll dieses Kapitel einer nur auszugsweisen und beispielhaften Aufzählung möglicher Bereiche und Geräte dienen.

### 3.4.1 Anwendungsbereiche

Beispiele für Anwendungsbereiche sind:

- Logistik, Transport und Handel

Im Bereich der Logistik können von Fahrzeugen Wartungs- und Verschleißdaten aufgezeichnet und ausgewertet werden. Bei Containern lassen sich Temperaturangaben zur Gewährleistung der Kühlkette aufzeichnen. Bewegungsdaten von Fahrzeugen und weitere Zustände, wie unter anderem Füllstandsanzeigen, lassen sich aufzeichnen und auswerten (Voß, 2020).

- Gesundheitswesen

Im Bereich Gesundheit lassen sich IoT-Geräte einsetzen, um die häusliche Versorgung zu verbessern. Sturzsensoren, die in Teppichen eingewebt sind, Kameras und Bewegungs- und Feuchtigkeitssensoren in Betten können das Pflegepersonal informieren (Johner, 2017). Ebenfalls lassen sich Sensoren für die Erfassung von Schlafphasen einsetzen (Saleem et al., 2020).

- Smart-Environment / Smart-City

Durch die Kombination verschiedenster Sensoren in Fahrbahn, Ampelanlagen und Mülltonnen lässt sich der Ressourcenverbrauch reduzieren (Kim et al., 2017).

- Landwirtschaft:

Bei Rindern wurden Sensoren in Ohren implantiert, um Bauern das Überwachen der Gesundheit und Bewegung der Kühe zu ermöglichen. Dabei werden rund 200 Megabyte an Daten jedes Jahr generiert (Evans, 2011).

### 3.4.2 Beispiel für IoT-Geräte

Eine grobe Übersicht unterteilt in die einzelnen Bereiche:

- Smart Home

Im Bereich Smart-Home haben bereits verschiedenste Hersteller die Möglichkeit aufgegriffen, ihre Produkte zusätzlich zu vernetzen. Die meisten Produkte lassen sich vom Smartphone über das Internet bedienen und aus der Ferne steuern. Teilweise lassen sich diese Produkte mit einer Zentrale verknüpfen, die mehrere Geräte abhängig voneinander steuern kann. So kann dieser Broker auf Werte von Temperatursensoren reagieren und Heizungsventile steuern. Möchte der Endkunde mehrere Geräte von unterschiedlichen Herstellern verbinden, so muss er sich meist selbst um das Einrichten und Konfigurieren eines Smart-Home-Servers kümmern. Die Hersteller der diversen Smart-Home-Geräte integrieren selten Geräte von anderen Herstellern. Dieser

Smart-Home-Server übernimmt die Aufgabe, die unterschiedlichen Sensoren und Aktoren unter eine Oberfläche zu bringen. Es gibt unterschiedliche Smart-Home-Server, die sowohl als Open Source als auch kommerziell vertrieben werden. Aus dem Bereich Open Source kann die Software FHEM<sup>2</sup>, OpenHAB<sup>3</sup> und Domoticz<sup>4</sup> eingesetzt werden (Henning, 2019).

- Industrie

Gasflaschen der Firma Air Liquide können mit einem smarten Ventil ausgestattet werden, das die Erfassung des Füllstandes und Position der Flaschen für das Flaschenmanagement ermöglicht. Durch das vorzeitige Erkennen von leeren Behältnissen lässt sich eine Nachlieferung auslösen und ein Stillstand durch die Wartezeit vermeiden (AirLiquide, 2018).

Behälter der Firma Saubermacher werden mit Sensoren ausgestattet. Diese können den Füllstand messen, um die Routenplanung für die Abholung anzupassen. Ein zusätzlicher Temperatursensor informiert den Besitzer über einen unerwarteten Temperaturanstieg, der sich zu einem Schwellbrand entwickeln könnte (Smarte Behälter, 2020).

---

<sup>2</sup> <https://www.fhem.de/>

<sup>3</sup> <https://www.openhab.org/>

<sup>4</sup> <https://www.domoticz.com/>

## **4 AUTONOME SYSTEME**

Für eigenständige Systeme ist es wichtig, dass diese selbständig Entscheidungen ohne Eingreifen des Menschen treffen zu können. In diesem Kapitel wird erläutert, welche Möglichkeiten existieren, um Systeme autonom zu betreiben und wie diese Varianten sich unterscheiden. Anschließend wird eine Übersicht gegeben, die darstellt, wie Systeme lernen können. Das Kapitel wird abgeschlossen mit den Hardwareanforderungen für das Lernen.

### **4.1 Einteilung autonomer Systeme**

Autonome Systeme führen Aufgaben selbstständig durch und können weitgehend ohne menschliche Eingriffe agieren. Die Systeme lassen sich nach der Häufigkeit der notwendigen menschlichen Eingriffe und Entscheidungen durch den Menschen unterscheiden (Dumitrescu et al., 2018; Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn et al., 2018).

Für allgemeine Bereiche lassen sich folgenden Automatisierungsgrade unterscheiden:

#### **4.1.1 Ferngesteuerte Systeme ohne Automatisierung**

Regelungs- und Schaltvorgänge werden von Menschen selbst gesteuert und überwacht (Dumitrescu et al., 2018).

#### **4.1.2 Programmierbare Systeme mit Assistenzfunktion**

Vorgegebene programmierte Abläufe werden selbstständig durchgeführt. Die Abläufe können beispielweise durch Signale oder erreichte Grenzwerte ausgelöst werden. Es gibt keine Anpassung an unvorhergesehene Situationen. In diesen Fällen können z. B. Warnsignale abgegeben, ein kompletter Stopp durchgeführt oder eine Ruheposition eingenommen werden. Mit automatisierten Systemen sind vielfältige und annähernd intelligente Verhaltensmuster umsetzbar, die über längere Zeitspannen beibehalten werden können. Bei nicht programmierten Situationen muss der Mensch regelmäßig eingreifen (Dumitrescu et al., 2018; Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn et al., 2018).

### **4.1.3 Teilautomatisierte Systeme**

Unter teilautomatisierten Systemen werden Systeme verstanden, bei denen der Programmieraufwand mithilfe von Teach-in-Programmierung reduziert wird. So werden in der Lernphase z. B. bei Robotern Bewegungsabläufe einprogrammiert, indem Abläufe vorgemacht werden. Das Anlernen erfolgt durch Training vor der Inbetriebnahme. Die Fähigkeiten des Systems, Situationen zu meistern oder Handlungsmuster durchzuführen, sind dabei auf das zuvor gelernte Wissen eingeschränkt. Situationen, die nicht eingelernt sind, können nicht oder nur mit einem Notfallablauf durchgeführt werden und der Mensch muss weiterhin eingreifen (Dumitrescu et al., 2018; Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn et al., 2018).

### **4.1.4 Hochautomatisierte teilautonome Systeme**

Teilautonome Systeme können selbst lernen und erweitern fortlaufend ihren Wissensstand. Der Aufgabenbereich der autonomen Handlungen ist eingeschränkt. Das selbstständige Lernen ermöglicht es, die Autonomie im spezifischen Bereich länger zu erhalten. Eine Übergabe an den Menschen kann im definierten Umfeld weiterhin vorkommen, außerhalb des definierten Umfeldes muss der Mensch dauerhaft die Kontrolle übernehmen (Dumitrescu et al., 2018; Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn et al., 2018).

### **4.1.5 Selbstregulierte autonome Systeme**

Diese Systeme sind selbstlernend und erreichen ein vorgegebenes Ziel ohne eine detaillierte Programmierung. Sie reagieren situationsadaptiv und es ist kein menschliches Eingreifen erforderlich. Bei anfänglich unbekanntem Situationen wird sehr selten an den Menschen die Kontrolle übergeben. Das Verhalten vom System ist nicht voraussagbar. Bei baugleichen Systemen kann sich das Wissen erheblich unterscheiden. Diese Systeme werden als vollautonom bezeichnet (Dumitrescu et al., 2018).

Für Fahrzeuge existiert eine normierte Einteilung in teil-, hoch- und voll automatisch (Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum, 2017).

## 4.2 Selbstlernende Systeme – Ausführung in die KI-Einteilung des maschinellen Lernens

Künstliche Intelligenz (KI) definiert Herausforderungen, die es zu lösen gilt und entwickelt daraufhin Lösungsansätze.

*„Ein System heißt intelligent, wenn es selbständig und effizient Probleme lösen kann. Der Grad der Intelligenz hängt vom Grad der Selbständigkeit, dem Grad der Komplexität des Problems und dem Grad der Effizienz des Problemlösungsverfahrens ab“ (Mainzer, 2019).*

Wie in Abbildung 4-1 dargestellt ist maschinelles Lernen eine Untergruppe der künstlichen Intelligenz. Beim maschinellen Lernen steht das Erlernen im Vordergrund. Hierbei wird nicht die Lösung programmiert, – es wird die Fähigkeit zu lernen programmiert. Diesen Programmen werden Trainingsdaten zur Verfügung gestellt, aus denen diese anschließend eine Lösung entwickeln. Neuronale Netze oder auch tiefes Lernen / Deep Learning ist eine Teildisziplin des maschinellen Lernens und hat in den letzten Jahren die meisten erfolgreichen Ergebnisse im Bereich der KI geliefert. In modernen Übersetzungs- und Bilderkennungssystemen wird tiefes Lernen eingesetzt. Das Training der Netze ist sehr daten- und zeitintensiv (Kersting & Tresp, 2019).

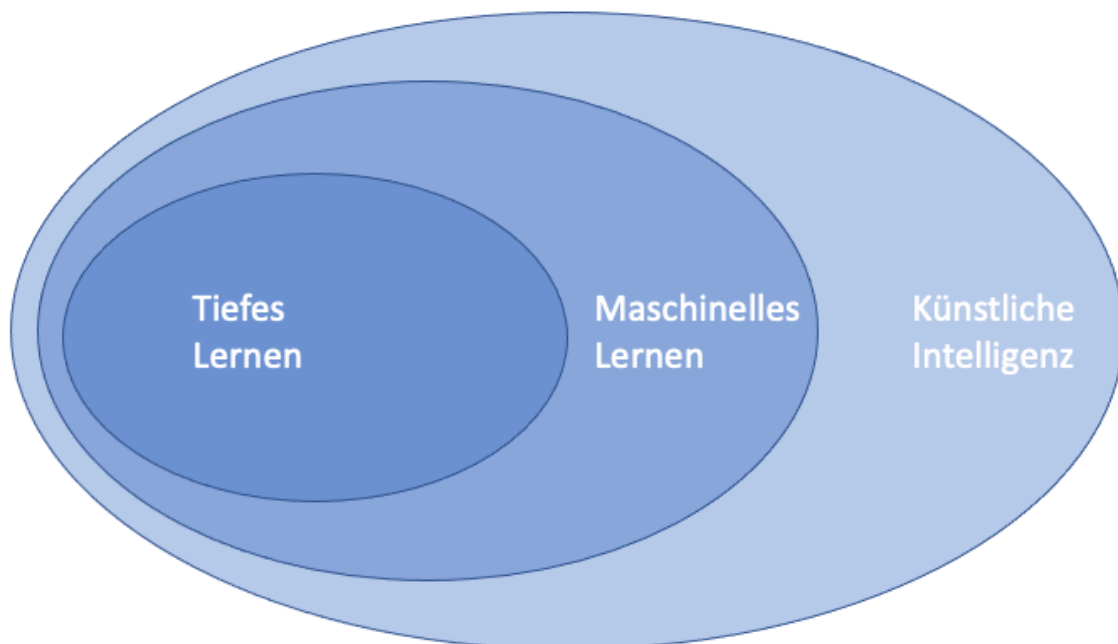


Abbildung 4-1: Zusammenhang zwischen Künstlicher Intelligenz, Maschinellern Lernen und Tiefem Lernen (in Anlehnung an Kersting & Tresp, 2019)

Maschinelles Lernen lässt sich in verschiedensten Anwendungsbereichen einsetzen. Anwendungen im Bereich der Bilderkennung sind Bildklassifizierung, Identifizierung von Zeichen, Erkennung von Gesichtern – wird in Sicherheitssystemen zur Erkennung von unbefugtem Zutritt und zur Diagnostik eingesetzt. Im Bereich der Vorhersagen sind die Einsatzgebiete die Werbung und Business Intelligence, konkret im Einsatz von Google Ads. Vorhersagen für Wetter, Markt und politische Kampagnen sind ebenso möglich wie Risikovorhersagen im Bereich der Wirtschaft.

KI eignet sich, um Entscheidungen in Echtzeit zu treffen: als künstliche Intelligenz in Computerspielen, zur Unterstützung beim Erwerb von Qualifikationen als persönliche Assistenten wie z. B. Google Now, Microsoft Cortana, Apple Siri und weitere. Außerdem kommt KI unterschiedlichen Bereichen zur Anwendung: in autonomen Fahrzeugen, zur Auswertung und Visualisierung von Daten im Bereich von Big Data, zur Erkennung von Merkmalen, dem Registrieren von Strukturen oder wiederkehrenden Mustern in Daten.

Ebenso dient KI zur Auswertung in Recommendation Engines, die in Onlinediensten wie Amazon-Web-Services oder Netflix zum Einsatz kommen. Kundensegmentierung, gezieltes Marketing und Algorithmen zur Filterung sind ebenfalls Einsatzbereiche vom maschinellen Lernen im Bereich von Big Data (Fadlullah et al., 2017).

Diese Aufzählung stellt einen Auszug der möglichen Einsatzgebiete für maschinelles Lernen dar und umfasst nicht alle Einsatzmöglichkeiten.

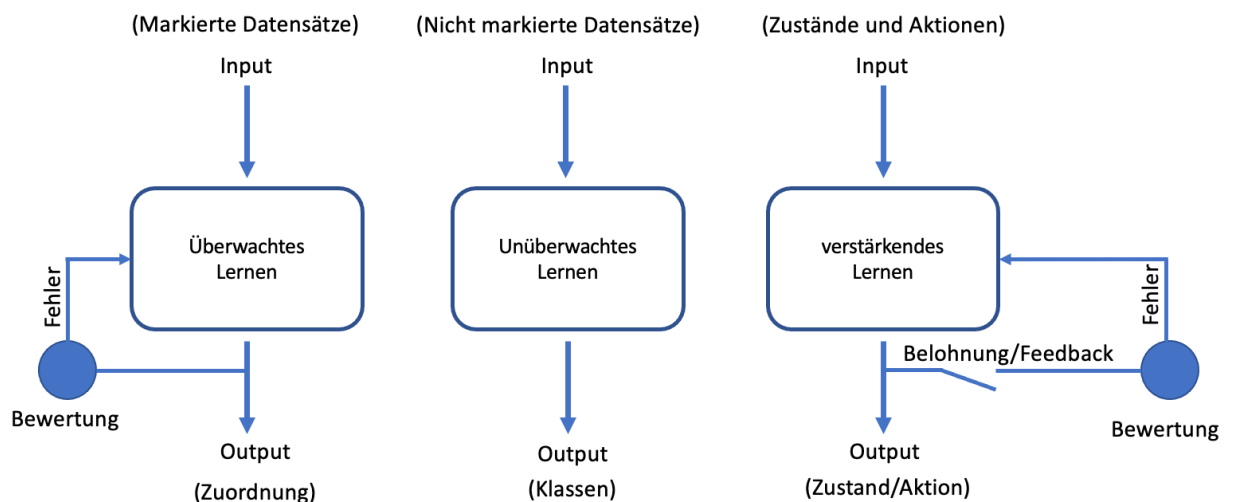


Abbildung 4-2: Arten des maschinellen Lernens (in Anlehnung an Weber, 2020)

Die Lernsysteme für maschinelles Lernen lassen sich in drei Kategorien unterteilen(Weber, 2020):

- Überwachtes Lernen (Supervised Learning)
- Unüberwachtes Lernen (Unsupervised Learning)
- Verstärkendes Lernen (Reinforcement-Learning)

In Abbildung 4-2 sind die drei Kategorie vergleichend dargestellt mit den dazugehörigen Feedbackschleifen. Diese Feedbackschleifen führen zu einem besseren Ergebnis beim Trainieren.

#### **4.2.1 Überwachtes Lernen (Supervised Learning)**

Das Ziel des überwachten Lernens ist es, ein Modell zu generieren, das mithilfe von Trainingsdaten trainiert wird und auf neue Daten angewendet wird. Dabei werden dem Algorithmus Testdaten zur Verfügung gestellt, die bereits kategorisiert sind. Der Algorithmus lernt anhand der Testdaten und erstellt dabei ein Modell, das diese Kategorien zuordnen kann. Abschließend an den Lernvorgang erfolgt die Testphase. In dieser wird das Modell mit neuen Daten getestet und die Qualität der Lösung überprüft. Die Qualität des Ergebnisses ist stark abhängig vom Trainingsdatensatz. Zur Kontrolle wird ein Datensatz eingesetzt, der unabhängig zum schon erlernten Trainingsdatensatz zusammengestellt ist und demnach noch unbekannt ist. Überwachtes Lernen lässt sich einsetzen, wenn bekannt ist, auf welche Art die Eingabedaten klassifiziert werden sollen (Nolting, 2021; Weber, 2020).

#### **4.2.2 Unüberwachtes Lernen (Unsupervised Learning)**

Im Gegensatz zum überwachten Lernen existiert hier keine Kontrollinstanz zur Inspektion der Ergebnisse, d. h. es erfolgt keine qualitative Überprüfung der Ergebnisse auf Richtigkeit. Es werden für die Modellerstellung keine Trainingsdaten benötigt. Bei dieser Art des Lernens identifiziert der Algorithmus die Datenstruktur und kategorisiert die Daten. Dieses Verfahren des unüberwachten Lernens lässt sich vorrangig einsetzen, um Eingabedaten zu klassifizieren und unbekannte Muster in den Daten zu erkennen (Nolting, 2021; Weber, 2020).

#### **4.2.3 Verstärktes Lernen (Reinforcement Learning)**

Verstärktes Lernen kann zur Erstellung eines Modells eingesetzt werden, bei dem sowohl mehrere Eingangs-Variablen als auch mehrere Ausgabe-Variablen vorhanden sind. Diese Variablen können zusätzlich Abhängigkeiten untereinander besitzen. Der Algorithmus lernt in Zyklen und kann nach jedem Zyklus Feedback erhalten, in Form eines Belohnungswertes. Diese Lernmethode lässt sich einsetzen, wenn kaum Trainingsdaten vorhanden sind, der ideale

Zustand nicht klar definiert werden kann oder erst durch Interaktion mit der Umwelt ermittelt werden muss (Weber, 2020).

Verstärktes Lernen ist jenes Verfahren, welches die meisten Schwierigkeiten in der Umsetzung birgt, da der Algorithmus nur ein Ranking erhält, – jedoch nicht die kritische Information, wie er diese Bewertung positiv beeinflussen könnte. Es werden Ziele vorgegeben, jedoch keine Lösungswege. Diese Freiheit bei der Suche von Lösungsmöglichkeiten kann neue Lösungsstrategien hervorbringen. Damit können aber auch unerwünschte Handlungen ausgeführt werden, wenn die Belohnungsfunktion Lücken aufweist und die falschen Aktionen belohnt (Hartmann, 2020).

### **4.3 Durchführung des Lernens**

Maschinelles Lernen ermöglicht es, aus vorhandenen Daten, Muster auszulesen. Das eingesetzte Lernverfahren muss in der Lage sein, aus Daten Wissen ableiten zu können. Beim Lernen wird aus den Daten Wissen abgeleitet, ohne dass dafür explizit ein Programmcode hinterlegt ist (Nolting, 2021).

Alle drei Varianten haben die Gemeinsamkeit, dass die Entwicklung des Modells in drei Schritten abläuft: Datenakquise, Anwendung des Lernalgorithmus und Evaluation des Modells selbst.

In Schritt eins der Datenakquise werden hunderttausend oder Millionen an Datensätzen vorbereitet, die für das Training eingesetzt werden. Diese beinhalten qualitätskontrollierte Einträge mit dem gewünschten Ergebnis. In Schritt zwei wird der Lernalgorithmus angewendet. Dabei wird ein klassisch programmiertes Programm eingesetzt und mit den Trainingsdatensätzen gefüllt. Die Software bestimmt die freien Parameter für das Modell. Im letzten Schritt der Evaluation wird das KI-System in einen Probetrieb versetzt und die Antworten der KI werden bewertet. Dafür werden dem KI-System eine Menge an definierten Daten als Eingabe übergeben. Die Ausgabe des KI-Systems wird anschließend mit den Zielvorgaben verglichen und eine Statistik geführt.

Diese Evaluation benötigt zusätzlich Daten zur Bewertung, die aber nicht für das Training des Modells verwendet worden sind. Nach Absolvierung der drei Schritte hat man ebenfalls die drei Dinge fixiert: Trainingsdaten, den Lernalgorithmus und die Evaluationsdaten (Hartmann, 2020).

### **4.4 Durchführungszeitpunkt des maschinellen Lernens**

Man unterscheidet zwei Systeme des Lernens – die Unterscheidung definiert sich durch den Zeitpunkt, wann das Modell lernt und somit auch, inwiefern die Fähigkeit zur Weiterentwicklung gegeben ist: Man unterscheidet zwischen geschlossener KI und offener KI. Während die geschlossene KI ausschließlich im Training lernt und danach nur mehr anwendet, lernt die offene KI auch während des Abarbeitens der Datensätze weiter und erweitert somit die Funktionstüchtigkeit des Systems. In der Praxis erreicht die Anwendung häufig schnell ihre Grenzen. So muss bei überwachten Lernsystemen zwingend der Sollwert bekannt sein, um das



System darauf trainieren zu können. Üblicherweise werden in diesem Anwendungsfall die neuen Daten aufgezeichnet, auf Qualität überprüft und für eine neue Version des KI-Systems eingesetzt.

Für das Reinforcement-Learning ist es notwendig, dass sehr viele Daten aufgezeichnet werden. Das kann jedoch im laufenden Betrieb hinderlich sein.

Beim unüberwachten Lernen kann die Weiterentwicklung einfacher eingesetzt werden. Neue Daten werden kontinuierlich dem System bereitgestellt, neue Muster oder Anordnungen können somit vom KI-System erkannt werden. Selbstlernende Systeme können beim Lernen nicht grundlegend neue Dinge lernen. Das Neulernen führt im besten Fall zu einer inkrementellen Verbesserung der bestehenden Systeme (Hartmann, 2020).

#### 4.5 Leistung zum Lernen – Leistungsanforderungen, Leistungsbedarf

Mit steigender Größe an Datenmenge zum Trainieren steigt ebenfalls die Anforderung an die Umgebung, in der die Daten analysiert werden.

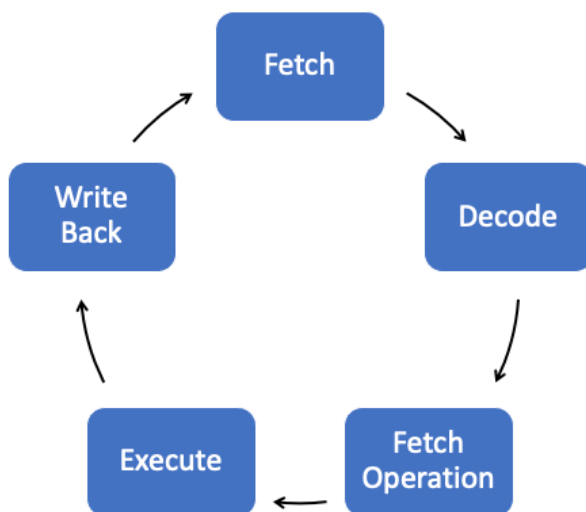


Abbildung 4-3: Der "Von-Neumann-Zyklus" (eigene Darstellung)

Prozessoren sind nach der Neumannarchitektur aufgebaut, die in fünf Schritten die Befehle abarbeiten.

- Fetch: Der Maschinenbefehl wird aus dem Speicher geladen.
- Decode: Instruktionen decodieren.
- Fetch Operation: Die für die Ausführung benötigten Operanden werden in die dafür vorgesehenen Register geladen.
- Execute: Der Befehl wird von der ALU ausgeführt.
- Write Back: Das Ergebnis wird in den Speicher geschrieben.

Wie in Abbildung 4-3 dargestellt, werden einzelnen Schritte nacheinander ausgeführt und anschließend wird dieser Zyklus von neuem begonnen („Von-Neumann-Zyklus“, 2022).

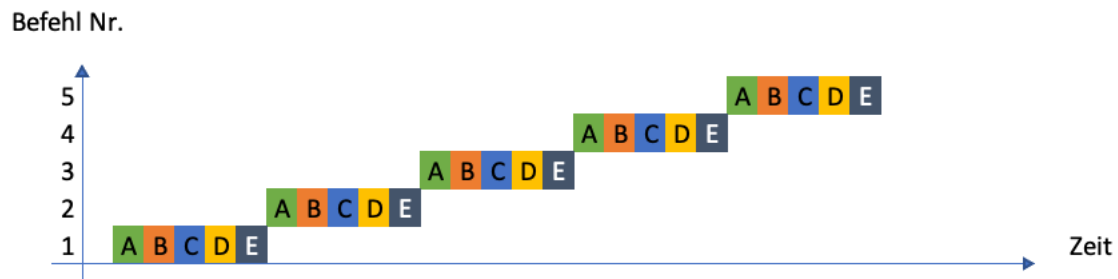


Abbildung 4-4: Befehlsverarbeitung ohne Pipelining (in Anlehnung an „Pipeline (Prozessor)“, 2021)



Abbildung 4-5: Befehlsverarbeitung mit Pipelining (in Anlehnung an „Pipeline (Prozessor)“, 2021)

Moderne CPUs laufen mit einer Taktfrequenz von 2 bis 5 GHz. Wie in Abbildung 4-5 läuft der Befehlsverarbeitung in Serie ab. Die Ausführung der einzelnen Schritte kann optimiert werden und ermöglicht es das pro Takt mehrere Schritte parallel ausgeführt werden. Diese Technik wird Pipelining genannt, wie in Abbildung 4-4 ersichtlich. Jeder Teilschritt wird mehrfach pro Takt ausgeführt und in Summe können bis zu 2000 arithmetische Befehle ausgeführt werden („Pipeline (Prozessor)“, 2021; „Von-Neumann-Zyklus“, 2022).

CPUs sind gut geeignet für universelle Einsatzgebiete. Durch den geteilten Speicher bieten sich Vorteile bei der Verarbeitung der Daten. Die Rechengeschwindigkeit und Kapazität lässt sich durch Erhöhung der Taktfrequenz und Parallelisierung der Berechnungen auf mehrere Rechenkerne erreichen.

In den letzten Jahren haben sich aber Grafikkarten als geeigneter für die Berechnungen herausgestellt. Als General Purpose Graphics Processing Unit – GPGPU – können Sie mehrere Tausende parallele Berechnungen durchführen. Im Bereich der Matrizenmultiplikationen lassen sich die Berechnungen zerlegen und in einfache Berechnungen übertragen, die sich unabhängig voneinander lösen lassen und daher parallel durchgeführt werden können. Der

Geschwindigkeitsvorteil wird durch den hohen Grad der Parallelisierung der Rechenoperationen erreicht (HEAVY.AI, 2022).

Im Bereich des maschinellen Lernens werden anwendungsspezifische integrierte Schaltungen, kurz ASIC, eingesetzt. Diese Chips sind für einen speziellen Anwendungsfall entworfen und optimiert worden. Im Bereich des maschinellen Lernens werden diese Chips von verschiedenen Herstellern erzeugt z. B. von der Firma NVIDIA.

Eine weitere angepasste Form von Chips hat Google für ihr selbst entwickeltes Deep Learning Framework TensorFlow hergestellt. Diese Tensor Processing Units (TPU) können bei Google-Cloud-Diensten angemietet werden und sind nicht käuflich erwerbbar. Einzig Entwicklerboards mit einer geringeren Leistung sind auf dem Markt verfügbar. So können Entwickler mit dem Opensource Framework TensorFlow Entwicklungen durchführen und diese anschließend in der Google-Cloud laufen lassen (Goldsborough, 2016).

Die TPUs schneiden im Vergleich zu GPGPUs und CPUs wesentlich besser ab. Die Rechenleistung einer TPU ist gegenüber einer CPU 80x höher. Im Vergleich zu einer GPU ist die Rechenleistung 30x höher, normiert auf die elektrische Leistung pro Watt (Jouppi et al., 2017).

Maschinelles Lernen wird von den Cloud-Anbietern (Amazon, Google, Microsoft, IBM, SAP, Alibaba) als Service angeboten. Der Kunde bezieht hierbei die Dienstleistung des maschinellen Lernens. Machine Learning as a Service (MLaaS) benötigt keine eigene Hardware für die Berechnungen. Das ermöglicht es, die Modellberechnungen kostengünstig auszulagern und Personalkosten für Betrieb und Wartung der Hardware einzusparen (Weber, 2020).

## 4.6 Zusammenfassung

Für die Lernfähigkeit von Modellen werden sowohl große Datenmengen benötigt als auch eine gute Rechenkapazität, um die Modelle in absehbarer Zeit zu berechnen. Maschinelles Lernen kann eingesetzt werden, um Modelle zu generieren, die für Klassifizierungen oder Vorhersagen eingesetzt werden können.

Je nach Einsatzzweck können verschiedenste Arten des Lernens für die Analyse eingesetzt werden. Den unterschiedlichen Lernverfahren bleibt gemeinsam, dass diese eine ausreichende Menge an Trainingsdaten benötigen. Mit steigender Menge an Daten steigt die Qualität der Vorhersagemodelle.

## **5 METHODEN**

Diese Masterarbeit setzt sich aus einem theoretischen und empirischen Teil zusammen. Der theoretische Teil besteht aus einer Literaturlarbeit. In dieser wurden Themenpunkte, die die Forschungsfrage umfassen, anhand von ausgewählter Fachliteratur aufgearbeitet und detailliert beschrieben.

Der empirische Teil umfasst Experteninterviews, die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring und abschließend die Aufarbeitung und Gegenüberstellung der Erkenntnisse. Die Interviews wurden mit Experten geführt, die auf dem jeweiligen Fachgebiet arbeiten oder Erfahrung haben.

Da die Ergebnisse der Literaturlarbeit jedoch nicht ausreichend, um die Forschungsfragen und Hypothesen zu beantworten, wurde die Methode der Experteninterviews gewählt, um diese Fragen zu beantworten.

### **5.1 Experteninterviews**

Die Befragungen der Experten und ExpertInnen wurden als semistrukturiertes Interview durchgeführt. Diese Art des Interviews wird mithilfe eines Leitfadens geführt, der die Fragestellungen vorgibt. Die interviewte Person hat die Möglichkeit, auf die Fragen frei zu antworten.

Im Zuge des Interviews kann es notwendig sein, Dinge noch gründlicher zu erläutern oder klar herauszuarbeiten – daher ist es möglich und notwendig, in manchen Fällen weitergehende Fragen zu stellen.

#### **5.1.1 Erstellung des Interviewleitfadens**

Der Leitfaden (ANHANG A) wurde entwickelt, um das Gespräch strukturiert führen zu können, dabei wurden Fragen bezüglich der Forschungsfrage definiert. Der Leitfaden gibt dabei lediglich den Rahmen des Gespräches vor. Er dient zusätzlich während des Interviews zur Orientierung und um Vergleichbarkeit zu schaffen - ebenso lässt er auch Abweichungen im Gespräch zu. Die Fragen im Interviewleitfaden wurden als offene Fragen gewählt, um Informationen zu gewinnen.

#### **5.1.2 Erhebung der Daten – Interviewdurchführung**

Die Interviews wurden zwischen April und Juni 2022 durchgeführt. Aufgrund der Corona Situation wurden die Interviews mit MS Teams durchgeführt. Dem Interviewpartner wurde die Auswahl des Meeting-Tool überlassen. Zur Dokumentation wurde parallel zum Videocall auch eine Sprachaufzeichnung am Handy erstellt und mithilfe der Software MAXQDA transkribiert. Dabei wurden die Aufnahmen anonymisiert und Informationen, die einen Rückschluss auf Person oder Firma zulassen, entfernt.

Im Zuge der Transkription wurden Dialektfärbungen eingedeutscht. Versprecher, Wiederholungen, neu angefangene Sätze sowie Bindewörter wie „äh“ wurden entfernt. Pausen zwischen den Antworten und Sätzen wurden ebenfalls entfernt, da dies für die Auswertung der Daten nicht von Relevanz ist.

### 5.1.3 Interviewpersonen

Die Auswahl der Firmen mit Experten, erfolgte durch eine Internetrecherche mit Google. Dabei wurden ausschließlich Firmen ausgewählt, die IoT-Lösungen anbieten.

Übersicht der Interviewpersonen, sowie deren Funktion:

ID	Funktion	Branche	Unternehmen
E1	Softwareentwicklung	Aquaristik	U1
E2	Technische Geschäftsführung	Infrastruktur	U2
E3	Vertriebsleitung	Logistik	U3
E4	Technische Leitung	Fotovoltaik	U4

Tabelle 5-1: Übersicht Interviewpersonen

Interviewperson E1 ist eine Software entwickelnde Person bei einer Firma, die spezialisiert auf die Entwicklung eines Aquarium-Wasseranalysegerätes ist. Das Produkt analysiert und wertet Wasserproben von Heim-Aquarien aus und informiert den Besitzer über den Zustand der Wasserqualität.

Interviewperson E2 ist zuständig für die technische Geschäftsführung eines Unternehmens, welches eine IoT-Sensorplattform herstellt: Im Detail ist diese spezialisiert auf die Entwicklung von IoT-Hardware im Umfeld von kommunaler Infrastruktur, die als kritisch betrachtet wird.

Interviewperson E3 ist zuständig für die Vertriebsleitung in einem Unternehmen, das IoT-Sensoren für Abfallwirtschaft (Smart-Waste) und Lagerlogistik herstellt.

Interviewperson E4 ist zuständig für die technische Leitung bei einer Firma, ausgerichtet auf die Entwicklung von Fotovoltaik Systemen. Das Produkt ermöglicht dem Benutzer sowohl die Verbrauchs- als auch die Erzeugungsdaten der Fotovoltaikanlage einzusehen.

## 5.2 Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring

Zur Auswertung wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewählt. Die transkribierten Interviews bilden das Ausgangsmaterial für die Auswertung. Die Textanalyse nach Mayring beinhaltet, dass der Grundlagentext in einzelne Schritte zerlegt wird – und diese dadurch nachvollziehbar und rücküberprüfbar werden. Ziel der Analyse ist es, zusätzliche Details zu erheben – als Ergänzung zur Literaturarbeit. Die Funktion der interviewten Experten sowie das

beschriebene IoT-Gerät wurden nicht in die Auswertung mitaufgenommen. Diese Daten wurden erhoben und in der Tabelle 5-1 angeführt.

### **5.2.1 Deduktive Kategorienanwendung**

Dieses Verfahren wird laut Mayring (2015) auch als Strukturierung bezeichnet. Das Ziel dieser Methode ist es, Strukturen im Datenmaterial aufzuzeigen. Die Struktur wird mithilfe eines Kategorien-Systems gebildet. Dabei werden alle Textbestandteile, die auf die Kategorien zutreffen, extrahiert. Zur Bildung einer Kategorie werden drei Schritte durchgeführt, die eine nachvollziehbare Zuordnung ermöglichen (Mayring, 2015):

1. Definition der Kategorie

In einer Kategorie wird genau definiert welche Textbestandteile in sie fallen.

2. Ankerbeispiele

Die Ankerbeispiele umfassen zwei Textstellen, die einer Kategorie zugeordnet werden und dienen als Beispiel für weitere Textstellen.

3. Codierregeln

Die Regeln ermöglichen eine eindeutige Zuordnung zu einer Kategorie.

Bei Einsatz eines standardisierten Interviewleitfadens lassen sich bei der deduktiven Kategorie Anwendung oder Strukturierung der Kategorien aus den Fragen des Interviewleitfadens ableiten. Bei der Durchführung der Interviews wurde ein Interviewleitfaden eingesetzt. Aus diesem wurden die Kategorien gebildet und anschließend das vorhandene Material nach den Kategorien durchsucht.

### **5.2.2 Aufbereitung und Auswertung der Daten**

Um die aus den Interviews generierten Daten auch weiter verarbeiten zu können, mussten sie erst aufbereitet werden. Dafür wurden die aufgezeichneten Interviews transkribiert – die Verschriftlichung wurde in der Software MAXQDA durchgeführt. Diese ist gut geeignet, um qualitative Analysen durchzuführen. Die Sprachaufnahmen wurden in das Programm importiert und anschließend entsprechend den vorhandenen Regeln transkribiert. Dank dieser ergänzenden Interviews mit Experten aus dem Anwendungsalltag konnten weitere Einsichten und Ergebnisse zusätzlich zur Literaturarbeit generiert werden.

Wie bereits oben beschrieben, wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring gewählt. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte zur Auswertung der Daten erläutert:

- 1. Festlegen des Materials**

Das Ausgangsmaterial besteht aus den Tonaufnahmen, die während der Interviews erstellt wurden. Aus diesen Tonaufnahmen wurden Transkripte erstellt.

- 2. Analyse der Entstehungsbedingungen**

Die Interviews wurden mithilfe von MS Teams durchgeführt, – so war der Ort des Interviewpartners nicht vorgegeben. Die Tonaufnahmen sind während des Interviews entstanden und wurden mit einem Smartphone aufgezeichnet. Die Aufnahmen wurden anschließend auf das Arbeitsgerät exportiert und im Programm MAXQDA importiert. In diesem Programm wurden die Tonaufnahmen transkribiert.

### **3. Formale Charakteristika des Materials**

Beim Material handelt es sich um eine Verschriftlichung der aufgenommenen Interviews mit Expertenpersonen. Im Zuge der Verschriftlichung wurden keine Änderungen an den Aussagen vorgenommen, allerdings wurden Aussprachefehler und dialektische Ausdrücke korrigiert. Versprecher und Sätze, die begonnen, dann neu formuliert wurden, wurden nicht übernommen, da sie keine Aussagekraft haben.

### **4. Fragestellung der Analyse**

Die Fragestellung ist wichtig, um die Daten gezielt durchsuchen zu können. Die Interviews wurden geführt, um weitere Informationen zur Beantwortung der Forschungsfrage zu erhalten. Die Fragestellung orientiert sich, an der Forschungsfrage und den aufgestellten Hypothesen. Damit ergeben sich die folgenden Untersuchungsgegenstände:

- Einsatz der verschiedenen Arten von Computing
- Vor- und Nachteile der eingesetzten Computing-Art
- Informationen zur Verfügbarkeit
- Expertenmeinung zur Forschungsfrage

Zuerst wurde abgeklärt, welche Art von Computing die Firma des interviewten Experten einsetzt. Darauf aufbauend soll geklärt werden, welche die Vor- oder auch die Nachteile der gewählten Computing-Art sind.

Weiters gilt zu klären, ob die Firma selbst Informationen zur Verfügbarkeit stellt, insbesondere, ob auch SLA vorhanden sind, die dem Kunden bereitgestellt werden.

Als Abschluss fließt die persönliche Meinung des befragten Experten mit ein – diese wird analysiert und trägt zu einem erheblichen Teil dazu bei, die Forschungsfrage umfassender beantworten zu können.

### **5. Bestimmung der Analysetechnik und Festlegung des Kategoriensystems**

Als Analyse wurde die klassische Zusammenfassung ausgewählt, für das Kategoriensystem wurde die deduktive Kategorie Entwicklung oder Strukturierung gewählt, da auf den bereits vorhandenen Interviewleitfaden zurückgegriffen werden konnte, aus dem wiederum die Kategorien gebildet wurden.

### **6. Bestimmung der Analyse-Einheit**

Die Analyse-Einheit besteht aus drei Teilen: Kontext-, Codier- und Auswertungseinheit. Die transkribierten Interviews werden als Kontexteinheit definiert, die Aussagen der Experten als

Codiereinheit und als Auswertungseinheit werden die Textbestandteile bezeichnet, die nacheinander codiert werden können (Mayring, 2015).

Aufgrund der zuvor beschriebenen Punkte wurde die Analyse durchgeführt. Nachfolgend werden die Kategorienbildung und die Codierung beschrieben.

### **5.2.3 Kategorienbildung**

Das Verfahren der deduktiven Kategorienbildung ermöglicht folgende Kategorisierung aus dem zugrunde liegenden Interviewmaterial:

K1: IoT Gerät

K2: Vorteile Cloud-Computing

K3: Nachteile Cloud-Computing

K4: Vorteile Fog-Computing

K5: Nachteile Fog-Computing

K6: Vorteile Edge-Computing

K7: Nachteile Edge-Computing

K8: Informationsbereitstellung

K9: Bereitstellung von SLA

K10: Entscheidungskriterium

### **5.2.4 Codierung**

Zur Codierung der Transkripte wurde ebenfalls die Software MAXQDA eingesetzt. Die Software ermöglicht es mit der integrierten Funktion den transkribierten Text zu codieren. Um die Codierung zu beginnen, wird die entsprechende Textstelle markiert und einer Kategorie zugewiesen – die Markierung hilft im späteren Verlauf zunehmend den Überblick zu behalten und diese schneller wieder finden zu können. Die Kategorisierung wurde nach Mayring (2015) vorgenommen. Hierfür wurde im ersten Schritt ein Entwurf des Codierungsleitfadens erstellt. Dieser erste Entwurf wird mit den vorhin definierten Kategorien gebildet. Die Kategorisierung hilft erheblich bei einer klaren Abgrenzung verschiedener Themen – daraus folgt auch, dass die Codierungsregeln klare Abgrenzungen schaffen. Ebenso wird so von vornherein strukturiert gearbeitet und Textstellen, die irrelevant sind, werden nicht berücksichtigt.

Mithilfe des Erstentwurfs des Leitfadens wird das erste Interview transkribiert und codiert, danach wird das nächste Interview in gleicher Weise bearbeitet: Transkription und Codierung. Nachdem die ersten zwei Interviews nun in das System eingepflegt wurden, wird der Codierungsleitfaden



erneut optimiert – nach den neuen Datensätzen (Interview eins und Interview zwei) werden die Kategorisierungsfelder erneut betrachtet, abgeglichen und falls notwendig auch angepasst.

Nun wird mit dem aktualisierten Codierungsleitfaden erneut Interview eins und zwei bearbeitet, codierte Stellen werden angepasst. Danach wird mit den weiteren Interviews gleich vorgegangen. Nachdem alle Interviews nun transkribiert und codiert wurden, wird auch der Codierleitfaden finalisiert. Er wurde adaptiv, stets als offene Komponente mitgeführt und mit Rücküberprüfung immer wieder aktualisiert. Anschließend wurden pro Kategorie auch zwei Ankerbeispiele angefügt. Diese helfen wesentlich, den Codierungsleitfaden besser verstehen bzw. erfassen zu können - vor allem in Hinsicht darauf, dass diese Datensätze von Personen ausgewertet und bewertet werden, die diesen Prozess weder aufgesetzt noch mitbegleitet haben.

Zuallerletzt wurde eine finale Runde der Rücküberprüfung und Codierung mithilfe des final adaptierten Codierungsleitfadens durchgeführt, um so auch noch im letzten Schritt die Qualität der Codierung zu steigern.

Nach der finalen Codierung erfolgt nun im letzten Schritt die Paraphrasierung der codierten Textstellen. Diese verfolgt das Ziel, die Aussagen und Meinungen der Experten in eigenen Worten auszudrücken. Hier wurde ebenso die Software MAXQDA herangezogen. Diese ermöglicht es eine codierte Stelle im Text zu paraphrasieren. Diese Stelle wird neben dem Transkript angezeigt. Das Ergebnis der Paraphrasierung aller Transkripte wurde schlussendlich in eine Tabelle exportiert.

Aus diesem „Exzerpt“ der gesamten Interviews wurden nun zum Abschluss der Vorbereitung die einzelnen Phrasen generalisiert. Die Paraphrasen wurden reduziert und Wertvolles behalten.

Diese Essenz umfasst schlussendlich nur mehr die Kernpunkte der jeweiligen Kategorien.

Diese Liste ist im ANHANG B - Qualitative Inhaltsanalyse zu finden.

## 6 ERGEBNISSE DER EXPERTENINTERVIEWS

In diesem Kapitel wird auf die durch die qualitative Inhaltsanalyse gewonnenen Erkenntnisse eingegangen. Die Kategorien wurden anfangs aus den Fragen des Interviewleitfadens abgeleitet.

Der Fokus lag auf Merkmalen, die zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen. Dabei handelt es sich um die eingesetzte Computing-Art sowie deren Vor- und Nachteile, sowie Informationsbereitstellung für Ausfälle als auch die Verfügbarkeit von SLA.

Es gab jedoch auch Kategorien, die herausgefiltert wurden. So wurde die Frage nach der Art des IoT-Gerätes gestellt, um herauszufinden, welche Art von Gerät entwickelt wird und welche Funktionalität die Geräte besitzen. Diese Fragestellung bot auch einen guten Einstieg in die Gesprächsbasis, da die Person ihr Produkt vorstellen konnte.

Neben der Einstiegs-kategorie wurden die Kategorien zum Thema FOG-Computing aufgrund von fehlenden Informationen der Expertenpersonen gestrichen und nicht ausgewertet.

In der Tabelle 6-1 sind die generalisierten Aussagen der Experten aufgezählt, die aus den Transkripten generiert wurden. Dabei wurde anfänglich die Transkripte laut Codierregel kategorisiert. Nur Aussagen, die den Codierregeln entsprachen, wurden einer Kategorie zugeordnet. Aussagen, die somit nicht zur Beantwortung der Forschungsfrage dienen, wurden nicht kategorisiert und damit herausgefiltert. In einem weiteren Schritt wurden die Aussagen der Experten, die den Kategorien zugeordnet sind, verallgemeinert und unnötige Informationen gestrichen.

Kategorie	Generalisierung
Vorteile Cloud-Computing	Cloud schnell einsetzbar; neue Funktionen; Feature; Skalieren; Logging vorhanden; Latenz nicht bemerkbar; sensitive Daten sind nicht exponiert; nur ein IoT-Hub wird benötigt; Dienste in der Cloud; eigene Cloud; Hardware kompatibel; Kombination aus Edge und Cloud-Computing; Steuerung in der Cloud; Logik in der Cloud; Offlinesteuerung; Cloud Seitige Überwachung der Geräte; Ausfallwahrscheinlichkeit; Device

	<p>Management Portal; Ausliefern der Software in der Cloud; Zentrale Software in der Cloud; kein Eingreifen des Kunden erforderlich</p>
<p>Nachteile Cloud-Computing</p>	<p>Verbindung benötigt; IoT-Hub wird benötigt; Sensitive Daten zum Hub; Mobilfunknetz; Wartungsfenster Netzbetreiber; Ausfall Mobilfunknetz; Keine Verbindung zur Cloud ermöglicht keinen Zugriff; Anbieter abhängig; Ausfall Cloud-Anbieter</p>
<p>Vorteile Edge-Computing</p>	<p>automatische Steuerungsübernahme; Cloud Meldung; Steuerung der Hardwarekomponenten; Offline-Steuerung; Speicherung der Fehler; Übertragen der Fehler bei erneuter Verbindung; intelligente Sensoren, Daten Weiterleitung; Verarbeitung im Gerät; Netzwerk Anbindung; NB-IoT; Lora; 2G; LTE-CATM; Lora; Private Daten</p>
<p>Nachteile Edge-Computing</p>	<p>keine direkte Kommunikation; kein Zugriff via Cloud auf das Gerät; Abhängigkeit vom Mobilfunknetz; Supportmöglichkeit; Netzwerk Anbindung erforderlich; Update Prozess</p>

	<p>erforderlich; Updates können fehlschlagen führt zu fehlerhaftem Gerät; Prozesse erforderlich</p>
<p>Informationsbereitstellung</p>	<p>Kunde ist informiert; Details waren noch nicht erforderlich; Neustart des Gerätes; Verbindung erforderlich; Kunden Support; Pilotphase; Fehlerbehebung manuell; Informationsnachweiß; kritische Infrastruktur; Zusatzinformationen im Dashboard; Offlinefunktionalität; Lokales aufzeichnen der Daten; Weiterleitung bei wieder Verbindung; Verbindung ist unterbrochen; keine Live-Werte werden übertragen; für den Kunden ist der Ausfall der Netzverbindung nicht bemerkbar; Problemlösung mit dem Kunden</p>
<p>SLA</p>	<p>keine SLA Bereitstellung; Ausgewählten Kunden, Verfügbarkeit im Portal sichtbar; Support; Proof of Concept; Begleitphase</p>
<p>Entscheidungskriterium</p>	<p>Abhängigkeit von der Person; Keine Daten in der Cloud; Account erforderlich; kritische Infrastruktur; Einfache Daten; eine Art des Computings; Kombination aus Edge und Cloud-Computing; Redundanten Hardware; Funktionalität; Funktionsweise; Edge-Computing Möglichkeiten;</p>

	Use-Case abhängig; Konfiguration; Technische Spezifikation; Gerät nutzen; keine Software installieren; Verbindung mit Handy;  Weltweite Steuerung
--	---

*Tabelle 6-1: Kategorien und Generalisierungen*

Nachfolgend werden die generalisierten Expertenaussagen nochmals aufgearbeitet und interpretiert und als Zusammenfassung dargestellt.

## **6.1 Vorteile des Cloud-Computing laut Experten**

Cloud-Computing werden laut Experten die folgenden Vorteile zugeschrieben.

### **6.1.1 Der schnelle Einsatz der Cloud und weiterer Cloud-Dienste**

Laut einer Expertenmeinung ist Cloud-Computing schnell einsetzbar. Es ermöglicht, neue Funktionen oder Feature zeitnah auszuliefern. Durch die Auslagerung der Hardware oder Dienste kann der Betreiber/Hersteller der IoT-Geräte zusätzliche Hardwareressourcen allokalieren, um das System zu skalieren, falls im Betrieb mehr Ressourcen benötigt werden.

Zur Überwachung der IoT-Geräte lässt sich ein zentrales Logging einsetzen. Diese werden gesammelt von unterschiedlichen Geräten als von Diensten. Dies bietet dem Entwickler eine einfache Möglichkeit für die Suche und Behebung von Fehlern.

### **6.1.2 Sensitive Daten sind nicht exponiert**

Eine Expertenperson nennt als einen Vorteil von Cloud-Computing, dass sensitive Daten wie Datenbankverbindungsdaten geschützt werden. Diese sind nicht mehr auf dem IoT-Gerät gespeichert. Das IoT-Gerät kommuniziert über einen IoT-Hub mit weiteren Diensten. Dieser IoT-Hub läuft in der Cloud Umgebung. Es wird nur eine Verbindung vom Gerät zum IoT-Hub aufgebaut.

### 6.1.3 Steuerung über die Cloud

Ein Experte beschreibt, dass sich durch die Cloud die Geräte direkt steuern lassen. Die Befehle werden an das Gerät einzeln verschickt und die Ergebnisse zurück übertragen. Die Cloud arbeitet hierbei als Relay mit dem IoT-Hub und überträgt die Befehle an das Gerät. Die Ergebnisse der Verarbeitung werden über aufgebauten Übertragungsweg zurück übertragen.

*„Wir haben dann die PLC (Programmable Logic Controller) in die Cloud verfrachtet, die die Logik, in diesem Fall die Beschaltung von Straßenlaternen übernimmt.“ Expertenperson 2*

Mit Cloud-Computing lässt sich die Logik auslagern. Ein Experte beschreibt, dass die Logik für die Schaltung der Geräte in die Cloud verlagert wird. Die Logik wird dabei zentral in der Cloud angepasst. Nach Durchführung der Adaptierung wird die geänderte Logik auf das Gerät übertragen und wird dort ausgeführt.

### 6.1.4 Device Management Portal

Laut drei Experten-Meinungen ist ein sogenanntes „Device Management“, „Dashboard“ oder „Portal“ ein Vorteil bei dem Einsatz von Cloud Computing.

*„Einfach nur ein Device Management, bei dem man sich den einzelnen Sensor anschauen kann.“ Expertenperson 3*

Es gewährt Zugriff auf die Werte einzelner Geräte.

*„Wir haben auch wieder Cloud seitig für uns ein Tool/Dashboard entwickelt, das unsere Datenbanken durchsucht, ob sich unsere Module regelmäßig gemeldet haben.“ Expertenperson 2*

Dieses Device Management Portal läuft als Dienst in der Cloud und stellt sowohl Statistiken als auch Zugriff zu dem Gerät zur Verfügung. Das Portal zeichnet Werte und Verbindungen der Geräte auf und stellt diese dem Kunden und Betreiber zur Verfügung.

Ein Device Management Portal fasst die Überwachung der eingesetzten IoT-Geräte zusammen. Dabei werden die „Vitaldaten“ von den IoT-Geräten aggregiert und dem Kunden und Betreiber zur Verfügung gestellt.

### **6.1.5 Geringe Ausfallswahrscheinlichkeit**

Von einer Expertenperson wird die Ausfallwahrscheinlichkeit als „sehr, sehr“ gering bezeichnet.

*„Also, dass wir einen Ausfall auf der Cloud Seite haben, ist sehr, sehr unwahrscheinlich.“  
Expertenperson 2*

Zwei weitere Experten haben Dienste in die Cloud ausgelagert. Unter anderem setzen sie in der Cloud gehostete Dienste für die zentrale Versionsverwaltung und das Ausliefern der Software ein.

### **6.1.6 Geringe Latenz**

Von einer Expertenperson wird beschrieben, dass beim Einsatz von Cloud-Computing die Verzögerung der Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud nicht bemerkbar ist.

### **6.1.7 Private Cloud**

Eine Expertenperson beschreibt, dass sich beim Einsatz von Cloud auch eine private Cloud betreiben lässt. Der IoT-Hersteller betreibt eine private Cloud, um die Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter zu reduzieren. Mit dem Einsatz lässt sich die Cloud kompatibel für die entwickelte IoT-Geräte gestalten.

### **6.1.8 Kombination mit Edge-Computing**

Eine Expertenperson beschreibt die Möglichkeit für die Kombination von Edge-Computing.

*„Dann übernimmt Edge Control. D. h. es ist ein Dynamischer Prozess.“ Expertenperson 2*

Cloud-Computing lässt sich mit Edge-Computing kombinieren, um Nachteile der beiden Arten zu reduzieren. Die Expertenperson erklärt, dass die Geräte mit einem Offlinemodus ausgestattet sind, der bei Verbindungsproblemen zur Cloud automatisch aktiviert wird. Das Gerät läuft mit der letzten übertragenen Steuerungslogik weiter.

### **6.1.9 Auslagerung von Aufgaben des Kunden**

Laut einer Expertenperson ist ein Vorteil beim Einsatz von Cloud-Computing bei IoT-Geräten, dass Wartungsaufgaben im Bereich Hardware oder Software an den Cloud-Anbieter ausgelagert sind. Der Kunde muss sich nicht mehr um Routineaufgaben, wie Updates oder Hardwareaustausch kümmern.

## **6.2 Nachteile des Cloud-Computing laut Experten**

Die folgenden Nachteile werden beim Einsatz von Cloud-Computing durch die Experten genannt:

### **6.2.1 Die Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter**

Eine Expertenperson beschreibt, dass man sich beim Einsatz von Cloud-Computing abhängig von einem Anbieter macht.

*„Da sind wir von unserem Anbieter abhängig. Aber bis jetzt ist das nur einmal im Jahr passiert, dass wir ein Problem mit unserem Cloud-Anbieter hatten.“ Expertenperson 4*

Von der Expertenperson wird auch beschrieben, dass es schon zu Problemen mit dem Cloud-Anbieter gekommen ist.

### **6.2.2 Eine Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud ist erforderlich**

Drei der Experten beschreiben, dass für den Betrieb des IoT-Gerätes eine Verbindung erforderlich ist. Eine Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud wird benötigt, um das Gerät überwachen oder steuern zu können. Wenn keine Verbindung zur Cloud vorhanden ist, dann besteht kein Zugriff mehr auf das Gerät.

*„Das was regelmäßig vorkommt, ist der Ausfall des Mobilfunknetzes.“ Expertenperson 2*

Eine Expertenperson beschreibt das Problem detaillierter in Bezug auf die Netzverbindung. Die Verbindung kann auch unterbrochen werden durch Ausfälle des Mobilfunknetzes. Wartungsfenster als auch Ausfälle führen zu Verbindungsunterbrechungen mit den Geräten.

### **6.2.3 Abhängigkeit vom IoT-Hub**

Eine Expertenperson beschreibt die Abhängigkeit des IoT-Hubs als Nachteil von Cloud-Computing. Für die Kommunikation mit der Cloud wird ein zentraler IoT Hub benötigt, der die Verbindungen des IoT-Geräts entgegennimmt und Aufgaben an die Geräte überträgt. Die Expertenperson beschreibt im Detail, dass die Zugangsdaten zum IoT-Hub auf dem IoT-Gerät hinterlegt werden müssen und das stellt ein potenzielles Risiko dar.



## **6.3 Vorteile des Edge-Computing laut Experten**

Laut Expertenmeinungen besitzt Edge-Computing verschiedene Vorteile, die im Folgenden aufgezählt werden.

### **6.3.1 Verarbeitung der Daten erfolgt am Gerät**

Eine Expertenperson bezeichnet es als Vorteil beim Edge-Computing, dass die Daten direkt auf dem Gerät verarbeitet werden können. Diese Vor-Ort Verarbeitung erlaubt die Herstellung von intelligenten Sensoren.

*„Wir haben nur das Device, das wird dem Kunden geben haben. Die Daten werden automatisch auch zu ihm geschickt.“ Expertenperson 3*

Die Expertenperson beschreibt weiter, dass dadurch eine Verarbeitung von privatem Daten möglich ist. Die Daten von Firmen werden hierbei nicht an betriebsfremde oder externe Anbieter übertragen. Die gesammelten und verarbeitenden Daten verlassen dabei nicht das Netzwerk des Unternehmens. Ein Server im Unternehmensnetzwerk übernimmt die Daten des Sensors. Die Anbindung des Gerätes an das Unternehmensnetzwerk kann dabei mit verschiedensten Netzwerktechnologien wie z. B. NB-IoT, Lora, 2G, LTE-CatM, oder LoRa erfolgen.

### **6.3.2 Anbindung an die Cloud**

Laut Expertenmeinung ist eine Anbindung des Gerätes an die Cloud ein Vorteil durch Edge-Computing. Das Gerät verbindet sich hierbei mit der Cloud und überträgt seine Daten.

*„Die Hardware meldet sich immer in der Cloud an.“ Expertenperson 2*

## **6.4 Nachteile Edge-Computing laut Experten**

Die Expertenpersonen beschreiben mehrere Nachteile beim Einsatz von Edge-Computing

### **6.4.1 Supportmöglichkeiten**

Eine Expertenperson beschreibt als Nachteil die eingeschränkten Supportmöglichkeiten, wenn die Daten den Unternehmenscampus nicht verlassen.

*„Wir sind blind im Support.“ Expertenperson 3*

Der Hersteller ist dabei angewiesen auf Unterstützung durch den Kunden, der entsprechende Sensordaten liefert, um das Problem nachstellen zu können. Für den Support wird dafür eine API dem Kunden zu Verfügung gestellt, über die Daten für die Fehlerbehebung übertragen werden können.

*„Lösen kann man das, indem der Kunde uns dann die Daten wieder über eine API zu uns zurückschickt.“ Expertenperson 3*

#### **6.4.2 Netzwerkzugriff**

Von einer Expertenperson wird beschrieben, dass der Netzzugriff auf das IoT-Gerät nicht möglich ist. Die vorliegende Netzarchitektur lässt keinen direkten Zugriff über das Netzwerk von außen auf das Gerät zu.

*„Wir haben keine direkte Kommunikation von oben auf die Hardware.“ Expertenperson 2*

So ist es nicht vorgesehen, via Cloud einen Zugriff auf das Gerät zu haben. Das Gerät muss aktiv eine Verbindung mit der Cloud herstellen. Ist es nicht möglich, eine Verbindung herzustellen, so protokolliert das Gerät die Versuche und läuft vorübergehend mit dem letzten Stand der Software weiter.

#### **6.4.3 Update Prozesse**

Eine Expertenperson beschreibt, dass es nachteilhaft ist, wenn keine eigenständigen Updateprozesse entwickelt worden sind. Ein fehlgeschlagenes Update kann zu einem fehlerhaften Gerät führen. Das Gerät benötigt entweder einen Austausch oder muss vom Kunden selbst geupdatet werden. Für die Umsetzung von Updates durch den Kunden wird technisches Wissen vorausgesetzt.

### **6.5 Informationsbereitstellung laut Experten**

Laut den Experten wird ein unterschiedlicher Umfang an Informationen von deren Firmen bereitgestellt.

#### **6.5.1 Keine Bereitstellung von Informationen**

Laut zwei der Expertenpersonen werden keine Informationen für die Kunden zu Verfügung gestellt.

Einer der Expertenpersonen beschreib das derzeit keine weiteren Informationen für den Kunden zur Verfügung stehen, da sich die Entwicklung des IoT-Gerätes zurzeit in der Pilotphase befindet. Derzeit wird ein direkter Kontakt mit den Pilotusern gepflegt. Den Benutzern werden einfache

Supportanweisungen zur Verfügung gestellt, wie das Neustarten des Gerätes oder das Wiederherstellen der Verbindung. Lässt sich das Gerät weiterhin nicht in den gewünschten Betriebsmodus bringen, so muss dieses Problem an den Hersteller weitergeleitet werden. Diese Fehlerbehebungen werden derzeit manuell durchgeführt, da sich das Produkt noch in einer Entwicklungsphase befindet.

Die zweite Expertenperson beschreibt das keine detaillierten Informationen zum Thema Ausfallsicherheit bereitgestellt werden. Nur der Hinweis, dass das Gerät trotz Ausfall der Cloud in einen Offlinemodus umschaltet. Darin werden weiterhin Daten aufgezeichnet und bei erneuter Verbindung zur Cloud übertragen. Für den Nutzer des IoT-Gerätes ist dieser Ausfall nur bemerkbar, wenn dieser zu diesem Zeitpunkt Werte des Gerätes abrufen will.

### **6.5.2 Informationen werden zur Verfügung gestellt**

Eine Expertenperson beschreibt, dass in ihrem Unternehmen Informationen über Ausfallsicherheit den Partnern bereitgestellt werden.

*„Ja, einzelne Partner mit denen wir Partner Verträge haben.“ Expertenperson 3*

### **6.5.3 Bereitstellung eines Device Management Portales**

Eine Interviewpartner beschreibt, dass keine expliziten Informationen zum Thema Ausfall bereitgestellt werden. Es werden dem Kunden weiter Informationen über ein Device Management Portal zur Verfügung gestellt. Es ist damit möglich, sowohl Verfügbarkeitsstatistiken zu erstellen als auch Informationen der einzelnen IoT-Geräte anzeigen.

## **6.6 Bereitstellung von SLA laut Experten**

Laut der ersten Expertenperson befindet sich das Produkt in einer Entwicklungsphase. Daher wird kein SLA zur Verfügung gestellt. Dieser Hersteller möchte bei der Markteinführung diese Informationen noch bereitstellen.

Bei der zweiten Expertenperson wurde die Entwicklung des IoT-Gerätes als Proof of Concept umgesetzt. Zu diesem Zeitpunkt konnte noch auf keine Erfahrungswerte zurückgegriffen werden, sodass der Hersteller ebenfalls keine SLA bereitstellen konnte. Durch die mehrjährige Projektphase konnte sich der Kunde selbst ein Bild, von der Verfügbarkeit im Device Management Portal machen.

*„Die Proof-of-Concept vom Kunden werden sehr lange begleitet.“ Expertenperson 2*

Bei der dritten Expertenperson werden ausgewählten Partnern SLA zur Verfügung gestellt. Für andere Kunden besteht die Möglichkeit, Support Stunden über den Vertrieb zu buchen.

Bei dem Produkt der vierten Expertenperson werden dem Kunden keine SLA zu Verfügung gestellt.

## 6.7 Entscheidungskriterium laut Experten

Laut der ersten Expertenmeinung ist für private Kunden die Computing-Art ein Entscheidungskriterium, das von der Präferenz des Individuums abhängt. Manche Endkunden wollen nicht, dass alle Daten in der Cloud oder im Gerät gespeichert werden. Ihnen gegenüber stehen Anwender und Anwenderinnen, die die Geräte bevorzugt mit ihrem Handy bedienen möchten. Laut Experten erlaubt diese Art der Steuerung auch einen weltweiten Zugriff auf das Gerät. Diese benötigt häufig einen Account beim Hersteller des Gerätes.

Laut der zweiten Expertenmeinung ist es abhängig von der Art der Daten, die das Gerät verarbeiten soll: So lassen sich einfache Daten wie Umweltdaten am Gerät aufzeichnen.

Geräte im kritischen Bereich, die auf gewisse Schwellenwerte von Sensoren reagieren sollen, sollten auch offline arbeiten können. Es besteht jedoch die Möglichkeit, eine Kombination aus Edge und Cloud-Computing einzusetzen, um die Nachteile der jeweiligen Computing-Art zu reduzieren.

Die dritte Expertenperson nennt auch den Ort der Verarbeitung als Entscheidungskriterium. Firmenkunden besitzen zusätzliche Anforderungen an die Geräte. So sollen unter anderem die aufgezeichneten Daten nicht an den Hersteller übertragen werden, sondern direkt an die Firmenserver gesendet werden und dabei das Firmennetzwerk nicht verlassen. Das Unternehmen reagierte auf diese Anforderung und adaptierte das IoT-Produkt, dass eine direkte Übertragung ermöglicht.

Die Expertenperson ergänzt, dass es für den Anwender primär darum geht, dass das Gerät seine Funktion erfüllt. Hierbei ist als Anwender sowohl eine private Person als auch eine Firma gemeint. Die Funktionsweise rückt dabei in den Hintergrund. Technisch versiertere Firmen, die IoT-Geräte einsetzen, können die Anforderungen für die Computing-Art formulieren, die auch von den Herstellern umgesetzt werden.

*„Großteils ist es aber, sodass Sie wollen, dass das Ding einfach funktioniert.“  
Expertenperson 3*

Laut Meinung der vierten Expertenperson ist es ein indirektes Kriterium. So möchte der Kunde das Produkt einfach nutzen können und sich nicht um extra Installationen kümmern. So wird das entwickelte Produkt mit dem Handy verbunden und anschließend konfiguriert. Damit ist es dann möglich das Gerät weltweit über das Internet zu steuern.

## **7 DISKUSSION**

Im folgenden Kapitel wird auf die gewonnen Erkenntnisse der Experten eingegangen. Dabei werden die Aussagen der Experten mit der Theorie abgeglichen und bewertet. Die einzelnen Kategorien werden dargestellt und durch die Theorie unterstützt. Aussagen von Experten werden interpretiert und bewertet.

### **7.1 Vorteile Cloud-Computing**

Von Expertenpersonen wurden verschiedene Vorteile beim Einsatz von Cloud-Computing genannt, die nachfolgend mit der Literatur abgeglichen werden.

#### **7.1.1 Der schnelle Einsatz der Cloud und weitere Cloud-Dienste**

Die Expertenmeinung, dass sich die „die Cloud schnell einsetzen lässt“, kann durch die Literatur bestätigt werden. Cloud-Anbieter ermöglichen es, einfach durch Oberflächen oder CLI-Werkzeuge Server oder Dienste bereitstellen zu lassen, die innerhalb von wenigen Sekunden verfügbar sind. Darüber hinaus lassen sich weitere Dienste der Cloud-Anbieter starten und aktivieren.

Im Vergleich dazu benötigt die Bereitstellung der Hardware bei On-Premise mehrere Stunden bis Tage. Die Bereitstellung in der Cloud erfolgt automatisiert und ermöglicht es einen kompletten Server mit Diensten zu konfigurieren.

#### **7.1.2 Sensitive Daten sind nicht exponiert**

Nach Aussage der Expertenmeinung sind sensitiven Daten nicht exponiert. Diese Daten werden nicht auf dem IoT-Gerät gespeichert und sind damit vor einem potenziellen Angreifer geschützt. Weitere Dienste wie z. B. eine Datenbank zum Aufzeichnen von Werten, sind über das Cloud-Computing verbunden.

Dieses zentrale Ablegen der Daten unterstützt die Fähigkeiten des „Self-Service auf Abruf“ von Cloud Computing. Skalierungswerkzeuge des Cloud Anbieters erzeugen automatisch für die einzelnen Dienste Zugänge mit dynamischen generierten Zugangsdaten. Diese neuen Zugangsdaten müssen nicht an die IoT-Geräte ausgespielt werden, um weiterhin Dienste der Cloud zu nutzen.

#### **7.1.3 Steuerung über die Cloud**

Die Expertenmeinung zur „Steuerung über die Cloud“ kann durch die Literatur bestätigt werden. Mobile-Cloud-Computing (MCC) definiert, dass die Verarbeitung und Speicherung außerhalb des Gerätes ablaufen. In der Cloud erfolgt dabei die Verarbeitung der Daten

Laut Aussage von Expertenperson 2 wird die Logik in die Cloud ausgelagert. Dieser Ansatz ist eine Kombination aus dem MCC und Edge-Computing. In MCC befindet sich die Logik in der Cloud und wird nicht übertragen. In Edge-Computing befindet sich die Logik auf dem Gerät. In dem von der Expertenperson vorgebrachten Beispiel erfolgt die Steuerung der Endgeräte mittels MCC. Um einen Netzausfall zu überbrücken, wird zusätzlich die Logik auf das Gerät übertragen.

#### **7.1.4 Device Management Portal**

Das von mehreren Expertenpersonen beschriebene Device Management Portal entspricht in der IoT-Architektur (3 Ebenen) der Applikationsebene, die zur Bereitstellung spezifischer Anwendungsdienste dient. Dieses zentrale Device Management Portal für die IoT-Geräte fasst die Daten der IoT-Geräte eines Herstellers zusammen. Die Portale haben abhängig vom IoT Hersteller einen unterschiedlichen Funktionsumfang. Üblicherweise werden die Verfügbarkeit, Statistiken und auch zusätzliche Messwerte der Geräte aufgezeichnet und angezeigt.

Mit diesem Portal können die Verfügbarkeitsstatistiken der IoT-Geräte ausgewertet werden und spielen damit für die Informationsbereitstellung und Bereitstellung von SLA eine wichtige Rolle.

#### **7.1.5 Geringe Ausfallwahrscheinlichkeit**

Von einer Expertenperson wurde die Ausfallwahrscheinlichkeit als „sehr, sehr“ gering angesehen. Cloud-Anbieter bieten unterschiedliche SLA-Verträge für angebotene Dienste an. Die SLA Verträge umfassen dabei die Verfügbarkeit, Antwortzeit und Bandbreite.

#### **7.1.6 Geringe Latenz**

Von einer Expertenperson wurde beschrieben, dass die Latenz zur Steuerung als nicht bemerkbar beschrieben wurde.

In den SLA-Verträgen für die Cloud Anbieter sind sowohl Antwortzeiten als auch die Bandbreite beschrieben. Die Cloud-Rechenzentren sind dementsprechend über ausreichende Verbindungen und Bandbreiten mit dem Internet verbunden.

#### **7.1.7 Steuerung und Auslesen der Werte**

Cloud Computing ist laut Expertenmeinung gut geeignet, um die Werte der IoT-Geräte aufzunehmen und weiter zu verarbeiten. Cloud Computing ermöglicht das „Resource Pooling“ und „Measured Service“. Resource Pooling teilt abhängig von den Anforderungen, Speicher und Rechenkapazitäten dynamisch zu. Measured Service führt Überwachung und Meldung der Ressourcennutzung durch.

### **7.1.8 Kombination mit Edge-Computing**

Hierbei wird Cloud-Computing als Zentrale eingesetzt, auf die IoT-Geräte zugreifen und die aufgezeichneten Daten übermitteln können.

Bei einer aufgebauten Verbindung zur Cloud wird das Gerät direkt gesteuert. Bei Unterbrechung besitzt das Gerät ausreichend Logik, um in einen offline oder autonomen Modus zu wechseln. Diese Logik muss zuerst erstellt und dann auf das Gerät übertragen werden.

Diese Logik kann im Device Management System erstellt werden und wird bei einer Verbindung an das Gerät übertragen. Diese Variante würde im normalen Betrieb die erforderliche Datenmenge reduzieren, die das Gerät aufgrund der Programmierung aggregiert.

### **7.1.9 Auslagerung von Aufgaben des Kunden**

Von einer Expertenperson wird die Auslagerung der Aufgaben des Kunden als Vorteil des Cloud-Computing angesehen.

Dies entspricht der Literaturmeinung. Durch den Einsatz von Cloud-Computing ergeben sich Kostenvorteile durch das IT-Outsourcing. Beim Einsatz von Cloud-Computing können Wartungsaufgaben, Installationen und Administrationsaufgaben ausgelagert werden. Für den Anwender ergeben sich reduzierte Kosten durch das Outsourcen der Infrastruktur und Person.

## **7.2 Nachteile Cloud-Computing**

Von Expertenpersonen wurden verschiedene Nachteile beim Einsatz von Cloud-Computing genannt, die nachfolgend mit der Literatur abgeglichen werden.

### **7.2.1 Abhängigkeit von einem Cloud-Anbieter**

Laut einer Expertenmeinung führt der Einsatz von einem Cloud-Anbieter zu einer Abhängigkeit von diesem.

Laut Literatur besitzt Cloud Computing kurze Vertragslaufzeiten, daher kann dieses Argument hier entkräftet werden.

Jedoch führt ein Einsatz eines Cloud-Anbieters zu einem Vendor Lock-In. Ein Wechsel des Anbieters verursacht Kosten, da im System spezifische Funktionen des Cloud-Anbieters ersetzt und angepasst werden müssen. Vom Hersteller sind für einen Anbieter Wechsel Ressourcen bereitzustellen.

### **7.2.2 Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud ist erforderlich**

Laut Expertenmeinung ist eine Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud erforderlich.

In der Literatur wird diese Anforderung bestätigt. Zusätzlich wird von einer Expertenperson angemerkt, dass auch ein Ausfall der Netzverbindung zu einer Unterbrechung der Verbindung zwischen IoT-Gerät und Cloud führt.

### **7.2.3 Abhängigkeit vom IoT-Hub**

Laut Expertenmeinung ist die Abhängigkeit vom IoT-Hub als nachteilig zu sehen.

Der IoT-Hub wird dabei als Modell Cloud Software as a Service bereitgestellt und stellt dabei einen Dienst in der Cloud dar. Zu diesem verbinden sich die IoT-Geräte und erhalten ihre Befehle.

## **7.3 Vorteile Edge-Computing**

Von Expertenpersonen wurden verschiedene Vorteile beim Einsatz von Edge-Computing genannt, die nachfolgend mit der Literatur abgeglichen werden.

### **7.3.1 Verarbeitung der Daten am Gerät**

Laut Expertenpersonen erfolgt die Verarbeitung der Daten am Gerät.

Diese Aussage kann durch die Literatur bestätigt werden. Eine Verarbeitung am Gerät kann die Menge der übertragenen Daten reduzieren. Zusätzlich ist die Anpassung des Endpunktes für die Schnittstelle möglich. So kann das Gerät sowohl mit einer privaten Cloud als auch über einen Server im Firmennetzwerk kommunizieren. Dabei müssen die Daten das Unternehmensnetzwerk nicht verlassen.

### **7.3.2 Anbindung an die Cloud**

Laut Expertenmeinung ist eine Anbindung ein Vorteil des Edge-Computings.

Diese wird auch durch die Literatur bestätigt. Die Berechnung und Speicherung der Daten können dabei auf dem Gerät erfolgen. Jedoch schließt das nicht die Anbindung an weitere Services aus.



## **7.4 Nachteile Edge-Computing**

Von Expertenpersonen wurden verschiedene Nachteile beim Einsatz von Edge-Computing genannt, die nachfolgend mit der Literatur abgeglichen werden.

### **7.4.1 Eingeschränkte Supportmöglichkeit**

Laut Expertenperson sind die Supportmöglichkeiten eingeschränkt, unter der Voraussetzung, dass Daten nicht das Firmennetzwerk verlassen.

Dieser Fall tritt ein, wenn IoT-Geräte in einem Firmennetzwerk betrieben werden und die aufgezeichneten Daten das Netzwerk nicht verlassen dürfen. In diesem Fall hat der Hersteller keine Möglichkeit direkt auf die Daten des Gerätes zuzugreifen.

Die Expertenperson beschreibt auch die Lösung für diesen Nachteil. In einem Supportfall werden die Daten vom Gerät an den Hersteller übertragen. Mit Bereitstellung einer eigenen Schnittstelle erhält der Hersteller diese Daten.

### **7.4.2 Netzzugriff**

Eine Expertenperson beschreibt den nicht vorhandenen direkten Netzzugriff auf das Gerät als Nachteil.

Dieser kommt durch die eingesetzte Netzwerkinfrastruktur zustande. Endgeräten wird keine Public-IP Adresse mehr zugewiesen und Verbindungsversuche zum Gerät werden vom Netzbetreiber blockiert. Ein Verbindungsaufbau kann nur vom Gerät initiiert werden.

Aus Sicht des Betreibers macht dieses Vorgehen Sinn, da keine Public-IP Adressen bereitgestellt und keine Daten übertragen werden.

Für den Hersteller bringt dieser Nachteil im Gegenzug einen Vorteil. Eingehende Verbindungen zum Gerät müssen nicht verarbeitet werden. Damit reduziert sich die benötigte Rechenleistung am Gerät und die potenzielle Angriffsfläche für den unerlaubten Zugriff.

### **7.4.3 Update Prozesse**

Update Prozesse werden laut einer Expertenperson als wichtig betrachtet, da ein Fehlschlagen dieser Probleme zu führen kann.

Diese automatisierbaren Abläufe umfassen das Testen der aktualisierten Software und das Übertragen der neuen Version auf die IoT-Geräte. Somit kann das Ausspielen in unterschiedliche Phasen unterteilt werden, die jederzeit unterbrochen werden, wenn die Bedingungen nicht passen. Es sollen damit Serviceeinsätze verhindert und einen Austausch des IoT-Gerätes abgewendet werden.

## 7.5 FOG-Computing

Im empirischen Teil der Arbeit mit Experten Interviews wurden aus den folgenden Gründen keine Personen, die FOG-Computing einsetzen, befragt.

- Es wurden wenige Antworten auf die ausgesendeten Interviewanfragen erhalten.
- Die IoT-Lösungen sind derzeit kostengünstiger umzusetzen mit einer Cloud oder Edge-Computing Variante.

Die befragten Experten haben keine IoT-Geräte betrieben, um die Vorteile dieser Art vollständig nutzen zu können. Laut Literatur ist die Nähe zu dem IoT-Gerät und die damit reduzierte Latenz ein Vorteil. Es ergibt sich damit auch die Frage der Kosten für die Umsetzung, da mehr Fog-Nodes getrennt betrieben werden müssen, im Vergleich zu Cloud-Rechenzentren.

## 7.6 Informationsbereitstellung

Bei der Befragung gaben mehrere Expertenpersonen an, dass sie noch keine Informationen zum Thema Ausfallsicherheit bereitstellen. Dieser Sachverhalt kann daran liegen, dass erst wenige Personen diese Projekte nutzten und daher bis jetzt eine geringe Anzahl an Erfahrungswerten gesammelt wurden. Die Hersteller bieten jedoch Information zur Inbetriebnahme und Fehlerbehebungen an. Wie z. B. der Neustart und das Wiederverbinden. Weitere Probleme werden mit dem Hersteller Support abgewickelt.

Hersteller mit längerer Erfahrung im Betrieb von IoT-Geräten können auf die Erkenntnisse zurückgreifen und Informationen zur Verfügbarkeit bereitstellen. Diese Verfügbarkeitswerte bilden auch eine Basis für die SLA.

Für den Hersteller stellt das Device Management Portal eine wichtige Informationsplattform dar. Es fasst die Daten der Geräte zusammen. Es können daraus Statistiken der Geräte generiert und auch Ausfälle kontrolliert werden. Dem Anwender sollte ein Zugang zu dem Portal bereitgestellt werden. Damit kann auch der Kunde auf Probleme reagieren, die ihm im Betrieb auffallen und die nicht vom Hersteller beobachtet worden sind.

## 7.7 SLA

Drei der Expertenpersonen gaben an, dass Sie keine SLA bereitstellen.

Bei einer dieser Expertenpersonen befindet sich das Produkt in der Entwicklungs- oder Pilotphase mit wenigen Kunden. Dabei hat der Hersteller keinen SLA vorbereitet. Bedingt könnte diese Tatsache durch das junge Produktalter sein. Es sind noch wenig Erfahrungen gesammelt worden vom Hersteller, um verlässliche Zahlen zu veröffentlichen.

Bei einer Entwicklung mit Kunden, die zu einem Proof of Concept führten, waren ebenfalls keine SLA verfügbar. Dem Kunden wird die Möglichkeit gegeben, diese Werte selbst auszulesen. Dafür

wird ein Device Management Portal bereitgestellt. Dieses Portal stellt die Verfügbarkeit der IoT-Geräte dar.

Die vierte Expertenperson, die im Bereich Industrial-IoT tätig ist, gab an, dass SLA vorhanden sind und ausgewählten Partnern zur Verfügung gestellt werden.

Die Kunden haben in ihrem Industriezweig Anforderungen an SLA. Die Firma, die in diesem Umfeld Produkte anbieten will, muss sich adaptieren und SLA bereitstellen.

## 7.8 Entscheidungskriterium

Bei der letzten Frage des Interviews wurden die Expertenpersonen gefragt, ob die Computing-Art ein Entscheidungskriterium ist.

Es konnten dabei drei Bereiche ausgemacht werden, die laut Experten in die Entscheidung für die Computing-Art mit einfließen:

- Bei Privatpersonen die individuelle Präferenz für die Privatsphäre.
- Bei Firmen der Verarbeitungsort der Daten
- Verarbeitung der Daten abhängig vom Anwendungsfall.

Laut der Meinung von Expertenperson 1 ist die Computing-Art vom Individuum abhängig. Es gibt Personen, die auf ihre Privatsphäre achten. Diese würden Geräte mit Cloud Anbindung ausschließen, da Sie dafür einen Account benötigen. Für die anderen ist genau diese Funktionalität der weltweiten Steuerung ein positives Verkaufsargument.

Laut Expertenperson 2 wird die Computing-Art durch die Vorgaben des Anwenders beeinflusst. Es wurden bei dem Interview explizit Firmenkunden angesprochen, denen Geheimhaltung wichtig ist und die nicht möchten, dass ihre Daten das Unternehmensnetzwerk verlassen.

Expertenperson 3 findet, dass die Computing-Art abhängig ist vom Anwendungsfall. Die Expertenperson würde bei der Aufzeichnung von Umweltdaten Cloud-Computing einsetzen. Bei kritischen Anwendungsfällen, wie bei der Steuerung eines Aktors sollte Edge-Computing eingesetzt werden, sodass die Geräte auch offline arbeiten können.

Zwei der befragten Expertenpersonen stimmten in Aussage überein: Sie beschrieben dabei im Kern, dass die Anwender das Gerät einfach nur benutzen möchten.

*„Großteils ist es aber so, dass sie wollen, dass das Ding einfach funktioniert.“  
Expertenperson 3*

Wie die Geräte im Detail funktionieren und ob diese als Edge/Fog oder Cloud-Computing ausgeführt ist, spielt dabei keine Rolle.

## 8 CONCLUSIO

In dieser Arbeit wurden die Grundlagen der Computing-Arten herausgearbeitet, zusätzlich wurden Experteninterviews geführt, um einen ausführlichen Eindruck zu erhalten. Cloud-, Edge- und Fog-Computing haben ihre speziellen Vor- und Nachteile beim Einsatz mit IoT-Geräten. Der Trend geht in Richtung Kombination aus Edge- und Cloud-Computing. Diese Kombination wird laut Expertenperson bereits auch schon eingesetzt.

*„Wir haben auch die Kombination für den Fall, wenn etwas schief läuft, und schalten auf Edge zurück“ Expertenperson 2*

Laut einer anderen Expertenperson ist Integration von Edge-Computing für die Zukunft geplant.

*„Bis jetzt hat es keinen autonomen Modus. Es ist einer geplant in der Zukunft.“  
Expertenperson 1.*

Diese Kombination der Computing-Arten reduziert die Schwächen der einzelnen Varianten.

Nachfolgend wird die Fragestellung und die dafür aufgestellten Hypothesen beantwortet. Abgeschlossen wird die Conclusio mit herausgearbeiteter Liste mit Empfehlungen für die Entwicklung von IoT-Geräten sowie einem Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten.

### 8.1 Beantwortung der Forschungsfrage

Zu Beginn der Forschungsarbeit wurden folgende Frage gestellt:

*Welchen Einfluss hat Cloud/Edge/FOG-Computing auf die Autonomie von IoT-Geräten?*

Durch die Literaturarbeit und die empirische Forschungsarbeit konnten folgende Erkenntnisse gewonnen und somit die Forschungsfrage wie folgend beantwortet werden:

#### 8.1.1 Einsatz von Cloud-Computing zur Steuerung von IoT-Geräten

- Ist schnell einsetzbar
- Ist skalierbar, um zusätzliche Ressourcen bereitzustellen.
- Die Steuerung erfolgt von einem zentralen Punkt
- Es sind keine sensitiven Daten am Gerät
- Es ist möglich, mit dem Device Management Portal zentral Informationen der Geräte darzustellen.
- Ermöglicht die Auslagerung der Wartungsaufgaben für den Betrieb
- Erleichtert die Supportmöglichkeiten

### **8.1.2 Einsatz von Fog-Computing zur Steuerung von IoT-Geräten**

- Fog-Computing zeigt durch die physische Nähe zum Gerät eine niedrige Verbindung-Latenz auf.
- Es kann als Zwischenspeicher für die Übertragung eingesetzt werden, um Verbindungsausfälle zu überbrücken.

### **8.1.3 Einsatz von Edge-Computing zur Steuerung von IoT-Geräten**

- Die Verarbeitung der Daten erfolgt am Gerät
- Geräte sind ohne Netzverbindung in der Lage ihre Funktionen auszuführen
- Die aufgezeichneten Daten bleiben am Gerät.

### **8.1.4 Kombination von Edge-Computing mit Cloud-Computing**

Durch die Kombination der beiden Computing Arten ergeben sich die weiteren Vorteile zu den bereits beschriebenen:

- Die Steuerung erfolgt über die Cloud
- Die Geräte arbeiten weiter, auch wenn die Netzverbindung nicht mehr vorhanden ist.

## **8.2 Beantwortung der Hypothese**

Nachfolgend werden die neben der Forschungsfrage aufgestellten Hypothesen beantwortet:

### **8.2.1 Hypothese 1: Bereitstellung von Informationen**

- H1: Informationen über die Ausfallsicherheit werden durch den Hersteller von IoT-Geräten bereitgestellt.
- H0: Hersteller von IoT-Geräten stellen keine Informationen über die Ausfallsicherheit bereit.

Aus den Expertenmeinungen lässt sich folgendes ableiten:

Ja, die Hersteller von IoT-Geräten stellen Informationen unter gewissen Voraussetzungen bereit. Hersteller müssen dabei Erfahrungswerte gesammelt haben, um diese Informationen veröffentlichen zu können. Hersteller von Geräten, die noch nicht am Markt verfügbar sind, haben noch keine Informationen, wollen diese aber mit der Markteinführung bereitstellen. Es wird daraus

abgeleitet, dass je länger ein Produkt auf dem Markt ist, desto mehr Informationen sammelt der Hersteller über das Ausfallverhalten seiner Produkte und kann dies bereitstellen.

### **8.2.2 Hypothese 2: Bereitstellung von SLA**

- H1: Den Betreibern von IoT-Geräten/Systemen ist das Ausfallrisiko beim Einsatz von Edge/Fog-Computing bewusst und es gibt entsprechende Service Level Agreements (SLA).
- H0: Betreiber und Hersteller stellen dem Kunden keine Service-Level-Agreements zur Verfügung, die sich auf die Steuerungssysteme und deren Ausfallsicherheit beziehen.

Diese Arbeitshypothese kann nicht vollständig bestätigt werden: Wie bei Hypothese 1, ist auch das Bereitstellen von SLA von der Marktreife des Produktes abhängig. Firmen, deren Geräte bereits länger im Einsatz sind, haben ausreichend Informationen gesammelt, um diese auch in SLA einpflegen zu können.

### **8.2.3 Hypothese 3: Entscheidungskriterium für den Kunden**

- H1: Die Art des Computings stellt für den Kunden ein Entscheidungskriterium beim Einsatz von IoT-Geräten dar.
- H0: Für den Kunden ist die Computing-Art kein Entscheidungskriterium beim Einsatz von IoT-Geräten.

Ja, die Art des Computings stellt für den Kunden ein Entscheidungskriterium beim Einsatz von IoT-Geräten dar. Die Expertenpersonen beschreiben unterschiedliche Gründe für die Auswahl der Computing-Art.

- So kann es bei Privatpersonen abhängig sein von der gewünschten Privatsphäre.
- Bei Firmen ist der Verarbeitungsort der Daten interessant.
- Die Wahl der Computing-Art ist abhängig vom Anwendungsfall für das IoT-Gerät.

### 8.3 Empfehlungen für die Entwicklung von IoT-Geräten

Im Zuge der Arbeit wurden diese zusätzlichen Ergebnisse gewonnen, die nun zusammengefasst werden und als Empfehlung für die IoT-Entwicklung dienen können.

- IoT-Hersteller sollen ein Device Management Portal möglichst früh einführen. Ein solches Portal ermöglicht es, die Geräte zu administrieren und es besitzt die Möglichkeit, die Verfügbarkeit der Geräte aufzuzeichnen. Diese Daten können für die Bereitstellung von SLA verwendet werden.
- IoT-Geräte sollen einen autonomen Modus besitzen. In diesem Modus ohne Verbindung zur Cloud können die Geräte weiterhin ihre zugeteilten Aufgaben erfüllen und zeichnen im Betrieb ihre Aktionen auf. Die Übertragung an die zentrale Cloud erfolgt bei der Wiederverbindung.

### 8.4 Kritische Diskussion der Arbeit

Für den empirischen Teil der Arbeit konnten nur wenige Experteninterviews durchgeführt werden, weil sich auf Interviewanfragen nur wenige Firmen zurückgemeldet und sich sehr bedeckt gehalten haben. In der E-Mail zur Interviewanfrage wurde das Thema der Arbeit genannt und auf Wunsch der Interviewleitfaden bereitgestellt. Die wenigen Rückmeldungen lassen vermuten, dass diese Firmen bewusst keine Informationen weitergeben wollten.

Falls diese Informationsstände bewusst zurückgehalten worden sind, stellen diese Informationen möglicherweise innovations- und wettbewerbsrelevantes Wissen dar. Dieses Wissen soll die Firma nicht verlassen, um sie vor Konkurrenz zu schützen (Fünfhaus et al., 2018).

Eine weitere Vermutung ist, dass die Firmen mit den Vorabinformationen festgestellt haben, dass sie die Fragen nicht beantworten können.

Mit einem vorgefertigten anonymen Online-Fragebogen hätte man möglicherweise mehr Rückmeldungen erhalten, es hätte allerdings wenig Möglichkeiten gegeben, die so gewonnenen Informationen auch entsprechend verifizieren zu können. Außerdem bieten Experteninterviews die Möglichkeiten Prozess- und Deutungswissen zu erfassen. Prozesswissen umfasst dabei die Erfahrungen in Handlungsabläufen, Interaktionen, Ereignissen usw. in denen die Person involviert ist oder war. Deutungswissen umfasst die Sichtweisen, Interpretationen, Deutungen und Erklärungsmuster der Expertenperson (Bogner et al., 2014).

Ein Online-Fragebogen hätte dieses Wissen nicht im gleichen Ausmaß erfasst. Auch wenn dieses Wissen nur bei wenigen Experten erhoben wurde, konnte die Forschungsfrage ausreichend beantwortet werden.

## **8.5 Ausblick**

Wie in der Auswertung angesprochen, kann ein Device Management Portal zur Aufzeichnung und Bereitstellung von Informationen eingesetzt werden. In einer weiterführenden Arbeit könnte untersucht werden, welchen Funktionsumfang solch ein Portal besitzen muss, um damit ausreichend Informationen für SLA bereitstellen zu können.



## ANHANG A - Interviewleitfaden

---

### *Interviewleitfaden*

---

#### **Vorbemerkung**

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, herauszufinden, welchen Einfluss Cloud/Fog/Edge Computing auf die Autonomie und Ausfallsicherheit von IoT-Geräten hat.

Im Rahmen des Interviews sollen die folgend aufgeführten Fragen durch die Expertise der befragten Personen geklärt werden und damit zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen.

1. Entwickelt oder vertreibt ihre Firma/Sie IoT-Geräte?
2. Welche Art von IOT Geräten entwickeln oder vertreiben Sie?
3. Wann würden Sie Cloud/Edge/Fog Computing einsetzen?
4. Welche Vor- und Nachteile sehen Sie bei Cloud/Edge/Fog Computing?
5. Stellen Sie Informationen zur Ausfallsicherheit von den Geräten zur Verfügung?
6. Stellen Sie SLA zur Verfügung?

#### **Abschlussfrage:**

Sind sie der Meinung, dass die Computing-Art ein Entscheidungskriterium in der Auswahl von IoT-Geräten ist?

- a) Wenn ja, wie fließt es in die Entscheidung mit ein?
- b) Wenn nein, warum nicht?

## ANHANG B - Qualitative Inhaltsanalyse

E	NR	Paraphrase	Generalisierung	Kategorie
E1	1	Es benötigt eine ständige Kommunikation mit der Cloud, um zu funktionieren.	Gerät mit Cloud-Verbindung	Nachteile Cloud-Computing
E1	2	Es besitzt keinen autonomen Modus.	kein autonomer Modus	Informationsbereitstellung
E1	3	Dieser ist geplant in der Zukunft.	Autonomer Modus geplant	Informationsbereitstellung
E1	4	Bis jetzt hat alles sehr gut funktioniert mit der Microsoft Infrastruktur, die wir eingesetzt haben.	Bis jetzt sehr gut funktioniert	Vorteil Cloud-Computing
E1	5	Vorteile sind, wenn man etwas baut, es sich in der Cloud sehr schnell einsetzen lässt.	Cloud schnell einsetzbar	Vorteil Cloud-Computing
E1	6	z. B. eine neue Funktion, Feature oder Skalieren.	neue Funktionen, Feature, Skalieren	Vorteil Cloud-Computing
E1	7	Der Nachteil ist, dass eine Onlineverbindung benötigt wird.	Verbindung benötigt	Nachteile Cloud-Computing
E1	8	Man hat auch ein gutes Logging.	Logging vorhanden	Vorteil Cloud-Computing
E1	9	Useraktionen lassen sich verfolgen. Das die Verbindung nicht lokal ist, ist nicht bemerkbar.	Latenz nicht bemerkbar	Vorteil Cloud-Computing
E1	10	Die Daten sind in der Cloud gespeichert und die sensitiven Daten sind nicht exponiert.	sensitive Daten sind nicht exponiert	Vorteil Cloud-Computing
E1	11	Nur ein Hub wird benötigt.	nur ein IoT-Hub wird benötigt	Vorteil Cloud-Computing
E1	12	Alles andere läuft in der Cloud.	Dienste in der Cloud	Vorteil Cloud-Computing
E1	13	Wir haben in der Cloud die Datenbank, Webservice und weitere Services.	Dienste in der Cloud	Vorteil Cloud-Computing
E1	14	Auf dem Gerät sind keine sensitiven Daten gespeichert.	sensitive Daten sind nicht exponiert	Vorteil Cloud-Computing
E1	15	Verbindungsdaten zum IoT-Hub müssen am Gerät vorhanden sein.	IoT-Hub wird benötigt	Nachteile Cloud-Computing
E1	16	Es stellt sich die Frage, ob man diese Verbindungsdaten schützen kann.	Sensitive Daten zum Hub	Nachteile Cloud-Computing
E1	17	Ja, die Kunden sind über die Cloud Nutzung informiert.	Kunde ist informiert	Informationsbereitstellung
E1	18	Bei Ausfallsituationen war es bis jetzt noch nicht notwendig, Informationen dem Kunden zur Verfügung zu stellen.	Details waren noch nicht erforderlich	Informationsbereitstellung
E1	19	Ein und ausschalten und gewährleisten, dass eine Internetverbindung vorhanden ist.	Neustart des Gerätes, Verbindung erforderlich	Informationsbereitstellung
E1	20	Bei weiterhin bestehendem Problem muss sich der Kunde zur Fehlerbehebung melden.	Kunden Support	Informationsbereitstellung
E1	21	Wir sind in der Phase, kurz bevor das Gerät zu den Pilot Usern geschickt wird.	Pilotphase	Informationsbereitstellung
E1	22	Fehlerbehebung müssen noch Manuel durchgeführt werden.	Fehlerbehebung manuell	Informationsbereitstellung
E1	23	Abhängigkeit von der Person, ob diese Daten in der Cloud oder im Gerät gespeichert haben wollen.	Abhängigkeit von der Person	Entscheidungskriterium
E1	24	Mir sind Personen bekannt, die nichts in der Cloud gespeichert haben wollen.	Keine Daten in der Cloud	Entscheidungskriterium
E1	25	Ich würde das Gerät kaufen, wenn ich weiß, das Daten in der Cloud gespeichert werden.	Würde das Gerät kaufen, wenn Daten in der Cloud in der Cloud gespeichert sind.	Entscheidungskriterium
E1	26	Es wird meistens ein Account benötigt. Wenn das nicht notwendig ist, lasse ich ihn leer. Es ist eine große Gefahr, dass jemand die Daten missbraucht.	Account erforderlich	Entscheidungskriterium
E2	1	Standardmäßig benutzen wir unsere eigene Cloud.	Eigene Cloud	Vorteile Cloud-Computing
E2	2	Die Hardware ist mit unserem Cloud-System kompatibel, deswegen funktioniert, dass auch mit dem Plug & Play.	Hardware kompatibel	Vorteile Cloud-Computing
E2	3	Egal was für einen Sensor angesteckt wird, die Daten des Sensors sind online sofort verfügbar.	Hardware kompatibel	Vorteile Cloud-Computing
E2	4	Anwendungen im Bereich kritischer Infrastruktur. Eine Kombination von Cloud und Edge Computing.	Kombination aus Edge und Cloud Computing	Vorteile Cloud-Computing
E2	5	Die Steuerung wird Cloud seitig übernommen.	Steuerung in der Cloud	Vorteile Cloud-Computing
E2	6	Die Logik ist in die Cloud übertragen und übernimmt die Beschaltung der Straßenlaternen.	Logik in der Cloud	Vorteile Cloud-Computing

E2	7	Bei einem Ausfall des Mobilfunknetzes kann im Vorfeld die Schaltmatrix auf das Gerät übertragen werden.	Offlinesteuerung	Vorteile Cloud-Computing
E2	8	Die Steuerung übernimmt Edge-Control.	Automatische Steuerungsübernahme	Vorteile Edge-Computing
E2	9	Wenn kein Mobilfunknetz zur Verfügung steht, dann ist die Cloud nicht erreichbar, dann wird Edge-Steuerung übernommen.	Automatische Steuerungsübernahme	Vorteile Edge-Computing
E2	10	Das Umschalten zwischen den Steuerungen erfolgt nicht vom Betreiber.	Automatische Steuerungsübernahme	Vorteile Edge-Computing
E2	11	Umschaltung erfolgt auf der Hardware.	Automatische Steuerungsübernahme	Vorteile Edge-Computing
E2	12	Es ist ein automatisierter Prozess.	Automatische Steuerungsübernahme	Vorteile Edge-Computing
E2	13	Es ist keine manuelle Umstellung erforderlich.	Automatische Steuerungsübernahme	Vorteile Edge-Computing
E2	14	Die Hardware meldet sich immer in der Cloud an.	Cloud Meldung	Vorteile Edge-Computing
E2	15	Es gibt keine direkte Kommunikation auf die Hardware.	keine direkte Kommunikation	Nachteile Edge-Computing
E2	16	Kein direkter Zugriff	kein Zugriff via Cloud auf das Gerät	Nachteile Edge-Computing
E2	17	Die Hardware meldet sich immer nur in der Cloud an. Bei dieser Anmeldung kommt es zu Überprüfung, ob die Verbindung hergestellt werden kann.	kein Zugriff via Cloud auf das Gerät	Nachteile Edge-Computing
E2	18	Es werden mehrere Versuche unternommen, sich in das Mobilfunknetz einzuwählen.	Abhängigkeit vom Mobilfunknetz	Nachteile Edge-Computing
E2	19	Bei nicht erfolgter Verbindung können einzelne Hardwarekomponenten neugestartet werden.	Steuerung der Hardwarekomponenten	Vorteile Edge-Computing
E2	20	Das Kommunikationsmodul lässt sich stromlos schalten und erneut einschalten, danach ein erneuter Versuch zum Einwählen.	Steuerung der Hardwarekomponenten	Vorteile Edge-Computing
E2	21	Wenn keine Verbindung hergestellt werden kann, übernimmt die Edge Control Logik	Offlinesteuerung	Vorteile Edge-Computing
E2	22	Der Fehler wird zwischen gespeichert.	Speicherung der Fehler	Vorteile Edge-Computing
E2	23	Solange bis wir wieder eine Verbindung aufbauen können und dann wird dementsprechend diese Fehlermeldung übertragen, dass etwas schiefgelaufen ist und dass das Mobilfunknetz nicht bereit war.	Übertragen der Fehler bei erneuter Verbindung	Vorteile Edge-Computing
E2	24	Ein Ausfall der Cloud ist "sehr, sehr" unwahrscheinlich.	Ausfallwahrscheinlichkeit	Vorteile Cloud-Computing
E2	25	Regelmäßig kommt es zu einem Ausfall des Mobilfunknetzes.	Mobilfunknetz	Nachteile Cloud-Computing
E2	26	Wartungsfenster, die unangekündigt sind.	Wartungsfenster Netzbetreiber	Nachteile Cloud-Computing
E2	27	Ausfall der Sendestation kann passieren.	Ausfall Mobilfunknetz	Nachteile Cloud-Computing
E2	28	Wir wissen dadurch das wir viele Geräte im Feld haben, dass diese sich regelmäßig wieder melden müssen.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E2	29	Cloud seitig werden diese Verbindungen in einer Datenbank gespeichert, ob sich ein Modul regelmäßig gemeldet hat.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E2	30	Wenn wir sehen das aus einem gewissen Netz keine Daten mehr kommen, dann sehen wir schnell das es sich um einen Netzausfall handelt.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E2	31	Es war schon mehrmals, dass wir das vor dem Mobilfunkbetreiber entdeckt haben und die den Ausfall kontrolliert und bestätigt haben.	Mobilfunknetz	Nachteile Cloud-Computing
E2	32	Für uns ist es ein Informationsnachweiß.	Informationsnachweiß	Informationsbereitstellung
E2	33	Wir sind spezialisiert genau auf den Bereich der kritischen Infrastruktur.	kritische Infrastruktur	Informationsbereitstellung
E2	34	Wir haben eine sichere Datenübertragung.	kritische Infrastruktur	Informationsbereitstellung
E2	35	Wir haben sehr viel Zusatzinformationen dabei und wenn einmal bei uns ein Datensatz nicht ankommt, dann brauchen wir eine Begründung dafür.	Zusatzinformationen im Dashboard	Informationsbereitstellung
E2	36	Das müssen wir dem Kunden begründen können, warum sind die Daten da jetzt nicht angekommen, obwohl sie ankommen hätten sollen.	Zusatzinformationen im Dashboard	Informationsbereitstellung
E2	37	Durch die gesamte Überwachung und Protokollierung können wir das einfach umsetzen.	Zusatzinformationen im Dashboard	Informationsbereitstellung
E2	38	Nein, nicht konkret.	keine SLA Bereitstellung	SLA

E2	39	Bei jedem Device ist im Dashboard die 24 Stunden Verfügbarkeit ersichtlich.	Verfügbarkeit im Portal sichtbar	SLA
E2	40	Wir können die Gesamtverfügbarkeit ausgeben.	Verfügbarkeit im Portal sichtbar	Informationsbereitstellung
E2	41	Die 24-Stunden-Verfügbarkeit sieht der Kunde von jedem Device, sobald er eingeloggt ist.	Verfügbarkeit im Portal sichtbar	Informationsbereitstellung
E2	42	Es gibt keine Vereinbarungen, wie hoch diese Verfügbarkeit sein muss.	keine SLA Bereitstellung	SLA
E2	43	Wir sind im Bereich kritische Infrastruktur. Die Proof-of-Concept vom Kunden werden sehr lange begleitet.	Proof of Concept	SLA
E2	44	Das sind Begleitphasen von inzwischen schon 2 Jahren in der der Kunde das beobachtet.	Begleitphase	SLA
E2	45	Der Kunde weiß ganz genau nach dieser Zeit, wie sich die Geräte verhalten und die haben die Erfahrung gemacht, dass die Geräte funktionieren.	Begleitphase	SLA
E2	46	Wenn es einmal nicht funktioniert, es meist einen anderen Grund gibt als die Cloud.	Begleitphase	SLA
E2	47	Wir haben es selbst gelernt, wie wir mit den kritischen Sachen begonnen haben.	kritische Infrastruktur	Entscheidungskriterium
E2	48	Bei Umweltdaten war das nie ein Thema.	Einfache Daten	Entscheidungskriterium
E2	49	Wenn man kritische Schaltvorgänge oder eine Pegelstands Messung mit Alarmierung hat.	Funktionalität	Entscheidungskriterium
E2	50	Da ist der Fall, dass wir darauf gekommen sind, dass man sich nicht auf eine Art des Computing verlassen kann.	eine Art des Computings	Entscheidungskriterium
E2	51	Wir haben auch die Kombination für den Fall, wenn etwas schief läuft, und schalten auf Edge zurück.	Kombination aus Edge und Cloud Computing	Entscheidungskriterium
E3	1	Wir versuchen unseren Sensor so intelligent wie möglich zu machen.	Intelligente Sensoren	Vorteile Edge-Computing
E3	2	Der Sensor kann die Daten aufnehmen und weiter an das Portal schicken.	Daten Weiterleitung	Vorteile Edge-Computing
E3	3	Er kann Sie direkt auf dem Gerät in der Firmware verarbeiten, also Edge-Computing.	Verarbeitung im Gerät	Vorteile Edge-Computing
E3	4	Es erfolgt die Berechnung auf den Sensoren und die Daten werden aufbereiten.	Verarbeitung im Gerät	Vorteile Edge-Computing
E3	5	Diese Daten werden dann mit unterschiedlichsten Netzwerktechnologien übertragen.	Netzwerk Anbindung	Vorteile Edge-Computing
E3	6	Genutzt wird am häufigsten NB-IoT.	NB-IoT	Vorteile Edge-Computing
E3	7	Auch LoRa, 2G, LTE-CatM	Lora, 2g, LTE-CatM	Vorteile Edge-Computing
E3	8	Es werden die Daten in das Device Management Portal geschickt.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E3	9	Das ist ERP-System.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E3	10	Einfach nur ein Device Management, bei dem man sich den einzelnen Sensor anschauen kann.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E3	11	Indem man Reports anzeigen und Analysen durchführen kann.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E3	12	Dort werden die Daten hingeschickt.	Device Management Portal	Vorteile Cloud-Computing
E3	13	Die Kunden sagen oft, dass Sie die Daten bei sich haben wollen.	Private Daten	Vorteile Edge-Computing
E3	14	Bei ihrem eigenen System und schicken.	Private Management Portal	Vorteile Edge-Computing
E3	15	Wenn der Kunde LoRa nutzen möchte. Weil viele Kommunen und Unternehmen ihr eigenes LoRa Netz aufbauen.	LoRa	Vorteile Edge-Computing
E3	16	Die haben ihr eigenes LoRa Netz, weil sie definitiv nicht wollen, dass ihre Daten nach draußen gehen.	Private Daten	Vorteile Edge-Computing
E3	17	Wir haben nur das Device, das wird dem Kunden gegeben haben. Die Daten werden automatisch auch zu ihm geschickt.	Private Daten	Vorteile Edge-Computing
E3	18	Wir sehen die Daten auch nie und Sie verarbeiten Sie.	Private Daten	Vorteile Edge-Computing
E3	19	Der Nachteil ist: Wir sind blind im Support.	Supportmöglichkeit	Nachteile Edge-Computing
E3	20	Wenn jetzt unsere Jungs angerufen werden und gefragt werden, was ist da los, dann tun wir uns relativ schwer.	Supportmöglichkeit	Nachteile Edge-Computing
E3	21	Lösen kann man das, indem der Kunde uns dann die Daten wieder über eine API zurückschickt.	Supportmöglichkeit	Nachteile Edge-Computing
E3	22	Ja, einzelnen Partner, mit denen wir Partner Verträge haben. Da haben wir "sehr, sehr" hohe. Da haben wir tatsächlich 99,9 %.	Informationsverfügbarkeit für Partner	Informationsbereitstellung

E3	23	Ja, aber nur mit ausgewählten Kunden.	Ausgewählten Kunden	SLA
E3	24	Mit den normalen Endkunden ist es meist so, dass diese Support Stunden bestellen.	Support	SLA
E3	25	Bei der ersten Bestellung und die werden aufgebraucht.	Support	SLA
E3	26	Wenn Sie mehr brauchen, wird es nach verrechnet.	Support	SLA
E3	27	Teilweise würde ich sagen. Viele Kunden wollen einfach, dass das Ding funktioniert.	Funktionalität	Entscheidungskriterium
E3	28	Wie das genau funktioniert, ist ihnen relativ egal.	Funktionsweise	Entscheidungskriterium
E3	29	Das ist ein Vorteil bei unserem Edge-Computing.	Edge Computing Möglichkeiten	Entscheidungskriterium
E3	30	Wir können das sehr gut anpassen an die unterschiedlichen Use-Cases.	Use-Case abhängig	Entscheidungskriterium
E3	31	Die Konfiguration am Device ist sehr leicht zu ändern und das ist sicher ein Vorteil.	Konfiguration	Entscheidungskriterium
E3	32	Es tatsächlich ist so, dass relativ wenige Kunden technisch spezifisch nachfragen. Teilweise weil Sie sich auskennen.	Technische Spezifikation	Entscheidungskriterium
E3	33	Großteils ist es aber so, dass sie wollen, dass das Ding einfach funktioniert.	Funktionalität	Entscheidungskriterium
E3	34	Es ist unsere Aufgabe, das es funktioniert.	Funktionalität	Entscheidungskriterium
E4	1	Wir nutzen die Möglichkeit zum Ausliefern die Software.	Ausliefern der Software in der Cloud	Vorteile Cloud-Computing
E4	2	Unsere Codeverwaltung und Build Server laufen in der Cloud	Dienste in der Cloud	Vorteile Cloud-Computing
E4	3	Wir können den neuen Code ausspielen. Den Code Testen und ihn Produktiv übernehmen	Dienste in der Cloud	Vorteile Cloud-Computing
E4	4	Die Software läuft zentral und ebenfalls können die Updates Zentral ausgespielt werden.	Zentrale Software in der Cloud	Vorteile Cloud-Computing
E4	5	Wir wollen dem Kunden ein System anbieten, bei dem kein Eingriff erforderlich ist im laufenden Betrieb.	Kein Eingreifen des Kunden erforderlich	Vorteile Cloud-Computing
E4	6	Wenn keine Verbindung mit der Cloud vorhanden ist, kann keine Software ausgeliefert werden.	Keine Verbindung zur Cloud ermöglicht keinen Zugriff	Nachteile Cloud-Computing
E4	7	Wir sind vom Anbieter abhängig.	Anbieter abhängig	Nachteile Cloud-Computing
E4	8	Aber bis jetzt ist das nur einmal im Jahr passiert, das wir ein Problem mit unsern Cloud Anbieter hatten.	Ausfall Cloud Anbieter	Nachteile Cloud-Computing
E4	9	Bei Edge Computing hätten wir noch den Update-Prozess und die Netzwerkanbindung beim Kunden integrieren müssen.	Update Prozess erforderlich, Netzwerk Anbindung erforderlich	Nachteile Edge-Computing
E4	10	Es besteht die Möglichkeit das Updates fehlschlagen können und wir ein defektes Gerät beim Kunden haben.	Updates können fehlschlagen führt zu fehlerhaftem Gerät.	Nachteile Edge-Computing
E4	11	Eventuell werden wir diese Möglichkeit mit reinem Edge Computing anbieten, unter der Voraussetzung das wir für diese Probleme, Prozesse entwickelt haben, die auch von einem Kunden/Kundin durchgeführt werden können und kein technisches Knowhow benötigt.	Prozesse erforderlich	Nachteile Edge-Computing
E4	12	Die Geräte laufen unabhängig von der Cloud weiter, wenn keine Netzverbindung besteht.	Offlinefunktionalität	Informationsbereitstellung
E4	13	Die Daten und Werte werden Lokal aufgezeichnet und werden sobald die Verbindung wiederhergestellt worden ist in die Cloud übertragen.	Lokales aufzeichnen der Daten, Weiterleitung bei wieder Verbindung	Informationsbereitstellung
E4	14	Diesen Fall sehen wir relativ oft bei den Geräten, die Internetverbindung ist unterbrochen und die Geräte übertragen keine Live-Werte.	Verbindung ist unterbrochen, keine Live-Werte werden übertragen	Informationsbereitstellung
E4	15	Die Kunden bemerken den Ausfall der Verbindung meistens nicht, da das Gerät weiter seinen Dienst verrichtet	Für den Kunden ist der Ausfall der Netzverbindung nicht bemerkbar.	Informationsbereitstellung
E4	16	Erst wenn es zu einem längeren Ausfällen kommt.	Problemlösung mit dem Kunden	Informationsbereitstellung
E4	17	Wir kontaktieren den Kunden.	Problemlösung mit dem Kunden	Informationsbereitstellung
E4	18	Per E-Mail oder Telefon und versuchen mit ihm das Problem zu lösen.	Problemlösung mit dem Kunden	Informationsbereitstellung
E4	19	Nein, SLA werden nicht Kunden zur Verfügung gestellt.	keine SLA Bereitstellung	SLA
E4	20	Im Portal ist die Höhe der Verfügbarkeit der einzelnen Geräte sichtbar.	Verfügbarkeit im Portal sichtbar	SLA
E4	21	Die Kunden wollen das Gerät nutzen und einfach anstecken, und nicht extra Software extra installieren	Gerät nutzen, keine Software installieren	Entscheidungskriterium
E4	22	Bei der Lösung Verbindung mit dem Handy und konfigurieren die Internet-Verbindung.	Verbindung mit Handy	Entscheidungskriterium

<b>E4</b>	23	Es lässt sich weltweit steuern und den aktuellen Zustand überprüfen.	Weltweite Steuerung	Entscheidungskriterium
-----------	----	--	---------------------	------------------------

## ANHANG C - Codierleitfaden

Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Codierregeln
<b>K1: IoT Gerät</b>	Alle Textstellen, die auf eine Deutung der persönlichen Erfahrung mit dem Thema Web-Anwendungen hinweisen.	E2: Wir entwickeln eine Hardwareplattform zum Anschluss an verschiedene Sensoren.  E3: Wir entwickeln Sensoren für Industrial IoT-Use Cases.	Nur die Beschreibung des entwickelten/eingesetzten IoT-Gerätes.
<b>K2: Vorteile Cloud-Computing</b>	Alle Textstellen, die auf die Vorteile von Cloud-Computing hinweisen.	E2: Die Hardware ist mit unserem Cloud-System kompatibel, deswegen funktioniert, dass auch mit dem Plug & Play.  E4: Wir nutzen hierbei die Möglichkeit für die Skalierung aus.	Alle Aspekte, welche Vorteile von Cloud-Computing aufzeigen. Keine Nachteile.
<b>K3: Nachteile Cloud-Computing</b>	Alle Textstellen, die auf die Nachteile von Cloud-Computing hinweisen.	E1: Das Gate muss online sein.  E2: Wenn wir kein Mobilfunknetz zur Verfügung haben.	Nur Nachteile von Cloud-Computing.
<b>K4: Vorteile Fog-Computing</b>	Alle Textstellen, die auf die Vorteile von Fog-Computing hinweisen.	-	Alle Aspekte, welche Vorteile von Cloud-Computing aufzeigen. Keine Nachteile.
<b>K4: Nachteile Fog-Computing</b>	Alle Textstellen, die auf die Nachteile von Fog-Computing hinweisen.	-	Nur Nachteile von Fog-Computing.
<b>K5: Vorteile Edge-Computing</b>	Alle Textstellen, die auf die Vorteile von Cloud-Computing hinweisen.	E2: Da ist ein automatisierter Prozess dahinter.  E3: Ja, beispielsweise wenn der Kunde LoRa nutzen möchte.	Alle Aspekte, welche Vorteile von Edge-Computing aufzeigen. Keine Nachteile.
<b>K6: Nachteile Edge-Computing</b>	Alle Textstellen, die auf die Vorteile von Cloud-Computing hinweisen.	E3: Der Nachteil ist, das sage ich ganz klar, wir sind blind im Support.  E4: Beim Edge-Computing hätten wir noch wir zusätzlich noch den	Nur Nachteile von Edge-Computing.

			Update-Prozess und die Netzwerkanbindung beim Kunden integrieren müssen.	
<b>K7: Informationsbereitstellung</b>	Alle Textstellen, die auf die Informationsbereitstellung gegenüber dem Kunden hinweisen.		<p>E1: Ja, die Kunden wissen, dass es über die Cloud läuft und dass die Informationen dort gespeichert werden und versendet werden.</p> <p>E4: Also die Geräte arbeiten auch unabhängig von der Cloud weiter, also wenn keine Netzverbindung besteht.</p>	Alle Aspekte, die auf bereitgestellte Informationen hinweisen. Keine SLA.
<b>G8: Bereitstellung von SLA</b>	Alle Textstellen, die auf die Informationsbereitstellung zum Thema SLA hinweisen.		<p>E2: Nein, nicht, konkret. Bei jedem unserer Devices ist im Dashboard die 24 Stunden Verfügbarkeit ersichtlich.</p> <p>E3: Ja, aber nur ausgewählten Kunden.</p>	Alle Aspekte, die auf bereitgestellte Informationen zu SLA hinweisen.
<b>K9: Entscheidungskriterium</b>	Alle Textstellen, die auf eine Deutung der persönlichen Meinung der befragten Person hinweisen im Hinblick zur Forschungsfrage.		<p>E1: Ich glaube, das hängt von jedem Menschen ab, das ist subjektiv.</p> <p>E3: Viele Kunden wollen einfach, dass das Ding funktioniert.</p>	Alle Aspekte, welche die auf ein Entscheidungskriterium hinweisen.



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

IoT	Internet of Things
SLM	Service Level Management
SLA	Service Level Agreement
SLR	Service Level Requirement
MTTD	Mean Time to diagnose
MTTF	Mean Time to function
MTBF	Mean Time between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
SaaS	Software as a Service
PaaS	Platform as a Service
IaaS	Infrastructure as a Service
KI	Künstliche Intelligenz
CPU	Central Processing Unit
GPU	Graphics Processing Unit
GPGPU	General Purpose Graphics Processing Unit
FPGA	Field Programmable Gate Array
MLaaS	Machine Learning as a Service

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Zeitlicher Ablauf eines Schadens (in Anlehnung an Allspaw & Robbins, 2010) .....	6
Abbildung 2-2: Service Modelle im Vergleich (in Anlehnung an Plass et al., 2013).....	10
Abbildung 2-3: Arten des Cloudbetriebs (in Anlehnung an Bräuninger et al, 2012).....	11
Abbildung 2-4: Übersicht der Edge-Netzwerk Architektur (in Anlehnung an Carvalho et al., 2021) .....	12
Abbildung 2-5: Architektur in Fog/Edge-Computing (in Anlehnung an Gill, 2022) .....	15
Abbildung 3-1: IoT-Architektur mit fünf Ebenen (in Anlehnung an Jamali et al, 2020 und Zhang et al., 2012) .....	17
Abbildung 3-2: Kommunikationstechnologien (in Anlehnung an Behr, 2018) .....	20
Abbildung 4-1: Zusammenhang zwischen Künstlicher Intelligenz, Maschinellem Lernen und Tiefem Lernen (in Anlehnung an Kersting & Tresp, 2019) .....	27
Abbildung 4-2: Arten des maschinellen Lernens (in Anlehnung an Weber, 2020).....	28
Abbildung 4-3: Der "Von-Neumann-Zyklus" (eigene Darstellung).....	31
Abbildung 4-4: Befehlsverarbeitung ohne Pipelining (in Anlehnung an „Pipeline (Prozessor)“, 2021) .....	32
Abbildung 4-5: Befehlsverarbeitung mit Pipelining (in Anlehnung an „Pipeline (Prozessor)“, 2021) .....	32

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Verfügbarkeit - Ausfallzeit .....	7
Tabelle 5-1: Übersicht Interviewpersonen.....	35
Tabelle 6-1: Kategorien und Generalisierungen .....	43

## LITERATURVERZEICHNIS

- AirLiquide. (2018, Juni 6). *The Industrial Internet of Things: The connectivity of the future*. Air Liquide. <https://www.airliquide.com/magazine/digitization/industrial-internet-things-connectivity-future>
- Allspaw, J., & Robbins, J. (2010). *Web operations*. O'Reilly Media, Inc.
- Al-Qaseemi, S. A., Almulhim, H. A., Almulhim, M. F., & Chaudhry, S. R. (2016). IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization. *2016 Future Technologies Conference (FTC)*, 731–738. <https://doi.org/10.1109/FTC.2016.7821686>
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R. H., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D. A., Rabkin, A., Stoica, I., & Zaharia, M. (2009). *Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing* (UCB/EECS-2009-28). EECS Department, University of California, Berkeley. <http://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.html>
- Bauer, M. (2020, Juni 5). *Saugroboter von Vorwerk: Hersteller kündigt Lösung für Cloud-Probleme an*. computerbild.de. <https://www.computerbild.de/artikel/cb-News-Smart-Home-Vorwerk-Saugroboter-VR200-VR300-Cloud-Probleme-Update-26306661.html>
- Becker, J. K., Li, D., & Starobinski, D. (2019). Tracking Anonymized Bluetooth Devices. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*, 2019(3), 50–65. <https://doi.org/10.2478/popets-2019-0036>
- Behr, A. (2018, Dezember 13). Best Uses of Wireless IoT Communication Technology. *Industry Today*. <https://industrytoday.com/best-uses-of-wireless-iot-communication-technology/>
- Bogner, A., Littig, B., & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19416-5>
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing - MCC '12*, 13. <https://doi.org/10.1145/2342509.2342513>
- Born, G. (2019, Juni 9). *Google legt die Ursache für den Cloud-Ausfall am 2. Juni 2019 offen | Borns IT- und Windows-Blog*. <https://www.borncity.com/blog/2019/06/09/google-legt-die-ursache-fr-den-cloud-ausfall-am-2-juni-2019-offen/>
- Bräuninger, M., Haucap, J., Stepping, K., & Stühmeier, T. (2012). Cloud Computing als Instrument für effiziente IT-Lösungen: Betriebs- und volkswirtschaftliche Potenziale und Hemmnisse. *List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik*, 38(3–4), 173–203. <https://doi.org/10.1007/BF03373993>
- Carvalho, G., Cabral, B., Pereira, V., & Bernardino, J. (2021). Edge computing: Current trends, research challenges and future directions. *Computing*, 103(5), 993–1023. <https://doi.org/10.1007/s00607-020-00896-5>

- Costello, K. (2021, Februar 8). *Gartner Predicts the Future of Cloud and Edge Infrastructure*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-predicts-the-future-of-cloud-and-edge-infrastructure/>
- DDS Foundation. (2015, Juli). *What is DDS?* <https://www.dds-foundation.org/what-is-dds-3/>
- Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., & Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: Architecture, applications, and approaches: A survey of mobile cloud computing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 13(18), 1587–1611. <https://doi.org/10.1002/wcm.1203>
- Dolui, K., & Datta, S. K. (2017). Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing. *2017 Global Internet of Things Summit (GloTS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2017.8016213>
- Dumitrescu, R., Gausemeier, J., Slusallek, P., Cieslik, S., Demme, G., Falkowski, T., Hoffmann, H., Kadner, S., Reinhart, F., Westermann, T., & Winter, J. (2018). *Studie „Autonome Systeme“* (Research Report Nr. 13–2018). Studien zum deutschen Innovationssystem. <https://www.econstor.eu/handle/10419/175555>
- Ehneß, J. (2021, März 17). *OVH-Großbrand hat gravierende Folgen*. <https://www.cloudcomputing-insider.de/ovh-grossbrand-hat-gravierende-folgen-a-1008467/>
- Elhadi, S., Marzak, A., Sael, N., & Merzouk, S. (2018). Comparative Study of IoT Protocols. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3186315>
- Ellis, A., & Kauferstein, M. (2013). *Dienstleistungsmanagement Erfolgreicher Einsatz von prozessorientiertem Service Level Management*. Springer Berlin.
- Evans, D. (2011). The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. *CISCO white paper*, 1(2011), 1–11.
- Fachforum Autonome Systeme im Hightech-Forum. (2017, März 20). *Autonome Systeme—Chancen und Risiken für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft (Abschlussbericht)*. <https://www.acatech.de/publikation/fachforum-autonome-systeme-chancen-und-risiken-fuer-wirtschaft-wissenschaft-und-gesellschaft-abschlussbericht/>
- Fadlullah, Z. Md., Tang, F., Mao, B., Kato, N., Akashi, O., Inoue, T., & Mizutani, K. (2017). State-of-the-Art Deep Learning: Evolving Machine Intelligence Toward Tomorrow's Intelligent Network Traffic Control Systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4), 2432–2455. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2707140>
- Farooq, M. U., Waseem, M., Mazhar, S., Khairi, A., & Kamal, T. (2015). A Review on Internet of Things (IoT). *International Journal of Computer Applications*, 113(1), 1–7. <https://doi.org/10.5120/19787-1571>

- Flughafen Wien. (2018, Dezember 4). *Abheben im Netz der Zukunft: A1 implementiert Pre5G Kommunikationsnetz am Flughafen Wien*. [https://www.viennaairport.com/unternehmen/presse\\_\\_news/presseaussendungen\\_\\_news\\_2?news\\_beitrag\\_id=1543501845958](https://www.viennaairport.com/unternehmen/presse__news/presseaussendungen__news_2?news_beitrag_id=1543501845958)
- Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM, Paderborn, Dumitrescu, R., Westermann, T., & Falkowski, T. (2018). Autonome Systeme in der Produktion. *Industrie 4.0 Management*, 2018(6), 17–20. [https://doi.org/10.30844/I40M\\_18-6\\_17-20](https://doi.org/10.30844/I40M_18-6_17-20)
- Fünfhaus, A., Bugaj, M., & Hartmann, E. A. (2018). *Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0—Eine Herausforderung für die wissenschaftliche Weiterbildung*. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2018080913532109271668>
- Gefeke, J. (2019, Jänner 6). *Gefahr für Netzbetreiber? Chemieriese BASF will sein eigenes 5G-Netz bauen*. Business Insider. <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/chemieriese-basf-will-sein-eigenes-5g-netz-bauen-2019-1/>
- Gill, S. S. (2022). A Manifesto for Modern Fog and Edge Computing: Vision, New Paradigms, Opportunities, and Future Directions. In R. Nagarajan, P. Raj, & R. Thirunavukarasu (Hrsg.), *Operationalizing Multi-Cloud Environments* (S. 237–253). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74402-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74402-1_13)
- Goldsborough, P. (2016). A Tour of TensorFlow. *arXiv:1610.01178 [cs]*. <http://arxiv.org/abs/1610.01178>
- Hartmann, M. (2020). KI & Recht kompakt. *IT kompakt*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61700-7>
- HEAVY.AI. (2022, März 29). *What is GPGPU? Definition and FAQs*. <https://www.heavy.ai/technical-glossary/gpgpu>
- Henning, P. A. (2019). *Smart Home mit FHEM: Individuelle und flexible Open-Source-Hausautomatisierung*. Hanser.
- International Telecommunications Union, I. (2005). *ITU Internet Reports 2005 The Internet of Things—Executive Summary*. 28.
- Jamali, M. A. J., Bahrami, B., Heidari, A., Allahverdizadeh, P., & Norouzi, F. (2020). *Towards the Internet of Things: Architectures, security, and applications*. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2159699>
- Johner, C. (2017, April 12). Internet der Dinge (IoT) im Gesundheitswesen / in der Medizin. *Wissen zu medizinischer Software*. <https://www.johner-institut.de/blog/medizinische-informatik/internet-der-dinge-iot-im-gesundheitswesen/>

- Jouppi, N. P., Young, C., Patil, N., Patterson, D., Agrawal, G., Bajwa, R., Bates, S., Bhatia, S., Boden, N., Borchers, A., Boyle, R., Cantin, P., Chao, C., Clark, C., Coriell, J., Daley, M., Dau, M., Dean, J., Gelb, B., ... Yoon, D. H. (2017). In-Datacenter Performance Analysis of a Tensor Processing Unit. *Proceedings of the 44th Annual International Symposium on Computer Architecture*, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3079856.3080246>
- Kaufmann, T., & Servatius, H.-G. (2020). *Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer: Wege zu einem Management 4.0 und einer digitalen Architektur*. Springer Vieweg.
- Kersting, K., & Tresp, V. (2019). *Maschinelles und Tiefes Lernen* (Lernende Systeme – & Die Plattform für Künstliche Intelligenz, Hrsg.). <https://www.plattform-lernende-systeme.de/>
- Kim, T., Ramos, C., & Mohammed, S. (2017). Smart City and IoT. *Future Generation Computer Systems*, 76, 159–162. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.03.034>
- Krauße, M., & Konrad, R. (2014). *Drahtlose ZigBee-Netzwerke: Ein Kompendium*. Springer Vieweg. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-05821-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05821-0_13)
- Lackes, P. D. R. (2018, Februar 19). *Definition: Robustheit* [Text]. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/robustheit-46513>; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/robustheit-46513/version-269791>
- Lawler, R. (2021, Dezember 7). *An Amazon server outage caused problems for Alexa, Ring, Disney Plus, and deliveries*. The Verge. <https://www.theverge.com/2021/12/7/22822332/amazon-server-aws-down-disney-plus-ring-outage>
- Luber, S., & Donner, A. (2018, August 1). *Was ist NarrowBand IoT?* <https://www.ip-insider.de/was-ist-narrowband-iot-a-681057/>
- Mainzer, K. (2019). *Künstliche Intelligenz—Wann übernehmen die Maschinen?* (2., erweiterte Auflage). Springer.
- Maldonado, Y., Riccardi, A., Schütze, O., Trujillo, L., & Vasile, M. (Hrsg.). (2018). *NEO 2016: Results of the Numerical and Evolutionary Optimization Workshop NEO 2016 and the NEO Cities 2016 Workshop held on September 20-24, 2016 in Tlalnepantla, Mexico* (1st ed. 2018). Springer International Publishing : Imprint: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64063-1>
- Matros, R. (2012). *Der Einfluss von Cloud Computing auf IT-Dienstleister*. Gabler Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-4085-8>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarb. Aufl). Beltz.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>

- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. 7. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
- Mohamed, K. S. (2019). *The Era of Internet of Things: Towards a Smart World*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18133-8>
- Möhring, M., Keller, B., & Schmidt, R. (2019). Datenbasierte Resilienzsteigerung von IT-Services. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 56(2), 345–356. <https://doi.org/10.1365/s40702-019-00501-0>
- Muth, M. (2020, November 27). *AWS-Cloud-Ausfall: Wenn das Rückgrat des Internets schwächelt*. Süddeutsche.de. <https://www.sueddeutsche.de/digital/aws-amazon-cloud-ausfall-1.5129050>
- Nolting, M. (2021). *Künstliche Intelligenz in der Automobilindustrie: Mit KI und Daten vom Blechbieger zum Techgiganten*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-31567-2>
- OPC Foundation. (2008). Unified Architecture. *OPC Foundation*. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>
- Palmer, A. (2021, Dezember 7). *Amazon Web Services outage brings some delivery operations to a standstill*. CNBC. <https://www.cnn.com/2021/12/07/amazon-web-services-outage-causes-issues-at-disney-netflix-coinbase.html>
- Pink, A., & Koßmann, H. (2002). *Software-Entwicklung für Kommunikationsnetze*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56147-4>
- Pipeline (Prozessor). (2021). In *Wikipedia*. [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pipeline\\_\(Prozessor\)&oldid=217239089](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pipeline_(Prozessor)&oldid=217239089)
- Plass, C., Janssen, H., Rehmann, F. J., Wibbing, P., & Zimmermann, A. (2013). *Chefsache IT: Wie Sie Cloud Computing und Social Media zum Treiber Ihres Geschäfts machen* (1st ed. 2013). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37567-5>
- Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., & Clarke, S. (2016). Middleware for Internet of Things: A Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(1), 70–95. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2498900>
- Rickmann, H., Diefenbach, S., & Brüning, K. T. (2013). *IT-Outsourcing: Neue Herausforderungen im Zeitalter von Cloud Computing*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31462-9>
- Saleem, K., Bajwa, I. S., Sarwar, N., Anwar, W., & Ashraf, A. (2020). IoT Healthcare: Design of Smart and Cost-Effective Sleep Quality Monitoring System. *Journal of Sensors*, 2020, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2020/8882378>
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R., & Davies, N. (2009). The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing. *IEEE Pervasive Computing*, 8(4), 14–23. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2009.82>



- Schweiger, S. (2009). *Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern*. Gabler.
- Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017, 1–25. <https://doi.org/10.1155/2017/9324035>
- Siu, C., & Iniewski, K. (2018). *IoT and low-power wireless: Circuits, architectures, and techniques*. CRC Press/Taylor & Francis Group.
- Smarte Behälter*. (2020, September 30). Saubermacher. <https://saubermacher.at/leistung/smarte-behaelter/>
- Soni, D., & Makwana, A. (2017). A survey on mqtt: A protocol of internet of things (iot). *International Conference On Telecommunication, Power Analysis And Computing Techniques (ICTPACT-2017)*, 20.
- Stojmenovic, I., & Wen, S. (2014). *The Fog Computing Paradigm: Scenarios and Security Issues*. 1–8. <https://doi.org/10.15439/2014F503>
- Vashi, S., Ram, J., Modi, J., & Verma, S. (2017). *A Vision, Architectural Elements, and Security Issues*. 5.
- Vasisht, D., Kapetanovic, Z., Won, J., Jin, X., Chandra, R., Kapoor, A., Sinha, S. N., Sudarshan, M., & Stratman, S. (2017). *FarmBeats: An IoT Platform for Data-Driven Agriculture*. 17. <https://doi.org/10.5555/3154630>
- Vinoski, S. (2006). Advanced Message Queuing Protocol. *IEEE Internet Computing*, 10(6), 87–89. <https://doi.org/10.1109/MIC.2006.116>
- Von-Neumann-Zyklus. (2022). In *Wikipedia*. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Von-Neumann-Zyklus&oldid=220998605>
- Voß, P. H. (Hrsg.). (2020). *Logistik - die unterschätzte Zukunftsindustrie: Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0* (2., völlig neu gestaltete Auflage). Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27317-0>
- Weber, F. (2020). *Künstliche Intelligenz für Business Analytics: Algorithmen, Plattformen und Anwendungsszenarien*. Springer Vieweg.
- Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., Kong, J., & Jue, J. P. (2019). All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *Journal of Systems Architecture*, 98, 289–330. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.02.009>

- Zhang, M., Sun, F., & Cheng, X. (2012). Architecture of Internet of Things and Its Key Technology Integration Based-On RFID. *2012 Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design*, 294–297. <https://doi.org/10.1109/ISCID.2012.81>
- Zhong, C.-L., Zhu, Z., & Huang, R.-G. (2015). Study on the IOT Architecture and Gateway Technology. *2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES)*, 196–199. <https://doi.org/10.1109/DCABES.2015.56>