

# Bachelorthesis

zum Thema

## Entwicklung einer Benchmark für Docker-basierte Soft- und Hardwarelösungen

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Eingereicht von:	Marius Wolfer
Geboren am:	15.07.1995 in Stühlingen
Matrikelnummer:	296377
Studiengang:	EIB
Erstkorrektor:	Prof. Dr. Boris Böck HTWG Konstanz
Zweitkorrektor:	Vitas Kling Dunkermotoren GmbH
Abgabetermin:	21.01.2022

---

Bonndorf, 21.01.2022

---

## Abstract

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Benchmark im Bereich des Industrial Internet of Things. Das Benchmark wird in Kooperation mit der Dunkermotoren GmbH durchgeführt, welche sich aktuell im Aufbau einer Cloud Plattform als Service für ihre Kunden befindet. Produkte sollen zukünftig zentral fernüberwacht sowie virtualisiert und Funktionen geupdated werden können. Die Plattform soll die Grundlage für digitale Angebote wie Apps und Services bilden. In diesem Kontext müssen Gateways in die IT-Umgebung der Kunden bzw. Anlagenbetreiber integriert werden. Die Gateways agieren als Verbindungsstück zwischen Motoren und Cloud. Mithilfe von Docker Containern, welche auf den Gateways ausgeführt werden erfolgt die Softwarerealisierung auf der Edge. Im Zuge dieser Abschlussarbeit wird ein Test Szenario ausgeführt um Vergleichswerte für eine Benchmark zu qualifizieren. Das Kernelement der Arbeit ist ein Vergleich verschiedener Gateways und deren Eignung für zukünftige Anwendungsfälle bei der Dunkermotoren GmbH. Als Ergebnis wird eine Handlungsempfehlung für das Unternehmen verfasst. Interessant ist diese Arbeit für Entwickler im Bereich Industrial Internet of Things und Personen, die sich darüber informieren möchten wie ein Benchmark mit genannten Voraussetzungen umgesetzt werden kann.

# **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe.

Die verwendeten Literaturquellen sind im Literaturverzeichnis vollständig zitiert.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Bonndorf, 21.01.2022

---

(Unterschrift)

# **Sperrvermerk**

Die vorliegende Arbeit beinhaltet firmeninterne/vertrauliche Informationen der Firma Dunkermoten GmbH und ist nicht zur Einsichtnahme durch Mitarbeiter anderer Firmen oder der Hochschule bestimmt.

Die Bachelorthesis darf nur zu Prüfungszwecken an der HTWG Konstanz verwendet werden und ohne ausdrückliche Genehmigung der Dunkermotoren GmbH weder Dritten zugänglich gemacht noch vervielfältigt noch ganz oder in Auszügen veröffentlicht werden.

Der Sperrvermerk ist ab dem 10.01.2022 bis zum 10.01.2027 gültig.

Bonndorf, 21.01.2022

---

(Unterschrift)

# **Vorwort**

Diese Bachelorthesis verfasse ich als Abschlussarbeit meines Studiums der Elektro- und Informationstechnik an der HTWG in Konstanz. Seit dem 1. Semester begleitet mich Dunkermotoren GmbH als Ausbildungspartner in Form eines Trainee Studiums. Das Unternehmen hat mir interessante Praxisseinsätze und Auslandsfahrten ermöglicht, dafür möchte ich mich herzlichst bedanken. Bedanken möchte ich mich bei der technischen Entwicklung, der Personalabteilung und allen Firmenangehörigen die mich über das gesamte Studium gefördert haben.

Danke an Herrn Prof. Boris Böck für die hochschulseitige Betreuung, den regelmäßigen Austausch und die freundliche Unterstützung trotz Pandemie Schwierigkeiten.

Ein besonderer Dank gilt der neu gegründeten Marke nexofox allen voran Vitas Kling welcher die Hauptbetreuung für meine Arbeit übernommen hat und Markus Weishaar welcher mich bravurös in das neue Team integriert hat. Bei der Entwicklung des Benchmarks hat mir Vitas stets einen Rahmen vorgegeben, sodass ich mich gezielt vorarbeiten konnte. Mit seiner Unterstützung konnte ich den Fokus setzen den ich gebraucht habe um das Benchmark voranzutreiben.

Ich wünsche viel Freude und Erkenntnis beim Lesen dieser Bachelorarbeit.

Marius Wolfer  
Geißlingen den 27.12.2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>II</b>
<b>Sperrvermerk</b>	<b>III</b>
<b>Vorwort</b>	<b>IV</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung in das Unternehmen . . . . .	1
1.1.1 Dunkermotoren GmbH . . . . .	1
1.1.2 nexofox . . . . .	2
1.2 Problemstellung . . . . .	2
1.3 Ziel der Arbeit . . . . .	4
1.4 Vorgehensweise . . . . .	4
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>6</b>
2.1 Internet of Things / Industrial Internet of Things . . . . .	6
2.2 IT-OT Integration . . . . .	6
2.3 Gateways . . . . .	7
2.4 Docker . . . . .	7
2.5 Benchmark . . . . .	8
<b>3 Konzeptionierung der Benchmark</b>	<b>9</b>
3.1 Methodiken für die Konzeptionierung der Benchmark . . . . .	9
3.1.1 Die fünf Phasen einer Benchmark . . . . .	9
3.1.2 Stolpersteine . . . . .	10
3.2 Zielsetzungsphase . . . . .	11
3.2.1 Kunbus - Revolution Pi . . . . .	11
3.2.2 Hilscher - netFIELD Connect . . . . .	11
3.2.3 Exceet - Connect . . . . .	12

3.2.4	Finale Zielsetzung . . . . .	13
3.3	Interne Analyse . . . . .	14
3.3.1	Test Szenario . . . . .	14
3.3.2	Aufstellen der Benchmark Kategorien . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Durchführung der Benchmark</b>	<b>17</b>
4.1	Softwarebereitstellung mit Docker . . . . .	17
4.1.1	Erstellung eines Softwarepackages . . . . .	17
4.1.2	Bereitstellung der Software über GitHub . . . . .	18
4.1.3	Herunterladen und Ausführen des Softwarepackages . . . . .	19
4.1.4	Softwarebereitstellung - Einfluss auf die Benchmark . . . . .	19
4.2	Verwaltung der Gateways und Software . . . . .	19
4.2.1	Entwickeln einer Webapplikation . . . . .	19
4.2.2	Web Applikation - Einfluss auf die Benchmark . . . . .	20
4.3	Ausarbeiten der Benchmark Kategorien und Kriterien . . . . .	20
4.3.1	Wertigkeit der Kriterien . . . . .	21
4.3.2	Wertigkeit - Technische Details . . . . .	21
4.3.3	Wertigkeit - Aufwand für Inbetriebnahme . . . . .	23
4.3.4	Wertigkeit - Lokaler Zugriff . . . . .	25
4.3.5	Wertigkeit - Fernzugriff . . . . .	25
4.3.6	Wertigkeit - Handling und Alltagseignung . . . . .	26
4.3.7	Wertigkeit - Sicherheit . . . . .	28
4.3.8	Wertigkeit - Finanzierung . . . . .	29
4.4	Priorisierung der Kriterien . . . . .	29
4.4.1	Priorisierung - Technische Details . . . . .	30
4.4.2	Priorisierung - Aufwand für Inbetriebnahme . . . . .	31
4.4.3	Priorisierung - Lokaler Zugriff . . . . .	31
4.4.4	Priorisierung - Fernzugriff . . . . .	32
4.4.5	Priorisierung - Handling und Alltagseignung . . . . .	33
4.4.6	Priorisierung - Sicherheit . . . . .	33
4.4.7	Priorisierung - Finanzierung . . . . .	34
4.5	Integration der Stolpersteine . . . . .	34
4.6	Setzen der Benchmarkgrenzen . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Ergebnis der Benchmark</b>	<b>37</b>
5.1	Auswertung des Test Szenarios . . . . .	37
5.1.1	Generische Übersicht . . . . .	37

## *Inhaltsverzeichnis*

---

5.1.2	Kunbus . . . . .	39
5.1.3	Hilscher . . . . .	40
5.1.4	Exceet . . . . .	40
5.2	Kriterienvalidierung mit Hilfe der Wertigkeit und Priorität . . . . .	41
5.2.1	Berechnung des Endergebnis für ein Kriterium mit Blick auf die Gesamtauswertung . . . . .	41
5.2.2	Auswertung - Technische Details . . . . .	42
5.2.3	Auswertung - Aufwand für Inbetriebnahme . . . . .	44
5.2.4	Auswertung - Lokaler Zugriff . . . . .	44
5.2.5	Auswertung - Fernzugriff . . . . .	45
5.2.6	Auswertung - Handling und Alltagseignung . . . . .	46
5.2.7	Auswertung - Sicherheit . . . . .	47
5.2.8	Auswertung - Finanzierung . . . . .	48
5.3	Auswertung der gesamten Benchmark . . . . .	51
5.3.1	Gesamtauswertung - Kriterien und ihre Relevanz für die Benchmark . . . . .	51
5.3.2	Gesamtauswertung - Kriterien und ihre Relevanz für die Benchmark . . . . .	53
5.3.3	Einordnung des Benchmarks mit Hilfe der Benchmarkgrenzen	54
5.4	Handlungsempfehlung . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>56</b>
6.1	Reflexion der Abschlussarbeit . . . . .	56
6.2	Ausblick . . . . .	56

# **Abkürzungsverzeichnis**

<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>CLI</b>	Command Line Interface
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>DBZ</b>	Deutsches Benchmarking Zentrum
<b>GUI</b>	General User Interface
<b>HTTPS</b>	Hypertext Transfer Protocol Secure
<b>IIoT</b>	Industrial Internet of Things
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>IT</b>	Informationstechnik
<b>OT</b>	Operative Technologie / Betriebstechnik
<b>PoC</b>	Proof of Concept
<b>PoV</b>	Proof of Value
<b>REST</b>	Representational State Transfer
<b>SSH</b>	Secure Shell

# **Abbildungsverzeichnis**

1	Dunkermotoren mit Hauptsitz in Bonndorf . . . . .	2
2	Aufbau Kundennetzwerk . . . . .	3
3	Kunbus Gateway . . . . .	11
4	Hilscher Gateway . . . . .	12
5	Exceet Gateway . . . . .	12
6	Prozess zum Starten eines Docker Containers . . . . .	17
7	Software Release . . . . .	18
8	Generische Architektur . . . . .	38
9	Kunbus Architektur . . . . .	39
10	Hilscher Architektur . . . . .	40
11	Exceet Architektur . . . . .	41

# Tabellenverzeichnis

1	Benchmarkübersicht . . . . .	13
2	Wertigkeit für ein Benchmarkkriterium . . . . .	21
3	Wertigkeiten der Kategorie „Technische Details“- Teil 1 . . . . .	22
4	Wertigkeiten der Kategorie „Technische Details“- Teil 2 . . . . .	23
5	Wertigkeiten der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“ . . . . .	24
6	Wertigkeiten der Kategorie „Lokaler Zugriff“ . . . . .	25
7	Wertigkeiten der Kategorie „Fernzugriff“ . . . . .	26
8	Wertigkeiten der Kategorie „Handling und Alltagseignung“ . . . . .	27
9	Wertigkeiten der Kategorie „Sicherheit“ . . . . .	28
10	Wertigkeiten der Kategorie „Finanzierung“ . . . . .	29
11	Priorisierungsfaktoren für die Benchmarkkriterien . . . . .	30
12	Priorisierung der Kategorie „Technische Details“ . . . . .	30
13	Priorisierung der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme.“ . . . . .	31
14	Priorisierung der Kategorie „Lokaler Zugriff“ . . . . .	31
15	Priorisierung der Kategorie „Fernzugriff“ . . . . .	32
16	Priorisierung der Kategorie „Handling- und Alltagseignung“ . . . . .	33
17	Priorisierung der Kategorie „Sicherheit“ . . . . .	33
18	Priorisierung der Kategorie „Finanzierung“ . . . . .	34
19	Zeichen für die Bewertung eines Benchmarkkriteriums . . . . .	42
20	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Technische Details“ . . . .	43
21	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“	44
22	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Lokaler Zugriff“ . . . . .	45
23	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Fernzugriff“ . . . . .	46
24	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Handling und Alltagseignung“	47
25	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Sicherheit“ . . . . .	48
26	Auswertung von Kriterien der Kategorie „Finanzierung“ . . . . .	49
27	Benchmarkübersicht mit Zeichen für Endergebnisse . . . . .	51
28	Gesamtauswertung - Benchmarkübersicht Teil 1 . . . . .	53
29	Gesamtauswertung - Benchmarkübersicht Teil 1 . . . . .	54

# 1 Einleitung

Die Digitalisierung beeinflusst mit steigendem Wachstum die Geschäftsmodelle und Prozesse der Industrie. In den letzten Jahren fand eine prägende Entwicklung zur Abbildung analoger Produkte in der digitalen Welt statt. Dabei haben sich Trends wie das Internet of Things (IoT) im Bereich Industrie 4.0 weiterentwickelt. Die Spezifikation des Industrial Internet of Things (IIoT) bringt neue Herausforderungen für die Industrie mit sich.

In diesem Kapitel wird die Ausgangssituation dieser Abschlussarbeit bei Dunkermotoren GmbH beschrieben. Nach einer kurzen Vorstellung des Unternehmens erfolgt eine Veranschaulichung der Problemstellung. Anschließend wird das Ziel der Arbeit und die Vorgehensweise erklärt.

## 1.1 Einführung in das Unternehmen

### 1.1.1 Dunkermotoren GmbH

Die vorliegende Arbeit wird in Kooperation, mit der in Bonndorf im Schwarzwald ansässigen Dunkermotoren GmbH erstellt. Die Dunkermotoren GmbH ist ein führender Entwickler und Hersteller, von rotativer und linearer Antriebstechnik von eins bis 4000 Watt Abgabeleistung. Neben dem umfassenden Angebot an Antrieben werden auch Planeten- und Schneckengetriebe sowie Bremsen und Gebersysteme hergestellt. Die angebotenen Antriebslösungen werden in unterschiedlichsten Branchen eingesetzt, darunter fällt z.B. die industrielle Automatisierung, Gebäude-, Labor- und Medizintechnik. Weltweit arbeiten ca. 1800 Mitarbeiter bei der Dunkermotoren GmbH, welche sich neben dem Hauptsitz in Bonndorf im Schwarzwald auf Standorte in China, Serbien, Italien, Tschechien und USA verteilen. Seit 2012 ist die Dunkermotoren GmbH ein Teil des amerikanischen Konzerns Ametek Inc. [5].



Quelle: Dunkermotoren GmbH

Abbildung 1: Dunkermotoren mit Hauptsitz in Bonndorf

### 1.1.2 nexofox

Unter der 2021 gegründeten Eigenmarke „nexofox“ werden den Kunden ganzheitliche Lösungsansätze rund um den Einsatz und die Vernetzung der Motoren angeboten. Damit ist nexofox eine Marke speziell für IIoT Software und Services. Dies umfasst alle Themen, die auf die Motoren aufsetzen und dessen Funktion ergänzen. Zur neuen, ganzheitlichen Lösung nexofox gehören Programmierung mit Motion-Code, Cloud Lösungen, Digitale Services, Software- und Vernetzungskonzeptionen, Beratung und Workshops sowie Schulungen und Support[6].

## 1.2 Problemstellung

Der Automatisierungsmarkt fordert immer stärkere sowie digitale Services und Angebote ergänzend zu den reinen Automatisierungskomponenten. Aus diesem Grund hat Dunkermotoren nexofox als Marke etabliert um unter diesem Label Software und Dienstleistungen im IIoT Umfeld anbieten zu können. Um eine zukunftstaugliche Lösung der IoT-Plattform zu erproben ist es notwendig eine sichere Verwaltung verteilter Software im Kundennetzwerk zur gewährleisten. Hierfür sollen Gateways eingesetzt werden, welche als Verbindungsglied zwischen Cloud und

## 1 Einleitung

---

Elektromotoren dienen. Der Markt bietet hierfür noch keine Standardlösung, weshalb auf den ersten Blick nicht ersichtlich ist welche Gateways und welcher Ansatz zur Softwareverwaltung passend für Dunkermotoren ist. Was sich für das Unternehmen bereits als Lösungskonzept durchgesetzt hat ist Docker. Was Docker ist und was für eine Rolle Docker in dieser Abschlussarbeit einnimmt darauf wird in Kapitel 4.1 genauer eingegangen. Grundsätzlich ist Docker dazu da um Softwarekomponenten zu isolieren und in Form von Containern zu virtualisieren.

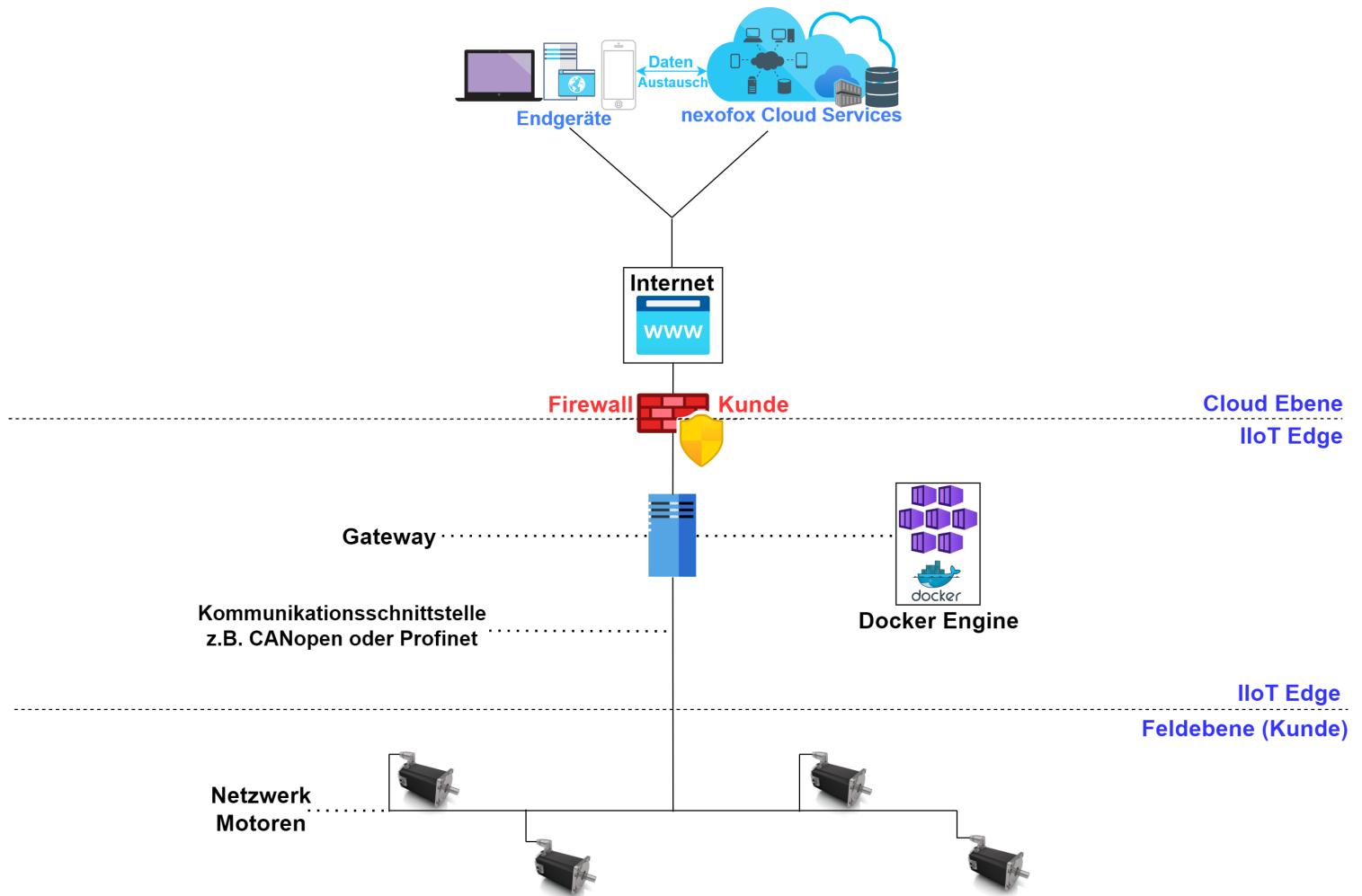


Abbildung 2: Aufbau Kundennetzwerk

In Abbildung 2 ist beispielhaft ein Netzwerkaufbau beim Kunden von Dunkermotoren abgebildet. Das Netzwerk kann in drei Ebenen eingeteilt werden.

In der oberen Ebene befindet sich die Anbindung eines Endanwenders über das Internet zum Gateway. Ein Anwender kann ein User über ein Endgerät sein oder

ein laufender Service auf der nexofox Cloud.

Eine Ebene darunter befindet sich die Edge, welche das Kundennetzwerk repräsentiert. Das Kundennetzwerk wird nochmals unterteilt - der untere Teil stellt das Aktorenfeld dar wo die Antriebe von Dunkermotoren eingesetzt werden. In der darüberliegenden Zwischenebene befindet sich das Gateway welches die beiden umliegenden Ebenen miteinander verbindet. Auf dem Gateway befindet eine laufende Docker Engine zur Verwaltung der Softwarekomponenten. (Kap. 2.4 - Docker)

Aktuell fehlen Informationen für den praktischen Einsatz der Gateways, welches Modell sich am besten für das beschriebene Einsatzszenario eignet und wie die Integration in das Kundennetzwerk erfolgen soll.

## **1.3 Ziel der Arbeit**

Die Gateway Anbieter stellen verschiedene Lösungsansätze zur Verwaltung der Gateways und deren Software zur Verfügung. In dieser Thesis werden drei Gateways von unterschiedlichen Distributoren verglichen. Die Geräte besitzen jeweils ihre eigenen Hardware Profile und unterstützen verschiedene Technologien für die Anbindung zur Cloud bzw. zum Kundennetzwerk. Ziel der Arbeit ist es diese drei Optionen genauer zu analysieren und herauszufinden welche Lösung sich am besten für Dunkermotoren eignet. Als Endeergebnis soll eine Handlungsempfehlung formuliert werden.

## **1.4 Vorgehensweise**

Das Hauptwerkzeug dieser Thesis ist ein Bechmark. Ein Vergleich von Gateways für den Einsatz beim Kunden und den dazugehörigen Anforderungen. Für diesen Vergleich wird ein Benchmark Konzept entwickelt und ausgeführt.

Zunächst wird in Kapitel 2 eine theoretische Einführung in die für die Abschlussarbeit relevanten Themen gegeben.

Anschließend erfolgt in Kapitel 3 die Erarbeitung eines Konzepts für das Benchmark.

Sie bildet die Basis für das Benchmark - Ziel ist es möglichst alle Faktoren die für das Unternehmen relevant sind mit in das Benchmark Konzept einzubinden.

Nach der Konzeptionierung erfolgt in Kapitel 4 die Durchführung des Benchmarks. Bei der Durchführung gilt es die zuvor bestimmten Benchmark Faktoren genauer

## *1 Einleitung*

---

zu definieren und exakte Vergleichswerte zu bestimmen.

Im darauffolgenden Kapitel 5 wird das Benchmark ausgewertet und validiert. Nach der Bewertung wird eine Handlungsempfehlung für das Unternehmen verfasst.

Zum Abschluss befindet sich in Kapitel 6 ein Fazit der Thesis.

# **2 Stand der Technik**

Um sich dem Thema IIoT zu nähern und ein grundlegendes Verständnis für die Thesis zu schaffen werden in diesem Kapitel die relevanten Begrifflichkeiten erklärt. Zudem werden Technologien beschrieben, welche das technische Hintergrundwissen für diese Arbeit vertiefen.

## **2.1 Internet of Things / Industrial Internet of Things**

Moderne Lebenstrends in der Gesellschaft steigern das Streben nach einer 24 x 7 Konnektivität. Um diese Konnektivität rund um die Uhr zu ermöglichen wurde nach fast vier Jahrzehnten seit der Erfindung des Internets das Konzept des IoTs ins Leben gerufen[2, S. 3]. Das IoT ist ein technologisches Paradigma welches ein globales Netz von Maschinen und Geräten beschreibt die miteinander interagieren können. Um dies zu ermöglichen muss ein Objekt laut gesammelter Definition von Zaheeruddin and H. Gupta durch die Bereitstellung von Sensor-, Steuerungs-, Rechen- und Kommunikationsfähigkeiten in ein intelligentes Objekt bzw. Smart Object verwandelt werden. Die Funktionalitäten dieser intelligenten Objekte ermöglicht eine gemeinsame Nutzung und Verarbeitung von Informationen über verschiedene verteilte Plattformen hinweg[2, S. 3].

IIoT ist die Überführung von IoT in die Industriewelt. Upadrsta formuliert IIoT als aktuellen Trend zur Automatisierung und zum Datenaustausch in der Fertigungstechnik. Industrie 4.0 realisiert das was als „intelligente Fabrik“ bzw. Smart Factory bezeichnet wird[14, S. 9]. IIoT umfasst cyber-physische Systeme wie IoT und Cloud Computing in der Industrie. Laut Upadrsta steht dabei die Integration von IT-Systemen (informationstechnischen Systemen) mit OT-Systemen (Betriebstechnologien) an erster Stelle[14, S. 9].

## **2.2 IT-OT Integration**

Bis heute sind Betriebstechnologien (OT) nur sehr begrenzt in IT-Systeme integriert[14, S. 14]. Upadrsta nennt als Grund für die mangelnde Integration, dass sich bei den Betriebstechnologien alles um Maschinen, die Sicherheit der Menschen und die Herstellung von Produkten dreht. Heute setzen zwar immer mehr Unternehmen

auf IoT Technologien wie intelligente Produktionsstraßen oder andere mit Sensoren ausgestattete Produkte. Jedoch besteht noch immer die Notwendigkeit diese zu optimieren sowie Daten, Erfahrungen über Anwendungen und Infrastrukturen zu sammeln[14, S. 14].

## 2.3 Gateways

Um die Vernetzung in der Industrie umzusetzen wird eine Schnittstelle benötigt, welche das IT und OT Netzwerk miteinander verbindet. Diese Schnittstelle bilden Gateways. Sie sammeln Daten und werden aktiv im OT Netzwerk integriert. Laut Herrero bilden Gateways den Brückenschlag zwischen zugangsseitige IoT-Geräten wie Sensoren, Aktoren und Steuerungen sowie Kernanwendungen für Echtzeitanalysen. Im Vergleich zu anderen Geräten müssen diese deshalb eine höhere Rechenkomplexität, Rechenressourcen und leistungsstarke eingebettete Prozessoren besitzen um gleichzeitig mit mehreren Sensoren, Aktoren und Steuerungen zu interagieren[8, S. 27].

## 2.4 Docker

Eine Hauptkomponente für die Softwarerealisierung ist Docker. Docker gilt als ein Open Souce Projekt, welche mit Containervirtualisierung die Bereitstellung von Anwendungen vereinfacht. Es bietet die Möglichkeit einen Prozess von dem System zu isolieren, auf dem es ausgeführt wird. Cook beschreibt dies so, dass der Code und die benötigten Ressourcen, die zum Ausführen einer Anwendung benötigt werden, unabhängig vom Betriebssystem isoliert werden. Er hebt hervor, dass dadurch der Software zwar eine zusätzliche Komplexitätsebene hinzugefügt wird, jedoch bietet es für die Anwendungsentwicklung einen enormen Mehrwert. Die lokale Entwicklungsumgebung mit der eine Anwendung entwickelt wird ist somit identisch zu jeder Umgebung in welcher die Anwendung später ausgeführt wird. Somit muss sich ein Entwickler keine Gedanken über das zugrunde liegende Betriebssystem oder die Hardware machen für die er eine Anwendung entwickelt, sondern nur, dass die Docker-Engine darauf läuft. Durch Containerisierung löst Docker das Problem der Berücksichtigung all der Entwicklungs-, Test- und Produktionsumgebungen in einem einzigen System.

Eine lokal entwickelte containerisierte Anwendung kann mithilfe von Docker verifiziert und als Image auf eine Container Registry ins Internet hochgeladen werden.

Somit ist es möglich die entwickelte Anwendung in Form eines Containerimages von überall aus herunterzuladen. Der Vorteil ist, dass es aus Entwicklersicht nicht notwendig ist etwas über die entfernte Umgebung zu wissen worauf die entwickelte Containerapplikation später ausgeführt wird[4].

## 2.5 Benchmark

Ursprünglich kommt der Begriff „Benchmark“(engl. Bench = Werkbank, mark = markieren) von einer Markierung auf einer Werkbank welche dazu diente Längen von Teilen zu vergleichen, ob ein Teil länger oder kürzer als gewünscht war, so Kounev[12, S. 3-4]. Er erklärt, dass sich in der Informatik ein Benchmark auf einen Test oder eine Reihe von Tests bezieht die dazu dienen, die Leistung eines Computersystems mit der Leistung anderer Systeme zu vergleichen. Während sich das traditionelle Benchmark auf die Bewertung der Leistung im klassischen Sinne bezieht (Menge der geleisteten Arbeit im Vergleich zur Zeit und den verwendeten Ressourcen) wurde in den letzten Jahren der Umfang des Benchmarking, über diese klassischen Leistungsaspekte hinaus, erweitert. Es bezieht die Art und Weise oder Effizienz mit der etwas reagiert oder seinen Zweck erfüllt mit ein. Moderne Benchmarks können somit als Leistungsbewertung im weiteren Sinne angesehen werden. Ein Benchmark ist ein Werkzeug in Verbindung mit einer Methodik für die Bewertung und den Vergleich von Systemen oder Komponenten im Hinblick auf bestimmte Eigenschaften wie Leistung, Zuverlässigkeit oder Sicherheit[12, S. 3-4].

Diese Abschlussarbeit reduziert sich nicht auf einen technischen Vergleich von Gateways. Das System in welchem diese eingebunden werden spielt ebenfalls eine Rolle.

# 3 Konzeptionierung der Benchmark

In diesem Kapitel wird das Konzept für das Benchmark entwickelt.

## 3.1 Methodiken für die Konzeptionierung der Benchmark

### 3.1.1 Die fünf Phasen einer Benchmark

Das Vorgehen bei einer Benchmark wird vom Deutschen Benchmarking Zentrum (DBZ) folgend vorgestellt: „Das Vorgehen bei einem Benchmarking-Projekt wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben. Zwar unterscheiden sich die Vorgehensmodelle meist in der Bezeichnung und Anzahl der Phasen, jedoch sind diese inhaltlich weitgehend vergleichbar“[11].

Eine allgemeine Definition einer klassischen Benschmark kann nach dem DBZ in fünf Phasen unterteilt werden. Dieses 5-Phasen-Modell bildet die Grundlage für eine Benchmark und sind wie folgt definiert:

**Zielsetzung:** In der Zielsetzungsphase werden die Benchmark-Objekte bestimmt, sowie die Ziele des Benchmarks definiert. Es wird die Betrachtungstiefe festgelegt und eine Richtung vorgegeben in welche das Benchmark validiert werden soll. Die Zielsetzungsphase wird in Kapitel 3.2 umgesetzt“[11].

**Interne Analyse:** Bei der internen Analyse werden die Benchmarking-Objekte genauer unter die Lupe genommen. Es werden die Messgrößen und ursächlichen Einflussfaktoren bestimmt. Außerdem erfolgt eine Reduktion auf die für das Benchmark relevanten Bestandteile. Diese Phase wird in Kapitel 3.3 erarbeitet“[11].

**Vergleich:** Während der Vergleichsphase werden die Daten für das Benchmark erhoben und validiert. Die Benchmark-Objekte werden anhand der zuvor erarbeiteten Messgrößen und Einflussfaktoren miteinander verglichen. Das bedeutet, dass die grundlegenden Vorteile (bzw. Nachteile) der jeweiligen Benchmark-Objekte erarbeitet werden. Die Vergleichsphase wird in Kapitel 4 implementiert“[11].

**Maßnahmenentwicklung:** Bei der Maßnahmenentwicklung werden die erarbeiteten Daten und Anomalien abgeleitet. Es wird ein Stärken-Schwächen-Profil der Benchmark-Objekte bestimmt. Es werden die Ergebnisse des Benchmarks interpre-

tiert und validiert. In dieser Abschlussarbeit wird diese Phase den finalen Schritt des Benchmarks implementieren. Als Endergebnis wird eine Handlungsempfehlung für das Unternehmen formuliert. Die Maßnahmenentwicklung, der Vergleich der Gatewaykonzepte und die Handlungsempfehlung sind in Kapitel 5 aufgeführt“[11].

**Umsetzung:** Zuletzt erfolgt die Umsetzungsphase bei der die konkreten Maßnahmen, welche zuvor bei der Maßnahmenentwicklung erarbeitet wurden, umgesetzt werden. Dieser Schritt fällt in dieser Arbeit weg. Die Zielsetzung der Thesis beinhaltet ausschließlich die Formulierung der Handlungsempfehlung aus der Phase der Maßnahmenentwicklung“[11].

#### 3.1.2 Stolpersteine

Das deutsche Benchmark Zentrum hat zusätzlich zur Beschreibung der Phasen einige Stolpersteine definiert auf die im folgenden eingegangen wird. Die Komplexität eines Benchmarking-Vergleiches erfordert eine gewissenhafte Planung und Umsetzung. Probleme können durch mangelnde Erfahrung und einem unzureichenden Ergebnis des Benchmark-Vergleiches entstehen[11].

Das DBZ hat deshalb die klassischen Stolpersteine beim Benchmarking wie folgt definiert:

- „Es wird keine klare Zielsetzung hinsichtlich der Benchmarking-Ergebnisse formuliert“[11]
- „Die Ziele des Benchmarkings werden nicht mit den Unternehmenszielen verknüpft“[11]
- „Der direkte Vergleich wird bereits angestoßen, bevor die Ursache-Wirkungsketten aufgedeckt sind“[11]
- „Definitionen sind uneinheitlich oder unverständlich und werden von den Benchmarking-Partnern unterschiedlich interpretiert“[11]
- „Fehler in der Datenerhebung werden nicht erkannt und beseitigt“[11]
- „Die Ergebnisse und die Chancen zum konstruktiven Austausch mit anderen Unternehmen werden nicht genutzt“[11]

Um das Benchmark zu vervollständigen werden diese von der DBZ definierten Stolpersteine in Kapitel 4.5 in das Benchmark Konzept mit einbezogen.

## 3.2 Zielstellungsphase

Im folgenden Kapitel werden die Benchmark Objekte vorgestellt und die Zielstellung des Benchmarks definiert. Es stehen insgesamt drei verschiedene Gateways zur Auswahl welche von unterschiedlichen Herstellern stammen. Die Vorauswahl der Gateways wurde von Dunkermotoren getroffen, sodass der Fokus der Bachelorarbeit auf diese drei Profile beschränkt werden kann. Die Reihenfolge, in welcher die Gateways in dieser Abschlussarbeit behandelt werden, hat keinerlei Bedeutung.

### 3.2.1 Kunbus - Revolution Pi

Kunbus ist ein Unternehmen welches den Fokus auf industrielle Kommunikation und Automatisierung legt. Der „Revolution Pi“ entspricht einem Raspberry Pi welcher für Industriezwecke modifiziert wurde. Auf diesem Gateway läuft ein Raspbian Betriebssystem welches als Linux Betriebssystem viele Möglichkeiten zur Erweiterung bietet[13].



Abbildung 3: Kunbus Gateway

### 3.2.2 Hilscher - netFIELD Connect

Hilscher bietet mit netFIELD eine IoT Plattform an welche bereits viele IoT Funktionalitäten realisiert und künftig weiterentwickelt wird. Das „netFIELD Connect“ basiert ebenfalls auf einem Raspberry Pi, jedoch verwendet Hilscher mit netFIELD OS ihr eigenes Betriebssystem welches Yocto Linux basiert[9].



Abbildung 4: Hilscher Gateway

### 3.2.3 Exceet - Connect

Das Unternehmen Exceet Secure Solutions legt einen hohen Stellwert auf Sicherheit und orientiert sich an der IEC 62443 Norm für Industrial IoT. Das „Exceet Connect“ basiert auf einem sicherheitsorientierten Design mit Secure Boot, verschlüsseltem Dateisystem, Fallback-Mechanismen und einem Secure-Element[7].



Abbildung 5: Exceet Gateway

### 3.2.4 Finale Zielsetzung

Das Ziel der Benchmark ist mit dem Ziel dieser Arbeit (Kapitel 1.3) verknüpft. Es soll das Benchmark-Objekt identifiziert werden, welches sich am besten für Dunkermotoren eignet. Als Resultat soll eine Benchmarkübersicht erstellt werden, welche die grundlegenden Unterscheidungen der Gateways in einer Tabelle visualisiert. Sodass möglichst viele Informationen der Benchmark in einer Abbildung dargestellt werden. Hierfür soll ein Test Szenario konzipiert und umgesetzt werden um die Bewertung für die Kriterien zu stützen. Ein wichtiger Aspekt den es hier zu beachten gilt ist die Betrachtung für den Dunkermotoren spezifischen Anwendungsfall.

Beispielhaft wird in der folgenden Tabelle gezeigt wie die Benchmarkübersicht aussehen könnte.

Benchmarkübersicht	Benchmark-Objekte		
	Gateway 1	Gateway 2	Gateway 3
Kategorie 1	+	++	+
Kriterium 1	++	o	+
Kriterium 2	-	-	+
<i>Flash-Speicher</i>	<i>16 GB</i>	<i>16GB</i>	<i>32 GB</i>
...	...	...	...
Kategorie 2	+	++	+
Kriterium 1	o	+	++
Kriterium 2	+	-	-
...	...	...	...

Tabelle 1: Benchmarkübersicht

Mit Hilfe von Kategorien und Kriterien sollen die Gateways verglichen und bewertet werden. Außerdem sollen Informationen über die Gateways wie z.B. der Speicher mit in die Tabelle einfließen. Im Beispiel erfolgt die Bewertung mit den Zeichen „-“; „-“, „o“, „+“ und „++“. Welche Wertigkeiten die Zeichen besitzen darauf wird in der Auswertung in Kapitel 5.2 eingengangen.

Bei der Evaluierung des Benchmarks soll das Verständnis für den systematischen Aufbau, wie die Gateways in einem Netzwerk integriert werden, genauer analysiert und vertieft werden.

Um geeignete Kriterien für die übergeordneten Kategorien zu finden und das Verständnis für die Systemintegration der Gateways zu vertiefen wird ein Test

Szenario entworfen (Kapitel 3.3.1).

## 3.3 Interne Analyse

Der Entwurf eines Test Szenarios soll dabei helfen ein Verständnis dafür zu bilden wie die Benchmark-Objekte bzw. Gateways im Kundennetz integriert werden können und was für Zugriffsmöglichkeiten vorhanden sind. Um geeignete Bewertungsfaktoren zu finden sollen Möglichkeiten für die Verwaltung der Gateways und deren auszuführenden Softwarekomponenten verglichen werden. Es werden Benchmark Kategorien bestimmt um diesen Vergleich zu strukturieren. Jede Kategorie beinhaltet mehrere Kriterien, sodass jede Kategorie mehrere Faktoren für die Bewertung erhält. Die Kriterien werden mit Hilfe der Erfahrungswerte des Test Szenarios und den Anforderungen von Dunkermotoren aufgestellt. Es soll außerdem eine Priorisierung der Kriterien erfolgen um diese verhältnismäßig abzugrenzen. Ein weiterer Teil des Benchmark Konzepts beinhaltet die Integration der in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Stolpersteine (Kapitel 4.5 sowie das Setzen von Benchmarkgrenzen (Kapitel 4.6).

### 3.3.1 Test Szenario

Um die Unterscheidungen der Gateways, ihren Herstellern und was diese bieten herauszuarbeiten wird für die Durchführung des Benchmarks ein Test Szenario konzipiert. Dieses beinhaltet die Entwicklung von grundlegenden Funktionen welche die Gateways später erfüllen sollen. Hierzu gehören Mechanismen zur Softwareverwaltung sowie zur Verwaltung der Gateways selbst.

#### Softwarebereitstellung

Im ersten Schritt soll Software für den Einsatz auf der Kunden Edge zur Verfügung gestellt werden. Es muss eine Plattform zur Verfügung stehen wo neue Software veröffentlicht und aktualisiert werden kann. Der Prozess eines Softwarerelease soll dabei möglichst einfach und standardisiert ablaufen. Außerdem sollte die Plattform von überall aus erreichbar sein. Als Beispiel: Es gibt einen Kunden der in seiner Produktionsanlage ein Edge-Gateway, welches von nexofox zur Verfügung gestellt wird, betreibt. Wenn eine veraltete Softwarekomponente im schlimmsten Fall eine Sicherheitslücke erzeugt soll es problemlos möglich sein die aktuelle Version der

Softwarekomponente herunterzuladen bzw. ein Sicherheitsupdate auszuführen.

#### Verwaltung der Gateways und Software

Im zweiten Schritt soll ein Tool für die Verwaltung der Softwarepakete auf den Gateways entwickelt werden. Dabei soll festgestellt werden inwiefern sich die jeweiligen Benchmark Kandidaten bei der Verwaltung von Soft- und Hardware von einander unterscheiden. Ziel ist es die Unterschiede beim Zugriff auf die Gateways ausfindig zu machen und die möglichen Technologien, die für die Gateway- und Softwareverwaltung zu Verfügung stehen, zu identifizieren.

#### 3.3.2 Aufstellen der Benchmark Kategorien

Die Kategorien für das Benchmark werden anhand der Gateway Profile und dem künftig geplanten Einsatzszenario der Gateways bestimmt. Hierfür wird in diesem Kapitel ein Konzept erarbeitet. Mit Hilfe des entwickelten Konzepts werden bei der Durchführung des Benchmarks die Kriterien der jeweiligen Kategorien herausgearbeitet, sodass die Bewertung und das Ergebnis anhand der konzipierten Einflussfaktoren bestimmt werden kann.

In diesem Kapitel werden nur die Kategorien aufgestellt, die Kriterien und Priorisierungen werden in Kapitel 4.3 bzw. 4.4 herausgearbeitet.

- Technische Details - Es sollen Hardwareeigenschaften verglichen werden. Dies sind Systemeigenschaften wie beispielsweise Rechenleistung, Speicher und Hardwareanschlüsse der Gateways.
- Aufwand für Inbetriebnahme - Hierzu gehört die hardware- und softwaretechnische Vorbereitung der Gateways bis diese in ihrem Einsatzgebiet integriert werden können.
- Lokaler Zugriff - Es sollen die lokalen Zugriffsmöglichkeiten verglichen werden wie z.B. eine LAN-Verbindung vom Laptop direkt zum Gateway.
- Fernzugriff - Es sollen die Fernzugriffsmöglichkeiten verglichen werden wie z.B. einen SSH Tunnel von einem Enduser im privaten Netzwerk zum Gateway in das Kundennetzwerk.
- Handling und Alltagseignung - Diese Kategorie soll Alltagsfunktionalitäten wie beispielsweise das Hinzufügen neuer Software, Firmwareupdates, das

### *3 Konzeptionierung der Benchmark*

---

Handling im Fehlerfall und das User Interface für die Bedienung beinhaltet.

- Sicherheit - Diese Kategorie soll das Gefahrenpotenzial beim Einsatz der Benchmark-Objekte vergleichen.
- Finanzierung - Vergleich was die jeweiligen Hersteller der Benchmark-Objekte für ihr Geld bieten.

# 4 Durchführung der Benchmark

In diesem Kapitel wird die Vergleichsphase (Kapitel 3.1) der Benchmarks umgesetzt.

## 4.1 Softwarebereitstellung mit Docker

Die Softwarebereitstellung implementiert den ersten Schritt des Test Konzepts aus Kapitel 3.3.1.

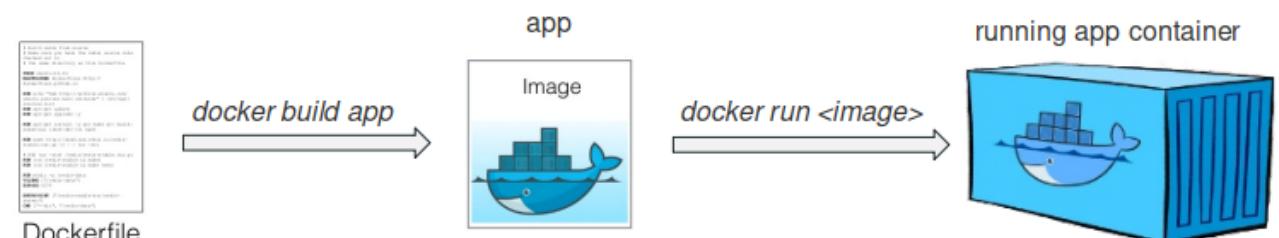
nexofox<sup>a</sup> als IIoT Unternehmen soll als Dienstleister für die Kunden der Dunkermotoren GmbH agieren und dementsprechend Software für deren Edge Anforderungen zur Verfügung stellen. In diesem Kapitel wird das Grunprinzip der Software Rollouts erklärt. Die Software Pakete werden in Docker<sup>b</sup> Containern isoliert und als Image zum Download bereit gestellt. Es soll festgestellt werden inwiefern sich die Kandidaten bei der Softwareverwaltung voneinander unterscheiden.

Die Docker Dokumentation ist unter folgendem Link erreichbar:

<https://docs.docker.com/>

### 4.1.1 Erstellung eines Softwarepackages

Für die Entwicklung eines Softwarepackages wird mit Hilfe einer Dockerfile ein Docker Image erzeugt.



Quelle: <https://www.docker.com/blog/containerized-python-development-part-1>

Abbildung 6: Prozess zum Starten eines Docker Containers

---

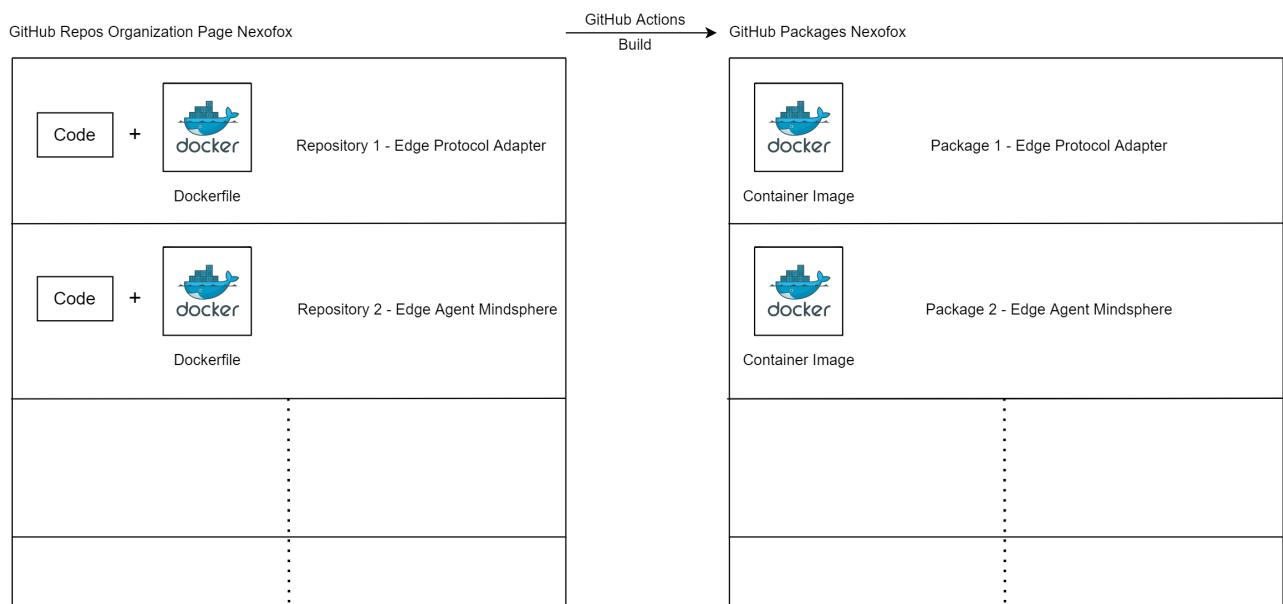
<sup>a</sup>Nexofox (Kap. 1.1.2)

<sup>b</sup>Docker (Kap. 2.4)

Abbildung 6 zeigt das Grundprinzip wie mit einem Dockerfile eine Applikation in Form eines Container Image erzeugt wird. Anschließend kann das Image auf einem System mit laufender Docker Engine in einem isolierten Container ausgeführt werden.

### 4.1.2 Bereitstellung der Software über GitHub

Weil die GitHub Lizenzen von Dunkermotoren bereits zu Beginn dieser Arbeit etabliert sind wird als Plattform GitHub verwendet, um die Softwarepakete bzw. Container Images von nexofox zu veröffentlichen. Ferner ermöglicht es GitHub eine Softwaredokumentation mit einer Applikation zu beziehen, was den Vorteil bietet die Software direkt mit der dazugehörigen Dokumentation zur Verfügung zu stellen.



Quelle: Selbst erstellte Grafik in Anlehnung an GitHub Actions

Abbildung 7: Software Release

<https://docs.docker.com/ci-cd/github-actions/>

Über die Organisationsseite können Repositorys mit Hilfe von GitHub Actions als Container Images veröffentlicht werden. Diese stehen dort dann als GitHub Packages zum Herunterladen bereit. Eine Package Veröffentlichung der nexofox Organisation entspricht somit einem Software Realease. Durch diesen Prozess können Packages bzw. Applikationen versioniert, aktualisiert und neue Applikationen veröffentlicht werden.

### 4.1.3 Herunterladen und Ausführen des Softwarepackages

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Software Packages werden über die GitHub Organisationsseite von nexofox veröffentlicht. Diese können über die GitHub Container Registry heruntergeladen und ausgeführt werden. Die Voraussetzung an ein Gerät für das Herunterladen ist ein Betriebssystem mit einer laufenden Docker Engine, eine Netzwerkanbindung an das Internet für den erfolgreichen GitHub Container Registry Login und eine Möglichkeit zum Bedienen der Docker Engine. Die Docker Engine auf den Gateways wird über eine SSH Verbindung und über Kommandos wie z.B. dem „Docker pull“ Befehl bedient. Somit können Software-pakete von nexofox von überall aus heruntergeladen werden.

### 4.1.4 Softwarebereitstellung - Einfluss auf die Benchmark

Die in diesem Kapitel beschriebene Methode ist das Konzept wie Dunkermotoren die Software für die Gateways aufbereitet.

Aus diesem Kapitel ergibt sich, dass alle drei Benchmark Kandidaten die Voraussetzung besitzen die Software über diesen Vorgang zu beziehen, aufgrund der laufenden Docker Engine die auf allen drei Gateways problemlos ausgeführt werden kann. Die Softwarebereitstellung spielt somit keinen weiteren Faktor für die Benchmark.

## 4.2 Verwaltung der Gateways und Software

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wurde eine Webapplikation zur Verwaltung der Gateways und deren Software entwickelt. Die Applikation implementiert den 2. Schritt des konzipierten Test Szenarios aus Kapitel 3.3.1. Die Funktionen dieser Applikation werden in diesem Kapitel näher gebracht. Zweck der Applikationsentwicklung ist es die Unterscheidungen zwischen den Gateway Kandidaten und ihren Herstellern bei der Softverwaltung und bei der Verwaltung der Gateways selbst identifizieren zu können.

### 4.2.1 Entwickeln einer Webapplikation

Es wurde eine Webapplikation mit Angular entwickelt, welche den Remote Zugriff auf die Gateways über ein **GUI!** (**GUI!**) ermöglicht. Die Applikation ist ein Zusammenspiel passender **restapi!s** (**restapi!s**). Sie ermöglicht den Fernzugriff auf die Gateways und die Verwaltung deren Container. In der Applikati-

on können die Softwarepakete welche auf der GitHub nexofox Organisationsseite veröffentlicht worden sind angezeigt werden (mehr zur Umsetzung der Softwarebereitstellung in Kapitel 4.1). Dies wird mit Hilfe des Application Programming Interfaces (APIs) der GitHub Container Registry und HTTPS-Get Requests umgesetzt. Wenn die Softwarepakete in der Applikation visualisiert sind sollen diese ausgewählt und heruntergeladen werden können. Für die Verwaltung der Docker Container muss die Applikation eine Verbindung zur Docker Engine auf dem Gateway herstellen. Für die Kommunikation zwischen der Web Applikation und der Docker Engine auf dem Gateway besitzen die jeweiligen Gateways und ihre Anbieter unterschiedliche Lösungen. Auf diese Lösungskonzepte wird im Ergebnisteil der Benchmark (in Kapitel 5.1) eingegangen.

### 4.2.2 Web Applikation - Einfluss auf die Benchmark

Durch die Entwicklung der Webapplikation wurden viel Erkenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten der Gateways gewonnen. Alle drei Gateways und deren Anbieter bieten unterschiedliche Technologien und Lösungsansätze für die Verwaltung der Gateways und das kommunizieren mit der Docker Engine. Diese werden in der Auswertung in Kapitel 5.1 aufgegriffen und erklärt. Das Entwickeln der Webapplikation ist ein Teil der Benchmark. Nachdem sich die Unterscheidungen der Benchmark Objekte herauskristallisiert hatten wurde sie nicht weiterentwickelt.

## 4.3 Ausarbeiten der Benchmark Kategorien und Kriterien

Es ist hervorzuheben, dass die Benchmark Kategorien möglichst isoliert betrachtet werden. Das bedeutet das das Ergebnis einer Kategorie möglichst wenig mit den Ergebnissen anderer Kategorien zu tun haben soll. Jede Kategorie besitzt mehrere Kriterien. Diese werden in diesem Kapitel festgelegt und ihre Wertigkeit bestimmt. In Kapitel 4.4 werden die Kriterien zusätzlich priorisiert. Somit ist gewährleistet, dass Kriterien die für Dunkermotoren eine größere Relevanz besitzen eine größere Gewichtung erhalten. Umgekehrt gilt selbiges, wenn ein Kriterium irrelevant für Dunkermotoren ist wird es für das Benchmark eine entsprechend kleine bzw. keine Rolle einnehmen.

Teilweise basieren die Begründungen für die Wertigkeiten der Kriterien auf den Erkenntnissen des Test Szenarios in Kapitel 5.1. Die Auswertung der Benchmark Kategorien und Kriterien befindet sich in Kapitel 5.2.

### 4.3.1 Wertigkeit der Kriterien

Für die Wertigkeit der Kriterien werden Zahlenwerte verwendet. Es folgt eine Tabelle, welche darstellt was für einen Einfluss eine Wertigkeit auf ein Kriterium besitzt.

Wertigkeit	Eignung für Dunkermotoren
5	ideal
4	gut geeignet
3	geeignet
2	weniger geeignet
1	nicht geeignet

Tabelle 2: Wertigkeit für ein Benchmarkkriterium

Je höher der Wertigkeitsfaktor, desto geeigneter ist das Kriterium für das Einsatzszenario der Gateways für nexofox.

### 4.3.2 Wertigkeit - Technische Details

Es werden die grundlegenden technischen Eigenschaften der Geräte verglichen. Die Auswertungstabelle der technischen Details befindet sich in Kapitel 5.2.2.

## 4 Durchführung der Benchmark

---

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>CPU</b>		
Kunbus	4	Broadcom BCM2837 (QuadCore ARM v8) 1.2 GHz
Hilscher	4	Broadcom BCM2837 (QuadCore ARM v7) 1.2 GHz
Exceet	4	NXP® i.MX6Q, QuadCore 1GHz
<b>Betriebssystem</b>		
Kunbus	2	Raspbian, eigenverantwortliche Nutzung
Hilscher	4	netFIELD OS (Yocto Linux), sicherheitsbasiertes OS von Hilscher
Exceet	4	Debian Based, sicherheitsbasiertes OS von Exceet
<b>Abmessungen</b>		
Kunbus	5	96 mm x 110,5 mm x 45 mm
Hilscher	5	105 mm x 140 mm x 35 mm
Exceet	5	115 mm x 165 mm x 33 mm
<b>Flash-Speicher</b>		
Kunbus	2	4GB
Hilscher	4	8GB
Exceet	4	8GB
<b>RAM</b>		
Kunbus	3	1GB
Hilscher	3	1GB
Exceet	4	2GB
<b>Ethernet</b>		
Kunbus	4	2 x 100 Mbit
Hilscher	5	1 x 100MBit, 2 x 100MBit
Exceet	4	1 x 1 Gbit , 1 x 100 Mbit
<b>CAN</b>		
Kunbus	3	Ja, mit einem separaten Erweiterungsmodul
Hilscher	5	Funktionsfähig
Exceet	3	Wird noch nachgerüstet
<b>OT Schnittstellen</b>		
Kunbus	2	RS-485, 2 x USB 2.0, 1 x Micro-USB
Hilscher	4	PROFINET, EtherNet/IP, Modbus/TCP, 4 x USB 2.0 Micro-USB
Exceet	3	RS-232 / RS-485, 2 x USB 2.0, 1 x Micro-USB

Tabelle 3: Wertigkeiten der Kategorie „Technische Details“- Teil 1

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b> HDMI</b>		
Kunbus	4	Micro HDMI
Hilscher	4	HDMI
Exceet	1	Nicht vorhanden
<b> WLAN/Bluetooth</b>		
Kunbus	1	Nicht vorhanden
Hilscher	3	WLAN: Aktuell vorhanden wird jedoch abgerüstet aufgrund von Landesbestimmungen/Bluetooth: Vorhanden
Exceet	1	Nicht vorhanden

Tabelle 4: Wertigkeiten der Kategorie „Technische Details“- Teil 2

Die Bewertung der Kategorie „Technische Details“ befindet sich in Kapitel 5.2.2. Die Kategorie „Technische Details“ bezieht sich auf die Hardware der Benchmark Objekte. Es werden rein technische Eigenschaften verglichen und bewertet.

#### 4.3.3 Wertigkeit - Aufwand für Inbetriebnahme

Es wird der Aufwand ins Verhältnis gestellt, welcher hinter Vorbereitung der Gateways für den Einsatz in einem beliebigen Netzwerk steckt. Dabei wird verglichen was hardware- oder softwaretechnisch an einem Gateway modifiziert werden muss bis dieses in Betrieb genommen und in ein Netzwerk integriert werden kann.

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>Firmwarevorbereitung</b>		
Kunbus	1	Komplette Einrichtung des OS notwendig.
Hilscher	5	OS vorinstalliert - kann über die netFIELD Plattform innerhalb eines beliebigen Netzwerkes in Betrieb genommen werden.
Exceet	5	OS vorinstalliert - kann über die Exceet Cloud innerhalb eines beliebigen Netzwerkes in Betrieb genommen werden.
<b>Softwarevorbereitung</b>		
Kunbus	1	Container Images müssen einzeln heruntergeladen werden - dies ist jedoch nur über einen lokalen Zugriff auf der Edge bzw. im Netzwerk des Raspberrys möglich.
Hilscher	4	Container Images müssen aktuell noch einzeln ausgewählt und installiert werden, ein Fleet Rollout für mehrere Images gleichzeitig soll laut Hilscher in Zukunft implementiert werden - dies ist lokal oder via Fernzugriff über die Hilscher netFIELD Plattform möglich.
Exceet	3	Es kann mit einem App-Bundle Tool ein Container Bundle erstellt werden. Dieses muss jedoch einmal vorkonfiguriert, bei einer Änderung getestet werden - dies ist lokal oder via Fernzugriff über die Exceet Cloud möglich.
<b>IP Vorkonfiguration</b>		
Kunbus	1	Um das Gateway zu erreichen wird ein weiterer Service von einem Dienstleister oder eine Eigentwicklung benötigt.
Hilscher	5	Das Gateway wird von Hilscher vorkonfiguriert und kann über die netFIELD Plattform gefunden werden.
Exceet	5	Das Gateway wird von Exceet vorkonfiguriert und kann über die Cloud gefunden werden.

Tabelle 5: Wertigkeiten der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“

Die Bewertung der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“ befindet sich in Kapitel 5.2.3.

#### 4.3.4 Wertigkeit - Lokaler Zugriff

Die lokalen Zugriffsmöglichkeiten der Gateways werden verglichen. Beispielsweise über ein LAN Kabel mit einem Laptop.

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>Containerverwaltung</b>		
Kunbus	2	Via LAN-Kabel über eine SSH Verbindung, jedoch nur bei einer Internetverbindung des Gateways.
Hilscher	2	Via LAN-Kabel über eine SSH Verbindung, jedoch nur bei einer Internetverbindung des Gateways.
Exceet	3	Es kann mit einer Smartphone App die Verwaltung der Container übernommen werden, ebenso über eine SSH Verbindung via Micro-USB Kabel, jedoch nur bei einer Internetverbindung des Gateways.
<b>SSH</b>		
Kunbus	5	Möglich über LAN-Kabel
Hilscher	5	Möglich über LAN-sKabel
Exceet	5	Möglich über Micro-USB Kabel

Tabelle 6: Wertigkeiten der Kategorie „Lokaler Zugriff“

Die Bewertung der Kategorie „Lokaler Zugriff“ befindet sich in Kapitel 5.2.4.

#### 4.3.5 Wertigkeit - Fernzugriff

Es werden die Zugriffsmöglichkeiten verglichen die das Gateway bietet nachdem es in einem anderen Netzwerk integriert wurde. Eine wichtige wichtige Funktion wäre ein **SSH!** Tunnel von einem Enduser zum Gateway. Damit ist der Vollzugriff auf das Gateway möglich. Zusätzlich spielt für diese Benchmark die Möglichkeit zur Containerverwaltung über einen Fernzugriff eine Rolle, weil das die zukünftige Hauptaufgabe der Gateways ist.

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>Containerverwaltung</b>		
Kunbus	1	Nicht möglich.
Hilscher	5	Vollzugriff zur Containerverwaltung über die netFIELD Plattform aus jedem beliebigen Browser möglich. Fleet Rollout für das aufspielen mehrere Container gleichzeitig soll zukünftig implementiert werden.
Exceet	3	Es können App-Bundles auf das Gateway gespielt werden. Jedoch ist das aufspielen eines neuen App-Bundles die einzige Möglichkeit für die Containerverwaltung.
<b>SSH</b>		
Kunbus	2	SSH Zugriff nur innerhalb des Netzwerks indem sich das Gateway befindet.
Hilscher	5	Über die netFIELD Plattform von überall aus möglich.
Exceet	2	SSH Zugriff nur innerhalb des Netzwerks indem sich das Gateway befindet.

Tabelle 7: Wertigkeiten der Kategorie „Fernzugriff“

Die Bewertung der Kategorie „Fernzugriff“ befindet sich in Kapitel 5.2.5.

#### 4.3.6 Wertigkeit - Handling und Alltagseignung

Es wird das Bewältigen von Aufgaben verglichen, womit die Gateways in einem zukünftigen Einsatzszenario konfrontiert werden würden. Hierzu gehören beispielsweise Softwareupdate sowie das Visualisieren von Livedaten.

#### 4 Durchführung der Benchmark

---

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>Firmwareupdate</b>		
Kunbus	1	Sehr aufwendig, da mehrere Softwaretools und Hardware nötig.
Hilscher	5	Über netFIELD Plattform möglich.
Exceet	2	Soll zukünftig über die Exceet Cloud möglich sein, beinhaltet aktuell noch Bugs.
<b>Softwareupdate</b>		
Kunbus	1	Nur über lokale SSH Verbindung und einer zusätzlichen Internetverbindung möglich.
Hilscher	5	Über die netFIELD Plattform schon funktionsstüchtig und wird weiterhin von Hilscher ausgereift.
Exceet	4	Über Exceet Cloud und Smartphone App möglich.
<b>Livedaten</b>		
Kunbus	1	Es müsste ein Tool von einem Dienstleister oder eine Eigenentwicklung verwendet werden.
Hilscher	5	Einsicht der CPU, RAM und weiteren Livedaten über die netFIELD Plattform möglich.
Exceet	3	Es kann der Online Status eines Gateways über die Exceet Cloud angezeigt werden sowie das aktuell installierte Containerbundle.
<b>Benutzerverwaltung</b>		
Kunbus	1	Bietet keine Optionen zur Benutzerverwaltung.
Hilscher	5	Bietet für den Kunden von Dunkermotoren die Möglichkeit unproblematische Bedienungen auf der netFIELD Plattform bzw. Gateways mit einem eingeschränkten Nutzer Account selbst vorzunehmen.
Exceet	5	Bietet über den Yubikey eine Möglichkeit zur Verwaltung des Personals welche am Gateway arbeiten.
<b>User Interface</b>		
Kunbus	1	Ausschließlich SSH und ohne Cloud Plattform (Containerverwaltung möglich über Open Source Tools wie Portainer.io).
Hilscher	5	Ausgereifte GUI für das netFIELD Portal mit nützlichen Tools beispielsweise zur Containerverwaltung, Benutzerverwaltung oder zum Onboarding Verfahren bzw. der Inbetriebnahme.
Exceet	2	GUI für die Exceet Cloud ermöglicht das Aufspielen von Apple Bundles - bietet jedoch deutlich weniger Funktionen als das netFIELD Portal und teilweise Fehlimplementierungen vorhanden.

Tabelle 8: Wertigkeiten der Kategorie „Handling und Alltagseignung“

Die Bewertung der Kategorie „Handling und Alltagseignung“ befindet sich in Kapitel 5.2.6.

### 4.3.7 Wertigkeit - Sicherheit

Es werden Sicherheitsrisiken zwischen den Gateway Optionen verglichen. Es wird außerdem die IEC 62443 Norm eingebracht und berücksichtigt.

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>IEC 63443</b>		
Kunbus	1	Keine Umsetzung.
Hilscher	1	Keine Umsetzung.
Exceet	5	Wurde nach der Normenreihe entwickelt.
<b>Sicherheitsmechanismen</b>		
Kunbus	1	Der Revolution Pi ist mit einem Standard Raspbian Betriebssystem ausgestattet und bietet keine gesonderten Sicherheitsmechanismen.
Hilscher	1	Das Hilscher Gateway basiert auf einem eigens von Hilscher entwickelten Yocto Linux OS, besitzt jedoch keine gesonderten Sicherheitsmechanismen.
Exceet	5	Secure-Boot, ein verschlüsseltes Dateisystem, Fallback-Mechanismen, ein eingebautes Secure-Element und die Möglichkeit einer Containervalidierung sorgen für ein vielversprechendes Sicherheitskonzept.

Tabelle 9: Wertigkeiten der Kategorie „Sicherheit“

Die IEC 63443 ist eine internationale Normenreihe in der Industrieautomatisierung. Sie wird von der VDE als eine Norm beschrieben welche sich mit Cybersecurity sogenannter „Industrial Automation and Control Systems“ befasst. In ihr sind Bestandteile enthalten, welche für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb einer automatisierten Produktionsanlage erforderlich sind.<sup>c[1]</sup> Exccet hat sich beim Entwickeln ihrer Gateways an diese Norm gehalten und wirbt damit. Es ist damit das einzige Modell der Benchmark Objekte bei welchem sich die Entwickler an diese Norm gehalten haben. Dies bedeutet nicht, dass die anderen beiden Gateway Modelle unsicher sind.

---

<sup>c[1]</sup>

Die Bewertung der Kategorie „Handling und Alltagseignung“ befindet sich in Kapitel 5.2.7.

### 4.3.8 Wertigkeit - Finanzierung

Es werden die drei Finanzierungsoptionen der Gateways und ihren Herstellern verglichen. Während Kunbus eine reine Hardware Lösung mit dem Industrie Raspberry Pi bereitstellt, bietet Hilscher zusätzlich zum Gateway eine komplette IoT Platform als Service an, mit welcher Gateways und Container verwaltet werden können. Das Nutzen eines solchen Services würde zusätzlich als Gebühr hinzukommen.

Kriterium	Wertigkeit	Begründung
<b>Gatewaypreis</b>		
Kunbus	5	300-400€
Hilscher	5	300-400€
Exceet	1	1.300€
<b>Servicegebühren</b>		
Kunbus	4	Keine, es sei denn man würde einen Remote Service integrieren - die Gebühren wären dann allerdings deutlich geringer als bei Hilscher oder Exceet.
Hilscher	2	Bei Kooperationsvertrag, ja.
Exceet	2	Sind vorhanden.

Tabelle 10: Wertigkeiten der Kategorie „Finanzierung“

Die Bewertung der Kategorie „Finanzierung“ befindet sich in Kapitel 5.2.8.

## 4.4 Priorisierung der Kriterien

Weil die Kriterien eine unterschiedliche Relevanz für das Einsatzszenario der Gateways besitzen werden diese priorisiert. Für die Priorisierung der Kriterien werden Zahlenwerte von 1-5 verwendet. Es folgt eine Tabelle welche darstellt was für einen Einfluss die Priorisierung auf ein Kriterium besitzt und die dazugehörige Relevanz innerhalb der gesamten Benchmark.

Priorität	Faktor	Relevanz
1	5	sehr relevant
2	4	relevant
3	3	weniger relevant
4	2	kaum relevant
5	1	irrelevant

Tabelle 11: Priorisierungsfaktoren für die Benchmarkkriterien

#### 4.4.1 Priorisierung - Technische Details

Gerade die Speicherkapazitäten spielen eine wichtige Rolle bei der Bewertung.

Kriterium	Priorität	Begründung
CPU	4	kaum relevant - aufgrund der geringen Leistungsunterscheidung.
Betriebssystem	5	irrelevant - solange funktionsfähig.
Abmessungen	4	kaum relevant - weil alle 3 Gateways auf eine Hutschiene aufgesetzt werden können und ähnlich viel Platz wegnehmen.
Flash-Speicher	1	sehr relevant - davon hängt ab wieviel Container auf das Gateway geladen werden können.
RAM	1	sehr relevant - davon hängt ab wieviel Container gleichzeitig ausgeführt werden können.
Ethernet	1	sehr relevant - weil PROFINET und Ethercat Motoren von Dunkermotoren GmbH dies als Kommunikationsschnittstelle verwenden.
CAN	1	sehr relevant - weil CAN-Bus Motoren von Dunkermotoren GmbH als Kommunikationsschnittstelle CAN verwenden.
OT Schnittstellen	3	weniger relevant - notwendig für möglichen zukünftigen Einsatz auf der Edge wie beispielsweise eine USB-Maus oder Tastatur.
HDMI	4	kaum relevant - aktuell noch kein Use Case
WLAN/Bluetooth	4	kaum relevant - aktuell noch kein Use Case

Tabelle 12: Priorisierung der Kategorie „Technische Details“

Die Bewertung der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“ befindet sich in Kapitel 5.2.2.

#### 4.4.2 Priorisierung - Aufwand für Inbetriebnahme

Kriterium	Priorität	Begründung
Firmwarevorbereitung	1	sehr relevant - weil dieser Prozess für jedes Gateway ausgeführt werden muss bevor es ein Kunde erhält.
Softwarevorbereitung	2	relevant - ein Gateway kann auch ohne Software ausgeliefert und die Softwarepakete aus dem Kundennetzwerk heruntergeladen werden.
IP Vorkonfiguration	1	sehr relevant - weil dieser Prozess für jedes Gateway ausgeführt werden muss bevor es ein Kunde erhält, ansonsten ist es nicht erreichbar.

Tabelle 13: Priorisierung der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme.“

Die Priorität aller Kriterien ist in dieser Kategorie sehr hoch, weil sich der Aufwand für eine Inbetriebnahme auf jedes Gateway bezieht welches in Zukunft installiert wird.

Die Bewertung der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“ befindet sich in Kapitel 5.2.3.

#### 4.4.3 Priorisierung - Lokaler Zugriff

Kriterium	Priorität	Begründung
Containerverwaltung	1	sehr relevant - die Softwarefunktionalitäten der Gateways im Edge Netzwerk werden über die laufenden Container auf dem Gateway realisiert. Die Containerverwaltung ist die Hauptaufgabe der Edge-Gateways.
SSH	1	sehr relevant - durch eine lokale SSH Verbindung ist der Vollzugriff auf ein Gateway möglich. Für beispielsweise Inbetriebnahmen oder Fehlerfälle.

Tabelle 14: Priorisierung der Kategorie „Lokaler Zugriff“

Die Bewertung der Kategorie „Lokaler Zugriff“ befindet sich in Kapitel 5.2.4.

#### 4.4.4 Priorisierung - Fernzugriff

Kriterium	Priorität	Begründung
Containerverwaltung	1	sehr relevant - die Softwarefunktionalitäten der Gateways im Edge Netzwerk werden über die laufenden Container auf dem Gateway realisiert. Die Containerverwaltung ist die Hauptaufgabe der Edge-Gateways.
SSH	2	relevant - eine Prioritätsstufe unter der Fernzugriffsmöglichkeit für die Containerverwaltung. Die Möglichkeit eines SSH Tunnels bietet zwar den Vollzugriff auf ein Gateway aus einem beliebigen Netzwerk, jedoch ist für den Betrieb eines Gateways der Fernzugriff über SSH nicht unbedingt notwendig, solange die Möglichkeit zur Containerverwaltung besteht.

Tabelle 15: Priorisierung der Kategorie „Fernzugriff“

Die Bewertung der Kategorie „Fernzugriff“ befindet sich in Kapitel 5.2.5.

#### 4.4.5 Priorisierung - Handling und Alltagseignung

Kriterium	Priorität	Begründung
Firmwareupdate	2	relevant - beispielsweise bei einem Fehlerfall ist das eine wichtige Möglichkeit für das Zurücksetzen des Gateways auf eine ältere Version.
Softwareupdate	1	sehr relevant - je ungeingeschränkter die Möglichkeiten um die Docker Container auf der Edge zu aktualisieren, desto praktischer ist das Gateway.
Livedaten	2	relevant - gerade beim Fernzugriff ist der Online Status sehr nützlich, zusätzlich gibt es weitere interessante Livedaten wie beispielsweise die RAM Auslastung oder die Datenrate des Ethernets.
Benutzerverwaltung	3	weniger relevant - aktuell gibt es noch keine konkrete Idee für den Einsatz einer Benutzerverwaltung.
User Interface	1	sehr relevant - weil das Gateway als Hauptwerkzeug zur IoT Integration dient und zukünftig täglich Berührungs punkte entstehen.

Tabelle 16: Priorisierung der Kategorie „Handling- und Alltagseignung“

Die Bewertung der Kategorie „Handling- und Alltagseignung“ befindet sich in Kapitel 5.2.6.

#### 4.4.6 Priorisierung - Sicherheit

Kriterium	Priorität	Begründung
IEC 62443	1	sehr relevant - für eine Risikoeinschätzung nützlich und generell gilt es das Sicherheitsrisiko möglichst gering zu halten.
Sicherheitsmechanismen	1	sehr relevant - das Sicherheitsrisiko muss so gering wie möglich gehalten werden. Jeder Sicherheitsmechanismus entschärft Gefahren die den Kunden oder Dunkermotoren GmbH betreffen könnten.

Tabelle 17: Priorisierung der Kategorie „Sicherheit“

Die Bewertung der Kategorie „HSicherheit“ befindet sich in Kapitel 5.2.7.

#### 4.4.7 Priorisierung - Finanzierung

Kriterium	Priorität	Begründung
Gatewaypreis	2	relevant - der Preis spielt deshalb eine Rolle, weil dieser einen Einfluss darauf hat wie viel ein Kunde von nexofox später für den Service zahlt.
Servicegebühren	2	relevant - die Servicegebühren die nexofox an den Gatewayanbieter zahlt wirkt sich darauf aus wie viel ein Kunde von nexofox später für den Service zahlt.

Tabelle 18: Priorisierung der Kategorie „Finanzierung“

Die Bewertung der Kategorie „Finanzierung“ befindet sich in Kapitel 5.2.8.

### 4.5 Integration der Stolpersteine

Die aufgestellten Stolpersteine aus dem Bechmark Konzept werden bewertet und ihr Einfluss auf das Benchmark bestimmt. Hierfür werden die in Kapitel 3.1.2 gelisteten Stichpunkte aus dem Benchmark Konzept durchgearbeitet. Falls Stolpersteine identifiziert werden, werden diese und deren Einfluss auf das Benchmark bestimmt und ausgewertet.

**Es wird keine klare Zielsetzung hinsichtlich der Benchmarking-Ergebnisse formuliert**

Das Ziel für das Benchmark ist eindeutig in Kapitel 3.2.4 inklusive konkrete Benchmark Ziele beschrieben.

**Die Ziele des Benchmarkings werden nicht mit den Unternehmenszielen verknüpft**

Bei dem Entwickeln des Benchmarks wurde ein permanenter Austausch über die aktuellen Erfahrungswerte und das Verknüpfen mit den Unternehmensanforderungen an das Gateway für nexofox gepflegt. Die Benchmark Ergebnisse wurde in das zweiwöchige SCRUM Verfahren für agile Softwareentwicklung mit integriert.

## *4 Durchführung der Benchmark*

---

Dadurch hat die komplette Abteilung die Möglichkeit erhalten kontinuierliches Feedback in die Benchmark einzubringen.

### **Der direkte Vergleich wird bereits angestoßen, bevor die Ursache-Wirkungsketten aufgedeckt sind**

Die Benchmark Kriterien, ihre Wertigkeiten und Priorisierungen wurden erst erstellt nachdem das Test Szenario des Benchmarks durchlaufen war.

### **Definitionen sind uneinheitlich oder unverständlich und werden von den Benchmarking-Partnern unterschiedlich interpretiert**

Im Zuge des Benchmarks war ein permanenter Austausch mit den Herstellern und Anbietern der Gateways bzw. Services unerlässlich. Durch Online-Meetings und Präsentation wurden Definitionen und Sachverhalte regelmäßig klar gestellt.

### **Die Ergebnisse und die Chancen zum konstruktiven Austausch mit anderen Unternehmen werden nicht genutzt**

Im Zuge des Benchmarks war ein permanenter Austausch mit den Herstellern und Anbietern der Gateways bzw. Services unerlässlich. Der konstruktive Austausch mit den Herstellern über die Gatewayintegration in einem Netzwerk wurde konsequent durchgeführt. Es wurde z.B. herausgefunden, dass der von nexofox ausgewählte Service „macchina.io“ für die Gatewaykommunikation bei Kunbus auch für den Fernzugriff bei Hilscher verwendet wird. Hilscher integriert diesen Service in ihrem System für den Fernzugriff, mehr dazu in Kapitel 5.1.3.

## **4.6 Setzen der Benchmarkgrenzen**

Es sollen die Grenzen des Benchmarks für den Dunkermotoren spezifischen Anwendungsfall definiert werden. Die Setzen der Grenzen spielt eine wichtige Rolle um das Benchmark realistisch in der Industriewelt einordnen zu können.

Benchmark Grenzen:

- Die Vorauswahl der Gateways wurde von Dunkermotoren getroffen.
- Als Dienstleister bzw. Service für den Fernzugriff auf das Kunbus Gateway wurde macchina.io verwendet.
- Die Alltagseignung kann ohne Erfahrungswerte nur wage bestimmt werden.

#### *4 Durchführung der Benchmark*

---

Die Benchmark Grenzen werden in der Auswertung des Benchmarks in Kapitel 5.3.3 aufgegriffen und bewertet.

# 5 Ergebnis der Benchmark

In diesem Kapitel wird die Phase der Maßnahmenentwicklung (Kapitel 3.1) für die Benchmark ausgearbeitet. Erst wird das Test Szenario und anschließend die gesamte Benchmark ausgewertet. Abschließend befindet sich die, für die Dunkermotoren GmbH verfasste, Handlungsempfehlung. Diese spiegelt das Endergebnis der Benchmark wieder.

## 5.1 Auswertung des Test Szenarios

In diesem Kapitel wird das in Kapitel 3.3 konzipierte Test Szenario ausgewertet.

Der erste Schritt des Test Szenarios beinhaltet die Softwarebereitstellung. Wie bereits in Kapitel 4.1.4 erklärt wurde wird dies keine weitere Rolle für die Benchmark spielen, weil alle drei Benchmark Objekte die Voraussetzung mit sich bringen die Software zu beziehen.

Im zweiten Schritt des Test Szenarios wurde eine Webapplikation entwickelt. Durch das Entwickeln der Webapplikation hat sich ein klares Bild über die Architektur der jeweiligen Gateways und deren Einsatzmöglichkeiten ergeben. Um diese zu beschreiben wird in den folgenden Kapiteln auf die Bechmark Objekte und deren Integration in ein Netzwerk eingegangen. Die folgenden Grafiken knüpfen an die Grafik in der Problemstellung 2 an.

### 5.1.1 Generische Übersicht

Für das Grundverständnis wird eine generische Übersichtsgrafik erstellt. Sie bildet die Architektur der Hardware- und Softwarekomponenten ab wenn ein Gateway in einem Netzwerk z.B. das von einem Kunden integriert wird. In diesem Fall handelt es sich um die generische Architektur. Es wird die grundlegende Systemübersicht bei der Gatewayintergration visualisiert. Anhand der generischen Übersichtsgrafik können die später folgenden Grafiken für die jeweiligen Benchmark Objekte abgeleitet werden.

## 5 Ergebnis der Benchmark

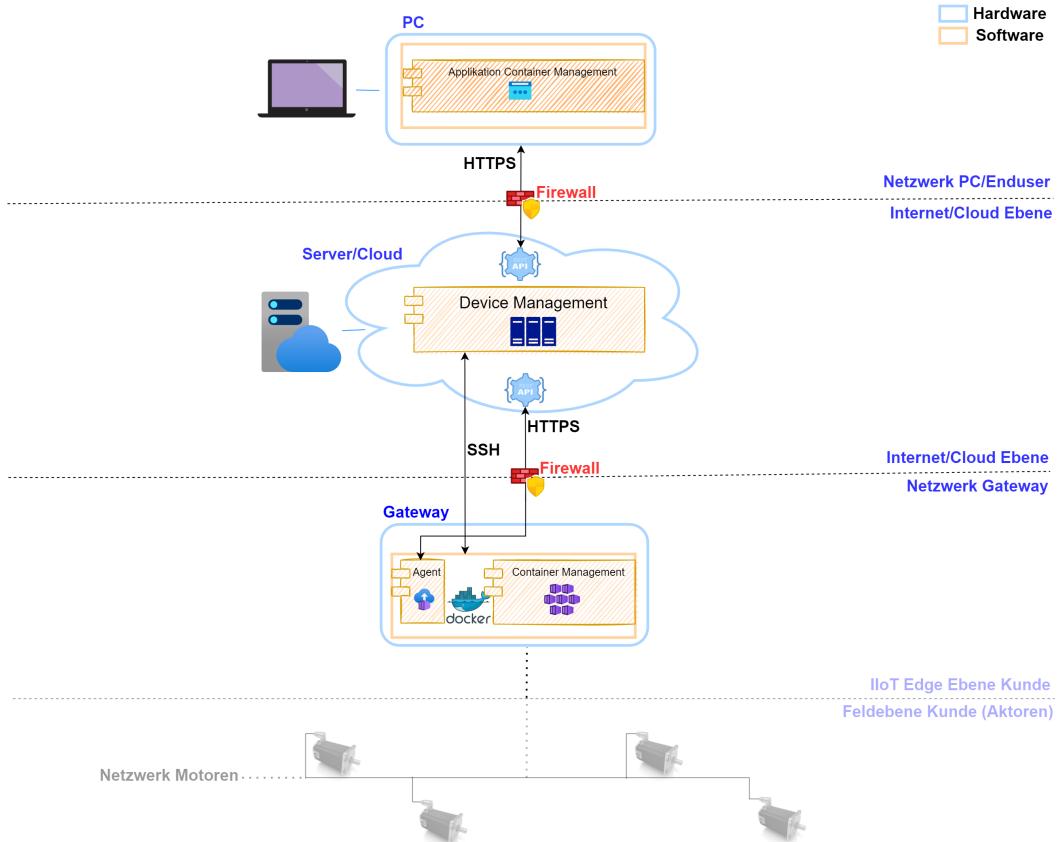


Abbildung 8: Generische Architektur

Die entwickelte Web Applikation wird in dem Fall als Webanwendung auf einem PC ausgeführt. Über das HTTPS Protokoll kommuniziert die Anwendung mit einem Server über Representational State Transfer (REST) APIs. Der Server bzw. Clouddienst stellt die Verbindung zum Gateway und dessen Docker Engine her. Der Verbindungsauflauf erfolgt über eine bidirektionale HTTPS Verbindung. Mit Hilfe eines vorkonfigurierten Agent, welcher als laufender Container auf dem Gateway ausgeführt wird. Der Agent sendet periodisch Anfragen bis das Gateway am Netz hängt und die Verbindung zum Server bzw. zur Cloud herstellen kann. Der HTTPS Tunnel ermöglicht je nach Benchmark Objekt eine Kommunikation mit der Docker Engine auf dem Gateway. Dadurch können die Container auf dem Edge Gateway verwaltet werden. Je nach Benchmark Objekt kann über diese Verbindung anschließend ein gesicherter SSH Tunnel vom PC, der die Webanwendung ausführt, bis hin zum Gateway hergestellt werden. Über das SSH Command Line Interface (CLI) steht ein Vollzugriff auf das Gateway zur Verfügung.

### 5.1.2 Kunbus

Für die Kommunikation beim Kunbus Gateway wird ein weiterer Service benötigt. Für das Benchmark wurde „macchina.io“ verwendet. Dieser wurde durch eine Online Recherche entdeckt. Somit ist es möglich über die REST APIs des Macchina Servers eine Verbindung zum Gateway herzustellen. Auf dem Gateway läuft ein Edge Agent Container. Dieser frägt periodisch den Macchina Server an um bei einer möglichen Verbindung ins Internet einen HTTPS Tunnel aufzubauen.

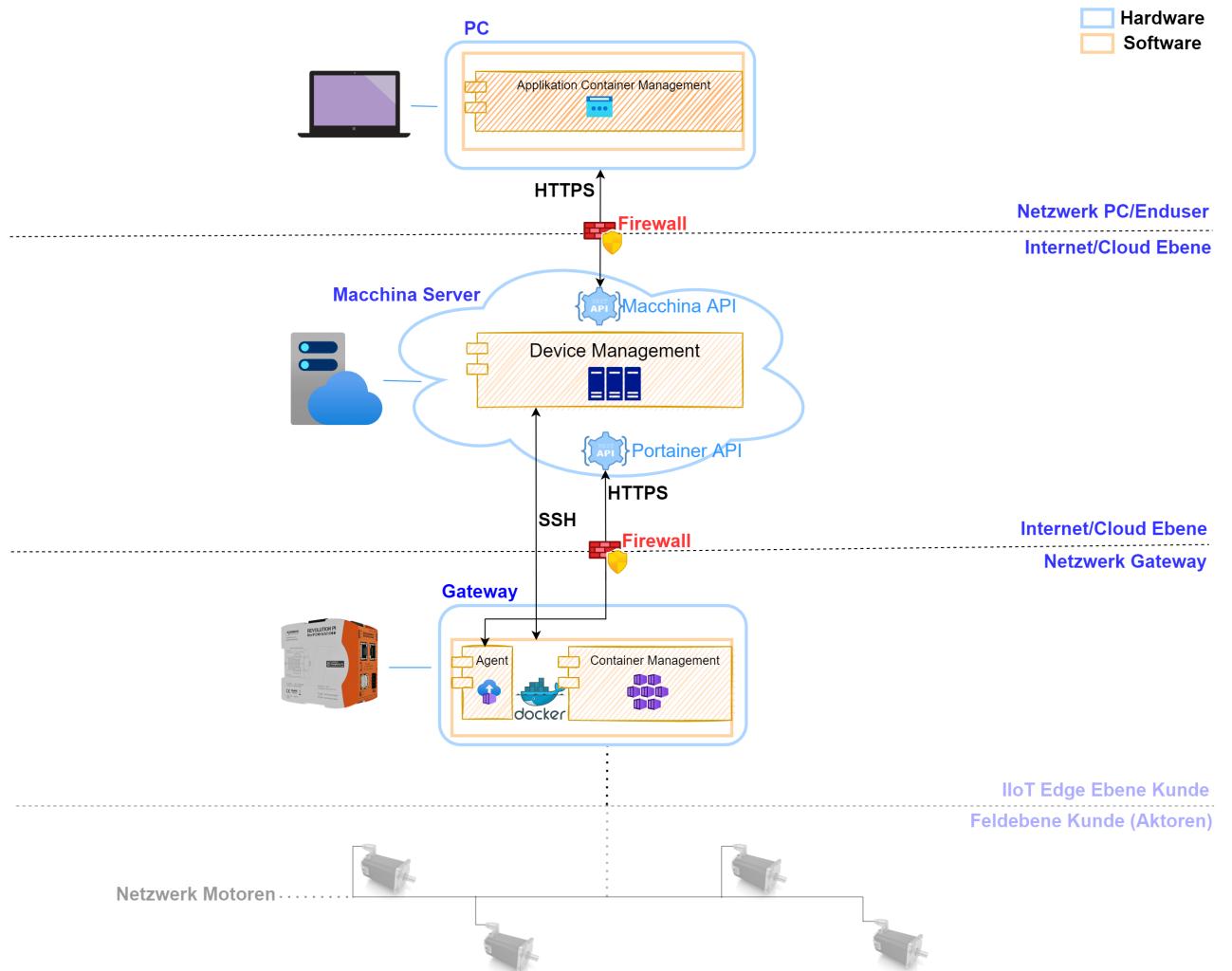


Abbildung 9: Kunbus Architektur

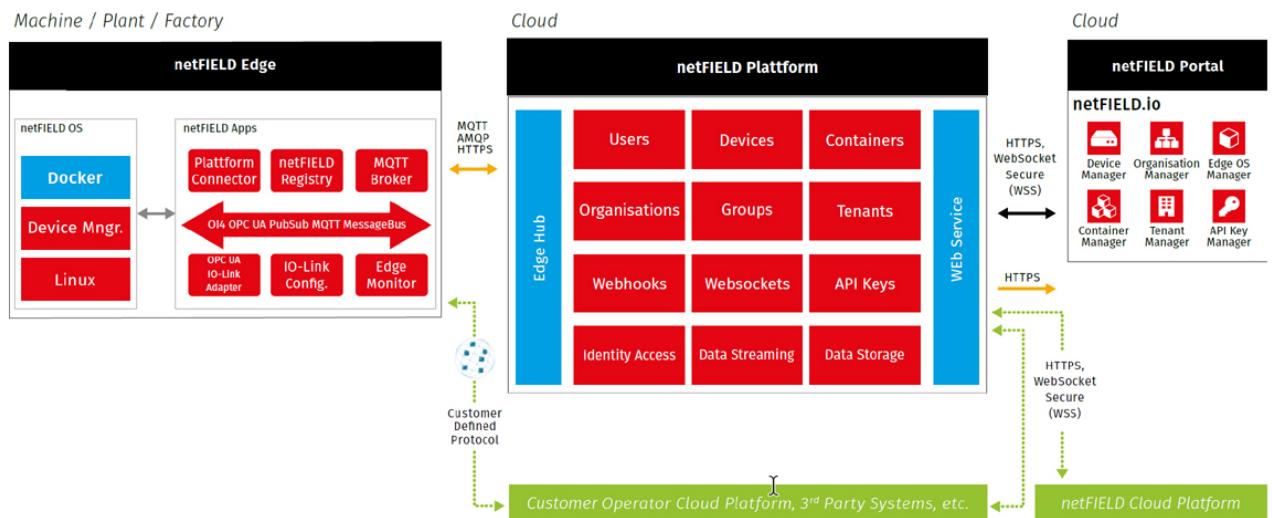
Bei der Entwicklung der Web Applikation wurde versucht die Komponente für das Container Management auf dem Gateway mit Hilfe eines Portainer Containers umzusetzen. Portainer.io ist ein Open Source Projekt welcher über seine API die

## 5 Ergebnis der Benchmark

Möglichkeit zur Containerverwaltung auf dem System auf dem es ausgeführt wird bietet. Leider konnte die Verbindung der Macchina API zur Portainer API auf dem Gateway beim Entwickeln der Web Applikation im Test Szenario nicht erfolgreich implementiert werden.

### 5.1.3 Hilscher

Grundlegend ist die Hilscher Architektur gleich wie in der generischen Übersicht zuvor. Die „3rd Party Systems“ kann einen Enduser am PC darstellen mit welchem die API von Hilscher verwendet werden kann. Bei der Benchmarkentwicklung wurde herausgefunden, dass Hilscher den zuvor zufällig gefundenen Macchina.io Service in ihrer Cloud Plattform zum Verbindungsauflaufbau mit integriert.



Quelle: <https://www.hilscher.com/de/netfield/netfield-cloud/>

Abbildung 10: Hilscher Architektur

### 5.1.4 Exceet

Die Exceet Architektur kann ebenfalls von der generischen Übersicht abgeleitet werden. Im Vergleich zur Kunbus Architektur ändert sich ausschließlich das Gateway und der Server bzw. die Cloud. Es wird die REST API der Exceet Cloud Plattform für die HTTPS Tunnel verwendet.

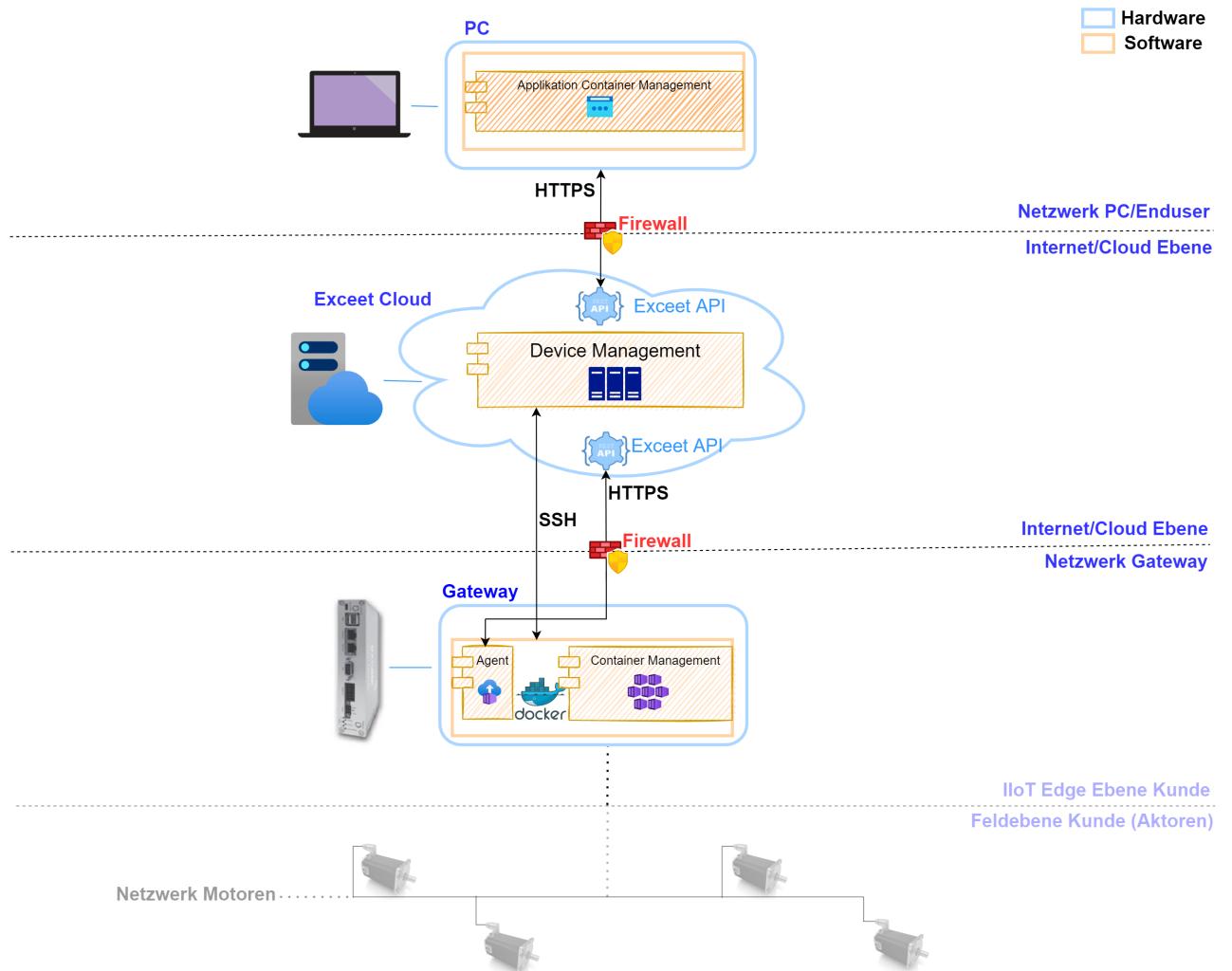


Abbildung 11: Exceet Architektur

## 5.2 Kriterienvalidierung mit Hilfe der Wertigkeit und Priorität

In diesem Kapitel werden die Benchmark Kategorien sowie die dazugehörigen Kriterien ausgewertet. Zusätzlich erfolgt die Priorisierung jedes Kriteriums.

### 5.2.1 Berechnung des Endergebnis für ein Kriterium mit Blick auf die Gesamtauswertung

Die Multiplikation des Wertigkeitfaktors und des Priorisierungsfaktors eines Kriteriums ergibt den Wert für das Endergebnis.

## 5 Ergebnis der Benchmark

---

$$\text{Wertigkeitsfaktor} * \text{Priorisierungsfaktor} = \text{Endergebnis}$$

In der folgenden Tabelle sind die Endergebniswerte und die dazugehörigen Zeichen für die Gesamtauswertung der Benchmark abgebildet. Die Gesamtauswertung erfolgt in Kapitel 5.3.1.

Endergebnis	Zeichen
0 bis <5	--
5 bis <10	-
10 bis <15	o
15 bis <20	+
20 bis <25	++

Tabelle 19: Zeichen für die Bewertung eines Benchmarkkriteriums

### 5.2.2 Auswertung - Technische Details

In Kapitel 4.3.2 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.1 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Technische Details“ gehören.

## 5 Ergebnis der Benchmark

---

### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
CPU	4	2	8	-
Betriebssystem	2	1	2	--
Abmessungen	5	2	10	o
Flash-Speicher	2	5	10	o
RAM	3	5	15	+
Ethernet	4	5	20	++
CAN	3	5	15	+
OT Schnittstellen	2	3	6	-
HDMI	4	2	8	-
WLAN/Bluetooth	1	2	2	--

### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
CPU	4	2	8	-
Betriebssystem	4	1	4	--
Abmessungen	5	2	10	o
Flash-Speicher	4	5	20	++
RAM	3	5	15	+
Ethernet	5	5	25	++
CAN	5	5	25	++
OT Schnittstellen	4	3	12	o
HDMI	4	2	8	-
WLAN/Bluetooth	3	2	6	-

### Exeet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
CPU	4	2	8	-
Betriebssystem	4	1	4	--
Abmessungen	5	2	10	o
Flash-Speicher	4	5	20	++
RAM	4	5	20	++
Ethernet	4	5	20	++
CAN	3	5	15	+
OT Schnittstellen	3	3	9	-
HDMI	1	2	2	--
WLAN/Bluetooth	1	2	2	--

Tabelle 20: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Technische Details“

### 5.2.3 Auswertung - Aufwand für Inbetriebnahme

In Kapitel 4.3.3 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.2 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“ gehören.

---

#### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Firmwarevorbereitung	1	5	5	-
Softwarevorbereitung	1	4	4	--
IP Vorkonfiguration	1	5	5	-

#### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Firmwarevorbereitung	5	5	25	++
Softwarevorbereitung	4	4	16	+
IP Vorkonfiguration	5	5	25	++

#### Exeet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Firmwarevorbereitung	5	5	25	++
Softwarevorbereitung	3	4	12	o
IP Vorkonfiguration	5	5	25	++

Tabelle 21: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Aufwand für Inbetriebnahme“

### 5.2.4 Auswertung - Lokaler Zugriff

In Kapitel 4.3.4 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.3 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Lokaler Zugriff“ gehören.

## 5 Ergebnis der Benchmark

---

### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis
Containerverwaltung	2	5	10 o
SSH	5	5	25 ++

### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis
Containerverwaltung	2	5	10 o
SSH	5	5	25 ++

### Exeet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis
Containerverwaltung	3	5	15 +
SSH	5	5	25 ++

Tabelle 22: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Lokaler Zugriff“

### **5.2.5 Auswertung - Fernzugriff**

In Kapitel 4.3.5 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.4 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Fernzugriff“ gehören.

### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Containerverwaltung	1	5	5	-
SSH	2	4	8	-

### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Containerverwaltung	5	5	25	++
SSH	5	4	20	++

### Exeet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Containerverwaltung	3	5	15	+
SSH	2	4	8	-

Tabelle 23: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Fernzugriff“

## 5.2.6 Auswertung - Handling und Alltagseignung

In Kapitel 4.3.6 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.5 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Handling und Alltagseignung“ gehören.

## 5 Ergebnis der Benchmark

---

### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Firmwareupdate	1	4	4	--
Softwareupdate	1	5	5	-
Livedaten	1	4	4	--
Benutzerverwaltung	1	3	3	--
User Interface	1	5	5	-

### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Firmwareupdate	5	4	20	++
Softwareupdate	5	5	25	++
Livedaten	5	4	20	++
Benutzerverwaltung	5	3	15	+
User Interface	5	5	25	++

### Exeet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Firmwareupdate	2	4	8	-
Softwareupdate	4	5	20	++
Livedaten	3	4	12	o
Benutzerverwaltung	5	3	15	+
User Interface	2	5	16	+

Tabelle 24: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Handling und Alltagseignung“

### **5.2.7 Auswertung - Sicherheit**

In Kapitel 4.3.7 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.6 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Sicherheit“ gehören.

### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
IEC 62443	1	5	5	-
Sicherheitsmechanismen	1	5	5	-

### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
IEC 62443	1	5	5	-
Sicherheitsmechanismen	1	5	5	-

### Exceet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
IEC 62443	5	5	25	++
Sicherheitsmechanismen	5	5	25	++

Tabelle 25: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Sicherheit“

## 5.2.8 Auswertung - Finanzierung

In Kapitel 4.3.8 befindet sich die Bestimmung der Wertigkeiten und in Kapitel 4.4.7 die Priorisierung der Kriterien die zur Kategorie „Finanzierung“ gehören.

## 5 Ergebnis der Benchmark

---



---

### Kunbus Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Gatewaypreis	5	4	20	++
Servicegebühren	4	4	16	+

### Hilscher Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Gatewaypreis	5	4	20	++
Servicegebühren	2	4	8	-

### Exceet Gateway

Kriterium	Wertigkeitsfaktor	Priorisierungsfaktor	Endergebnis	
Gatewaypreis	1	4	4	--
Servicegebühren	2	4	8	-

Tabelle 26: Auswertung von Kriterien der Kategorie „Finanzierung“

## *5 Ergebnis der Benchmark*

---

## 5.3 Auswertung der gesamten Benchmark

### 5.3.1 Gesamtauswertung - Kriterien und ihre Relevanz für die Benchmark

Benchmarkübersicht	Kunbus	Hilscher	Exceet
<b>Technische Details</b>			
CPU	-	-	-
Betriebssystem	--	--	--
Abmessungen	o	o	o
Flash-Speicher	o	++	++
Flash-Speicher	4 GB	8 GB	8 GB
RAM	+	+	++
RAM	1 GB	1 GB	2 GB
Ethernet	++	++	++
CAN	+	++	+
OT Schnittstellen	-	o	-
HDMI	-	-	--
WLAN/Bluetooth	--	-	--
<b>Aufwand für Inbetriebnahme</b>			
Firmwarevorbereitung	-	++	++
Softwarevorbereitung	--	+	o
IP Vorkonfiguration	-	++	++
<b>Lokaler Zugriff</b>			
Containerverwaltung	o	o	+
SSH	++	++	++
<b>Fernzugriff</b>			
Containerverwaltung	-	++	+
SSH	-	++	-
<b>Handling und Alltagseignung</b>			
Firmwareupdate	--	++	-
Softwareupdate	-	++	++
Livedaten	--	++	o
Benutzerverwaltung	--	+	+
User Interface	-	++	+
<b>Sicherheit</b>			
IEC 62443	-	-	++
Sicherheitsmechanismen	-	-	++
<b>Finanzierung</b>			
Gatewaypreis	++	++	--
Servicegebühren	+	-	-

Tabelle 27: Benchmarkübersicht mit Zeichen für Endergebnisse

## *5 Ergebnis der Benchmark*

---

Die Tabelle 27 verdeutlicht welche Kriterien eine hohe Relevanz für die Benchmark besitzen und wie die Eignung eines jeweiliges Kriterium im Vergleich zu den anderen Benchmark Objekten ist.

Als Beispiel:

Das Kriterium der CPU besitzt für alle 3 ausgewerteten Fälle der Benchmark Objekte ein „-“ Zeichen. Die Central Processing Units (CPUs) der Gateways sind in dieser Dimension und Baugröße jedoch nicht leistungsschwach. Lediglich die Relevanz des Kriteriums CPU spielt keine so große Rolle für die Benchmark, da die CPUs der Gateways sich von der Leistung kaum unterscheiden.

### 5.3.2 Gesamtauswertung - Kriterien und ihre Relevanz für die Benchmark

Benchmarkübersicht	Benchmark-Objekte		
	Kunbus	Hilscher	Exceet
<b>Technische Details</b>			
CPU	8	8	8
Betriebssystem	2	4	4
Abmessungen	10	10	10
Flash-Speicher	10	20	20
RAM	15	15	20
Ethernet	20	25	20
CAN	15	25	15
OT Schnittstellen	6	12	9
HDMI	8	8	2
WLAN/Bluetooth	2	6	2
<b>Summe</b>	<b>96</b>	<b>133</b>	<b>110</b>
<b>Aufwand für Inbetriebnahme</b>			
Firmwarevorbereitung	5	25	25
Softwarevorbereitung	4	16	12
IP Vorkonfiguration	5	25	25
<b>Summe</b>	<b>14</b>	<b>66</b>	<b>62</b>
<b>Lokaler Zugriff</b>			
Containerverwaltung	10	10	15
SSH	25	25	25
<b>Summe</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>Fernzugriff</b>			
Containerverwaltung	5	25	15
SSH	8	20	8
<b>Summe</b>	<b>13</b>	<b>45</b>	<b>23</b>

Tabelle 28: Gesamtauswertung - Benchmarkübersicht Teil 1

## 5 Ergebnis der Benchmark

---

Benchmarkübersicht	Benchmark-Objekte		
	Kunbus	Hilscher	Exceet
<b>Handling und Alltagseignung</b>			
Firmwareupdate	4	20	8
Softwareupdate	5	25	20
Livedaten	4	20	12
Benutzerverwaltung	3	15	15
User Interface	5	25	16
<b>Summe</b>	<b>21</b>	<b>105</b>	<b>71</b>
<b>Sicherheit</b>			
IEC 62443	5	5	25
Sicherheitsmechanismen	5	5	25
<b>Summe</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>50</b>
<b>Finanzierung</b>			
Gatewaypreis	20	20	4
Servicegebühren	16	8	8
<b>Summe</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>12</b>
<b>Gesamt Summe</b>	<b>225</b>	<b>422</b>	<b>368</b>

Tabelle 29: Gesamtauswertung - Benchmarkübersicht Teil 1

### 5.3.3 Einordnung des Benchmarks mit Hilfe der Benchmarkgrenzen

Die in Kapitel 4.6 bestimmten Grenzen des Benchmarks werden in diesem Kapitel bewertet.

**Die Vorauswahl der Gateways wurde von Dunkermotoren getroffen**  
Es ist nicht auszuschließen, dass es ein Gateway Modell von einem anderem Hersteller gibt, welches ebenfalls geeignet wäre.

**Als Dienstleister für die Kommunikation mit dem Kunbus Gateway wurde macchina.io verwendet**

Auf macchina.io ist man durch eine Recherche gestoßen. Es ist nicht auszuschließen, dass es weitere geeignete Dienstleister hierfür gibt. Es wurde kurzzeitig „remote.it“ getestet.

**Die eigentliche Alltagseignung kann ohne Erfahrungswerte nicht bestimmt werden**

In der Kategorie Alltagseignung sind ausschließlich Erfahrungswerte enthalten die bewertet werden konnten.

## **5.4 Handlungsempfehlung**

Um ein Benchmark Objekt zu empfehlen wird die Gesamtauswertung der Benchmarkübersicht betrachtet. Mit 422 besitzt die Option von Hilscher die höchste Wertigkeit und ist somit am besten für die Empfehlung qualifiziert. Die Gateway Integration in einem Kundennetzwerk ist stets ein Eingriff in ein fremdes Netzwerk und bringt ein Gefahrenpotenzial mit sich. Es sind nicht nur neue Sicherheitslücken, welche eine Gatewayintegration mit sich bringen kann. Wenn ein Gateway zukünftig in einem Kundennetzwerk integriert ist kann durch eine Fehlfunktion der Antriebe die sich im Gatewaynetzwerk befinden, je nach Einsatzgebiet, ein enormes Gefahren Potenzial bestehen. Motoren können im schlimmsten Fall physischen Schaden an Maschinen oder Menschen anrichten. Das Exceet Gateway schneidet in der Sicherheitskategorie fünf Mal so gut ab wie die anderen beiden Modelle. Des weiteren schneidet es in der Gesamtauswertung ebenfalls deutlich besser ab als das Kunbus Modell. Deshalb wird empfohlen den Exceet Entwicklern weiterhin Zeit zu geben an der Nutzerfreundlichkeit ihres Cloud Portals weiterzuarbeiten.

Für das weitere Entwickeln der nexofox Projekte wird das Hilscher Gateway empfohlen. Mit diesem können viele Funktionen bereits problemlos umgesetzt werden und Testimplementierungen durchgeführt. Für die aktuelle Aufbauphase der nexofox Cloud Plattform ist dieses laut der Benchmark am besten für die Dunkermotoren GmbH geeignet.

# **6 Fazit**

## **6.1 Reflexion der Abschlussarbeit**

Nach einer Weile in der Abteilung hat sich aus meiner Sicht viel geändert was den persönlichen Wissensstand zum Thema IIoT anbelangt. Es fiel erst schwer den Begriff „Benchmark“ zu fassen und ein Konzept für Gateways zu erarbeiten. Jedoch haben sich, durch die ständig gesammelten Erfahrungswerte mit den Gateways, irgendwann die Kategorien für das Benchmark von selbst ergeben. Die nexofox Marke von Dunkermotoren GmbH betreut aktuell mehrere Abschlussarbeiten. Weil die IIoT Thematik in der Industrie immer mehr an Wert gewinnt ist das ein Bereich mit vielen neuen Problemen sowie dazugehörigen Lösungen.

## **6.2 Ausblick**

Nachdem die Handlungsempfehlung für das Unternehmen abgeschlossen wird der Kontakt zu den Anbietern der Gateways fortgeführt. Zwar wird sich nexofox vorraussichtlich für die empfohlene Variante von Hilscher entscheiden. Jedoch wird der Support von Exceet weiterhin in Anspruch genommen. Es macht den Eindruck, als würde sich künftig viel auf der Edge des Kunden abspielen. Es werden noch viele Unternehmenskooperationen und einiges an Arbeit nötig sein um das volle Service-Potential auf der Edge zu entfalten. Das bringt mit sich, dass die Wichtigkeit bei der Auswahl der Gateways und das Arbeiten mit Ihnen weitgehend eine große Rolle spielen wird. Wenn es z.B. um Serviceleistungen wie Predictive Maintenance, bzw. allgemein den Umgang mit Informationen und Daten geht. Es macht den Anschein als wäre in manchen Fällen Rechenleistung und Speicher wichtiger als eine Echtzeitverbindung ins Netz. Für größere Datenmengen werden ziemlich sicher Systeme verwendet die eine größere Dimensionierung besitzen als die in diesem Benchmark qualifizierten Gateways.

# Literaturverzeichnis

- [1] “Iec 62443: Die internationale normenreihe für cybersecurity in der industrieautomatisierung,” Zugegriffen: 17/01/2022. [Online]. Available: <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/industry/iec-62443-cybersecurity-industrieautomatisierung>
- [2] M. Alam, K. A. Shakil, and S. Khan, Eds., *Internet of Things (IoT): Concepts and Applications*, 1st ed., ser. Springer eBook Collection. Cham: Springer International Publishing and Imprint Springer, 2020.
- [3] D. Bermbach, E. Wittern, and S. Tai, *Cloud service benchmarking: Measuring quality of cloud services from a client perspective*. Cham: Springer, 2017.
- [4] J. Cook, *Docker for Data Science: Building Scalable and Extensible Data Infrastructure Around the Jupyter Notebook Server*. Berkeley, CA: Apress, 2017. [Online]. Available: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4984516>
- [5] Dunkermotoren GmbH, “Gleichstrommotoren von dunkermotoren - linear-motor, servomotor, dc-, bldc- und ec-motor: Dunkermotoren,” Zugegriffen: 20/01/2021. [Online]. Available: <https://www.dunkermotoren.de/>
- [6] ——, “nexofox - dunkermotoren gmbh,” Zugegriffen: 20/01/2021. [Online]. Available: <https://www.dunkermotoren.de/nexofox>
- [7] exceet connect - EC 62443 konforme Security Lösung für IoT, “exceet connect - secure edge computing — it security at the edge,” Zugegriffen: 21/01/2022. [Online]. Available: <https://exceet-connect.de/#edgedevice>
- [8] R. Herrero, *Fundamentals of IoT Communication Technologies*, 1st ed., ser. Springer eBook Collection. Cham: Springer International Publishing and Imprint Springer, 2022.
- [9] Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH, “netfield edge,” Zugegriffen: 21/01/2022. [Online]. Available: <https://www.hilscher.com/netfield/netfield-edge/>

- [10] *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT) proceedings.* Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9217527>
- [11] IPO-IT GmbH, “Benchmarking wissen und definitionen -dbz berlin,” 04/11/2020. [Online]. Available: <https://benchmarkingforum.de/benchmarking-wissen/>
- [12] S. Kounev, K.-D. Lange, and J. G. von Kistowski, *Systems benchmarking: For scientists and engineers.* Cham, Switzerland: Springer, 2020.
- [13] Revolution Pi —, “Revpi connect,” Zugegriffen: 21/01/2022. [Online]. Available: <https://revolutionpi.de/revpi-connect/>
- [14] V. Upadrista, *IoT Standards with Blockchain: Enterprise Methodology for Internet of Things*, 1st ed., ser. Springer eBook Collection. Berkeley, CA: Apress and Imprint Apress, 2021.