



# **Digitale Transformation mit SAP Leonardo in der Energiewirtschaft**

Bachelorarbeit

Erstprüfer: Prof. Dr. Hergen Pargmann  
Zweitprüfer: Prof. Dr. Harald Schallner

Vorgelegt von: Kübra Tokuc  
Scharnhorststraße 54  
26131 Oldeburg  
+49 1577 266 1219  
kuebra.tokuc@student.jade-hs.de

Abgabetermin: 20. Januar 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Akronyme</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Quelltextverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	1
1.2. Problemstellung . . . . .	2
1.3. Lösungsansatz . . . . .	2
1.4. Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2. Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1. Industrie 4.0 . . . . .	4
2.1.1. Definition . . . . .	4
2.1.2. Historischer Kontext . . . . .	5
2.1.3. Technologische Treiber . . . . .	7
2.1.4. Kommunikationssysteme . . . . .	10
2.2. Digitale Transformation mit Internet of Things . . . . .	11
2.2.1. Allgemeine Anforderungen zur Umsetzung von Industrie 4.0 . . . . .	11
2.2.2. Standardisierung und Normung . . . . .	12
2.2.3. Das neue Paradigma: Cloud Computing . . . . .	15
2.2.4. Der Wandel im Energiesektor . . . . .	16
2.3. Toolset/Innovationsplattformen/Werkzeuge . . . . .	17
2.3.1. SAP Cloud Platform . . . . .	18
2.3.2. SAP Leonardo . . . . .	18
2.3.3. AWS Cloud . . . . .	19
2.3.4. Git . . . . .	19
<b>3. Umsetzungskonzept für die digitale Transformation</b>	<b>20</b>
3.1. Repräsentativer Anwendungsfall für die Energiewirtschaft . . . . .	20
3.1.1. Geschäftsprozess . . . . .	20
3.1.2. Anforderungen . . . . .	20
3.2. Systementwurf und -analyse . . . . .	22
3.2.1. Systemarchitektur . . . . .	22
3.2.2. REST API . . . . .	23
3.2.3. Edge-Processing . . . . .	23
3.2.4. Destinations . . . . .	23

---

3.2.5.	Message Processing . . . . .	23
3.2.6.	Sicherheit . . . . .	23
3.3.	Prototypische Implementierung des Anwendungsfalls . . . . .	23
3.3.1.	Anbindung der Sensoren an das Edge-Gerät . . . . .	23
3.3.2.	Geräteverwaltung . . . . .	23
3.3.3.	Einrichtung der Gateway-Edge . . . . .	24
3.3.4.	Senden der Daten an die Cloud . . . . .	24
3.3.5.	Erstellen des digitalen Zwillings . . . . .	24
3.3.6.	Visualisierung mit einer UI5-Applikation . . . . .	24
3.3.7.	Benachrichtigung mit AWS SNS-Server . . . . .	24
3.3.8.	Events generieren mit NodeJs . . . . .	24
<b>4.</b>	<b>Evaluation</b>	<b>25</b>
4.1.	Experteninterview . . . . .	25
4.2.	Technischer Benchmark . . . . .	25
<b>5.</b>	<b>Fazit</b>	<b>26</b>
	<b>Literatur</b>	<b>V</b>
<b>A.</b>	<b>Anhang 1</b>	<b>VIII</b>
<b>B.</b>	<b>Anhang 2</b>	<b>VIII</b>

## Akronyme

<b>IOT</b>	Internet of Things .....	1
<b>REST</b>	Representational State Transfer .....	10
<b>MQTT</b>	Message Queuing Telemetry Transport .....	10
<b>URI</b>	Unified Resource Identifier .....	11
<b>HTTP</b>	Hypertext Transfer Protocol .....	10
<b>SAP IS-U</b>	SAP Industry Solutions for Utilities .....	1
<b>AWS</b>	Amazon Web Services .....	2
<b>SNS</b>	Simple Notification Service .....	2
<b>CPS</b>	Cyber-physische Systeme .....	5
<b>IPv4</b>	Internet Protocol Version 4 .....	7
<b>IPv6</b>	Internet Protocol Version 6 .....	7
<b>RFID</b>	radio-frequency identification .....	7

## Abbildungsverzeichnis

1.	Die vier Stufen Industrieller Revolutionen . . . . .	6
2.	CPS in der Industrie 4.0 . . . . .	8
3.	Prognose zur Anzahl der vernetzten Geräte im Internet of TThings weltweit . . . . .	9
4.	Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 . . . . .	13
5.	Dimensionen der Digitalisierung . . . . .	15
6.	Transformation vom Versorgungswerk zum digitalen Energiedienstleister . . . . .	18
7.	Digitale Welt als Katalysator für Utility 4.0 . . . . .	19
8.	Referenzarchitektur von SAP . . . . .	22

## Tabellenverzeichnis

## Listings

# 1. Einleitung

Internet of Things (IOT)

## 1.1. Motivation

*„Wenn Technologien und Gesellschaft sich schneller ändern, als Unternehmen in der Lage sind sich anzupassen, dann kommt es ganz nach den Regeln der Evolution zum Austerben bestimmter Unternehmenstypen.“*

Roth (2016, S. 3, zitiert nach Land, K.-H. 2015)

Wie das obige Zitat andeutet, erweist sich die Fähigkeit zur Adaption an neue Technologien durch Digitalisierung als Schlüssel für den Unternehmenserfolg. Diese Fähigkeit ermöglicht Unternehmen, durch die erlangene Schnelligkeit, Flexibilität und Produktivität ihre Effizienz zu steigern (Roth, 2016).

4. Industrielle Revolution und das ihr zugeschriebene Potenzial beschreiben. Viele Branchen profitieren aber es gibt eine Branche, ohne die die Revolution zu einem nicht möglich wäre und die zum anderen auf sie angewiesen ist. Die Energiebranche ist aufgrund der steigenden Nachfrage, durch immens zunehmende Vernetzung und Digitalisierung, mehr als je zuvor auf intelligente und effiziente Prozesse angewiesen. Digitalisierung und Dezentralisierung in der Energiewirtschaft und so. In Energiewirtschaft wird außerdem SAP Industry Solutions for Utilities (SAP IS-U) ausschließlich benutzt. Es findet ein Sprung in das Zeitalter des „Utility 4.0“ statt (Doleski, 2017). Umstieg auf erneuerbare Energien durch Energiewende, Ausstieg aus Kernkraft mit 2022. Der Markt bringt intelligente Messsysteme für dezentrale Energieerzeugung wie die Smart Meter Technologie als Enabler für die Digitalisierung auf den Markt. Dennoch gibt es viele alte Technologien. Hier bisschen weitläufiger die Digitalisierung in Energiewirtschaft beschreiben mit Bezugnahme auf den Vertrieb, die Verfügbarkeit, Erfüllen von Kundenwünschen, digitale Multi-Channeling Plattformen

- <https://www.bdew.de/energie/digitalisierung/was-bedeutet-der-trend-der-digitalisierung-fuer-die-energiewirtschaft/>

## 1.2. Problemstellung

Monitoring der Sensorwerte einer Windenergieanlage mit SAP-Technologien mit geschlossenem Kreis -> Sensorwerte lösen Aktion wie SMS aus

Da in der Energiewirtschaft langfristige und teure Investitionsgüter bestehen, können Sie nicht einfach durch neue digitalisierte Güter ersetzt werden. Umso mehr besteht die Herausforderung, alte Techniken mit neuen Technologien auf die Digitalisierung vorzubereiten. Wir haben zum Beispiel eine alte Windenergieanlage, die nicht mit den notwendigen Sensoren ausgestattet sind. Es soll trotzdem ermöglicht werden, Konditionen der Anlage und dessen Umgebung zu überwachen, um z.B. Wartungsmaßnahmen auszulösen.

## 1.3. Lösungsansatz

Da Energiebranche ausschließlich mit SAP Industry Solutions for Utilities (SAP IS-U) ihre Geschäftsprozesse verwaltet, liegt eine digitale Transformation mit SAP-Produkten nahe. Dazu wurde ein Raspberry Pi 3 mit entsprechender Sensorik für die Simulation einer Windenergieanlage ausgestattet. Die gemessenen Werte wurden an den Internet of Things Service der SAP Cloud Platform gesendet und anschließend einem digitalen Zwilling übergeben. Um den Zwilling mit entsprechenden Messwerten und Grenzüberschreitungen sichtbar zu machen, wurde eine SAP UI5-Anwendung entwickelt. Um aus den gemessenen Werten einen Mehrwert zu gewinnen, wurde ein Amazon Web Services (AWS) Simple Notification Service (SNS) angebunden, der bei Grenzüberschreitung bestimmter Messwerte eine SMS-Benachrichtigung versendet. All diese Maßnahmen werden prototypisch implementiert.

## 1.4. Aufbau der Arbeit

- Zunächst Industrie 4.0 und treibende Faktoren allgemein
- Was ist der Mehrwert von Kommunikationssystemen und welche Protokolle sind Grundlage für die Vernetzung?
- Welche Referenzarchitektur vereinheitlicht industrielle Standards und Anforderungen an die Systeme?

- Was ist Cloud Computing und welche Rolle spielen dessen Technologien für Industrie 4.0?
- Welche Toolsets sind für die Lösung vorhanden?
- Use Case: Für welchen Anwendungsfall in der Energiebranche wird ein Prototyp entwickelt?
- Was sind die Anforderungen an den Prototypen? Näherer Bezug auf Energiebranche.
- Welche Komponenten besitzt das entworfene System bzw. sind notwendig?
- Wie sieht die Implementierung im Detail aus?
- Evaluierung des Vorgehens
- Fazit



## 2. Grundlagen

### 2.1. Industrie 4.0

Dieses Kapitel soll die Relevanz der Thematik verdeutlichen, indem sie in einen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen sowie in einen technischen Kontext gebracht wird. Zunächst wird erläutert, was hinter dem Begriff *Industrie 4.0* steckt. Dem Ausdruck wird mehr Sinn verliehen, wenn die historische Entwicklung bekannt ist. Anschließend werden die treibenden Technologien kurz erläutert. Da die Vernetzung für Industrie 4.0 eine tragende Rolle spielt, werden zuletzt Theorien und Technologien zu Kommunikationssystemen aufgegriffen.

#### 2.1.1. Definition

Laut der Fraunhofer-Gesellschaft (2016) habe die *Industrie 4.0* einen revolutionären Einfluss auf die Wertschöpfung in der Industrie und somit auf die Volkswirtschaft. Dieser Marketingbegriff prägt heute die Agenda vieler Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Doch was genau hinter dem Begriff zu verstehen ist, bleibt aufgrund des Fehlens einer „wissenschaftlichen Präzision“ uneindeutig (Bendel, 2019b). Für die Gestaltung der digitalen Transformation entstand das Netzwerk *Plattform Industrie 4.0* zwischen der Bundesregierung, Forschungseinrichtungen und Wirtschaft. Dieses hat zum Ziel, die Produktion mittels modernster Informations- und Kommunikationstechnologien entlang der Wertschöpfungskette „flexibler, individueller und effizienter“ gestalten (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019). In der Umsetzungsstrategie der Bitkom e.V (2015, S. 8) wird der Begriff wie folgt definiert:

*„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.“*

Darüber, auf welcher Basis die digitale Transformation in der Industrie stattfinden wird, scheinen sich jedoch alle einig: durch die *intelligente Vernetzung aller*

am Produktlebenszyklus beteiligten Menschen, Objekte und Systeme (Roth, 2016). Das Wesentliche der Vernetzung bilden dezentrale Cyber-physische Systeme (CPS) (Bendel, 2019a). Die tatsächliche Wertschöpfung ergibt sich aus den in Echtzeit verfügbaren quantitativen Informationen, aus welchen man durch Analysen qualitative Erkenntnisse schließen und optimierte Aktionen auslösen kann (Hänisch, 2017). Nach Sendler (2016) gibt es für den Erfolg von *Industrie 4.0* entscheidende Faktoren: Mittlerweile sind digitale Komponenten wie Sensoren, Aktoren oder Kameras so günstig und klein, dass sie in allen möglichen Bereichen eingebaut werden und Umgebungsdaten messen und aufnehmen können. Dank dem Internetprotokoll IPv6 und dem dadurch verfügbaren Adressraum können diese Komponenten ihren Platz im Internet finden. Dass die Informatik sich damit zur wichtigsten Ingenieursdisziplin entwickle, sei unterlässlich, da sie für die Vernetzung der Welt gebraucht werde.

### 2.1.2. Historischer Kontext

Um den aktuellen Stellenwert von Industrie 4.0 zu beschreiben, wird oft von der vierten industriellen *Revolution* gesprochen. Revolutioniert wurde die Industrie erstmalig im 18. Jahrhundert mit der Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomon und James Watt - die **erste industrielle Revolution** (Roth, 2016). Mit Errungenschaften wie dem dampfgetriebenen Webstuhl ging eine **Mechanisierung** der Produktion einher. Schon damals förderte eine Erfindung, die Lokomotive, eine Vernetzung, die einen regen Warenaustausch ermöglichte (Barthelmäs et al., 2017).

Durch die **Elektrifizierung** in der Industrie und der Zerlegung von Produktionsschritten in einzelne Einheiten konnten ab 1870 die Waren auf Fließ- und Förderbändern in Massen produziert werden. Angestoßen wurde die **zweite industrielle Revolution** von Erfindungen wie der Verbrennungskraftmaschine und dem Elektromotor sowie der Herstellung von Syntheseprodukten. Neben fossilen Energieträgern wie Kohle und Öl kam auch die Kernkraft hinzu (Barthelmäs et al., 2017).

Die **dritte industrielle Revolution** ab den 1970er Jahren, in der wir uns noch heute befinden, brachte die **Automatisierung** der Produktion durch die **Digitalisierung** (Voigt, 2018). Getrieben wurde die Revolution durch das Wirtschaftswunder der 1960er Jahre (Roth, 2016) und ermöglicht durch den Ausbau von Informations- und Kommunikationstechnologien. Entscheidende Technologien waren vielfältig. 1941

entwickelte der Bauingenieur Konrad Zuse den ersten programmgesteuerten und vollautomatischen Computer und setzte den Grundstein für eine rasante Entwicklung der nachfolgenden Technologien. Mit der Verbreitung von Mikroprozessoren, der Miniatisierung der Elektronik sowie der nach dem Mooreschen Gesetz vorausgesagten Zunahme der Prozessorstärke nahm die Welt ein neues Tempo an (Sendler, 2016). Einen nicht unwesentlichen Beitrag leistet die Raumfahrttechnik, ohne deren Satellitentechnik eine globale Kommunikation nicht möglich wäre. Da der energieintensive Einsatz dieser Technologien ein Bewusstsein über die Endlichkeit der fossilen Ressourcen schuf, kamen auch erneuerbare Energien hinzu (Barthelmäs et al., 2017).

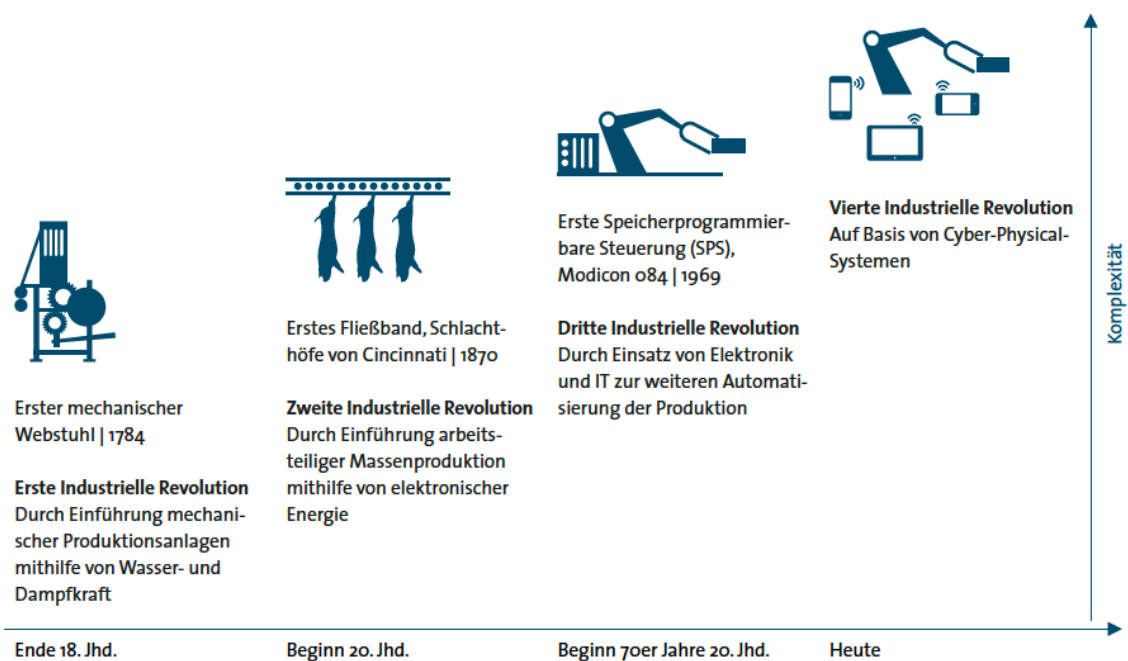


Abbildung 1: Die vier Stufen Industrieller Revolutionen (Bauer et al., 2014, S. 9)

Die Industrie 4.0 tatsächlich als **vierte Industrielle Revolution** zu bezeichnen wird kritisiert, da sie u.a. keine neuen technologischen Innovationen hervorbringe, sondern sich lediglich an den Technologien der dritten Revolution bediene (Barthelmäs et al., 2017). Auch wenn die Technologien nicht unbedingt als revolutionär zu bezeichnen sind, durchlaufen sie eine Evolution und stoßen einen Wandel durch Industrie 4.0 an (Roth, 2016). Es entstehen eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle und Produktionsprozesse, die zu Effizienzsteigerungen führen (Bitkom e.V., 2015).

### 2.1.3. Technologische Treiber

Industrie 4.0 zeichnet sich durch das Zusammenwachsen der realen und physischen Welt zu mit Sensorik und Aktorik ausgestatteten Objekten aus, die per Internet miteinander verbunden sind (Bitkom e.V., 2015). Dieses Phänomen ist geprägt von Trendtechnologien wie *Big Data*, *Internet of Things*, *Blockchain*, *Cloud Computing* und *Machine Learning*, die in kombinierter Nutzung einen Mehrwert erzeugen.

**Cyber-physische Systeme (CPS)** sind physische Objekte mit einem Datenobjekt als virtuelle Präsenz im Netz und bilden die Grundlage von Industrie 4.0 (Drath, 2016). Das Hauptmerkmal eines CPS ist das mit dem Internet verbundene *eingebettete System*, welches über Sensoren Daten aus der Umwelt aufnimmt, über Aktoren wieder mit ihr interagiert und sich somit an sie anpasst. Diese Fähigkeit, die Informationen zu verarbeiten und zu versenden, wird dem CPS durch *Ubiquitous Computing* verliehen. Entscheidend für die implizite und allgegenwärtige Nutzung von IT ist neben der Ausstattung mit Sensoren und Aktoren die Verfügbarkeit von Kommunikationsmodulen und Rechenleistung (Roth, 2016). Somit wird den Systemen die Fähigkeit verliehen, sich untereinander *dezentral und autonom* zu vernetzen (Bauernhansl, 2014). Zudem besitzen CPS die Eigenschaft, auch mit Menschen zu interagieren: zum einen über direkte Kommunikation wie Monitoring und Befehle und zum anderen, um komplexe Aufgaben gemeinsam zu lösen (Lüth, 2016).

**Das Internet of Things (IoT)** ist das Verbindungsstück zwischen dem Internet und dem Objekt des *Ubiquitous Computing* (Roth, 2016). Das Gerät bzw. das *Thing* ist in der Lage dazu, selbstständig den eigenen Zustand zu erfassen und zu kommunizieren (Kenn, 2016). Dafür muss das Gerät allerdings eindeutig mit z.B. IP-Adressen oder radio-frequency identification (RFID) identifizierbar sein. Während das Internet Protocol Version 4 (IPv4) mit seinen rund 4,3 Milliarden Adressen noch nicht einmal die in 2016 verbundenen 6 Milliarden Geräte (siehe Abbildung 3) platzieren kann, schafft das Internet Protocol Version 6 (IPv6) mit 340 Sextillionen ( $2^{128}$ ) Adressen genügend Platz für 20 Milliarden prognostizierte Geräte in 2020. Das Entscheidende für das *Internet der Dinge* ist, dass die Daten nicht lokal auf dem Gerät gespeichert werden, sondern über das Dienste im Internet bestimmten Personen oder Parteien zur Verfügung gestellt werden: **das Internet der Dinge und Dienste**



Abbildung 2: CPS in der Industrie 4.0 (Roth, 2016, S. 30)

(Hänisch, 2017). Einen Mehrwert bilden die Daten durch die zentrale Aggregation und Analyse, auf deren Grundlage Entscheidungen getroffen werden können. Diese Eigenschaften lassen sich in der für IOT-Projekte typische Grundarchitektur wiederfinden: *Datentransport, Datenhaltung und Analyse* (Kenn, 2016). Der Kreis schließt sich durch die Weitergabe der verarbeiteten Daten als Steuerungsdaten an die Maschine, sodass sich der Fokus von einer Mensch-Maschinen-Interaktion auf eine Maschine-zu-Maschine-Interaktion verschiebt (s. Abbildung 2).

**Cloud Computing** stellt die IT-Infrastruktur, die ein Industrie 4.0-fähiges CPS benötigt. Der *Datentransport* vom Gerät hat oftmals eine Cloud-Plattform als Ziel, auf der die *Datenhaltung* stattfindet (Elsner et al., 2018). Die in die Cloud ausgelagerten Dienste wie Big Data oder Analytics ermöglichen *Analysen* durch Aggregationen und Auswertungen (Roth, 2016). Der Nutzen der Cloud steigert sich durch das Kombinieren der Angebote der Cloud-Dienstleister wie Amazon, SAP oder Microsoft (Hänisch, 2017). Diese Anbieter stellen weltweit Rechenzentren, auf denen für Industrie 4.0 ausschlaggebende Services bereitgestellt werden:



Abbildung 3: Prognose zur Anzahl der vernetzten Geräte im IOT weltweit (Gartner, 2017)

**Big-Data-Technologien** dienen der Verarbeitung der massiven gesammelten Datenmengen und ermöglichen damit die Nutzung, Verwertung, Vermarktung und vor allem Analyse der digitalen Daten (Radtke und Litzel, 2019). Die Datenmengen können z.B. aus Maschine-zu-Maschine Interaktionen, Transaktionen, Verbraucherdaten oder sozialen Medien stammen (Elsner et al., 2018). **Wird oft für predictive Maintenance genutzt.**

**Machine Learning** beruht sich ähnlich wie Big Data auf die *Extraktion von Wissen aus Daten* und ermöglicht dem Computer die selbstständige Ausführung bestimmter Aufgaben, ohne dass sie explizit programmiert werden müssen (Hänisch, 2017). Mittels Algorithmen können die Programme aus den Daten lernen und Muster erkennen, aus denen sie Schlussfolgerungen ziehen können (Elsner et al., 2018). Somit könne Aussagen über das wahrscheinlich zukünftige Verhalten des Systems

getroffen werden (*Predictive Analytics*), aus denen in Zukunft auch Handlungsoptionen vorgeschlagen werden sollen (*Prescriptive Analytics*) (Hübschle, 2017).

**Blockchain** ist die Technologie, auf der die erste Kryptowährung Bitcoin basiert. Die Haupteigenschaften der digitalen Währung sind die Dezentralität sowie die Unveränderbarkeit und Transparenz der Transaktionshistorie. Auf Grundlage dieser Eigenschaften eines Peer-to-Peer-Systems entwickeln sich neue Geschäftsmodellmuster in verschiedensten Branchen wie Finanzen, Logistik und Transport, aber auch neue Sicherheitskonzepte (Elsner et al., 2018).

- in diesem Kapitel sieht man die Evolution besonders gut

#### 2.1.4. Kommunikationssysteme

Die Vernetzung ist der Schlüssel zur Dezentralität und Autonomie der CPS - und somit zum Erfolg - in der Industrie 4.0 (Bauernhansl, 2014). 1980 stellte der Erfinder des Ethernets Robert Metcalfe eine Theorie zum Nutzen eines Netzwerks auf, die mit dem sog. *Netzwerkeffekt* in vielen wissenschaftlichen Disziplinen Anwendungen findet (Lea, 2018). Bauernhansl (2014, S. 18) beschreibt das Konzept, „[...] dass der Nutzen eines Kommunikationssystems mit dem Quadrat der Anzahl seiner Teilnehmer wächst.“ Angewandt auf das Internet of Things (IOT) stellen die Sensoren und Edge-Geräte die Nutzer dar und steigern den Wert der CPS, welche die Kommunikationssysteme bilden (Lea, 2018). Dem rasanten Anstieg der miteinander vernetzten Geräte (s. Abbildung 3) liegt außerdem das nach wie vor geltende Moore'sche Gesetz zugrunde (Barthelmäs et al., 2017). Demnach verdoppelt sich die Rechner- bzw. Chipleistung alle zwei Monate bei gleichbleibenden Preisen. Folglich können Technologien, die aktuelle noch zu hohe Preise aufweisen, in Zukunft günstiger betrieben werden (Bauernhansl, 2014). Dieser Zusammenhang fördert die Fähigkeiten zur autonomen und intelligenten Vernetzung der dezentralen Systeme und führt zur Effizienzsteigerung (Barthelmäs et al., 2017).

Flexibilität in der Vernetzung bieten standardisierte und simple Protokolle wie Representational State Transfer (REST) und Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) zum Datenaustausch im Internet (Hänisch, 2017).

**REST** ist ein Architekturstil, der auf dem Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

basiert und zum Lesen, Erstellen und Bearbeiten von Ressourcen dient. Der Ansatz ist, einheitliche Anfragen an die Ressourcen-Schnittstellen per Unified Resource Identifier (URI) zu adressieren und HTTP-kodiert zu versenden (Sendler, 2016).

**MQTT** ist ein offenes Kommunikationsprotokoll, welches zur Übertragung von Telemetriedaten zwischen Maschinen bei niedriger Bandbreite geeignet ist und basiert auf dem Publisher-Subscriber-Prinzip (Lea, 2018).

- OPCUA

## 2.2. Digitale Transformation mit Internet of Things

Eine Umsetzung von Industrie-4.0-Lösungen setzt technische, organisatorische und normative Bedingungen voraus. Während einige Anforderungen für alle Bereiche in der Industrie gelten, unterscheiden sich explizite Anforderungen und Lösungen je nach individuellen Ausgangssituationen von Branchen und Unternehmen (Bauer et al., 2014). Dementsprechend werden im Folgenden zunächst allgemeine Anforderungen zur Umsetzung einer Lösung für die digitale Transformation näher beschrieben. Einen wesentlichen Stellenwert für die digitale Transformation hat das Cloud Computing als technische Voraussetzung, sodass es einer detaillierteren Erläuterung als in 2.1.3 bedarf. Als Grundlage für die anwendungsfallbasierte Anforderungsanalyse in 3.1 wird zuletzt ein Branchenbezug für die Energiewirtschaft hergestellt.

### 2.2.1. Allgemeine Anforderungen zur Umsetzung von Industrie 4.0

Im Rahmen der Industrie 4.0, die eine Spezialisierung des Internet der Dinge und Dienste darstellt, wachsen die virtuelle und reale Welt zusammen. Daraus ergibt sich die Herausforderung, die Anforderungen der IT, der Elektrotechnik sowie des Maschinenbaus miteinander zu vereinen (Hübner, 2017).

Aufgrund der heterogenen Landschaften und Ausgangssituationen der Unternehmen sei eine Standardisierung der Technologien laut Bauer et al. (2014) unerlässlich. Des weiteren ist die Weiterentwicklung von Breitbandnetzwerken für eine echtzeitfähige Kommunikation von Systemen eine Grundvoraussetzung. Notwendig sind außerdem qualitätsgesicherte Dienste im Internet, die robust gegen Störungen sind. Der Begriff *Internet der Dinge und Dienste* bezieht auf vernetzte Komponenten wie



physische Systeme, aber auch auf virtuelle Anwendungen. Da sich die Anzahl und die Beschaffenheit der Applikationen ebenso rasant ändern kann wie die der Geräte, ist eine standardisierte Laufzeitumgebung für diese von großer Bedeutung. Nicht zu vernachlässigen sind dabei die Sicherheitsaspekte. Die IOT-Anwendungen bilden eine große Angriffsfläche für Hacker, die durch Sabotage und Manipulation der Systeme eine große Gefahr darstellen. Ein historisches Beispiel für solch eine Gefahr sind die Stuxnet-Angriffe von 2010 auf iranische Atomfabriken (Bauer et al., 2014).

Allgemein können die Anforderungen und Voraussetzungen für eine IOT-Lösung auf folgende Begriffe projiziert werden (Acharya et al., 2019):

- Skalierbarkeit und Flexibilität
- Schnelligkeit
- (Ausfall-)Sicherheit
- Qualität

### 2.2.2. Standardisierung und Normung

Für die Bewältigung der oben aufgeführten Herausforderungen veröffentlichte die Plattform Industrie 4.0 das „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0“ (RAMI 4.0) sowie das Konzept zur „Industrie-4.0-Komponente“. Beide Modelle wurden 2016 nach DIN SPEC 91345 der Standardisierung zugeführt (Beuth publishing DIN, 2016).

**RAMI 4.0** ist ein branchenübergreifendes Rahmenwerk, in dem Aufgaben und Abläufe der gesamten Wertschöpfung in überschaubare Teile zerlegt und entsprechenden Normen und Standards zugeordnet werden. Das dreidimensionale Modell ist in Anlehnung auf das Smart Grid Modell erstellt und kapselt die wichtigsten Funktionalitäten aus den verschiedenen Disziplinen in Schichten. Dies schafft Flexibilität für die Konzeptionisierung und Realisierung von Industrie-4.0-Lösungen (Hübner, 2017).

Die senkrechte Achse bezieht sich auf die vertikale Integration des realen Gegenstandes (Asset), dessen virtuelle Repräsentation über die Integrationsschicht

erstellt wird. Zu den Assets werden sowohl alle in der Anlage verbauten physischen Komponenten als auch andere Vermögensgegenstände wie Software oder Patente, aber auch Menschen, gezählt (Adolphs, 2017). Über die Kommunikationsschicht

Grundlag für neue Produkte zur Cloud-basierten Kommunikation

Die beiden horizontalen Achsen beschreiben Anforderungen und Voraussetzungen für eine Industrie-4.0-Architektur aus Produktionssicht. In dieser Arbeit wird der Fokus auf die IT-Sicht gelegt. Daher wird die vertikale Integration des Asstets genauer erläutert. Auf vertikaler Achse wird das Asset, also der Gegenstand behandelt. Ziel ist die komplette Integration und die Vernezung der Produktionssysteme in Echtzeit. Asset-Layer, Integration-Layer, Commucation Layer-Standardisierte Kommunikation, Information Layer Datenhaltung, Functional

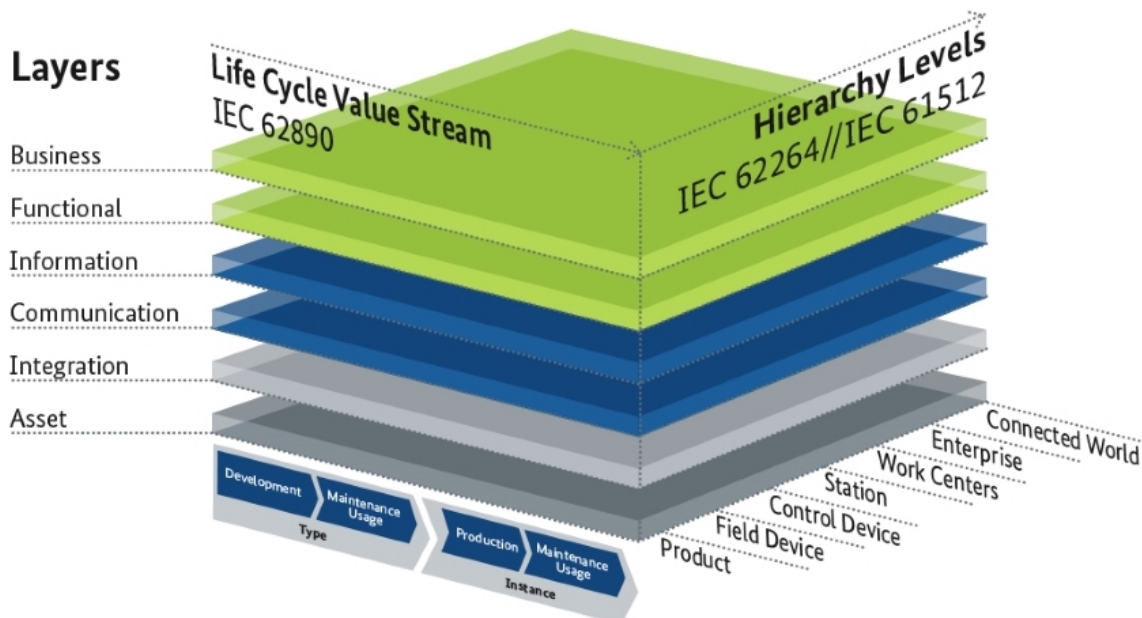


Abbildung 4: Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Bitkom e.V, 2015)

### Die Industrie-4.0-Komponente

- Bitkom bzw. Plattform Industrie 4.0 stellt Referenzarchitektur
- RAMI bietet die Möglichkeit, Industrie 4.0 UseCases zu verorten, um die für den jeweiligen use case notwendigen Normen und Standards zu identifizieren

- horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke: Lieferanten, Unternehmen, Produzenten
- Durchgängigkeit des Engineerings: Systems Engineering, Modellierung, Simulation
- vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme mit Echtzeitanforderung
- neue soziale Infrastrukturen der Arbeit: Humane-Machine-Systeme und Usability
- kontinuierliche Entwicklung von Querschnittssystemen: Netzkommunikation, Breitband, Cloud, Data Analytics, Cyber security

(Industrie 4.0 Weltweit)

Das RAMI 4.0 basiert auf den Grundideen des Smart Grids, welches das Stromnetz von der Erzeugung bis zur Verteilung zum Endverbraucher behandelt. Das dreidimensionale Modell kapselt die wichtigsten Funktionalitäten in mehreren Schichten. Dies schafft Flexibilität für die Konzeptionisierung und Realisierung von Industrie 4.0-Lösungen.

- Aspekte Industrie 4.0 (Bitkom S. 40) -> Für diese Ziele muss eine Referenz geschaffen werden
- 1 - vertikale Integration innerhalb der Fabrik/der Produktion: Vernetzung von Produktionsmitteln wie Automatisierungsgeräte oder Dienste untereinander
- 2 - Einbeziehung der Produktes (in meinem Fall produzierte Energie)
- durchgängiges Engineering bedeutet: technische, administrative, kommerzielle Daten rund um das Produktionsmittel über Wertschöpfungskette hinweg konsistent halten und jederzeit über das Netzwerk zugreifbar machen
- 3 - horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke über den Fabrikstandort hinaus und dynamische Bildung von Wertschöpfungsnetzwerken
- es gibt RAMI 4.0

- und Referenzmodell für die Industrie 4.0-Komponente (s. 45) mit Verwaltungsschale

Das Zusammenwachsen der physischen und realen Welt zu mit Sensorik und Aktorik ausgestatteten Objekten, die mit dem Internet der Dinge miteinander vernetzt werden, erfordert eine Standardisierung (Bitkom e.V., 2015).

Anforderung: Standardisierung

nach RAMI 4.0 RAMI (Referenzarchitekturmodell Industrie) 4.0: OPC-UA: Kommunikationsstandards (inkl. Sicherheit) Sensorik: Bedeutung und sehr oberflächlich Funktionsweisen beschreiben Gateways: Edge Processing Device Management Digital Twins

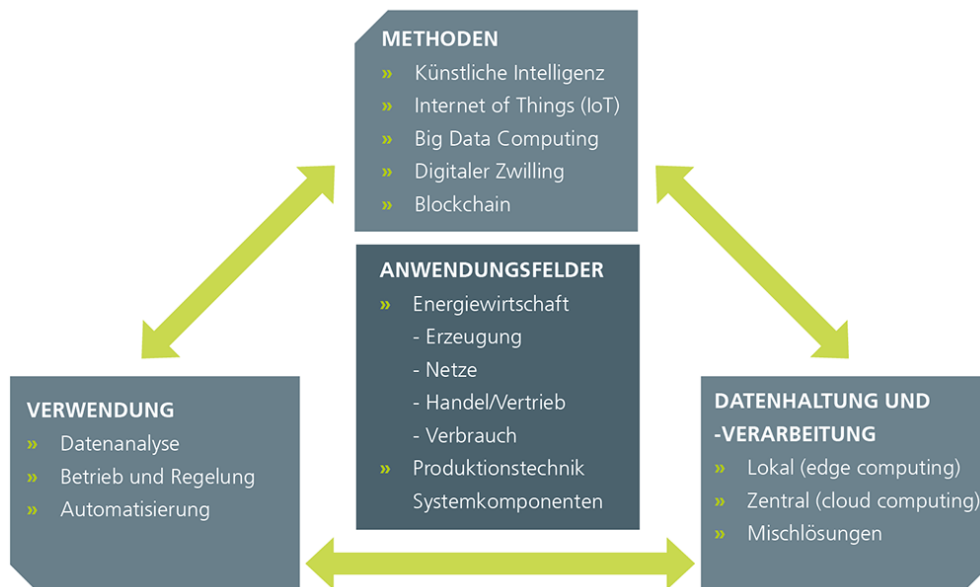


Abbildung 5: Dimensionen der Digitalisierung (Fraunhofer ISE, 2019)

### 2.2.3. Das neue Paradigma: Cloud Computing

RAMI ist Referenzarchitektur als Grundlage für neue Produkte zur Cloudbasierten Kommunikation SOA-Prinzip Kommunikation Für eine erfolgreiche digitale Transformation sind Geschwindigkeit, Flexibilität, eine hohe Qualität sowie niedrige Kosten eine Grundbedingung (Acharya et al., 2019). Die Geschwindigkeit ist notwendig, um neue Funktionen zu veröffentlichen

Cloud-Native-Development -> neues Paradigma fernab vom 3-Thier Modell IaaS, PaaS, SaaS, Microservices/SOA: service-oriented architecture Integration modularer Services!= monolithische Struktur Integration heterogener Datenquellen

cf push - and your app is alive

#### 2.2.4. Der Wandel im Energiesektor

Welche Veränderungen durchlebt der Energiesektor? Mechanisierung, Automatisierung und Digitalisierung sind die Schlagworte des industriellen Wandels, der auch die Energiewirtschaft betrifft.

Hier könnte man Bezug auf Energiesektor (kurz) nehmen und einführen, mit welchen Anforderungen und Technologien generell so ein Wandel/Transformation stattfinden kann.

- Disruption bestehender Geschäftsmodelle, vom Produzenten zum Dienstleister (Doleski, 2017)
- dezentrale und fluktuierende Energieerzeugung erfordert digitale Lösungen
- wichtige Rolle kommunaler Unternehmen als Bereitsteller von Infrastrukturen wie Strom, Gas, Wärme, Wasser, Abwasser, Abfallwirtschaft, Stadtreinigung, Breitband (Doleski, 2017)
- Beitrag zu funktionierendem Gemeinwesen, sozialer Teilhabe und Versorgungssicherheit -> Partner erster Wahl beim Gelingen der digitalen Transformation
- Wichtig für Gelingen: Erfahrungsaustausch, Kooperationen, richtige politische Rahmenbedingungen -> Katherine Reiche
- auf Unternehmensseite: Aufbau und Umsetzung einer unternehmensspezifischen Digitalisierungsstrategie: RAMI 4.0 als Referenz möglich
- Drei Revolutionen in der Energiewirtschaft (Doleski, 2017)
  1. Ab 1998: Liberalisierung und Privatisierung der Strommärkte fördert Wettbewerb, stellt aber eine Herausforderung Digitalisierungsstrategie

2. Ab 2011: Energiewende und Ausstieg aus Kernenergie fördert neue Technologien für erneuerbare Energien, aber die Berechenbarkeit der Kapazitäten verändert sich
  3. Digitalisierung: Potenzial für neue Revolution, Strom kann zwar nicht digitalisiert werden, aber die Vertriebsmodelle
- Datenschutz und Sicherheit gewinnen an Bedeutung
  - Trend: Energieversorgungsunternehmen wandeln sich Richtung Dienstleistungsunternehmen
  - „Mit der Zunahme dezentraler Einspeisungs- und Eigenversorgungsanlagen innerhalb der bestehenden Strom- und Gasnetze steigen synchron auch die Koordinationsanforderungen und die zu beherrschenden Datenmengen “ (Doleski, 2016, S. 7)
  - „Bedarf einer branchenweiten Veränderung - einer Transformation - in allen Sektoren und Phasen entlang der energiewirtschaftlichen Wertschöpfung“ (Doleski, 2016, S. 11)
  - Utility 4.0: Digitale Energieleistungsdienstleistungsunternehmen
  - Während nach Dampfmaschine, Massenproduktion und Automation nunmehr die Digitalisierung die vierte industrielle Revolution einläutet, unterliegt die Energiewirtschaft ähnlichen Entwicklungsprozessen.

### 2.3. Toolset/Innovationsplattformen/Werkzeuge

In den letzten 45 Jahren haben sich die SAP-Technologien durch kontinuierliche Veränderungen an die Anforderungen der digitalen Welt angepasst. Die Anfänge der Datenverarbeitung von SAP basierte in den 1960er Jahren auf lokalen PCs und der Mainframe-Architektur. Mit der Client-Server-Architektur und dem darauf basierenden R/3-System konnte die Software ab den 1990er Jahren eine größere Vernetzung und somit einen größeren Informationsaustausch ermöglichen. Mit der Verbreitung des Internets und dem Ausbau des mobilen Breitbandnetzes begann

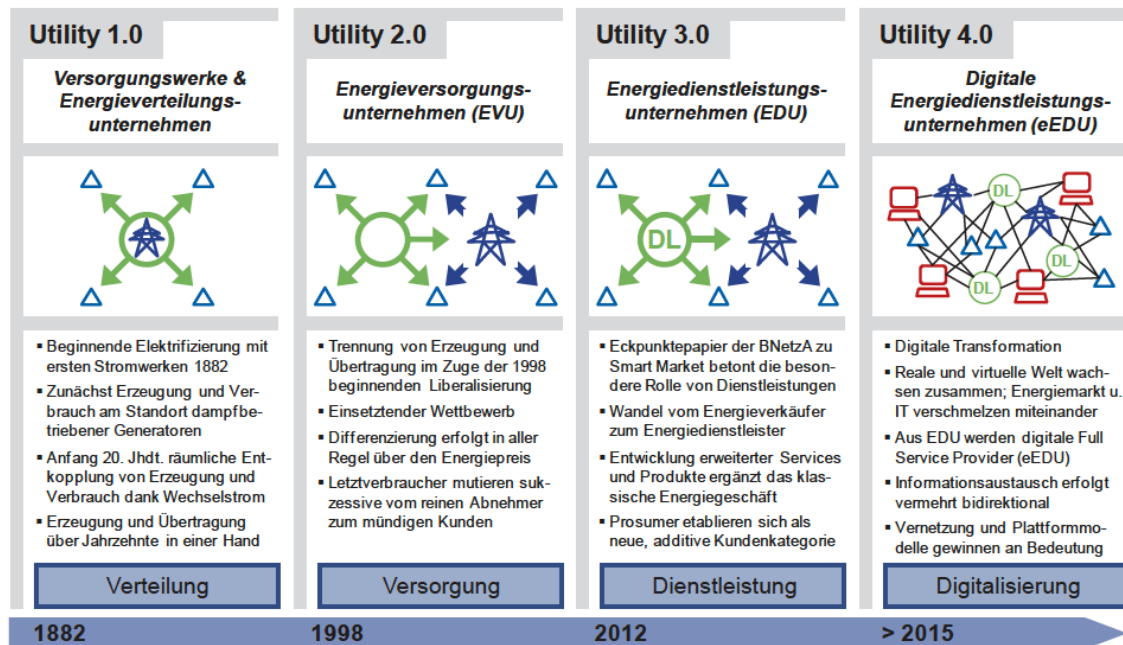


Abbildung 6: Transformation vom Versorgungswerk zum digitalen Energiedienstleister (Doleski, 2016, S. 13)

zwischen 2000 und 2010 mit den Technologien wie Cloud, Mobile und Big Data eine digitale Transformation (Elsner et al., 2018, S. 44). Mit der rasant wachsenden Datenmenge entstanden Möglichkeiten, diese intelligent zu vernetzen und einen Mehrwert daraus zu schöpfen.

Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Plattformen und deren Eigenschaften beschrieben.

### 2.3.1. SAP Cloud Platform

SAP Cloud Platform und AWS Microservices und APIs Programmiersprachen und Laufzeitumgebungen alle gängigen IaaS können zum deployen genutzt werden CF, NEO, ABAP Destinationss Innovationsplattform

### 2.3.2. SAP Leonardo

Die SAP Cloud Platform bildet die technologische Grundlage für die digitale Transformation mit SAP. Diese Technologien werden um die *SAP-Leonardo-Technologien*

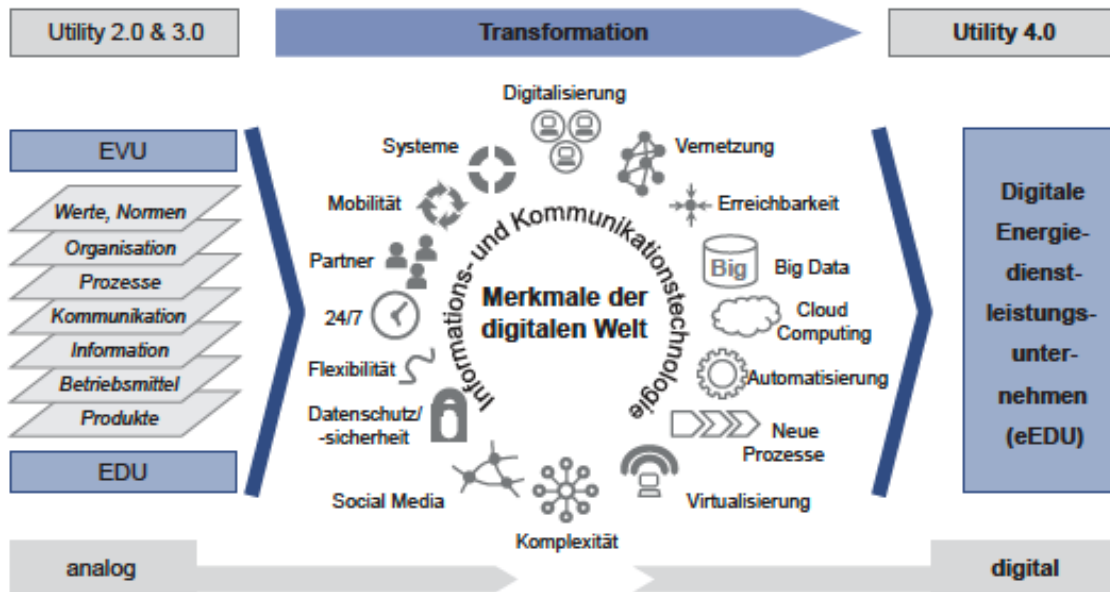


Abbildung 7: Digitale Welt als Katalysator für Utility 4.0 (Doleski, 2016, S. 17)

ergänzt. Der Begriff lehnt sich an den Innovationsgeist Leonardo da Vincis an und soll die *digitale Renaissance* mit SAP darstellen (Howells, 2017). SAP Leonardo ist nicht als Plattform oder Produkt zu verstehen. Es handelt sich vielmehr um eine Sammlung von Functional Services (s. 2.2.3 Cloud Computing), die als zukunfts-gestaltende Technologien gesehen werden (Elsner et al., 2018). Zu diesen Techno-logien gehören neben dem Internet der Dinge (Internet of Things (IOT)) auch Ma-chine Learning, Big Data, Blockchain und Advanced Analytics. Auch hierbei gilt das Prinzip des **Netzwerkeffekts** (s. 2.1.4): der Mehrwert besteht in der integrierten Anwendung in einem Kernsystem (Elsner et al., 2018).

GUI, API, SDKs

### 2.3.3. AWS Cloud

SNS-Server Außerdem basiert SCP auf AWS

### 2.3.4. Git



### 3. Umsetzungskonzept für die digitale Transformation

Hier sag ich was ich machen werde

#### 3.1. Repräsentativer Anwendungsfall für die Energiewirtschaft

Die verschiedenen Werttreiber und Anforderungen für ein Digitalisierungskonzept unterscheiden sich je nach Unternehmen und Branche. Für eine erfolgreiche Transformation müssen daher individuelle Anwendungsfälle identifiziert werden. In Anbetracht der Dynamik und des rasanten Tempos, in der neue Technologien entstehen, ermöglicht ein anwendungsfallbasierter Ansatz eine flexible und agile Anpassung. (Acharya et al., 2019, S. 31)

Aus diesen Gründen wird im Folgenden ein repräsentativer Geschäftsprozess für die Energiebranche und den damit entstehenden Anforderungen dargestellt.

(Hier Bezug auf Motivation für Energiebranche nehmen und anschließend den Geschäftsprozess erläutern.)

##### 3.1.1. Geschäftsprozess

##### 3.1.2. Anforderungen

- Welche Anforderungen ergeben sich aus dem Wandel?
- Anforderungen wie predictive Maintenance und Bezug auf RAMI 4.0.
- SAP als Tool, da Energiesektor hauptsächlich SAP Industry Solutions for Utilities (SAP IS-U)
- Industrie 4.0-Komponente (Bitkom S. 52) mit verschiedenen Ebenen

**Anforderungen an Versorgungsunternehmen im Energiesystem der Zukunft (Doleski, 2016, S. 19)**

#### **Merkmale von Akteuren in der digitalen Welt**

- Allgegenwärtige Informationsverfügbarkeit
- Soziale Visualisierung

- Absolute Mobilität
- Permanente Erreichbarkeit
- Lokalisierung
- Leistungsfähige Technologien

**Wesentliche Herausforderungen für Energieunternehmen (Doleski, 2016, S. 21)**

1. **Informationsflut:** zunehmendes Informationsangebot kann nicht oder nur bedingt aufgenommen werden
2. **Informationsverarbeitung:** zunehmendes Informationsangebot kann nicht zu Wissen verarbeitet werden
3. **Informationssysteme:** bestehende Informationssysteme liefern oftmals keine relevanten Informationen für die Unternehmensführung

**Einige Anforderungen an Versorgungsunternehmen** Die Anforderungen sollen sich nur auf die Befähiger/Enabler sowie die Prozesse der Energieunternehmen beziehen

1. Im Wettbewerb um geeignete Fachkräfte und Digital Natives bestehen [*Enabler*]
2. Aufbau eines leistungsfähigen Informationsmanagements zur Speicherung, Verarbeitung und Auswertung sehr großer Datenmengen in Echtzeit [*Enabler*]
3. Big Data beherrschen und innovative technische Lösungen anbieten [*Enabler*]
4. Image eines verantwortungsbewusst handelnden Unternehmens schaffen und glaubhaft leben [*Enabler*]
5. Kosteneffizient und professionell handeln [*Prozesse*]
6. Veränderung von Organisation und Betriebsprozessen zügig vorantreiben [*Prozesse*]
7. Alle Abläufe müssen modernen Datensicherheitsanforderungen entsprechen [*Prozesse*]
8. uvm



### 3.2.2. REST API

### 3.2.3. Edge-Processing

### 3.2.4. Destinations

Destinations: Warum braucht man Destinations und welche man benötigt (SNS), wenn man kommunizieren will mit Externe Services wie AWS SNS Interne Kommunikation der SCP CF und NEO Communication zwischen Cloud Services AWS SNS und SAP Leonardo

### 3.2.5. Message Processing

Leonardo IoT, SQL Kafka: Ich hab Leonardo IoT benutzt (in prototype erwähnen)

### 3.2.6. Sicherheit

OAuth, SSL/TLS, SAML 2.0: erklären, was SAP und AWS auch eventuell haben

## 3.3. Prototypische Implementierung des Anwendungsfalls

Angewandtes/angepasstes System-Modell pro Schritt benutztes Sicherheitstechnologie erklären/erwähnen

im Modell auch Schnittstellen, z.B. für SAP Integration, HANA, Leonardo Blockchain und Machine Learning, um zu verdeutlichen, dass die Anforderungen zur sowohl vertikalen (SAP Integration) und horizontalen (Blockchain) erfüllt werden können

### 3.3.1. Anbindung der Sensoren an das Edge-Gerät

### 3.3.2. Geräteverwaltung

mit SAP Cloud Platform Internet of Things und Device Model hier erstellen und als Bild einfügen und außerdem zunächst auf Tenants und User eingehen und Einrichtung des Services generell erklären mit eventuell den Message Processings und Gateways etc

**3.3.3. Einrichtung der Gateway-Edge**

**3.3.4. Senden der Daten an die Cloud**

**3.3.5. Erstellen des digitalen Zwillings**

**3.3.6. Visualisierung mit einer UI5-Applikation**

**3.3.7. Benachrichtigung mit AWS SNS-Server**

**3.3.8. Events generieren mit NodeJs**

## **4. Evaluation**

### **4.1. Experteninterview**

Mit Menschen sprechen

### **4.2. Technischer Benchmark**

z.B. mit Log Dateien der SCP, Kibana technische Evaluation, Request Responses

## 5. Fazit

Reflexion: Was hab ich gemacht? (Selbst-Kritisch) z.B.scheiß-Edge und SAP sehr BETA und schlecht dokumentiert blabla

Ausblick: Ausblick/Weitere Möglichkeiten Integration mit SAP Backend HANA DB APIs/SDK für Leonardo Edge Processing mit Interceptors and Adapters, echtes Gerät mit echten Sensorwerten statt RPI und teilweise simulierte Werte

Beantwortung der Frage:, wie gut man mit SAP Leonardo digital transformieren kann auch nach RAMI 4.0

## Literatur

- Acharya, G., Bajaj, G., Dhar, A., Ghosh, A., und Lahiri, A. (2019). *SAP Cloud Platform: Cloud-Native Development*. Rheinwerk Verlag GmbH.
- Adolphs, P. (2017). Smart Products / Innovative Produktentwicklung. In Schulz, T., Herausgeber, *Industrie 4.0: Potenziale umsetzen und erkennen*. Vogel Business Media.
- Barthelmäs, N., Flad, D., Haußmann, T., Kupke, T., Schneider, S., und Selbach, K. (2017). Industrie 4.0 – Eine industrielle Revolution? In *Industrie 4.0*, Seiten 33–56. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., und Ganschar, O. (2014). Industrie 4.0-Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland.
- Bauernhansl, T. (2014). *Die Vierte Industrielle Revolution - Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma*, Seiten 5–35. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Bendel, O. (2019a). Cyber-physische Systeme. Abgerufen 20. November 2019, von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/cyber-physische-systeme-54077/version-369944>.
- Bendel, O. (2019b). Industrie 4.0. Abgerufen am 19. November 2019, von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrie-40-54032/version-368841>.
- Beuth publishing DIN (2016). DIN SPEC 91345:2016-04. Beuth Verlag Berlin. Abgerufen 2. November, von <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91345/250940128>.
- Bitkom e.V (2015). Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. Abgerufen 19. November 2019, von <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf>.



- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019). Digitale Transformation in der Industrie. Abgerufen 19. November 2019, von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html>.
- Doleski, O. D. (2016). *Utility 4.0: Transformation vom Versorgungs- zum digitalen Energiedienstleistungsunternehmen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Doleski, O. D. (2017). *Herausforderung Utility 4.0: Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert*. Springer Fachmedien Wiesbaden. Hrsg.
- Drath, R. (2016). Technische Grundlagen. In Heinze, R., Herausgeber, *Industrie 4.0 im internationalen Kontext : Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach.
- Elsner, M., González, G., und Raben, M. (2018). *SAP Leonardo: Konzepte, Technologien, Best Practices*. Rheinwerk Verlag GmbH.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2016). Trends für Industrie 4.0. Abgerufen 19. November 2019, von <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Produktion-Dienstleistung/Trends-fuer-Industrie-40.pdf>.
- Fraunhofer ISE (2019). Energiewende – Paradigmenwechsel und Digitalisierung. Abgerufen 15. November 2019, von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/energiewende-digital.html>. Fraunhofer ISE.
- Ganz, B. (2019). SAP Cloud Platform Solution Diagrams & Icons. Abgerufen 12. November 2019, von <https://d.dam.sap.com/a/JPUXye>.
- Gartner (2017). Prognose zur Anzahl der vernetzten Geräte im Internet der Dinge (IoT) weltweit in den Jahren 2016 bis 2020 (in Millionen Einheiten) [Graph]. In *Statista*. Abgerufen 22. November 2019, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/537093/umfrage/anzahl-der-vernetzten-geraete-im-internet-der-dinge-iot-weltweit/>.
- Hänisch, T. (2017). Grundlagen Industrie 4.0. In *Industrie 4.0*, Seiten 9–31. Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Howells, R. (2017). Welcome to the Digital Renaissance. Abgerufen 18. November, von <https://news.sap.com/2017/07/welcome-to-the-digital-rennaissance/>.
- Hänisch, T. (2017). Grundlagen Industrie 4.0. In *Industrie 4.0*, Seiten 9–31. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hübner, I. (2017). Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). In *Industrie 4.0 im internationalen Kontext : Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach.
- Hübschle, K. (2017). Digitale Anwendungen / Datenverarbeitung in der Industrie. In Schulz, T., Herausgeber, *Industrie 4.0: Potenziale umsetzen und erkennen*. Vogel Business Media.
- Kenn, H. (2016). Architekturen für das Internet der Dinge. In Heinze, R., Herausgeber, *Industrie 4.0 im internationalen Kontext : Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach.
- Lea, P. (2018). *Internet of Things for Architects*. Packt Publishing, Birmingham.
- Lüth, C. (2016). Funktion und Herausforderungen von Cyber-Physical Systems. In Heinze, R., Herausgeber, *Industrie 4.0 im internationalen Kontext : Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. VDE Verlag GmbH, Berlin Offenbach.
- Radtke, M. und Litzel, N. (2019). Was ist Big Data? Abgerufen 22. November 2019, von <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-big-data-a-562440/>.
- Roth, A. (2016). Industrie 4.0 - Hype oder Revolution? In *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*, Seiten 1–15. Springer Berlin Heidelberg.
- Sendler, U. (2016). Die Grundlagen. In *Industrie 4.0 grenzenlos*, Seiten 17–39. Springer Berlin Heidelberg.
- Voigt, K.-I. (2018). Industrielle Revolution. Abgerufen 20. November, von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrielle-revolution-38116/version-334867>.

**A. Anhang 1**

**B. Anhang 2**

## **Abschließende Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich meine Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe, und dass ich alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlegenden Ausführungen meiner Arbeit besonders gekennzeichnet und die Quellen zitiert habe.

<ORT>, den 3. Dezember 2019

<AUTOR>