



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

Akronyme	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	V
Quelltextverzeichnis	V
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Problemstellung	2
1.3. Lösungsansatz	3
1.4. Aufbau der Arbeit	3
2. Grundlagen	5
2.1. Industrie 4.0	5
2.1.1. Definition	5
2.1.2. Historischer Kontext	6
2.1.3. Technologische Treiber	8
2.1.4. Kommunikationssysteme	11
2.2. Digitale Transformation mit Internet of Things	12
2.2.1. Der Wandel im Energiesektor	12
2.2.2. Allgemeine Anforderungen/Merkmale zur Umsetzung von In-	
dustrie 4.0	14
2.2.3. Referenzarchitektur	16
2.2.4. Das neue Paradigma: Cloud Computing	18
2.3. Toolset/Innovationsplattformen/Werkzeuge	20
2.3.1. SAP Cloud Platform	21
2.3.2. SAP Leonardo	22
2.3.3. Amazon Web Services	24
3. Umsetzungskonzept für die digitale Transformation	25
3.1. Repräsentativer Anwendungsfall für die Energiewirtschaft	25
3.1.1. Ausgangsszenario	25
3.1.2. Anforderungserhebung	26
3.2. Anforderungsanalyse	27
3.2.1. Kontextebene	28
3.2.2. Systemebene	33
3.2.3. Technische Ebene	36

3.3.	Systementwurf und -analyse	39
3.3.1.	Systemarchitektur	39
3.3.2.	SCP Internet of Things Services	40
3.3.3.	REST API	40
3.3.4.	Edge-Processing	40
3.3.5.	Destinations	41
3.3.6.	Message Processing	41
3.3.7.	Sicherheit	41
3.3.8.	Kompatibilität mit Referenzarchitektur	41
3.3.9.	Systementwurf gemäß Architekturkonzept	41
3.4.	Prototypische Implementierung des Anwendungsfalls	41
3.4.1.	Anbindung der Sensoren an das Edge-Gerät	42
3.4.2.	Geräteverwaltung	42
3.4.3.	Einrichtung der Gateway-Edge	42
3.4.4.	Senden der Daten an die Cloud	42
3.4.5.	Erstellen des digitalen Zwillings	42
3.4.6.	Visualisierung mit einer UI5-Applikation	42
3.4.7.	Benachrichtigung mit AWS SNS-Server	42
3.4.8.	Events generieren mit NodeJs	42
4.	Evaluation	43
4.1.	Experteninterview	43
4.2.	Technischer Benchmark	43
5.	Fazit	44
Literatur		V
A. Anhang 1		IX
B. Anforderungen		X
B.1.	Anforderungen aus Kontextebene	X
B.2.	Anforderungen aus Systemebene	XI
C. Notizen, die ich später noch gebrauchen könnte		XV
C.1.	Innovationsplattform	XXII
C.1.1.	SCP	XXIII
C.1.2.	Use Case	XXIV
C.1.3.	Anforderungsanalyse	XXV

Akronyme

IOT	Internet of Things	1
REST	Representational State Transfer	11
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	11
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture.....	17
URI	Unified Resource Identifier	12
SOA	service-orientierte Architektur	17
HTTP	Hypertext Transfer Protocol.....	11
CMS	Condition Monitoring System	14
SAP IS-U	SAP Industry Solutions for Utilities	1
ERP	Enterprise-Resource-Planning	23
AWS	Amazon Web Services	3
GCP	Google Cloud Platform.....	21
SCP	SAP Cloud Platform	21
API	Application Programming Interface.....	23
SNS	Simple Notification Service	3
CPS	Cyber-physische Systeme	6
IPv4	Internet Protocol Version 4	8
IPv6	Internet Protocol Version 6	8
RFID	radio-frequency identification	8
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0	31
IaaS	Infrastructure as a service	18
PaaS	Platform as a service	18
SaaS	Software as a service	19
AWS	Amazon Web Services	3
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	25
EVU	Energieversorgungsunternehmen	27
HANA	High Performance Analytic Appliance	26
PAL	Problem-Anforderung-Lösung	26
I-4.0-K	Industrie-4.0-Komponente	27
SA	Systemadministrator	31

Abbildungsverzeichnis

1.	Phasen des Design-Thinking-Prozesses	3
2.	Die vier Stufen Industrieller Revolutionen	7
3.	CPS in der Industrie 4.0	9
4.	Prognose zur Anzahl der vernetzten Geräte im Internet of TThings weltweit	10
5.	Dimensionen der Digitalisierung	15
6.	IT-sicht und Industrie-4.0-Komponente	17
7.	Die Cloud-Service-Modelle	20
8.	Systemabgrenzung und Systemkontext	28
9.	Use Case Diagramm der Kontextebene	31
10.	Datenflussdiagramm	34
11.	Ebenen der Industrie-4.0-Komponente	36
12.	Erweitertes Use Case Diagramm auf Systemebene	37
13.	Referenzarchitektur von SAP	40
14.	Gerätemodell	40
15.	Referenz zu den Schichten der RAMI 4.0	41
16.	Beispiele für Industrie-4.0-Komponenten	XIII
17.	Industrie-4.0-Komponenten im Lebenszyklus der Fabrik	XIV
18.	Struktur der Verwaltungsschale	XV
19.	Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0	XVI
20.	Transformation vom Versorgungswerk zum digitalen Energiedienstleister	XXII
21.	Digitale Welt als Katalysator für Utility 4.0	XXIII

Tabellenverzeichnis

1.	Das PAL-Modell	28
3.	Probleme aus Kontextebene	30
5.	Lösungen aus Kontextebene	32
7.	Probleme aus Systemebene	33
9.	Probleme aus technischer Ebene	36
10.	Eigenschaften der Cloud-Foundry-Umgebung	IX
12.	Anforderungen aus Kontextebene	X
13.	Anforderungen aus Systemebene	XII

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

Der Bedarf an Rechenleistung nimmt weiter zu Viele Anwendungen von IKT sind in den vergangenen Jahren komplexer geworden und erfordern mehr Rechenleistung. Dieser Trend wird sich künftig im Zuge der weiteren Digitalisierung fortsetzen. Um

mehr Rechenleistung bereitzustellen und den Anstieg des Energie- und Ressourcenbedarfs der Rechenzentren zu begrenzen, muss deren Effizienz erheblich steigen.

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

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. -> Predictive Maintenance

- Technologien zwar bereits im Einsatz aber sind gekapselt -> Insellösungen
- Mehrwert durch integrierte Nutzung mit Stammdaten (liegen im SAP System)
- SCADA z.B. bereits vorhanden aber Daten nicht intelligent vernetzt

FF1 Wie kann SAP Leonardo die digitale Transformation in der Energiewirtschaft mit Internet of Things unterstützen?

FF1.1 Welche Anforderungen an ein System ergeben sich aus Sicht der dezentralen Ernergieerzeugung?

FF1.2 Welche Möglichkeiten zur intelligenten Vernetzung bietet die zugrundeliegende Systemarchitektur?

FF1.2 Mit welcher Systemarchitektur können die Anforderungen aus FF1.1 erfüllt werden?

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

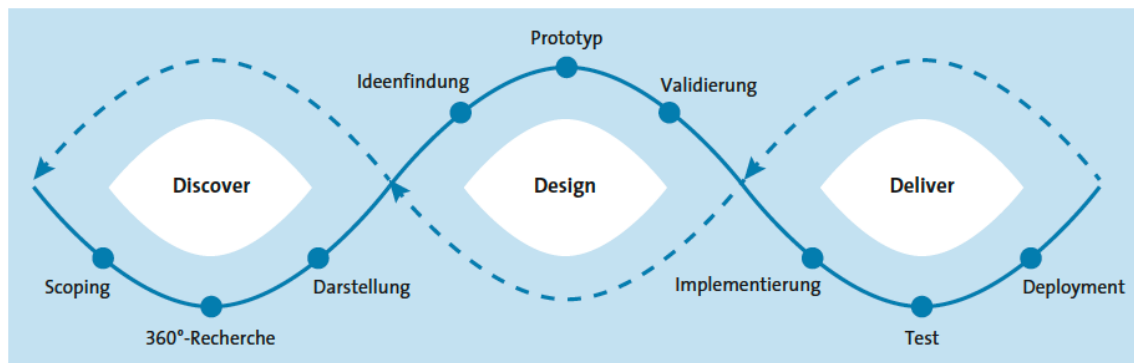


Abbildung 1: Phasen des Design-Thinking-Prozesses (Elsner et al., 2018, S. 69)

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).

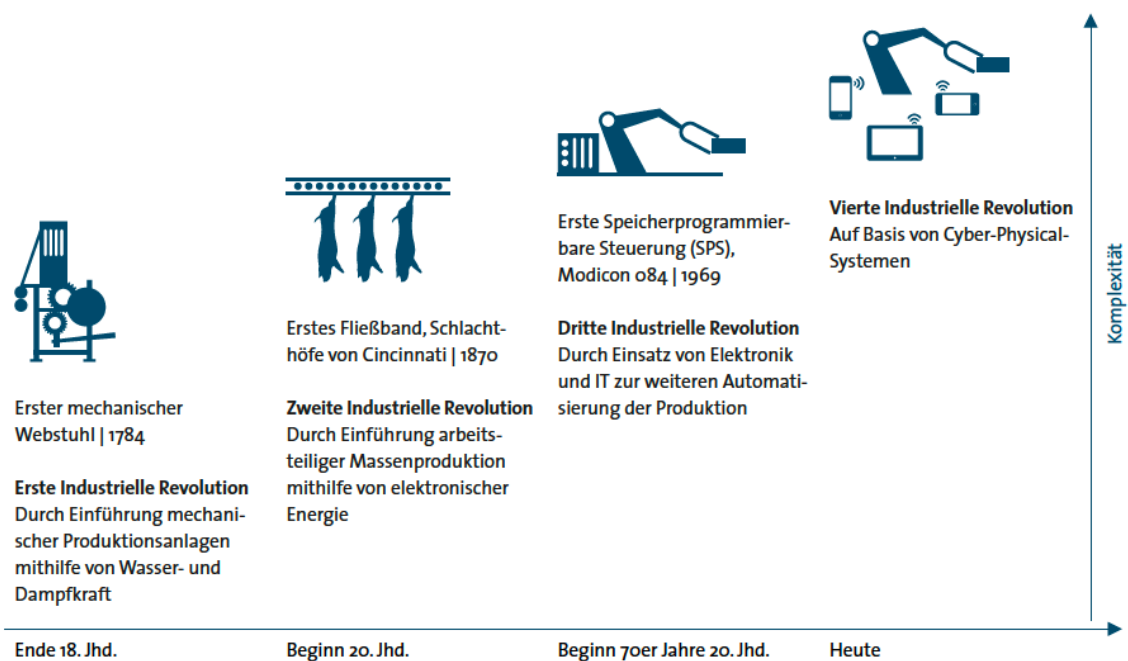


Abbildung 2: Die vier Stufen Industrieller Revolutionen (Bauer et al., 2014, S. 9)

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 4) 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**

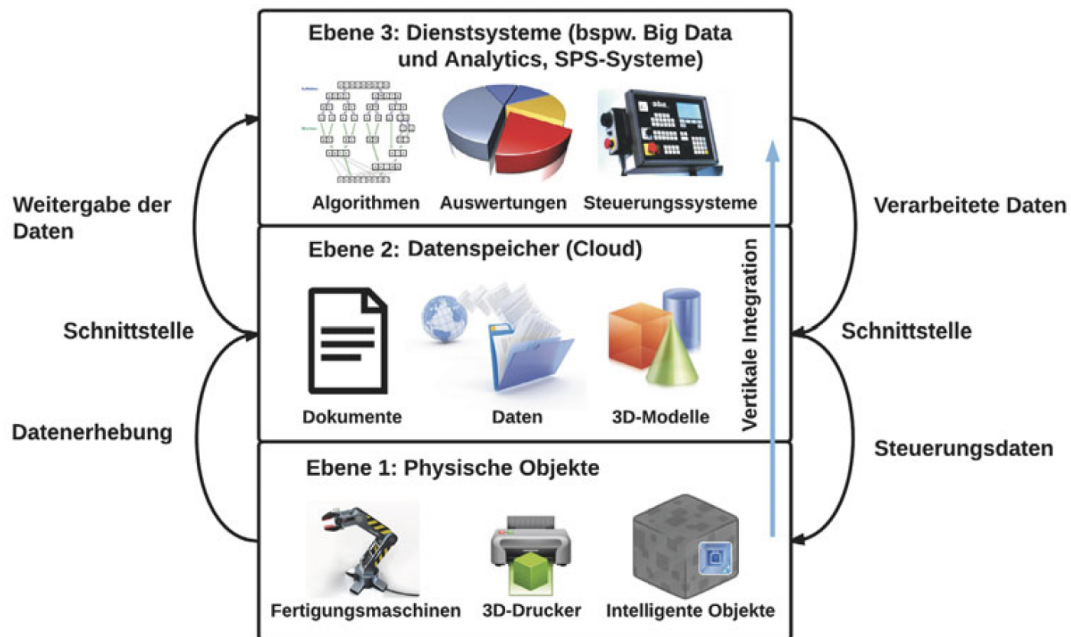


Abbildung 3: CPS in der Industrie 4.0 (Roth, 2016, S. 30)

(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 3).

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:

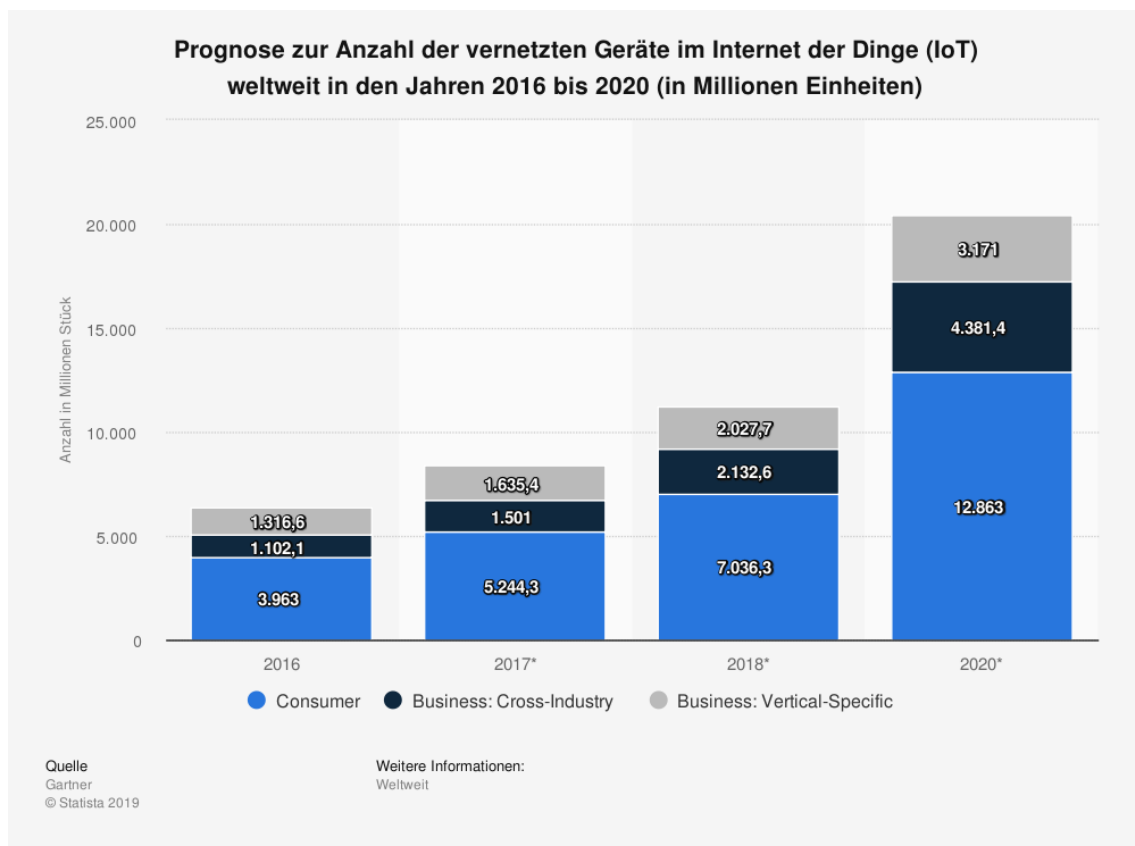


Abbildung 4: Prognose zur Anzahl der vernetzten Geräte im IOT weltweit (Gartner, 2017)

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 und Smart Data.**

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 4) 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 3.1.1 wird zuletzt ein Branchenbezug für die Energiewirtschaft hergestellt.

2.2.1. Der Wandel im Energiesektor

Der Wandel in der gesamten Industrielandschaft von der Mechanisierung und Automatisierung zur Digitalisierung betrifft auf ähnliche Weise auch den Energiesektor. Es gibt in Deutschland kaum eine Branche, die sich innerhalb von zwanzig Jahren so rasant geändert hat wie die Energiewirtschaft (Doleski, 2016a). Treiber dieser schnellen Entwicklungen sind in erster Linie politisch-regulatorische Faktoren, welche für darauffolgende Anforderungen die Parameter darstellen.

Bis 1998 unterlag die Energieproduktion in Deutschland monopolistischen Strukturen. Einige wenige Versorgungsunternehmen produzierten in zentralen Werken wie Kernkraftanlagen oder Kohlekraftwerke und schleusten die gewonnene Energie in die Netze ein (Utecht und Zierau, 2018). Die Konsumenten hatten bei der

Auswahl ihres Energielieferanten kaum Entscheidungsfreiheit. Mit der Liberalisierung und Privatisierung der Strommärkte öffnete sich jedoch der Binnenmarkt für den Wettbewerb (Doleski, 2017). Vor allem durch das *Unbundling*, also der Trennung von Erzeugung und Vertrieb, betraten mehrere Dienstleister für unterstützende Tätigkeiten den Markt. Auch in der Produktion stieg wegen des Wegfalls von Gebietsmonopolen der Trend von zentralen Produktionswerken zu lokalen Erzeugern in der Nähe des Verbrauchers an (Utecht und Zierau, 2018). Grundlegende Veränderungen und Innovationen kamen mit dem Ausbau von erneuerbaren Energiequellen nach der Verabschiedung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes von 2000 zur systematischen Förderung von regenerativen Energiequellen. Vor allem nach der Nuklearkatastrophe 2011 in Fukushima wurde die Energiewende stark beschleunigt (Doleski, 2016a). Der geplante Ausstieg aus Atomkraft und Kohle zwang die Branchen, sich strukturell in der Wertschöpfungskette zu verändern. Die Herausforderung bestand vor allem darin, innerhalb der strengen gesetzlichen Regularien und eines angespannten Finanzrahmens neue Geschäftsfelder zu erschließen (Doleski, 2016a). So veränderte sich der Produktionstrend von zentraler Erzeugung zu dezentraler Erzeugung mit z.B. Windkraft und Photovoltaik. Die neuen Produktionsmechanismen bedeuten technisch gesehen einen enormen Anstieg der Steuerungskomplexität und eine Belastung der Netzinfrastuktur. Während die Produktion nun vielmehr von schwankenden Umweltbedingungen abhängig ist, bleiben die Anforderungen im Verbrauch wie die ständige Verfügbarkeit oder die stabile 50-Hz-Netzfrequenz unverändert (Utecht und Zierau, 2018).

Es sind zwar politisch-regulatorische und ökologische Faktoren, die Umwälzungen in der Energiewirtschaft erzwingen, aber die dezentrale und fluktuierende Energieerzeugung erfordert digitale Lösungen (Doleski, 2017). Der Digitalisierung wird eine Schlüsselrolle bei der Lösungsfindung für Dezentralisierung, Flexibilisierung sowie für die effiziente Nutzung von Ressourcen und Energie zugewiesen (Fraunhofer ISE, 2019). Als *Enabler* für die Energiewende konvergiert die IT-Branche immer mehr mit energiewirtschaftlicher Leistungserstellung (Doleski, 2016a). Laut dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015) wird die Energiebranche eine der ersten voll digitalisierten Branchen der deutschen Volkswirtschaft sein. Zwar kann der Strom nicht digitalisiert werden, aber die Vielzahl von technischen Komponenten

in Anlagen müssen sowohl untereinander als auch mit dem Menschen kommunizieren können. Anders als früher ist das gesamte Stromnetz abhängig von einer Vielzahl von Erzeugungsanlagen, die ihren Strom nun in ein intelligentes Stromnetz (Smart Grid) einschleusen müssen. Das Smart Grid kombiniert in einem Netz die Erzeugung, Speicherung und den Verbrauch der Energie. Die dezentralen Erzeugungen werden durch eine zentrale Steuerung aufeinander abgestimmt, sodass die Leistungsschwankungen ausgeglichen werden können (Krone und Bachmann, 2017). Die Intelligenz wird durch den Datentransport von der Erzeugungsanlage in das Netz gewährleistet. Wenn es zu viele unkoordinierte Anlagen gibt, die ihre Produktionsmengen und ihren Zustand nicht kommunizieren können, kann es zu Instabilität im Netz führen (Umweltbundesamt, 2018). Damit die einzelnen Anlagen miteinander kommunizieren können, müssen sie Teil eines IOT-Netzwerks sein. Somit können sie ihre Umgebungs- und Zustandsdaten eigenständig an ein Condition Monitoring System (CMS) senden, das die Daten z.B. in der Cloud sammelt. Für die dort erstellten digitalen Zwillinge der realen Anlagen können auf Grundlage von Analysen der vergangenen und aktuellen Daten prädiktive Wartungsmaßnahmen abgeleitet werden. Daraus kann eine Verbesserung der Qualität und eine höhere Verfügbarkeit des Dienstes resultieren (Utecht und Zierau, 2018).

Die rasanten Entwicklungen in den letzten 20 Jahren zeigen, wie schnell sich die Branche verändern kann. Um in Zukunft auf dem Markt zu überleben, müssen sich Energieproduzenten und Dienstleister in einem ständigen Anpassungsprozess befinden (Doleski, 2016a). Essenziell für eine Anpassung an die fortwährende Vernetzung der Produktionswelt ist der Aufbau und die Umsetzung einer unternehmensspezifischen Digitalisierungsstrategie (Köster und Mache, 2017). Die Herausforderung besteht vor allem darin, die verschiedenen Disziplinen und Dimensionen in der digitalisierten Welt zu berücksichtigen (s. Abbildung 5). Da die Energiebranche besonders gesellschaftlich eine wichtige Rolle innehat, sind die Themen Datenschutz und Sicherheit nicht zu vernachlässigen (Utecht und Zierau, 2018).

2.2.2. Allgemeine Anforderungen/Merkmale 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

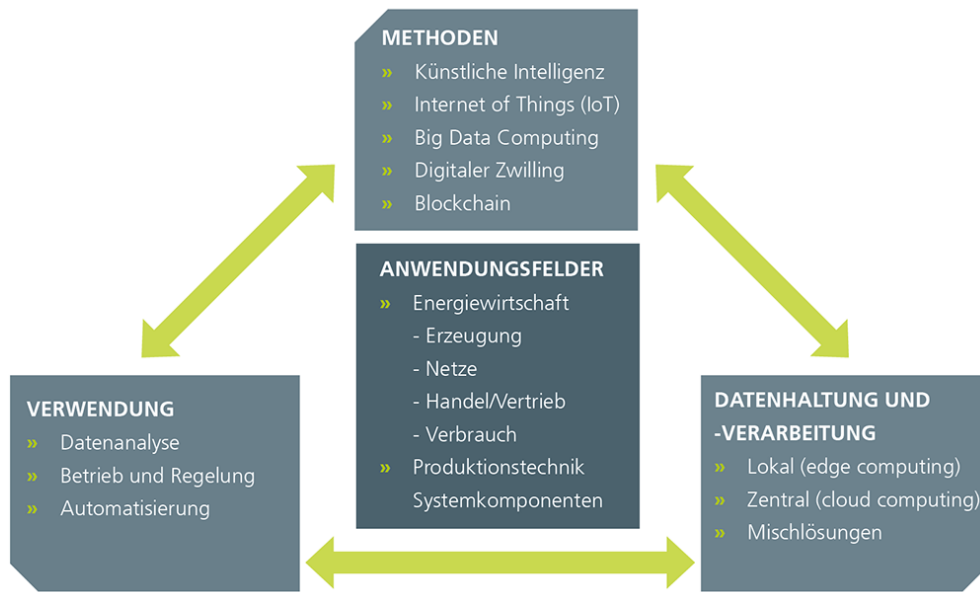


Abbildung 5: Dimensionen der Digitalisierung (Fraunhofer ISE, 2019)

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, sind eine standardisierte Laufzeitumgebung und Kommunikation 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

2.2.3. Referenzarchitektur

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).

Für die Migration von Produktionsgegenständen von der heutigen in die Industrie-4.0-Welt soll der gesamte Produktlebenszyklus in Daten erfasst und IT-seitig einheitlich und durchgängig abgebildet werden. Die senkrechte Achse behandelt die IT-Sicht, die die vertikale Integration der Assets in die Geschäftslogik und deren echtzeitfähige Vernetzung im Produktionsprozess beschreibt. 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). Mit der Ergänzung des Assets um eine *Verwaltungsschale* entsteht die *Industrie-4.0-Komponente*. Die Verwaltungsschale ist das Bindeglied zwischen der realen und der virtuellen Welt. Mit dessen Hilfe wird ein virtuelles Abbild des

Assets samt der dazugehörigen Funktionen und Daten erzeugt. Die IT-technische Beschreibung ermöglicht die eindeutige Identifizierung des Assets z.B. durch die URI-Adresse im gesamten Wertschöpfungsprozess. Die Aktivitäten für den Übergang in die virtuelle Welt sind in der Integrations- und Kommunikationsschicht enthalten. Die Dienste zur Steuerung der Integration werden von der Kommunikationsschicht bereitgestellt. Sie dient außerdem der Vereinheitlichung der Kommunikation mit einem einheitlichen Datenformat (Bitkom e.V., 2015). Für die Datenkommunikation wird der Standard für industrielle Kommunikation Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) empfohlen. Ursache dafür ist zum einen die plattformunabhängige, service-orientierte Architektur (SOA) und zum anderen die Fähigkeit, die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation semantisch zu beschreiben. Anschließend werden die

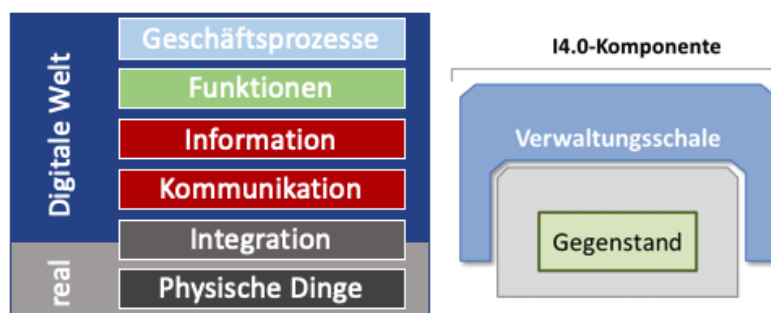


Abbildung 6: IT-sicht und Industrie-4.0-Komponente (in Anlehnung an Adolphs (2017, S. 118))

übertragenen Daten in der Informationsschicht gehalten, wo sie in einer Laufzeitumgebung in einen Regelkontext gebracht werden. Hier werden Regeln für Ereignisse und den Zugriff auf Daten definiert, die in der Funktionsschicht verarbeitet werden. Die tatsächlichen Funktionen eines Assets werden in der Funktionsschicht formal beschrieben. In der funktionalen Schicht befinden sich die Daten in einer Laufzeit- und Modellierungsumgebung für Dienste, die unter anderem Geschäftsprozesse unterstützen. Mit dieser Plattform können die Funktionen horizontal in die Wertschöpfung integriert werden (Hübner, 2017). Zusätzlich kann in der Funktionssicht auf ERP-Funktionen zugegriffen werden. Diese entstehen in der Geschäftssicht, in der die Modellierung der Regeln für die Geschäftsprozessabwicklung stattfindet. Letztendlich werden die Assets und deren Funktionen hier in die Organisation und Geschäftsprozesse integriert.

Jede dieser IT-Schichten liegt an zwei wagerechten Achsen an, welche die horizontale Integration der Produktionsgegenstände in den gesamten Produktionsprozess beschreiben. Die linke Achse soll den gesamten Lebenszyklus von Assets abbilden, während die rechte Achse diese in Hierarchiestufen der Produktions- und Automatisierungstechnik anordnet. Somit können externe Akteure wie Lieferanten oder Kunden, aber auch das erzeugte Produkt in das Industrie-4.0-Netzwerk aufgenommen werden (Bitkom e.V, 2015).

2.2.4. Das neue Paradigma: Cloud Computing

Flexibilität, Skalierbarkeit, Schnelligkeit, Sicherheit und Qualität präsentieren sich als die wichtigsten Voraussetzungen für die erfolgreiche digitale Transformation eines Unternehmens (Acharya et al., 2019). Für die Erzielung dieser Ziele spielt die in 2.1.3 bereits kurz erläuterte Cloud eine Schlüsselrolle. Denn die Technologien in der Industrie 4.0 sind zwar nicht neu, aber sie müssen in verschiedenen Kombinationen bei niedrigen Preisen und unabhängig vom Ort stets verfügbar sein. Bei alledem wird dem Nutzer je nach Bedarf das Errichten von IT-Infrastruktur und IT-Ressourcen von dem Cloud-Dienstleister abgenommen (Dzombeta et al., 2017). Entsprechend können die Cloud-Dienste aus folgenden Varianten nach nutzungsbasierten Abrechnungsmodellen wie z.B. dem Pay-Per-Use-Prinzip erworben werden:

Infrastructure as a service (IaaS) Bei dieser Variante stellt das Dienstleistungsunternehmen die notwendige Hardware in virtueller Form zur Verfügung. Es können je nach benötigter Menge Speicherplatz, Prozessorleistung oder Netzkapazitäten bestellt oder wieder abbestellt werden (Dzombeta et al., 2017). Kostentechnisch bietet das einen großen Vorteil, da die Server von den Anbietern angeschafft, betrieben und gewartet werden, sodass nur die verbrauchte oder vereinbarte Kapazität in Rechnung gestellt wird. Zu den global dominierenden Anbietern gehören Amazon, Microsoft und Google, die in Nordamerika, Europa und Ostasien eine hohe Dichte an Rechenzentren aufweisen (Acharya et al., 2019).

Platform as a service (PaaS) Das Dienstleistungsangebot dieser Variante beläuft sich auf die Bereitstellung von Middleware, Laufzeit- und Entwicklungsumgebungen

zur Erstellung von Anwendungen, Datenbanken und Webservices. Über definierte Schnittstellen (APIs) kann auf die Entwicklungsumgebung zugegriffen werden (Dzombeta et al., 2017). Da die Plattform auf IaaS basiert, fällt die Administration von Servern weg (Acharya et al., 2019).

Software as a service (SaaS) Kunden können bei dieser Form meist über Webbrowser auf Software(-pakete) zugreifen, die auf der Infrastruktur des Anbieters gehostet sind. Dabei übernimmt der Anbieter Aufgaben wie Installation, Wartung und Aktualisierung der Software (Utecht und Zierau, 2018). Dieses Prinzip ermöglicht einen schnellen Einsatz sowie eine einfache Austauschbarkeit der Software bei niedrigen Kosten. Aufgrund der Unabhängigkeit von lokalen Installationen kann die Software ortsunabhängig bei verfügbarer Internetverbindung genutzt werden (Dzombeta et al., 2017).

Die verschiedenen Modelle können auch in Kombination mit dem On-Premise-System genutzt werden.

Mit diesen Modellen bietet die Cloud einen Raum für die verschiedenen Teilsysteme, die im Industrie-4.0-Netzwerk miteinander kommunizieren und Dienste anbieten. Eine service-orientierte Architektur (SOA) ermöglicht die Interoperabilität der Akteure wie Komponentenhersteller, Automatisierer, Maschinenbauer und Softwarefirmen ohne Master-Slave-Beziehungen. In der SOA-Welt wird nicht mehr zwischen Hard- und Software unterschieden, sodass maschinelle Komponenten ihre Daten genau so als Service zur Verfügung stellen können wie eine Software ihre Funktionen bereitstellt (Adolphs, 2017). Entwicklungen wie diese verändern die grundsätzliche Denkweise in der Softwareentwicklung. Alte Architekturen werden von neuen Architekturen wie die *Microservice-Architektur* vertrieben (Acharya et al., 2019).

Cloud-native Anwendungen und Microservices Die Eigenschaft cloud-nativ besitzen jene Anwendungen, welche in der Cloud „geboren“ sind und durch Ausschöpfung des Cloud-Potenzials die Flexibilität, Agilität und Skalierbarkeit von Cloud-Lösungen unterstützen (Acharya et al., 2019). Besonders ist dabei der agile und schnelle Entwicklungsprozess der Software. Eine cloud-native Anwendung besteht aus mehreren isolierten Services, die unabhängig voneinander entwickelt werden kön-

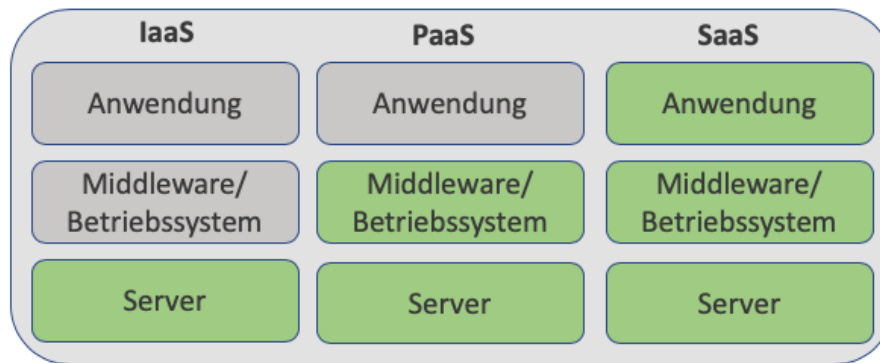


Abbildung 7: Die Cloud-Service-Modelle (In Anlehnung an Utecht und Zierau (2018, S. 88))

nen. Konventionelle Anwendungen sind im Gegensatz dazu monolithischer Natur und basieren meist auf der 3-Tier-Architektur. Mit den Bestandteilen Benutzeroberfläche, Datenbank und Anwendungsserver bilden sie ein geschlossenes System. Kleinste Änderungen an einem der Bestandteile führen zu aufwendigen Maßnahmen zur Anpassung des Gesamtsystems (Utecht und Zierau, 2018). Anders als monolithische Architekturen zeichnet sich die Microservice-Architektur durch ihre einfache und schnelle Erweiterbarkeit und Anpassungsfähigkeit aus. Ein Microservice ist eine spezielle Funktion, oft Geschäftsfunktion, welche in Containern in einer isolierten Umgebung ausgeliefert wird und meist an eine eigene Datenbank angebunden ist. In einer Anwendung kommunizieren diese Microservices über APIs oder Messaging-Prokollé miteinander und bilden ein Gesamtsystem mit heterogenen Datenquellen. Sollte eine Funktion ein Update erfordern, muss lediglich der Microservice gewartet werden. Wenn das System eine neue Funktion erfordert, kann ein neuer Microservice einfach hinzugefügt werden, ohne Abhängigkeiten im Gesamtsystem zu stören. Infrastrukturressourcen können bei Bedarf dynamisch zu- oder abgewiesen werden (Acharya et al., 2019).

2.3. Toolset/Innovationsplattformen/Werkzeuge

Die SAP Cloud Platform bildet

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 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. SAP Cloud Platform bildet die technologische Basis für die digitale Transformation mit SAP. HANA-Anwendungen auf Microservice-Ebene für die Verarbeitung von Massendaten

Die bereits mehrfach erwähnten Cloud-Dienste: Erwähnenen, dass IaaS, PaaS notwendig ist und evtl auch SaaS in SCP Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Plattformen und deren Eigenschaften beschrieben.

2.3.1. SAP Cloud Platform

Die SAP Cloud Platform (SCP) ist eine offene PaaS, die eine Entwicklungs- und Laufzeitumgebung für cloud-native Anwendungen bereitstellt und das Rückgrat der Services des SAP Leonardo Portfolios bildet. Unterstützt wird der Betrieb von verschiedenen Global Playern unter den Infrastrukturanbietern wie AWS, Google Cloud Platform (GCP), SAP oder Microsoft Azure. Im Grunde ermöglicht die Cloud Plattform drei Dinge. Zum einen können Anwendungen zur Erweiterung von On-Premise-Lösungen oder Cloud-Lösungen entwickelt werden. Zudem bietet SCP Integrationsservices an, um Cloud-Dienste in das SAP-Backend aber auch in heterogene Systemquellen zu integrieren. Anwendungen können aber auch mithilfe von Tools und Microservices von Grund auf entwickelt werden, ohne Hardware und Laufzeit einrichten zu müssen (Acharya et al., 2019). Wenn von *Services* gesprochen wird, unterscheidet man zwischen zwei Arten. Die *Functional Services* werden genutzt, um Anwendungen nach eigenen Anforderungen zu entwickeln. Es werden z.B. Services aus den Bereichen User-Interface-Entwicklung, mobile Anwendungen, Sicherheit und Authentifizierung, Datenbankdienste und Integration angeboten (Elsner et al., 2018). Wenn die Services von SAP identifizierte Anwendungsfälle behandeln,

werden sie als *Business Services* bezeichnet. Diese Dienste müssen für den Einsatz nur noch um den individuellen Geschäftskontext erweitert werden (Utecht und Zierau, 2018).

Wie die Anwendungen und Services entwickelt und verwaltet werden können, hängt von der Umgebung ab. Die SCP stellt drei Umgebungen zur Verfügung, von denen jede mindestens eine Laufzeitumgebung sowie verschiedene Tools zur Entwicklung bereitstellt: Neo, Cloud Foundry und ABAP.

Neo-Environment Die SAP Cloud Platform wurde 2012 erstmalig nur in der Neo-Umgebung angeboten und unterstützte nur die Entwicklung von Java-, nativen HANA- und HTML5-Anwendungen (Elsner et al., 2018).

Cloud Foundry-Environment 2016 wurde die Beta-Version der Open-Source Multi-Cloud-PaaS von VMWare und General Electric entwickelt (Utecht und Zierau, 2018). Schließlich haben sich viele große Technologieunternehmen wie IBM, Pivotal, Google oder SAP sich für eine gemeinsame Laufzeitumgebung entschieden. Somit wurden sie Teil der Non-Profit-Initiative *Cloud Foundry Foundation*, um die Technologie weiterzuentwickeln. Durch die gemeinsame Basis wird die Interoperabilität von verschiedensten Programmiersprachen und Applikationsdiensten gewährleistet (s. Anhang A). Deshalb ergänzte SAP die SCP um die Cloud Foundry-Umgebung, in der die Nutzung von Services für das Internet der Dinge, Blockchain oder Machine Learning möglich ist (Elsner et al., 2018). Aufgrund der Kollaboration und den daraus entstandenen Möglichkeiten ist Cloud Foundry mittlerweile ein industrieller Standard geworden (Acharya et al., 2019).

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* ergänzt. Der Begriff lehnt sich an den Innovationsgeist Leonardo da Vincis an und soll die *digitale Renaissance* mit SAP darstellen (Howells, 2017). Es gilt zu betonen, dass SAP Leonardo nicht als Plattform oder Produkt zu verstehen ist. Es handelt sich vielmehr um eine Sammlung von Functional Services (Vgl. 2.2.4 Microservices) und Anwendungen der SCP, die als zukunftsgestaltende Technologien gelten (Elsner

et al., 2018). Zu diesen Technologien gehören neben dem Internet der Dinge (Internet of Things (IOT)) auch Machine Learning, Big Data, Blockchain und Advanced Analytics. Wie bereits zuvor erwähnt, sind diese Technologien in ihrem Wesen nicht neu. Der innovative Charakter entsteht erst durch die Fähigkeit, die zusammenhängenden Technologien miteinander zu verknüpfen (Utecht und Zierau, 2018). Für den Zweck bietet SAP vielerlei Lösungen:

Einerseits haben Kunden die Möglichkeit, fertige Lösungen *Powered by SAP Leonardo* zu erwerben, welche nur noch an die Anforderungen des Unternehmens angepasst werden müssen (Utecht und Zierau, 2018). Beispiele für solche Anwendungen sind *Connected Goods*, *Connected Assets* oder *Connected Infrastructure* (Elsner et al., 2018). Mit der Cloud-Anwendung *SAP Leonardo Bridge* können die Daten aus diesen IOT-Anwendungen mit den Backend-Daten zugesammengeführt, dargestellt und verarbeitet werden. Das Produkt IOT-Edge ist die Schnittstelle zwischen den Sensoren am Gerät und der Cloud. Bevor die Daten an die Cloud übertragen werden, können sie im Offline-Betrieb gepuffert, aggregiert und vorverarbeitet werden (Utecht und Zierau, 2018).

Allerdings können IOT-Szenarien mit der *SAP Leonardo IoT Foundation* agil selbst entwickelt werden (Elsner et al., 2018). Hierfür ist eine Sammlung von Microservices und Application Programming Interface (API) auf der SCP bereitgestellt. Diese können für das *Thing Management* und *SAP IoT Application Enablement* verwendet werden. Im *Thing Management* werden die Geräte nach einem vorgedachten Modell verwaltet, für die im *Application Enablement* ein *digitaler Zwilling* als Grundlage für die Anwendungsentwicklung erstellt wird (Elsner et al., 2018).

Im Grunde ist SAP Leonardo ein Sammelbegriff für alle IOT-relevanten Produkte (Utecht und Zierau, 2018). Kennzeichnend für die Innovation ist neben der Interoperabilität der Services die Interoperabilität der Unternehmensdaten. Das Unternehmensgedächtnis ist in dem digitalen Kern, also dem Enterprise-Resource-Planning (ERP)-System, verankert (Elsner et al., 2018). Der digitale Kern kann nahtlos mit der agilen Entwicklung auf dem *Digital Innovation System* verbunden werden. Mithilfe z.B von SAP zur Verfügung gestellten Design Thinking Methoden können aus kontextbezogenen Stamm- und Historiendaten des Unternehmens Erkenntnisse für Geschäftsprozesse geschlossen werden (Elsner et al., 2018).

SAP spricht von einem Ökosystem, in dem Entwicklungs- und Implementierungs-

partner mit den Technologien interagieren, um innovative und effiziente Produkte zu erzeugen. Während Implementierungspartner dabei helfen, bereits bestehende Lösungen und Anwendungen zu konfigurieren und anzupassen, entwickeln die Entwicklungspartner auf Basis der SAP-Leonardo-Technologien neue Anwendungen. Dies ist vor allem im Kontext der Verschmelzung der IT mit dem Maschinenbau und der Elektrotechnik interessant. Die Konvergenz der Themenfelder bewegt reine Hardwarehersteller zu der Entwicklung von intelligenten Softwarelösungen als digitale Service Provider (Elsner et al., 2018). Das Ökosystem beinhaltet zudem die in Abschnitt 2.3.1 erwähnten Infrastrukturpartner, Softwaredienste und Laufzeitumgebungen aber auch z.B. Standards und Normen.

2.3.3. Amazon Web Services

Amazon Web Services (AWS) ist ein Cloud-Computing Anbieter aus den USA und ist eine Tochtergesellschaft des Online-Versandhändlers Amazon. Mit 35 % Marktanteil ist das Unternehmen international führender Cloud-Dienstleister sowohl für Unternehmen als auch für Privatpersonen (mind square, 2019). Mit Rechenzentren in den USA, Europa, Brasilien, Asien und Australien stellt es die größte Public-Cloud der Welt zur Verfügung. Zu den Dienstleistungen gehören unter anderem die PaaS Elastic Beanstalk als Entwicklungsumgebung, Anwendungen, Datenbank- und Speicherdienste sowie Netzwerke. Im AWS Marketplace können sowohl die Services von AWS als auch von Dritten bereitgestellte Services gebucht werden. Einige bekannte Dienste von AWS sind der Simple Notification Service (SNS) oder der Simple Workflow Service. In erster Linie stellt AWS die Infrastruktur und Rechenleistung zur Verfügung, die z.B. auch nur für das Hosten eigener Websites genutzt werden kann (AWS, 2019). Das Unternehmen stellt jedoch auch die Infrastruktur für PaaS anderer großer Firmen wie SAP, mit denen seit 2011 eine Infrastrukturpartnerschaft besteht (Elsner et al., 2018). Sowohl die SAP Cloud Plattform sowie einzelne Services wie die der SAP Leonardo IoT Foundation laufen standardmäßig auf Rechenzentren von AWS. Weitere bekannte Großkunden sind Netflix, die NASA oder Dropbox (mind square, 2019).

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 Anwendungsfall für die Energiebranche vorgestellt. Die Anforderungen an das Zielsystem werden nach den von Lauenroth et al. (2016) vorgestellten Methoden erhoben.

3.1.1. Ausgangsszenario

Der Windenergieanlagenhersteller Enercon GmbH aus Aurich verzeichnet 29000 Anlagen in 45 Ländern. Da das Kerngeschäft des Unternehmens auf den Bau von Anlagen für die dezentrale Energieerzeugung basiert, hat Industrie-4.0-Fähigkeit einen besonderen Stellenwert. Sei es die Einspeisung der produzierten Energie in das Smart-Grid, die Fernsteuerung oder die Zustandsüberwachung der Anlagen und Windparks: Das unternehmenseigene Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)-System ist auf die Enercon-Anlagen abgestimmt bietet umfangreiche Lösungen für die Kunden. Allerdings versendet das SCADA-System die Messwerte bisher nur alle 15 Minuten das CMS. Zudem ist es eine technische Insellösung, welche die betriebswirtschaftliche Welt nicht integriert. Als Kunden stehen die Energieversorgungsunternehmen im Vordergrund, mit denen Enercon Verträge für Wartungsservices abschließt. Die Enercon-IT nutzt SAP-Produkte für das Management der Ressourcen, Logistik oder Kunden. Im Zuge der Anpassung an die Anforderungen der digitalen Welt wird SAP jedoch den Support der bisher auch von Enercon verwendeten Standard-ERP-Software bis 2025 einstellen. Der Fokus wird auf das Nachfolgeprodukt SAP S/4 HANA gesetzt, welche die echtzeitfähige In-Memory-

Datenbanktechnologie High Performance Analytic Appliance (HANA) für nutzt. Aus diesem Grund bereitet sich Enercon rechtzeitig auf die Migration auf S/4 HANA vor. Die Integrations- und Entwicklungsplattform von HANA bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Realisierung von innovativen Softwarelösungen sowohl auf der Cloud als auch On-Premise. Die Neuausrichtung der IT-Architektur ist auch für die erfolgreiche digitale Transformation von Enercon großer Bedeutung.

Im besonderen Interesse liegt die SAP Leonardo IOT Foundation, vor allem in Anbetracht einer möglichen Integration von Stammdaten aus dem S/4 HANA System. Dafür ist zunächst eine Analyse der SAP Leonardo Systemarchitektur mitsamt der Perspektiven gewünscht. Dies könne als Entscheidungsgrundlage für eine Erweiterung des Geschäftsfeldes von Energieproduktion auf IT-Dienstleistungen dienen. Außerdem soll prototypisch dargestellt werden, inwiefern sich SAP Leonardo IoT als Verwaltungsschale für die Industrie-4.0-Komponente eignet. Langfristiges Ziel des Unternehmens sei es, das SCADA-System echtzeitfähig zu gestalten. Um Risiken vor Inbetriebnahme und Kosten zu minimieren soll jedoch zunächst eine einfache Simulation genügen.

Die Simulation soll dem Servicepersonal in der Wartung und den Kunden ermöglichen, die Zustandsdaten des digitalen Zwillings einer Anlage in Echtzeit zu überwachen. Wenn kritische Messwerte empfangen werden, soll das Personal sofort benachrichtigt werden, damit Wartungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Die Softwareentwickler/innen sollen den Prototypen beliebig sowohl um (Mess-)Geräte als auch um App-Funktionalitäten erweitern können.

3.1.2. Anforderungserhebung

Um die Anforderungen für die Umsetzung einer repräsentativen Lösung zu bestimmen, muss zunächst ermittelt werden, welche Einflussfaktoren sich im Kontext des Zielsystems befinden und wo sich die Grenze des Systems befindet. Mit der Evaluation der Ausgangssituation (s. 3.1.1) können Anforderungsquellen identifiziert werden, welche sich auf das Zielsystem beziehen und sich im Systemkontext befinden (s. Abbildung 8). Auf Grundlage der Evaluation werden zunächst Probleme, Anforderungen und Lösungen für das System definiert. Für eine bessere Strukturierung des Systems werden die einzelnen Problem-Anforderung-Lösung (PAL) auf die Ebenen

System und Systemkontext, sowie auch auf die technische Ebene abstrahiert. Die Dokumentation von Anforderungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen ist vor allem für die nachträgliche Verwaltung der Anforderungen für zukünftige Softwareprojekte von großem Wert (Lauenroth et al., 2016). Nach IREB e.V. (2017) unterscheidet man typischerweise zwischen drei Arten von Anforderungen: funktionale Anforderungen, Qualitätsanforderungen sowie Randbedingungen. Die Formulierung von Anforderungen setzt das Vorhandensein einer Lösung voraus, weshalb auch der Prototyp bereits als Anforderungsquelle gelten kann.

Aus der Evaluation der Ausgangssituation ergibt sich die in Abbildung 8 dargestellte Systemabgrenzung. Die Anforderungsanalyse berücksichtigt die Stakeholder, welche sowohl mit dem System interagieren als auch direkten Einfluss auf die Anforderungen haben. Als Nutzer des Systems kristallisieren sich die Kunden Enercons (z.B. die Energieversorgungsunternehmen (EVU)) sowie das Servicepersonal, welches in der Wartung tätig ist. Stakeholder, welche eher qualitative Anforderungen an das System stellen, sind die Softwareentwickler/innen und -architekt(inn)en, für welche der Prototyp als Architekturvorlage dienen soll. Die Auftraggeber stellen die direkte Anforderung, eine Lösung und Analyse für SAP Leonardo zu entwickeln, die die Eignung SAP Leonardos als Verwaltungsschale für die Industrie-4.0-Komponente (I-4.0-K) beurteilt. Dies impliziert, dass sich an der IT-Sicht (s. Abbildung 6) der Referenzarchitektur RAMI 4.0 und an dem Konzept der Industrie-4.0-Komponente (s. Abschnitt 2.2.3) orientiert werden soll. Berücksichtigt werden sollen außerdem die Anforderungen, die sich aus der Beschaffenheit der Branche der Energiewirtschaft ergeben. Bereits existierende Systeme können ebenfalls Einfluss auf das System haben, was jedoch für die Prototypentwicklung nicht relevant ist.

3.2. Anforderungsanalyse

Im folgenden Kapitel wird die Anforderungsanalyse nach Abstraktionsebenen des PAL-Modells (s. Tabelle 1) durchgeführt. In der Kontextebene werden Anforderungen bestimmt, welche sich direkt oder indirekt die Funktionen des Systems bestimmen. Die Behandlung der Forschungsfrage FF1.1, welche Anforderungen an ein System für die digitale Transformation sich aus Sicht der dezentralen Energieerzeugung ergeben,

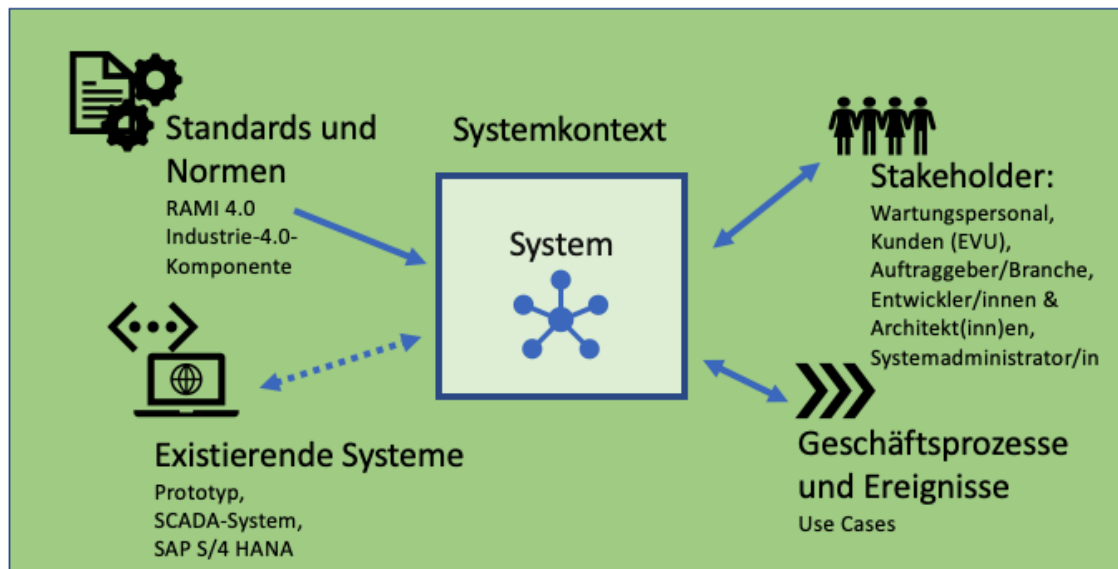


Abbildung 8: Systemabgrenzung und Systemkontext

schaft die Grundlage für die Problemdefinition für die Funktionsweise des eigentlichen Systems. Die Funktionen werden in der Systemebene mit den notwendigen Schnittstellen und Datenstrukturen in einen logischen Aufbau eingeordnet. Anschließend wird auf der technischen Ebene der logische Aufbau technisch beschrieben.

Problem	Anforderung	Lösung
Kontextebene		
K-P-N	K-A-N	K-L-N
Systemebene		
S-P-N	S-A-N	S-L-N
Technische Ebene		
T-P-N	T-A-N	T-L-N

Tabelle 1: Das PAL-Modell

3.2.1. Kontextebene

Problemstellungen Die Probleme, die durch das Zielsystem gelöst werden sollen, sind durch verschiedene Einflussfaktoren aus dem Kontext des Systems verursacht.

In erster Linie steht das Problem der dezentralen Energieerzeugung aus dem Branchenkontext (s. Abschnitt 2.2.1). Da die Erzeugung von schwankenden (Umwelt-) Bedingungen abhängt, müssen kontinuierlich Daten erhoben werden, um Leistungsqualität und -verfügbarkeit zu gewährleisten. Gleichzeitig steigt der Koordinationsaufwand aufgrund der großen Datenmengen. Weil die SCADA-Systeme Messdaten nur im 15-Minuten-Takt versenden, können keine aktuellen Zustandsdaten eingesehen und nicht rechtzeitig auf Probleme reagiert werden. Problematisch ist dies besonders in Anbetracht der erhöhten Steuerungskomplexität der Anlagen. Als ein weiteres Problem kann die hohe Abhängigkeit der Branche von gesetzlichen Vorgaben gesehen werden. Die sich regelmäßig ändernden Regularien können die Strukturen und die Beschaffenheit der Branche grundlegend ändern. Aus diesem Grund kann sich die Umsetzung von ohnehin schon komplexen und interdisziplinären Industrie-4.0-Projekten für die Energiebranche als große Herausforderung erweisen, aber auch einen enormen Mehrwert bringen. Zudem ergibt sich aus dem Ausgangsszenario die Problematik, dass das bestehende System zur Zustandsüberwachung keine Integration von intelligenten Diensten ermöglicht. Mit dem Umstieg auf SAP S/4 HANA stellt sich die Frage, inwiefern sich das Innovationsportfolio SAP Leonardo als Verwaltungsschale für die Anlagen eignet. In diesem Zusammenhang ergibt sich aus dem Ausgangsszenario jedoch die Problematik des erhöhten Risikos bei großen Industrie-4.0-Projekten. Auch Lauenroth et al. (2016) mahnen bei Projekten für Anlagen mit komplexer Systemelektronik und -mechanik zur Vorsicht. Ein Change Request für solch komplexe Systeme wie Windenergieanlagen wäre zu teuer.

ID	Problem	Quelle
K-P-1	Anstieg der Steuerungskomplexität der Anlagen wegen der dezentrale Energieerzeugung	<i>Branche</i>
K-P-1.1	Koordination großer Datenmengen	
K-P-1.2	Die Gewährleistung der Leistungsqualität und Leistungsverfügbarkeit	
K-P-1.3	Verzögerung der Reaktion auf Probleme aufgrund des 10-Minuten-Takts der SCADA-Systeme	<i>Auftraggeber</i>
K-P-2	Strenge Regularien können die Branche stetig ändern	<i>Branche</i>
K-P-3	Interdisziplinäre und komplexe Struktur von Industrie-4.0-Projekten	<i>RAMI 4.0</i>
K-P-4	Eignung der SAP Leonardo Foundation als Verwaltungsschale	<i>Auftraggeber</i>
K-P-4.1	Nutzung von intelligenten Diensten	
K-P-4.2	Erhöhtes Risiko bei der Umsetzung großen Industrie-4.0-Projekte	

Tabelle 3: Probleme aus Kontextebene

Kontextmodell Die oben definierten Probleme schaffen eine Struktur für ihre Lösung (vgl. PAL-Modell Lösungssäule). Das Kontextmodell dient dazu, eine erste statische Struktur des Zielsystems auf Grundlage der identifizierten Anwendungsfälle und Lösungsmöglichkeiten zu schaffen (Lauenroth et al., 2016). Als Nutzer des Systems bestimmen die Anwendungsfälle des Kunden und des Wartungspersonals die erste grobe Struktur des Systems, doch sie wird genau so durch die Rahmenbedingungen im Systemkontext geformt. Mit dem in Abbildung 9 dargestellten Use Case Diagramm werden zusammenhängende Anwendungsfälle zur Lösung der Probleme in K-P-1 aufgeführt. In dem Diagramm wird der gewünschte Geschäftsprozess des Auftraggebers für die Nutzer in Elemente aufgeteilt, die durch das System aufgegriffen werden.

Gelöst werden die Probleme jedoch in erster Linie durch die Verfügbarkeit einer

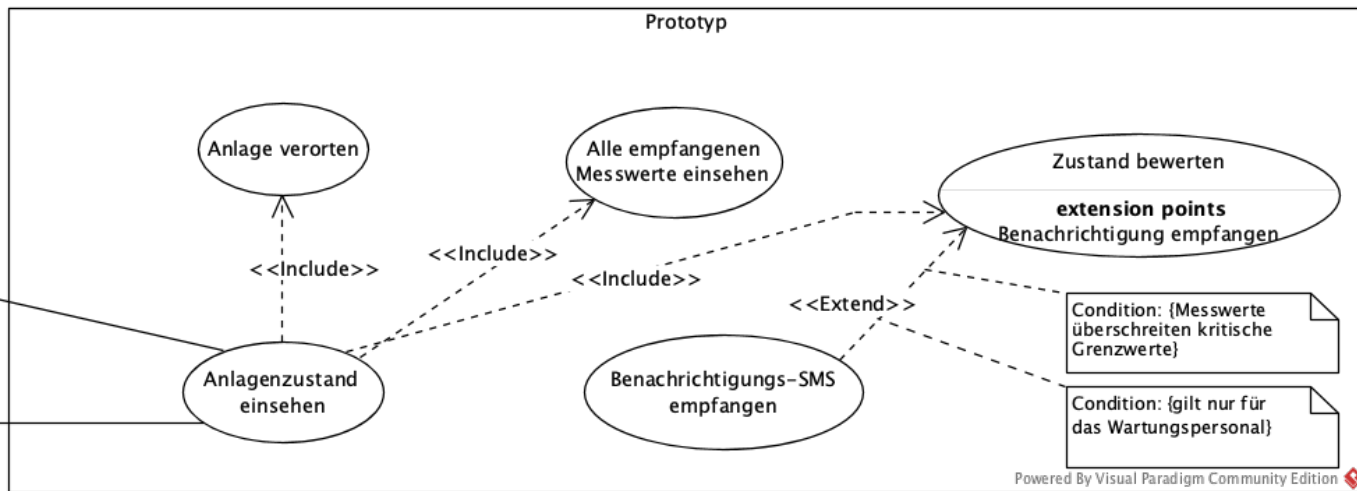


Abbildung 9: Use Case Diagramm der Kontextebene

intelligenten Verwaltungsschale über der physischen Anlage nach dem Konzept der Industrie-4.0-Komponente (s. Abschnitt 2.2.3). Ein wesentliches Merkmal von Industrie-4.0-Projekten ist die Interdisziplinarität und Komplexität (K-P-3). Für den Aufbau einer Strategie und die Bewältigung der Herausforderungen, die ein komplexes System stellt, wird eine von Politik und Wirtschaft entwickelte Referenzarchitektur als Hilfe herangezogen. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) bildet (s. Abschnitt 2.2.3) eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung der Eignung (K-P-4) der prototypischen Architektur eines solchen Systems. Da die Umsetzungsstrategie der Plattform Industrie 4.0 (Bitkom e.V., 2015) jedoch erneuerbare Energien nicht berücksichtigt, aber die Abhängigkeit von fluktuierenden Regularien (K-P-2) besteht, soll eine unternehmensspezifische Digitalisierungslösung entwickelt werden. Weiterhin ist die grobe Struktur des Zielsystems maßgeblich durch die Vorgabe von SAP Leonardo als digitale Schicht für physische Anlagen bestimmt. Da der Systemadministrator (SA) erst innerhalb der Systemgrenzen mit dem System interagiert, werden dessen Anwendungsfälle in der Systemebene konkretisiert.

ID	Lösung	Quelle
K-L-1	Intelligente Verwaltungsschale für die reale Anlage	<i>K-P-1</i>
K-L-1.1	Der Zustand und zugehörige Daten sollen jederzeit einsehbar sein	<i>K-P-1.1</i>
K-L-1.2	Der Zustand der Anlage soll bewertbar sein	<i>K-P-1.2</i>
K-L-1.3	Zustandsveränderungen sollen unverzüglich gemeldet werden	<i>K-P-1.3</i>
K-L-2	Aufbau eines unternehmensspezifischen Digitalisierungslösung	<i>K-P-2</i>
K-L-3	IT-Sicht des RAMI 4.0 und Industrie-4.0-Komponente	<i>K-P-3</i>
K-L-4	Prototypische Architekturvorlage für IoT-Projekte	<i>K-P-4</i>
K-L-4.1	Messinstrument zur Simulation einer realen Anlage	<i>K-P-4.2</i>

Tabelle 5: Lösungen aus Kontextebene

Anforderungen Die Anforderungsdefinition in der Kontextebene ist von hoher Abstraktion geprägt. Sie entstehen aus den wesentlichen Problemen, die das Zielsystem zu lösen hat. Es wird zunächst ein grober Überblick über die wichtigsten Anforderungen an das Gesamtsystem gegeben, um eine Orientierung für die Anforderungserhebung auf Systemebene zu schaffen. Nach Doleski (2016b) gibt es drei wesentliche Anforderungen an Energieunternehmen. Zum einen gilt es die Informationsflut aus der dezentralen Produktion zu bewältigen. Bezogen auf das Zielsystem bedeutet dies, Messwerte aus der Anlage in einem digitalen Zwilling visuell bereitzustellen. Außerdem müssen diese Informationen Wissen erzeugen. Das System muss dies durch die Bereitstellung von prädiktiven Informationen und durch Reaktion auf kritische Zustände ermöglichen. Zudem müssen aus den Informationen relevante Erkenntnisse für die Unternehmensführung gewonnen werden. Dafür muss das Zielsystem eine Möglichkeit für die Einbindung von intelligenten Diensten zur Datenverarbeitung aufweisen. Für einen besseren Überblick sind die Anforderungen im Anhang B.1 gelistet.

3.2.2. Systemebene

Um den inneren logischen Aufbau Prototypen zu spezifizieren, müssen die Lösungen und Anforderungen der Kontextebene erneut in zu lösende Probleme zerlegt werden. Anschließend wird das Systemmodell vorgestellt, welches mit seinen Schnittstellen, Funktionen und Datenstrukturen die Probleme lösen soll. Da aus der Spezifikation der Systemfunktionen sich neue Anwendungsfälle ergeben, werden diese ebenfalls spezifiziert. Schließlich werden die Anforderungen an das System definiert.

Problemstellungen Damit der Prototyp die Anforderungen der des Systemkontextes lösen kann, muss es spezielle Probleme lösen. Das Hauptproblem ist die Virtualisierung eines physischen Assets mitsamt der zugehörigen Messdaten. Unabhängig davon, wo sich der Nutzer befindet, soll er jederzeit den Zustand der Anlage durch den digitalen Zwilling einsehen können. Dabei soll es dem Nutzer ermöglicht werden, den digitalen Zwilling eindeutig einer realen Anlage zuzuordnen. Um einen Mehrwert aus den gemessenen Daten zu erlangen, muss der Prototyp die Bedeutung bestimmter Daten erkennen und ggf. eine Benachrichtigung versenden.

ID	Problem	Quelle
S-P-1	Übergabe des physischen Assets in die digitale Welt	K-FA-1
S-P1.1	Empfang aller Zustandsdaten der Anlage	
S-P1.2	Identifikation der Anlage	
S-P1.3	Erkennung der Bedeutung eines Messwerts	K-FA.13
S-P1.4	Orts- und zeitunabhängige Anzeige der Zustandsdaten einer Anlage	
S-P1.5	Verortung einer Anlage	K-FA.1.2
S-P1.6	Erkennung der Grenzüberschreitung eines Messwerts	K-FA-1.4
S-P1.7	Erkennung der Notwendigkeit einer erneuten Benachrichtigung	
S-P-2	Bereitstellung einer flexiblen Systemarchitektur	K-QA
S-P-3	Bereitstellung einer standard-konformen Systemarchitektur	
	K-RA	

Tabelle 7: Probleme aus Systemebene

der Benachrichtigungsdienst zu entnehmen. Technisch gesehen existieren noch andere Schnittstellen, über die Daten verarbeitet und ausgetauscht werden.

1. *Systemadmin* zur *Cloud*: Der Systemadmin soll über Benutzerschnittstellen zur Geräteverwaltung Typen und Instanzen der Anlage definieren. Eine Anlage soll aus aus n Sensoren und einem Gateway bestehen.
2. *Sensoren* zu *Anlage*: Sensoren sollen Windgeschwindigkeit (km/h), Luftfeuchtigkeit (%), Temperatur (°C), Luftdruck (hPa) und die Luftdichte (m^3) erfassen.
3. *Anlage* zur *Cloud*: Messwerte sollen von der Anlage über ein *Gateway* an die Zieladresse der Anlageninstanz gesendet werden.
4. *Systemadmin* zum *digitalen Zwilling*: Der Systemadmin soll über Benutzerschnittstellen Anlagentypen und -instanzen für die Zwillinge erzeugen, damit sie in eine Anwendung integriert werden können. Außerdem sollen Regeln und Funktionen für die Anlagentypen definiert werden.
5. *Anlageninstanz* zum *digitalen Zwilling*: Die Messwerte der Anlage sollen dem digitalen Zwilling übergeben werden.
6. *Benachrichtigungsdienst* zum *digitalen Zwilling*: Der Benachrichtigungsdienst soll über die definierten Regeln für die Anlage aktiviert werden.
7. *Nutzer* zur *Anwendung*: Die Nutzer sollen die Anlagen über eine grafische Benutzerschnittstelle einsehen können.

Anwendungsfälle Damit die Anwendungsfälle der Nutzer erfüllt werden können, müssen innerhalb des Systems Anwendungsfälle neue behandelt werden. Die neuen Fälle betreffen die Funktionen, die der Systemadministrator ausführen muss, damit die physische Anlage und dessen Daten virtuell repräsentiert werden können.

Anforderungen Hier werden explizite Anforderungen an den Prototypen gestellt.

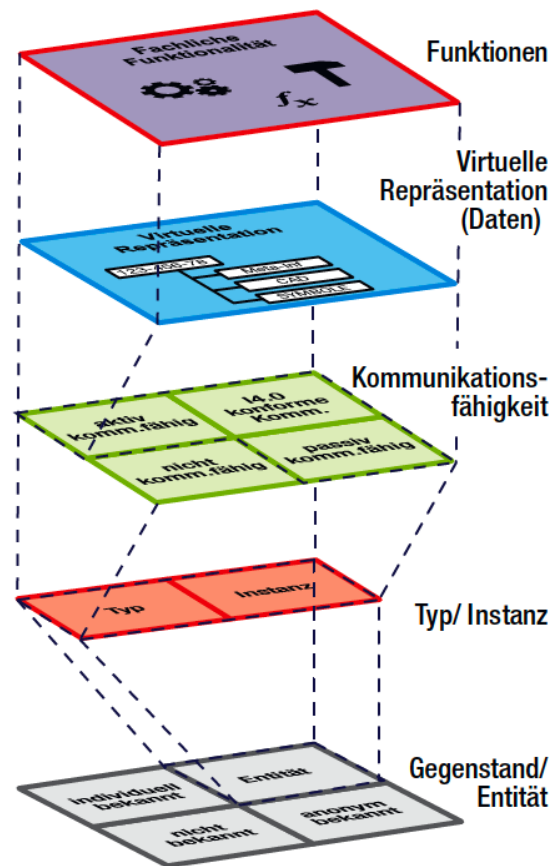


Abbildung 11: Ebenen der Industrie-4.0-Komponente (Bitkom e.V, 2015, S. 52)

3.2.3. Technische Ebene

Im Kapitel der Systemebene wurde logisch beschrieben, was der Prototyp können soll und über welche Schnittstellen diese Ziele erreicht werden sollen. Allerdings wurde noch nicht beschrieben, wie diese Ziele technisch realisiert werden sollen.

Problemstellungen und Ziele Ergeben sich aus Anforderungen der Systemebene

ID	Problem	Quelle
S-T-1	Erzeugung eines cyber-physischen Systems als Messinstrument	
T-P1.1	Kommunikation der Messwerte	
S-T-2	Einbindung eines Benachrichtigungsdienstes	
S-T-3	Kategorisierung der Messwerte	
S-T-3	Versenden einer Benachrichtigungs-SMS	

Tabelle 9: Probleme aus technischer Ebene

Technischer Aufbau des Systems verwendete Technologien und konkrete Ausprägung des Systems z.B. technische Architekturbeschreibungen, technische Datenmodelle oder verwendete Hardwaresysteme

3.2 3.2.1 UML-SETZUNGSKONZEPT FÜR DIE DIGITALE TRANSFORMATION

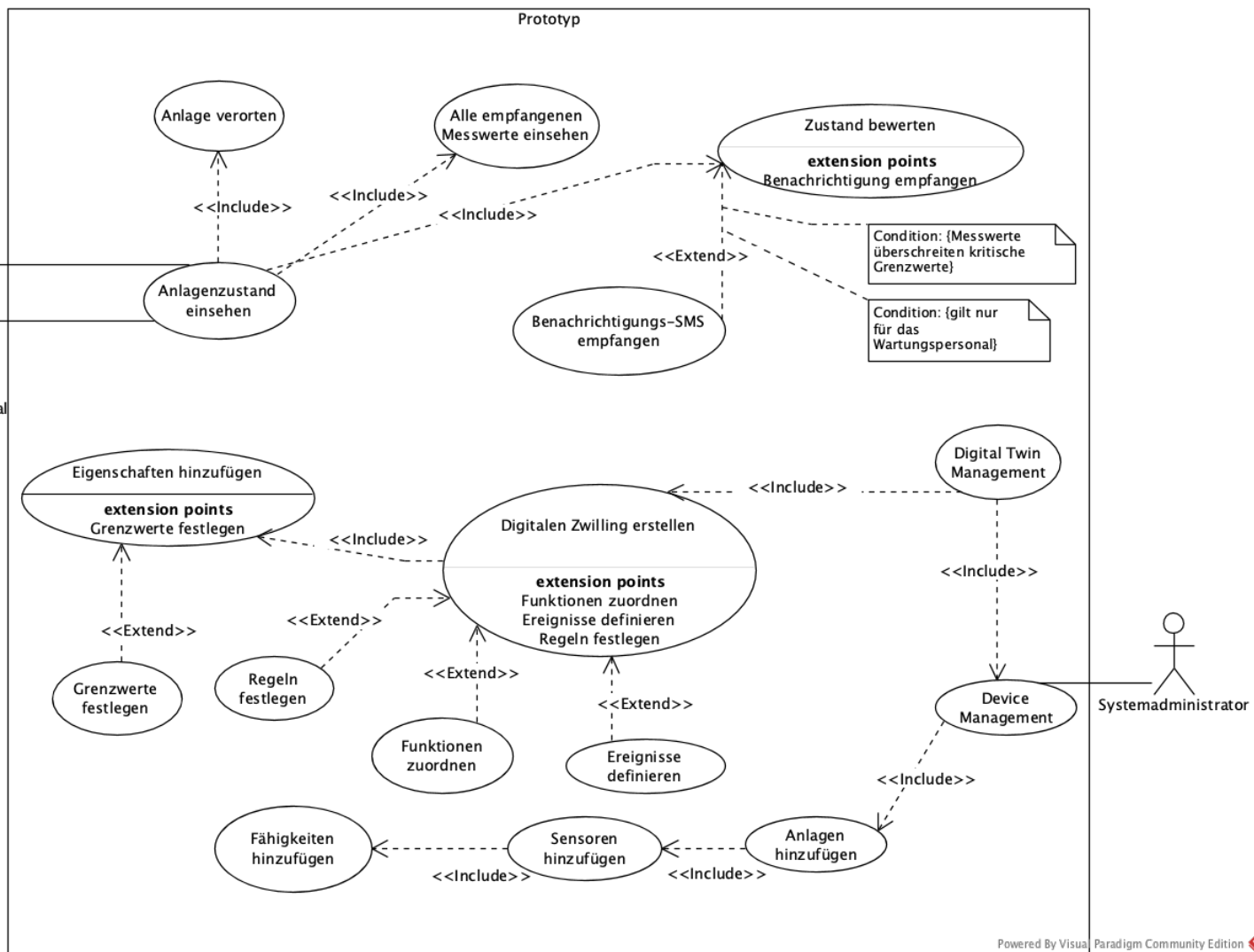


Abbildung 12: Erweitertes Use Case Diagramm auf Systemebene

Was muss das System können? An RAMI orientieren -> Was muss erfüllt werden ? Scada macht über Protokolle und Schnittstellen Telemetriedaten der Windenergieanlage schreibt das Lokal in eine DB und erzeugt Alarmmeldungen quittieren lokal am Rechner alle 10 Minuten -> mit Leonardo schnellere Reaktion in Echtzeit 50 Hz Frequenz -> muss gehalten werden, um schnell auf Probleme reagieren zu können

- erneuerbare Energien werden von der Plattform Industrie 4.0 kaum berücksichtigt !

- Was Kann SCADA-System? daten erfassen, an cloud senden, verarbeiten, digitaler zwilling und steuern, aktionen und regeln für predictive Maintenance
- Fähigkeit, große Datenmengen auch offline zu verarbeiten -> Latenzprobleme
- ANFORDERUNG! WENN DIE Anlagen ins Smart Grid aufgenommen werden sollen, müssen sie Kommunikationsfähig sein!!!!
- Aus Requirements Engineering S. 10: Simulation vor Inbetriebnahme, um Fehler in Anforderungsanalyse festzustellen, damit Change Requests gemacht werden können
- Bei Anlagen, die mehrere Millionen Euro kosten, sind anders als in Software Mechanik und Elektronik eingebaut. Ein Change Request wäre viel zu teuer
- Anforderungsanalyse der Simulation beseitigt die Risiken nicht vollständig, da die Simulation nur so gut ist, wie man sich vorher Gedanken gemacht hat
- 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 Ebenene

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

Merkmale von Akteuren in der digitalen Welt

- Allgegenwärtige Informationsverfügbarkeit
- Soziale Visualisierung¹
- Absolute Mobilität
- Permanente Erreichbarkeit

- Lokalisierung
- Leistungsfähige Technologien

Wesentliche Herausforderungen für Energieunternehmen (Doleski, 2016b, 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

3.3. Systementwurf und -analyse

Systementwurf: Hier mein angepasstes Architekturmodell -> konkretes Architekturmodell mit Sensoren, Edge Device (RPI), SCP (CF) mit Leo IoT Services; AWS SNS mit API-Schnittstellen

Hier irgendwo auch anmerken in Bezug auf 2.3.3 SAP Leonardo und in der Evaluation ausführlicher vllt, dass zwar der Mehrwert in kombinierter Anwendung besteht, man hier aufgrund einer prototypischen Implementierung und es Bezugs auf IoT nur auf ein Leo-Produkt bezogen wird

3.3.1. Systemarchitektur

hier generelle Architektur von SAP Leonardo mit SCP
SOA - Service Orientierte Architektur

3.3 SYSTEMISIERUNGSKONZEPT FÜR DIE DIGITALE TRANSFORMATION

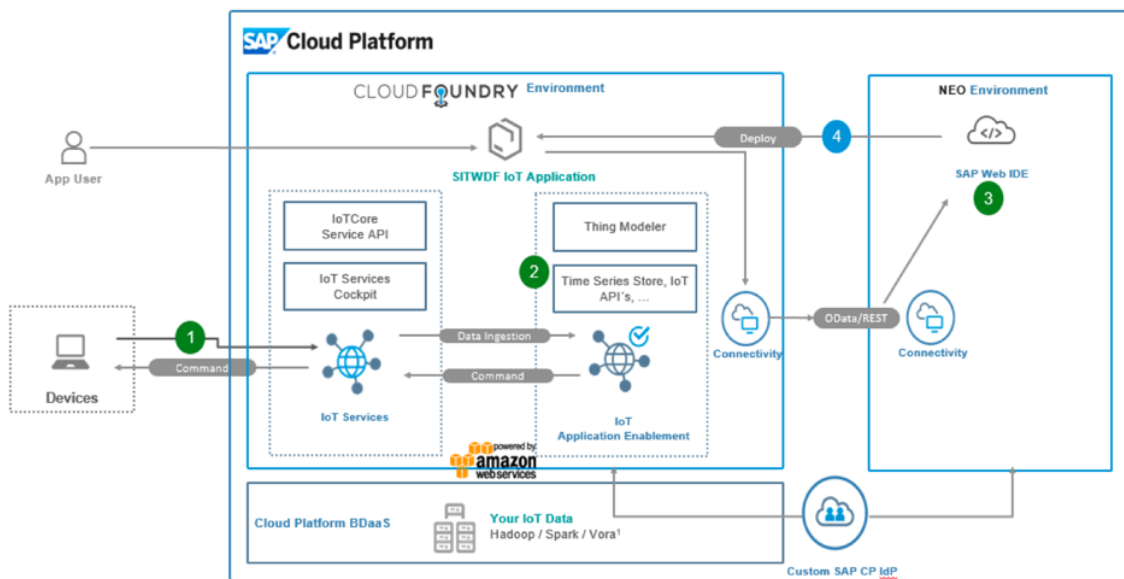


Abbildung 13: Architektur von SAP (Ganz, 2019)

3.3.2. SCP Internet of Things Services

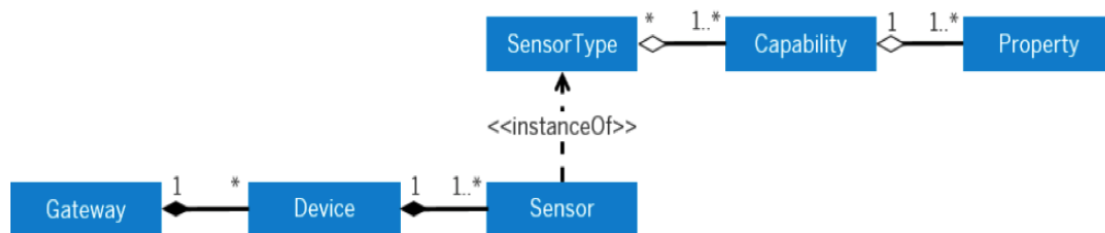


Abbildung 14: Gerätemodell

3.3.3. REST API

3.3.4. Edge-Processing

Protokolle der Edge Server CoAP, File, Modbus, MQTT, OPC UA, REST, SigFox, SNMP

3.3.5. 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

3.3.6. Message Processing

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

3.3.7. Sicherheit

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

3.3.8. Kompatibilität mit Referenzarchitektur

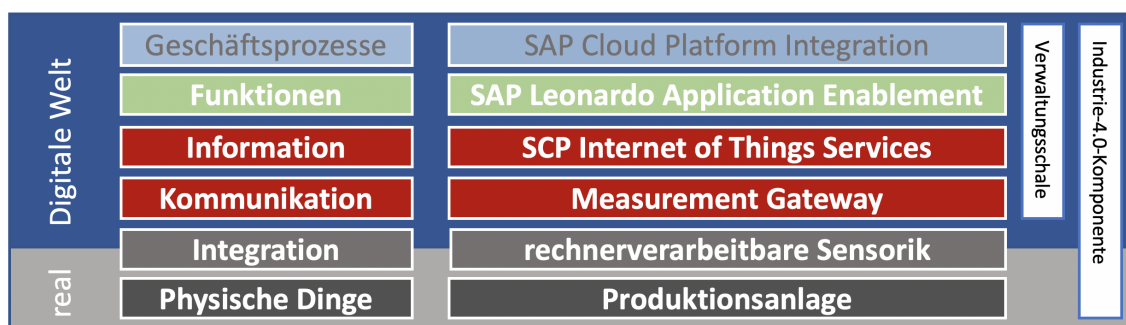


Abbildung 15: Referenz zu den Schichten der RAMI 4.0

3.3.9. Systementwurf gemäß Architekturkonzept

eigene Architektur aufmalen

3.4. 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

3.4.1. Anbindung der Sensoren an das Edge-Gerät

3.4.2. 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

3.4.3. Einrichtung der Gateway-Edge

3.4.4. Senden der Daten an die Cloud

3.4.5. Erstellen des digitalen Zwillings

3.4.6. Visualisierung mit einer UI5-Applikation

3.4.7. Benachrichtigung mit AWS SNS-Server

3.4.8. 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.
- AWS (2019). Informationen zu AWS. Abgerufen 23.12.2019, von <https://aws.amazon.com/de/about-aws/>.
- 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 (2015). Die Energie der Zukunft Vierter Monitoring Bericht zur Energiewende. Abgerufen 16.12.2019, von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/vierter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.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. (2016a). Handlungsdruck – Rahmenbedingungen beschleunigen die Veränderungen in der Energiewirtschaft. In *Utility 4.0*, Seiten 5–10. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Doleski, O. D. (2016b). *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.
- Dzombeta, S., Kalender, A., und Schmidt, S. (2017). Datensicherheit bei Smart Services und Cloud-Sicherheit und Datenschutz im Cloud-Computing. In Schulz, T., Herausgeber, *Industrie 4.0: Potenziale umsetzen und erkennen*. Vogel Business Media.
- 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-renaissance/>.
- 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.
- IREB e.V. (2017). IREB Certified Professional for Requirements Engineering - Foundation Level -. Abgerufen 25.12.2019, von <https://www.ireb.org/de/downloads/>.
- 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.

- Krone, O. und Bachmann, M. (2017). Digitalisierung im Verteilnetz: Evolution oder Revolution anhand konkreter Beispiele. In *Herausforderung Utility 4.0*, Seiten 451–464. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Köster, M. und Mache, T. (2017). Digital Transformation Canvas – Übersicht behalten und Handlungsfelder gestalten. In *Herausforderung Utility 4.0*, Seiten 355–382. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Lauenroth, K., Schreiber, F., und Schreiber, F. (2016). *Maschinen-und Anlagenbau im digitalen Zeitalter: Requirements Engineering als systematische Gestaltungskompetenz für die Fertigungsindustrie Industrie 4.0*. Beuth Verlag.
- 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.
- mind square (2019). Amazon Web Services (AWS). Abgerufen 23.12.2019, von <https://mindsquare.de/knowhow/amazon-web-services/>.
- 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.
- Umweltbundesamt (2018). Was ist ein Smart-Grid? Abgerufen 16.12.2019, von <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid>.
- Utecht, M. und Zierau, T. (2018). *SAP für Energieversorger: Neue Perspektiven für die Zukunft der Versorgungswirtschaft*. SAP Press. Rheinwerk Verlag GmbH.
- Voigt, K.-I. (2018). Industrielle Revolution. Abgerufen 20. November, von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrielle-revolution-38116/version-334867>.

A. Anhang 1

Kategorie	Eigenschaft
Languages/Buildpacks (SAP supported)	Node.js Java
Languages/Buildpacks (Community supported)	Python PHP Ruby .NET Core viele weitere
Storage/Messaging Services	SAP HANA, inkl. XSA Applications MongoDB PostgreSQL Redis RabbitMQ Object Store, Unstructured Storage
Integrated SSO Security Cloud Connector	Services für Authentifizierung, Single Sign-on und On-Premise Integrtrion
Integrated SSO Security Cloud Connector	AWS - EU, US East Azure - US West

Tabelle 10: Eigenschaften der Cloud-Foundry-Umgebung (Utecht und Zierau, 2018, S. 195)

B. Anforderungen

B.1. Anforderungen aus Kontextebene

ID	Anforderung	Quelle
K-FA-1	Das System muss dem Nutzer Zugriff auf den digitalen Zwilling der Anlage gewähren.	<i>K-P-1</i>
K-FA-1.1	Das System muss dem Nutzer die aktuellen Messwerte in Echtzeit anzeigen.	<i>K-P-1.1</i>
K-FA-1.2	Das System muss dem Nutzer die Verortung der Anlage ermöglichen.	
K-FA-1.3	Das System muss dem Nutzer prädiktive Informationen liefern.	
K-FA-1.4	Das System muss dem Nutzer die Reaktion auf kritische Zustände in Echtzeit ermöglichen.	<i>K-P-1.2</i>
K-QA-1	Die Architektur des Systems muss dem SA die flexible Anpassung an Änderungen erlauben.	<i>K-P-2</i>
K-QA-2	Die Architektur des Systems muss dem SA die Einbindung neuer Anlagen erlauben.	<i>Auftraggeber</i>
K-QA-3	Die Architektur des Systems muss dem SA die Einbindung von intelligenten Diensten erlauben.	<i>K-P-4.1</i>
K-QA-4	Die Architektur des Systems muss dem SA erlauben, das System um Funktionen zu erweitern.	<i>K-P-4.1</i>
K-RA-1	Für die Umsetzung des Prototypen muss die SAP Leonardo IoT Foundation verwendet werden.	<i>K-P-4</i>
K-RA-2	Die Architektur des Systems muss mit RAMI 4.0 konform sein.	<i>K-P-3</i>
K-RA-3	Die Simulation muss die Eigenschaften einer Industrie-4.0-Komponente aufweisen.	<i>K-P-4.2</i>

Tabelle 12: Anforderungen aus Kontextebene

B.2. Anforderungen aus Systemebene

ID	Anforderung	Quelle
S-FA-1	Das Messinstrument muss min. alle 5 Sekunden Umgebungsdaten erfassen und verarbeiten können.	<i>Kontext</i>
S-FA-1.1	Das Messinstrument muss die Messungen nach der Erfassung kommunizieren können	<i>I-4.0-K</i>
S-FA-1.1	Das Messinstrument muss als Entität in einem übergeordneten IT-System vorliegen	<i>I-4.0-K</i>
S-FA-2	Der Prototyp muss das Messinstrument virtuell als Anlage beschreiben können	<i>I-4.0-K</i>
S-FA-2.1	Der Prototyp muss das Messinstrument eindeutig per <i>URI</i> identifizieren können	<i>I-4.0-K</i>
S-FA-2.2	Der Prototyp muss das Messinstrument eindeutig per Koordinaten verorten können	<i>I-4.0-K</i>
S-FA-2.3	Der Prototyp muss die Daten der virtuellen Repräsentation halten	<i>I-4.0-K</i>
S-FA-2.4	Der Prototyp muss die Grenzüberschreitung der empfangenen Daten erkennen	<i>Kontext</i>
S-FA-2.5	Der Prototyp muss die empfangenen Daten kategorisieren	<i>Kontext</i>
S-FA-2.6	Der Prototyp muss eine Benachrichtigungs-SMS versenden	<i>Kontext</i>
S-FA-2.7	Der Prototyp muss den Zeitpunkt der letzten gesendeten Nachricht identifizieren	<i>Kontext</i>
S-FA-2.8	Der Prototyp muss Ereignisse generieren	<i>Kontext</i>
S-FA-2.9	Der Prototyp muss die Anlage an eine Anwendung übergeben	<i>Kontext</i>
S-FA-3	Der Prototyp muss dem Nutzer eine Benutzerschnittstelle zur Verfügung stellen	<i>Kontext</i>
S-FA-3.1	Die Benutzerschnittstelle muss alle Anlagen auf einer Karte verorten	
S-FA-3.2	Die Benutzerschnittstelle muss die schnelle Bewertung des Zustands ermöglichen	

ID	Anforderung	Quelle
S-FA-3.3	Die Benutzerschnittstelle muss alle Messwerte auflisten	
S-FA-3.4	Die Benutzerschnittstelle muss die Messwerte visualisieren	
S-QA-1	Die Benutzerschnittstelle muss intuitiv sein	
S-QA-2	Die Architektur des Systems muss dem SA die horizontale Integration der Anlage ermöglichen.	<i>RAMI 4.0</i>
S-QA-3	Die Kommunikation muss nach einem einheitlichen semantischen Modell erfolgen	<i>I-4.0-K</i>
S-QA-4	Die Architektur des Systems muss dem SA die horizontale Integration der Anlage ermöglichen.	<i>RAMI: Funktion</i>

Tabelle 13: Anforderungen aus Systemebene

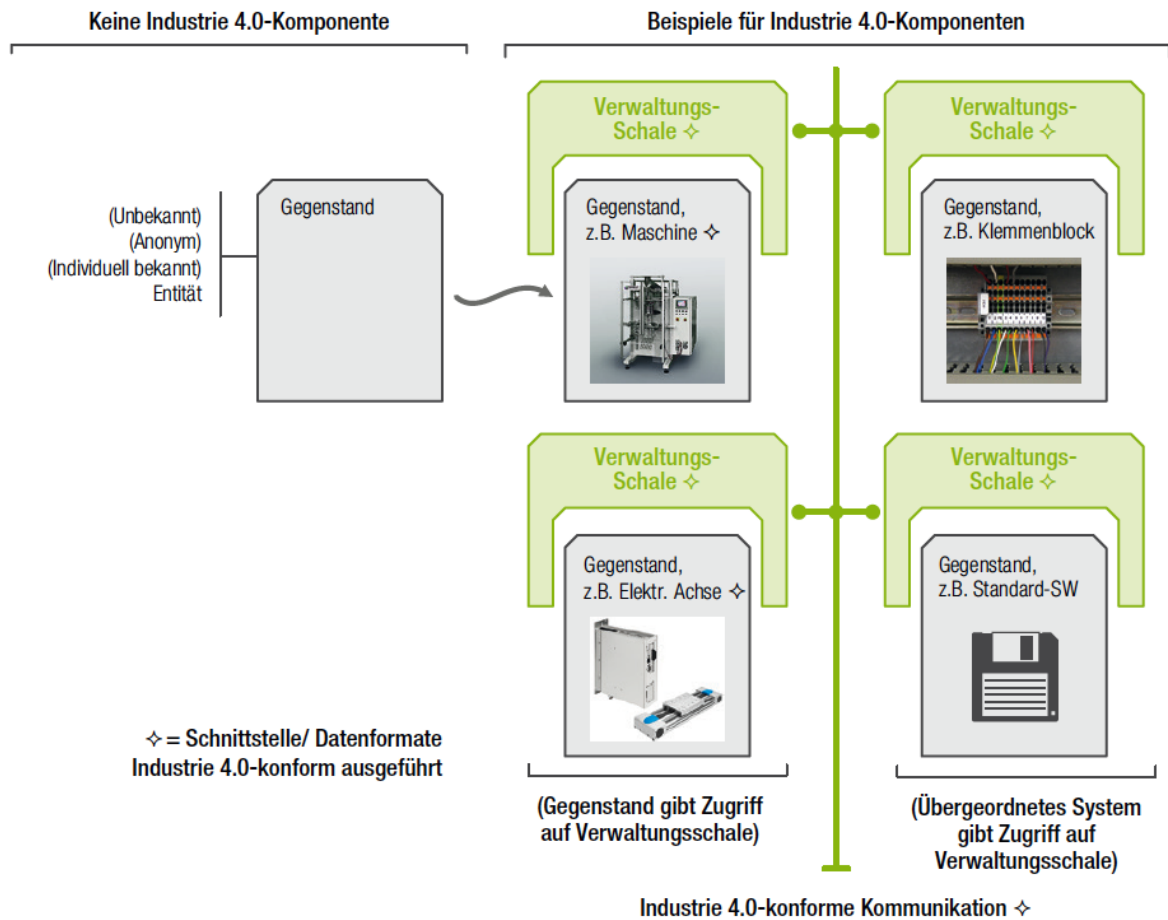


Abbildung 16: Beispiele für Industrie-4.0-Komponenten (Bitkom e.V, 2015, S. 54)

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

Lebenszyklus der Fabrik

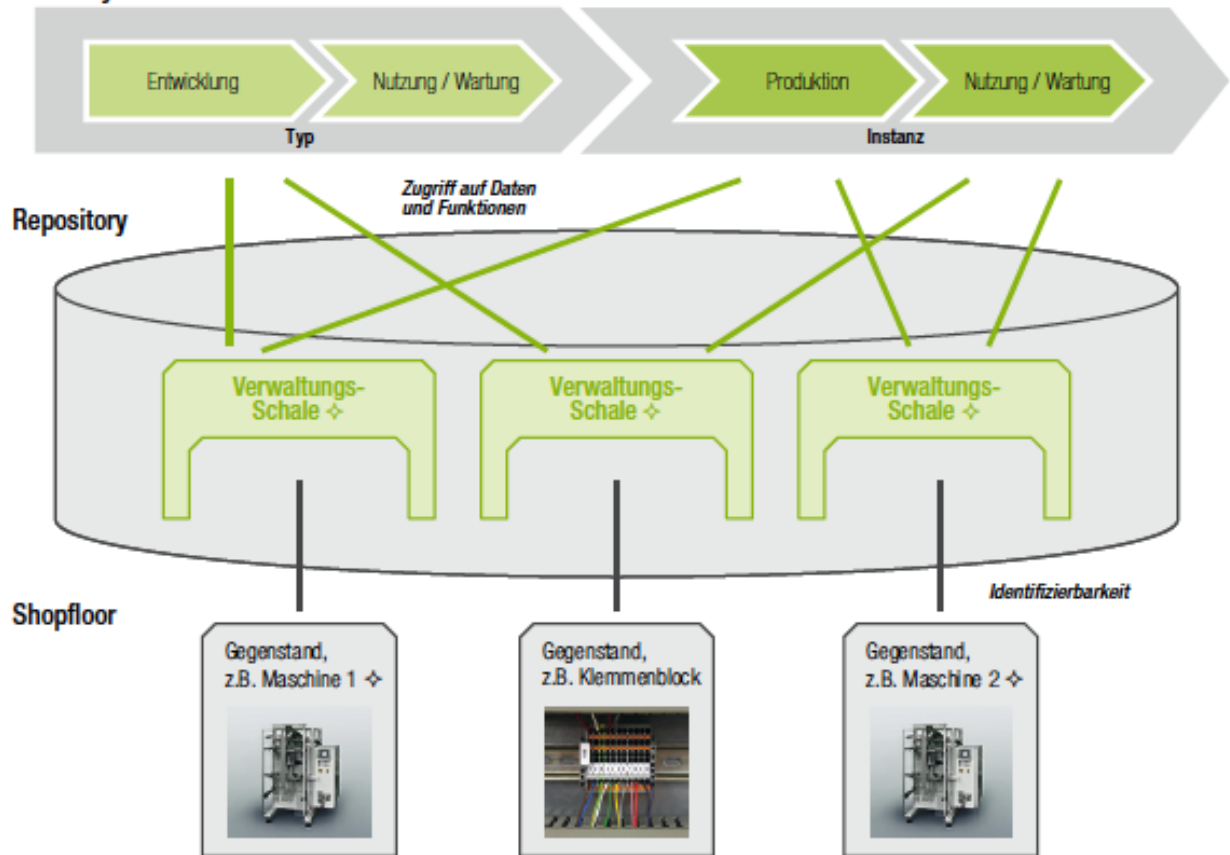


Abbildung 17: Industrie-4.0-Komponenten im Lebenszyklus der Fabrik (Bitkom e.V., 2015, S. 56)

Ausführungen meiner Arbeit besonders gekennzeichnet und die Quellen zitiert habe.

<ORT>, den 15. Januar 2020

<AUTOR>

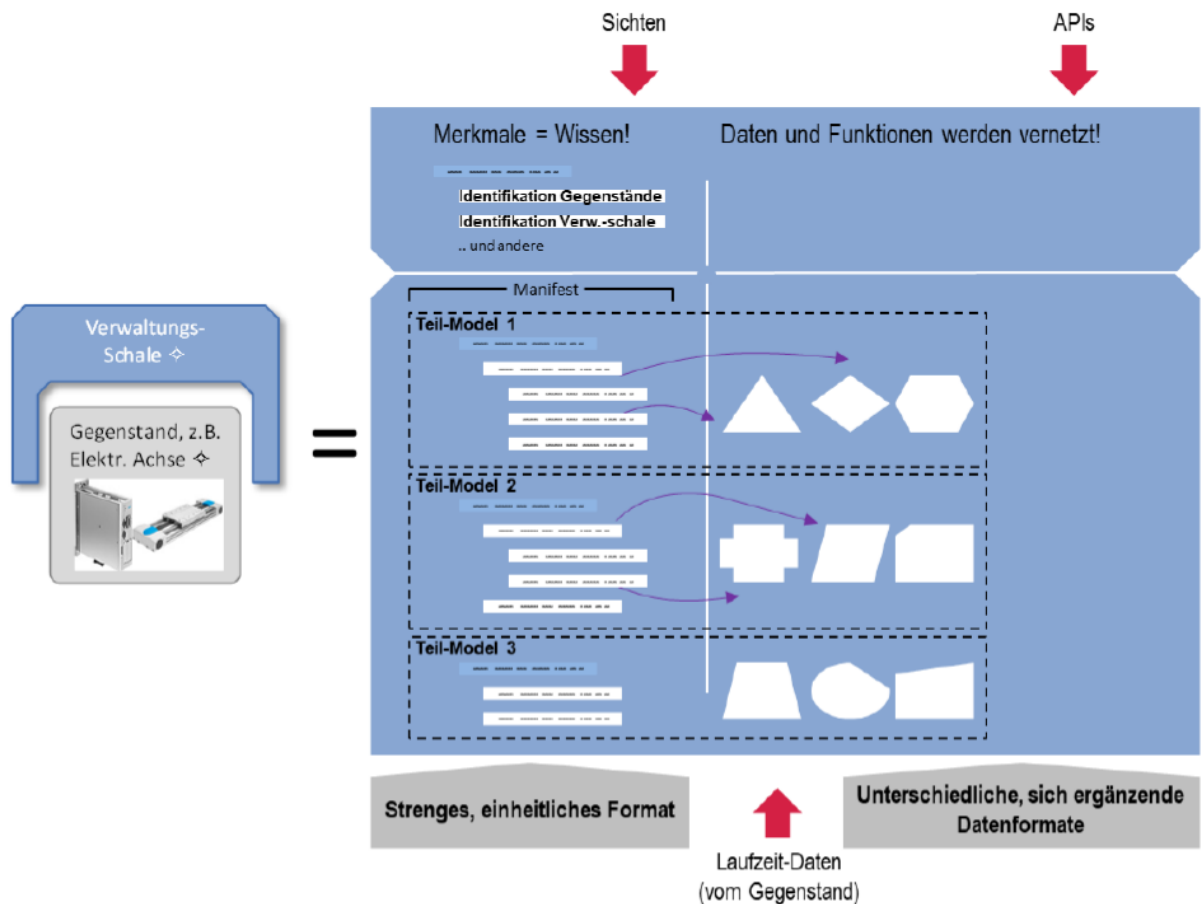


Abbildung 18: Struktur der Verwaltungsschale

C. Notizen, die ich später noch gebrauchen könnte

regelt horizontale Integration aus Produktionssicht und vertikale Integration des Assets aus IT-Sicht. Dabei werden die Daten über den gesamten Lebenszyklus von Produktionsgegenständen/Komponenten gesammelt. Von typ zu Instanz. Die Vertikale Sicht ist der Fokus dieser Arbeit. Die vom Asset erzeugten Daten werden mit einer standardisierten Kommunikation (OPC UA) über den Kommunikationslayer an den funktional Player weitergegeben. Miaaaaaau

Die senkrechte Achse bezieht sich auf die vertikale Integration des realen Produktionsgegenstandes (Asset), dessen virtuelle Repräsentation über die Integranti-

onsschicht 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

Durch die horizontale Integration können technische, administrative sowie kommerzielle Daten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg konsistent gehalten werden.

Grundlage 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 Assets 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, Communication Layer-Standardisierte Kommunikation, Information Layer Datenhaltung, Functional

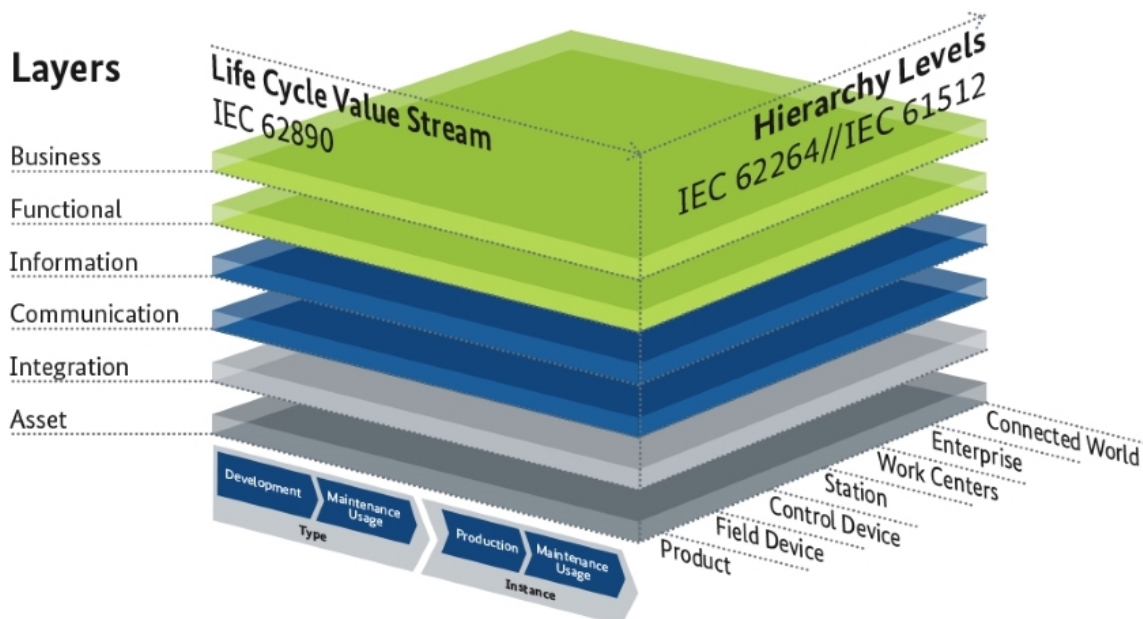


Abbildung 19: Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Bitkom e.V., 2015)

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 Pproduktionssysteme 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
- 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
- Trend: Energieversorgungsunternehmen wandeln sich Richtung Dienstleistungsunternehmen
- politisch-regulatorisch auch angetrieben von ökologischen Zielen: In knapp 20 Jahren hat sich kein Sektor so radikal verändert wie der Energiesektor- Ende der 90er Jahre hat die Liberalisierung der Energiebranche die monopolistischen Strukturen der Versorgungsunternehmen vertrieben. 2000 schon wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetz verabschiedet um systematischen Förderung regenerativer Energiequellen -> Energiewende(nach Fukushima 2011) zwang dann die Branchen sich strukturell in der Wertschöpfungskette zu verändern.

Auch in Zukunft wird die Branche sich rasant ändern! UND ANPASSUNGSFÄHIGKEIT IST A und O in DIGITALER WELT

- gesellschaftlich: Stromanbieterwechsel ist sehr einfach geworden durch erhöhtes Angebot, daher müssen Anbieter sich stärker an Kundenwünschen orientieren. Kunden werden zum aktiven Teil der Wertschöpfung
- 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
- Einleitung ins Thema: rasanter Fortschritt in IT-Industrie, regulatorische Anforderungen inkl. Datenschutz und Sicherheit, Kostenoptimierung innerhalb Unternehmensbereich, Erschließen neuer Geschäftsfelder aber angespannter Finanzrahmen
- Prozesse auf Einsparung hin durchleuchten
- Anfang: Wandel im Energiesektor -> Aufgrund der Historie sich ändernde Rahmenbedingungen, die heute noch Einwirkungen haben
- politische und strukturelle Entwicklungen sind Parameter für darauffolgende Anforderungen
- Rahmenbedingungen für Veränderungen in der Energiewirtschaft (Utility 4.0 essentials s. 5): politisch-regulatorische Umwelt, ökonomische und energiewirtschaftliche Umwelt, gesellschaftliche Umwelt, technologische Umwelt, ökologische Umwelt,
- von zentraler Erzeugung zu dezentraler Erzeugung und Verteilung

- ökonomische Faktoren: von monopolistisch in liberalisierten Energiemarkt -> Wettbewerbsförderung daraus resultierende Innovationen schaffen neue Marktmechanismen. Durch Einsatz von IT verschwimmen Grenzen zwischen energiewirtschaftlicher Leistungserstellung und der Informations- und Kommunikationsindustrie -> *KOnvergenz* unter Branchen, dezentrale Geschäftsmodelle und hoher Investitionsbedarf im Zuge der rechtlichen Regularien
- Energiewirtschaftlich: nach Energiewende viele lokale kleine Erzeugungsanlagen. Die dezentralen Einspeisungs und Versorgungsanlagen erfordern bessere Koordination der zu beherrschenden Datenmengen. -> Anstieg Steuerungskomplexität und Belastung der Netzinfrastruktur. Produktion ist schwankend bei dezentraler Erzeugung, dennoch muss die 50Hz-Frequenz im Gleichgewicht gehalten werden. Die Erzeugung muss digital überwacht werden, Paradigmenwechsel von verbrauchsorientierter Erzeugung hin zu erzeugungsorientierten Verbrauch
- technologische Faktoren und Treiber beeinflussen Entwicklung in Energiewirtschaft nachhaltig. Innovationsdruck. Stabile Steuerung dezentraler Stromerzeugung und Aufbau großvolumiger, virtueller Erzeugungsstrukturen
- Nach BWI Bericht
- S. 90 Strommarkt wird eine der ersten voll digitalisierten Branchen in deutscher Volkswirtschaft sein
- Erneuerbare werden von der Plattform Industrie 4.0 nicht besonders berücksichtigt

FraunhoferISE

- Ausgleich zwischen Bereitstellung und Nutzung
- Komplexes Zusammenspiel aus zeitlich angepasster Energieerzeugung, Stärkere Kopplung von Strom, Wärme, Mobilität, Verkehr und temporärer Einsatz von flexiblen Erzeugungsanlagen und Speicher

- Einbeziehung moderner Prognosemethoden für Erzeugung und Verbrauch für Organisation und Management
- Digitalisierung als Enabler für Beherrschung eines komplexen Systems mit vielen technischen Komponenten und Beteiligten im Markt
- Methoden und Anwendungsfelder für Digitalisierung über alle Bereiche wie Erzeugung über Netze, Handel und Vertrieb bis hin zu Verbrauch und Produktion
- ANFORDERUNG! WENN DIE Anlagen ins Smart Grid aufgenommen werden sollen, müssen sie Kommunikationsfähig sein!!!!
- Kommunikation ist erforderlich für Netz, Markt und Anlagenbetrieb
- für Anwendungen im IOT werden Technologien entwickelt, die Integration von Energieversorgung und Datenkommunikation in einem Bauelement ermöglichen (In meinem Use Case wäre das aber nicht der Fall, da ich ne alte Anlage habe.)
- auf Unternehmensseite: Aufbau und Umsetzung einer unternehmensspezifischen Digitalisierungsstrategie: RAMI 4.0 als Referenz möglich
- Datenschutz und Sicherheit gewinnen an Bedeutung
- „Mit der Zunahme dezentraler Einspeisungs- und Eigenversorgungsanlagen innerhalb der bestehenden Strom- und Gasnetze steigen synchron auch die Koordinationsanforderungen und die zu beherrschenden Datenmengen “ (Doleski, 2016b, S. 7)
- „Bedarf einer branchenweiten Veränderung - einer Transformation - in allen Sektoren und Phasen entlang der energiewirtschaftlichen Wertschöpfung“ (Doleski, 2016b, S. 11)

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).

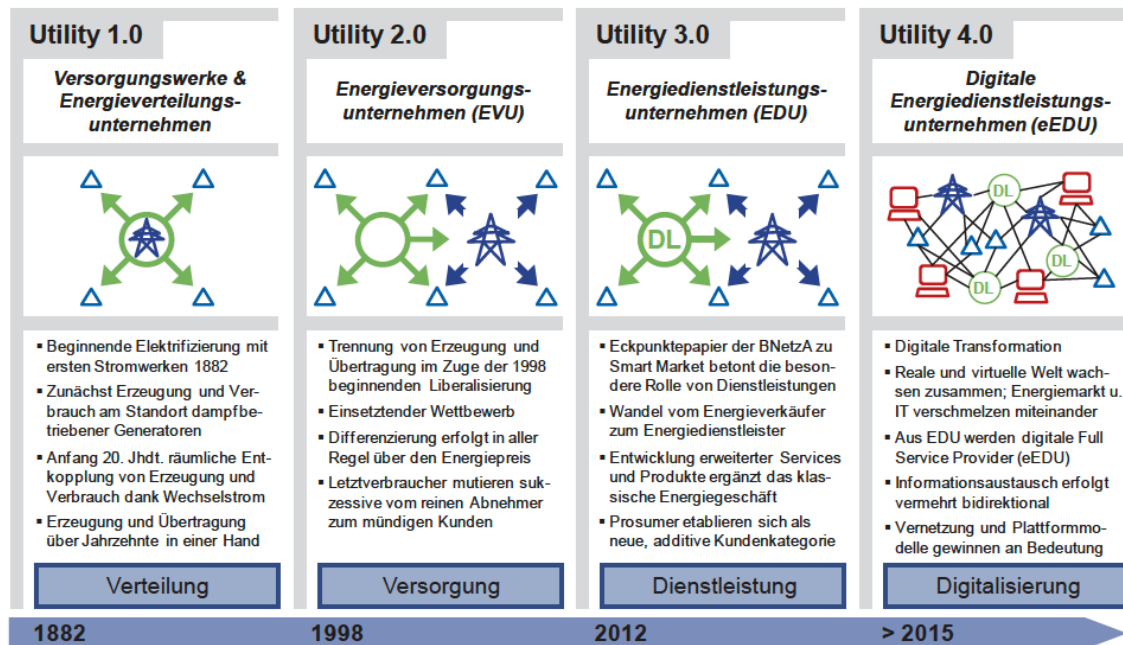


Abbildung 20: Transformation vom Versorgungswerk zum digitalen Energiedienstleister (Doleski, 2016b, S. 13)

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

C.1. Innovationsplattform

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).

Vorgedachtes Modell für Geräte (Thing Modell), IoT Services Anbindung Sensoren und Endgeräten, kalter, warmer, heißer Speicher Best Practices and Design Thinking

- Innovationsplattform ist nahtlos mit dem digitalen Kern (ERP) als Unternehmensgedächtnis (Utecht und Zierau, 2018) verbunden -> bimodale IT

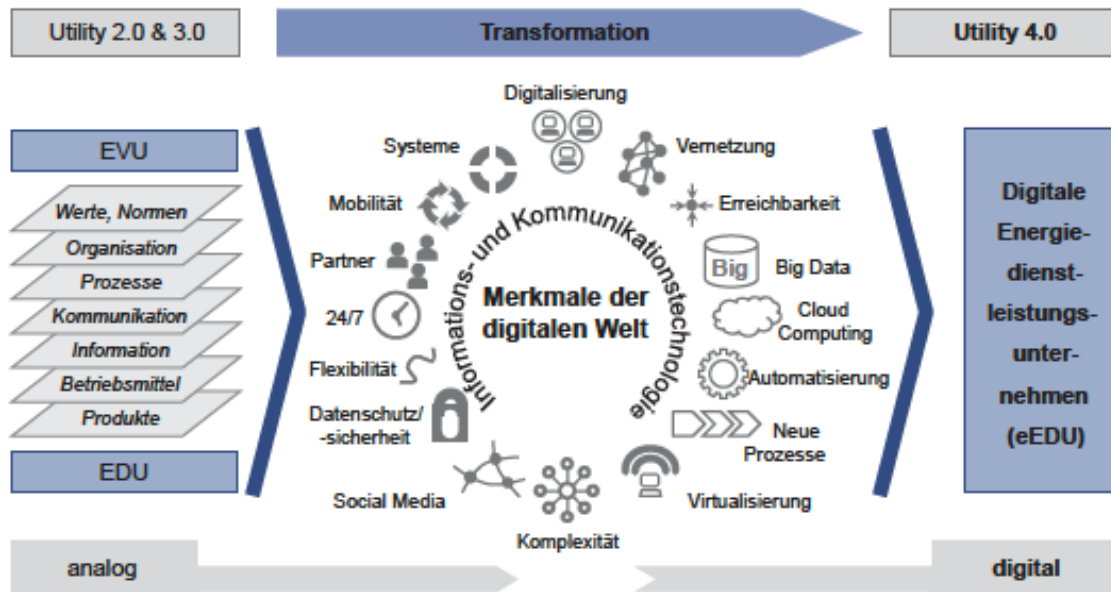


Abbildung 21: Digitale Welt als Katalysator für Utility 4.0 (Doleski, 2016b, S. 17)

- Einfache Anbindung an Backend Systeme
- z.B. ohne Materialstamm und Equipmentstamm kein Digitaler Zwilling
- Technologien IoT, Machine Learning, Blockchain, Analytics auch kurz beschreiben, was SAP da anbietet
- Auch eigene Leonardo-Produkte wie Connected Goods cloudbasierte IoT Anwendung, für Monitoring von Produkten um ihren Wert zu maximieren wie Kühlketten, Verbräuche und Bestände
- SAP Connected Assets für Anlagegüter

C.1.1. SCP

Die Neo-Umgebung unterstützt hauptsächlich die Entwicklung von Java-Anwendungen sowie von nativen SAP HANA Anwendungen auf einem JavaScript Applikationsserver. Deren Benutzerschnittstellen können ausschließlich mit dem dem Frontend-Toolkit SAPUI5 entwickelt werden. Dafür steht in der Umgebung eine browserbasierte Entwicklungsumgebung, die SAP Web IDE, bereit.

Verschmelzung von IaaS und PaaS -> Einfacher, Services von Überall her zu nutzen

SAP Cloud Platform und AWS Microservices und APIs Programmiersprachen und Laufzeitumgebungen alle gängigen IaaS können zum deployen genutzt werden Entwicklungsumgebung SAP Web IDE und Laufzeitumgebungen CF, NEO, ABAP Destinationss Innovationenplattform Functional Services und Business Services Cloud-to-Cloud Integration möglich (Elsner S.247) um Kompetenzen zu vereinen. z.B. Telekom Cloud mit SCP Embedded Platform as a Service mit zwei Lösungsvarianten. SAP Cloud Platform - Neo Environment and SAP Cloud Platform - Cloud Foundry Environment Datenbankservices wie verschiedene SAP-HANA-Versionen, MongoDB, PostgreSQL usw Portalservices: Fiori Launchpad als Anwendungsportal Application Runtime als Java-Anwendung oder XS-Anwendung Entwicklung mit WEB IDE Konnektivitätsservice: SAP Cloud Platform Integration API

cf push - and your app is alive -> in die Systemanalyse

Leonardo erlaubt die Wiederholung des Design Thinking Prozesses, da mit SCP und Microservice architektur easy skalierbar und anpassbar Das Bild vielleicht eher in Umsetzungskonzept? oder in Vorgehen

C.1.2. Use Case

Weil das aktuelle SCADA-System nur alle zehn Minuten Daten erfasst, soll es mit dem Ziel der Echtzeitfähigkeit auf eine Erweiterbarkeit mit SAP Technologien geprüft werden.

Ziel: Geschäftsfeld ändern und Echtzeitfähigkeit SCADA mit Leonardo über Kommunikationsschnittstellen

Neben der Datenerfassung und Fernüberwachung können Anlagen und Windparks aus der Ferne gesteuert und geregelt werden

Obwohl viele ihrer Anlagen bereits Condition Monitoring Systeme haben, gibt es noch immer Anlagen, die nicht internetfähig sind. Da das Ersetzen der Anlagen durch neue IoT-fähige Anlagen sowohl Ressourcenverschwendung als kostenspielig wäre, werden diese mit entsprechender Systemelektronik (Sensorik/Edge Geräte) nachgerüstet auch (s. retrofit). Diese Anlagen sollen digital abgebildet werden, um

Zustände erfassen zu können. Nun fragt sich Enercon, vor allem im Zuge der Umstellung auf die von SAP HANA ermöglichten Im-Memory-Leistungen und weil die Stammdaten (Unternehmensgedächtnis, Basis für digital Twin) im SAP System liegen, wie sich wohl SAP Produkte für Monitoring und predictive maintenance eignen. Außerdem verfolgen Sie zukünftig das Ziel, ihr Geschäftsfeld noch weiter zu erweitern, indem sie neben Produktion von Energie auch IT-Dienstleistungen z.B. für die Energieversorger im Zusammenhang mit den Produktionsanlagen anzubieten. Ich werde beauftragt, die Systemlandschaft von SAP Produkten (insb. Leonardo) für die digitale Transformation zu analysieren und prototypisch darstellen, wie/ob der Zustand einer (alte) WEA erfasst werden kann und ob auf Zustandsänderungen reagiert werden kann. Da Enercon ein global Player ist, möchten sie sich an RAMI 4.0 orientieren und die Informationssicht standardisiert haben. Auch das soll geprüft werden. Außerdem prüfen, wie die offlinefähigkeit ist und analysieren, welche Fähigkeiten das System zur Erweiterung des Industrie-4.0Netzes bietet.

C.1.3. Anforderungsanalyse

- logischer Aufbau des Systems
- Problemstellung/Ziele: ergeben sich aus Anforderungen der Kontextebene
- Systemmodell: Schnittstellen, Funktionen, Datenstrukturen
- Schnittstellen: Verbindung des Systems zur Umwelt (technisch und Nutzer)
-> wurden im Kontextmodell definiert
- technisch: Beschreibung der Daten, die mit Umwelt ausgetauscht werden
- Nutzer: benennen
- Funktionen: Funktionalitäten des Systems, Datenverarbeitung
- Funktionen verbunden mit Anwendungsfällen auf Kontextebene
- oder andere Funktionen der Systemebene: zentralisierte Funktionen
- oder Anwendungsfälle auf Systemebene: Funktion realisiert Teilfunktionalität auf Systemebene

- triviale Funktionen wie Logout oder Login nur kurz -> Fokus auf geschäftskritische Funktionen
- Funktion kann nur diejenigen Daten verarbeiten, welche in Datenstrukturen und Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden
- Datenstrukturen: ER-Diagramm oder Klassenmodelle
- Aufbau Nutzeroberflächen: falls vorhanden, setzt Schnittstellen und Daten voraus
- Anwendungsfälle auf Kontextebene können auf Systemebene konkretisiert werden
- Anforderungen: Anforderungen an innere Bestandteile des Systems

Anpassbar, Änderbar, Benutzbar, Genau, Performanz, Sicherheit, Übertragbarkeit, Zuverlässigkeit

Datenflussdiagramm