



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Timo Scherf

# **Nutzen und Potentiale einer IoT-Plattform als Schlüsselkomponente der digitalen Produktentwicklung**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management*

**Timo Scherf**

**Nutzen und Potentiale einer IoT-Plattform  
als Schlüsselkomponente der digitalen  
Produktentwicklung**

Bachelorarbeit, eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau Entwicklung & Konstruktion  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

NET AG system integration  
Abteilung: Business Development  
Schellerdamm 16  
21079 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Schelberg  
Zweitprüfer: Dipl. Ing. Benjamin Kirsch

Abgabedatum: 16.03.2018

# **Zusammenfassung**

**Timo Scherf**

## **Thema der Bachelorthesis**

„Nutzen und Potenziale einer IoT-Plattform als Schlüsselkomponente der digitalen Produktentwicklung“

## **Stichworte**

Internet der Dinge, Industrie 4.0, Digitale Transformation, Digitaler Zwilling, Erweiterte Realität, Big Data, Maschinelles Lernen

## **Kurzzusammenfassung**

In dieser Arbeit wird beschrieben, wie der Sprung ins vierte industrielle Zeitalter mittels digitaler Transformation gelingt. Es wird gezeigt, was eine moderne IoT-Plattform ausmacht und wie sich eine vernetzte Infrastruktur im bestehenden, industriellen Umfeld aufbauen lässt. In Folge dessen wird das Konzept des digitalen Zwillings vorgestellt und gezeigt, wie sich die gesammelten Datenmengen, insbesondere in der digitalen Produktentwicklung, nutzen lassen. Die Verschmelzung der digitalen mit der physikalischen Welt wird insbesondere anhand Augmented Reality Fallbeispielen demonstriert. Ziel dieser Arbeit ist es, Entscheidungsträger zu überzeugen, in diese revolutionäre Technologie zu investieren.

**Timo Scherf**

## **Title of the paper**

“Potential and use cases of an IoT-platform as a key component of the digital product development”

## **Keywords**

Internet of Things, Industry 4.0, Digital Business Transformation, Digital Twin, Augmented Reality, Big Data, Machine Learning

## **Abstract**

This dissertation deals with ways of how the fourth industrial age can be achieved by means of digital business transformations. The key components of a modern IoT platform are specified and it is shown how a connected infrastructure can be integrated into existing industrial structures. Afterwards, the concept of a digital twin is presented, and it is shown how large amounts of data, especially within digital product development, can be used. The symbiosis of the digital and physical world is specifically demonstrated with augmented reality use cases. The main objective of this thesis is to convince decision-makers to invest into this revolutionary technology.

# I Inhaltsverzeichnis

<b>II</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
<b>III</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis und Glossar</b> .....	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung 5</b>	
1.1	Industrie und Gesellschaft im digitalen Wandel .....	5
1.2	Hintergrund der Arbeit .....	6
1.3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit .....	6
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
2.1	Industrie 4.0 durch digitale Business Transformation .....	8
2.2	Wertschöpfungskette und Produktlebenszyklus.....	9
2.3	Definition und Eigenschaften des „Internet of Things“ .....	11
<b>3</b>	<b>Infrastruktur einer IoT-Landschaft</b> .....	<b>14</b>
3.1	Auswahlkriterien einer IoT-Plattform .....	14
3.2	Funktionsprinzip der IoT-Plattform „ThingWorx“ .....	15
3.3	Konnektivität und Knotenstrukturen .....	16
3.4	Protokolle und Schnittstellen .....	17
3.4.1	Einbinden von älteren, netzwerkunfähigen Systemen .....	18
3.4.2	Codebeispiel zum Senden von Sensordaten per REST .....	21
3.5	Cloud Computing und Sicherheitsaspekte .....	22
<b>4</b>	<b>Digitalisierte Produktentwicklung</b> .....	<b>24</b>
4.1	Konzept des „Digitalen Zwillings“ .....	24
4.2	Augmented Reality .....	26
4.2.1	Definition und Unterschied zu Mixed und Virtual Reality .....	26
4.2.2	Erkennung und Einbindung von CAD-Objekten .....	27
4.2.3	AR mit Einbindung einer IoT-Plattform .....	28
4.2.4	AR-Engine und Entwicklungsumgebung.....	29
4.3	Big Data Analytics und maschinelles Lernen .....	30
4.3.1	Artifizielle / künstliche Intelligenz .....	32
4.3.2	Maschinelles Lernen und Deep Learning .....	33
<b>5</b>	<b>Industrielle Anwendungsszenarien und Konzepte</b> .....	<b>36</b>
5.1	Komponenten einer modularen IoT-Nutzeroberfläche .....	37
5.1.1	Asset Monitoring Dashboard.....	38
5.1.2	Optimierte Sicht auf ein PLM-System .....	39
5.1.3	Einbindung externer Systeme und individueller Seiten .....	40
5.2	Augmented Reality .....	41
5.2.1	Technische Zeichnung mit PLM-Einbindung .....	42
5.2.2	AR Servicemechaniker.....	43
5.2.3	AR - virtuelle Produktpräsentation .....	46
5.3	Closed Loop – Nutzen von realen Sensorinformationen .....	48
5.4	KI unterstützte Produktentwicklung.....	49
<b>6</b>	<b>Wirtschaftliche Analyse</b> .....	<b>50</b>
6.1	Chancen und Potentiale .....	50
6.2	Ökologische Aspekte / Green IT .....	51
6.3	Herausforderungen und Investitionshemmnisse .....	53
6.4	Lösungsansätze zur Entkräftigung der Bedenken .....	54
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>55</b>
<b>IV</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b> .....	<b>56</b>
<b>V</b>	<b>Erklärung zur selbstständ. Bearbeitung</b> .....	<b>63</b>

## II Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Meilensteine der industriellen Entwicklung (Aberdeen Essentials) .....	5
<b>Abb. 2:</b> Schlagwörter rund um die Industrie 4.0 (Stahl-Blog.de).....	7
<b>Abb. 3:</b> Industrie im digitalen Wandel (PwC-Studie).....	8
<b>Abb. 4:</b> Digitalisierung der vert. - und hor. Wertschöpfungskette (PwC-Studie) .....	9
<b>Abb. 5:</b> Phasen des Produktlebenszyklus (Gmw Group).....	10
<b>Abb. 6:</b> Internet of Things – Ökosystem (cbcronline.com).....	11
<b>Abb. 7:</b> Thingkonzept einer Kaffeemaschine (eigene Darstellung).....	12
<b>Abb. 8:</b> Amazon Echo mit Smart Home Komponenten (Zdnet.de) .....	13
<b>Abb. 9:</b> Wearables im Überblick (Techcrunch.com) .....	13
<b>Abb. 10:</b> Logos bedeutender IoT-Plattformen .....	15
<b>Abb. 11:</b> Die IoT-Plattform ThingWorx (eigene Darstellung) .....	15
<b>Abb. 12:</b> Aufbau einer IoT-Infrastruktur (eigene Darstellung) .....	16
<b>Abb. 13:</b> Funktechnologien im Vergleich (PTC Grafik).....	17
<b>Abb. 14:</b> TCP / IP Modell (in Anlehnung an superuser.com) .....	18
<b>Abb. 15:</b> KEPServer EX Funktionsprinzip (kepsware.com).....	19
<b>Abb. 16:</b> Raspberry Pi im Größenvergleich .....	20
<b>Abb. 17:</b> Arduino mit Netzwerkkarte und WLAN-Modul.....	20
<b>Abb. 18:</b> Python Code REST-Client (eigener Quellcode) .....	21
<b>Abb. 19:</b> Cloud Computing Komponenten (osaipl.com).....	22
<b>Abb. 20:</b> Föderative IoT-Infrastruktur (eigene Darstellung) .....	23
<b>Abb. 21:</b> Digitaler Zwilling einer General Electrics Turbine (geoilandgas.com) ....	24
<b>Abb. 22:</b> IoT im Zentrum des Produktlebenszyklus (eigene Darstellung) .....	25
<b>Abb. 23:</b> AR-App “Pokemon Go” (Nintendo) & Playstation VR (Sony) .....	26
<b>Abb. 24:</b> Mixed Reality Brille "Microsoft Hololens" im Einsatz .....	27
<b>Abb. 25:</b> „Thingmark“ als AR-Referenzobjekt (PTC) .....	27
<b>Abb. 26:</b> Yin und Yang des Digital Twins (PTC) .....	28
<b>Abb. 27:</b> Funktionsprinzip von AR mit IoT (HBR PTC) .....	28

<b>Abb. 28:</b> AR-Entwicklungsumgebung "Thingworx Studio" .....	29
<b>Abb. 29:</b> Regelkreis von Datenströmen (Bachelorarbeit: Philipp Fischer) .....	30
<b>Abb. 30:</b> ThingWorx Analytics - Flowserve Pump Demo (YouTube) .....	31
<b>Abb. 31:</b> Deep Learning, nachmodelliertes Gehirn (Edureka) .....	32
<b>Abb. 32:</b> Lernprozess von IBM Watson .....	33
<b>Abb. 33:</b> Lernprozess einer neuronalen Mario Kart KI (Seth Bling) .....	34
<b>Abb. 34:</b> Lernprozess der Mariokart KI .....	34
<b>Abb. 35:</b> Alpha Go schlägt einen asiatischen Großmeister .....	35
<b>Abb. 36:</b> „Connected Hack“ 2017 in Berlin (PTC & NET) .....	36
<b>Abb. 37:</b> Modulare IoT-Nutzeroberfläche (eigene ThingWorx Modifikation) .....	37
<b>Abb. 38:</b> Asset Monitoring Dashboard des „ThingWorx Asset Advisor“ .....	38
<b>Abb. 39:</b> ThingWorx Navigate in der mobilen Ansicht .....	39
<b>Abb. 40:</b> Engineering Dashboard mit Einb. von ERP und PLM Systemen .....	40
<b>Abb. 41:</b> Virtuelle IKEA Möbelplatzierung.....	41
<b>Abb. 42:</b> Industrielle Einsatzfelder von Augmented Reality (PTC).....	41
<b>Abb. 43:</b> Technische Zeichnung mit PLM-Einbindung (eigenes Konzept).....	42
<b>Abb. 44:</b> AR-Servicemechaniker am Beispiel einer Becker-Pumpe .....	43
<b>Abb. 45:</b> Browser-basierte Wartungsoberfläche .....	44
<b>Abb. 46:</b> Service Mechaniker mit Microsoft Hololens .....	45
<b>Abb. 47:</b> Virtuelle Bedienungsanleitung eines Nussknackers (MPE 2 Projekt) ....	46
<b>Abb. 48:</b> Bedienungsanleitung des Pyramidennussknackers .....	47
<b>Abb. 49:</b> Closed Loop Prinzip (modifizierte PTC Grafik).....	48
<b>Abb. 50:</b> IBM Watson bei Jeopardy (TV Ausschnitt).....	49
<b>Abb. 51:</b> Mehrwert von IoT Anwendungen (PwC-Studie) .....	50
<b>Abb. 52:</b> Green IoT Philosophie von BlueApp.io .....	51
<b>Abb. 53:</b> Herausforderungen bei der Umsetzung (PwC Studie) .....	53

### III Abkürzungsverzeichnis und Glossar

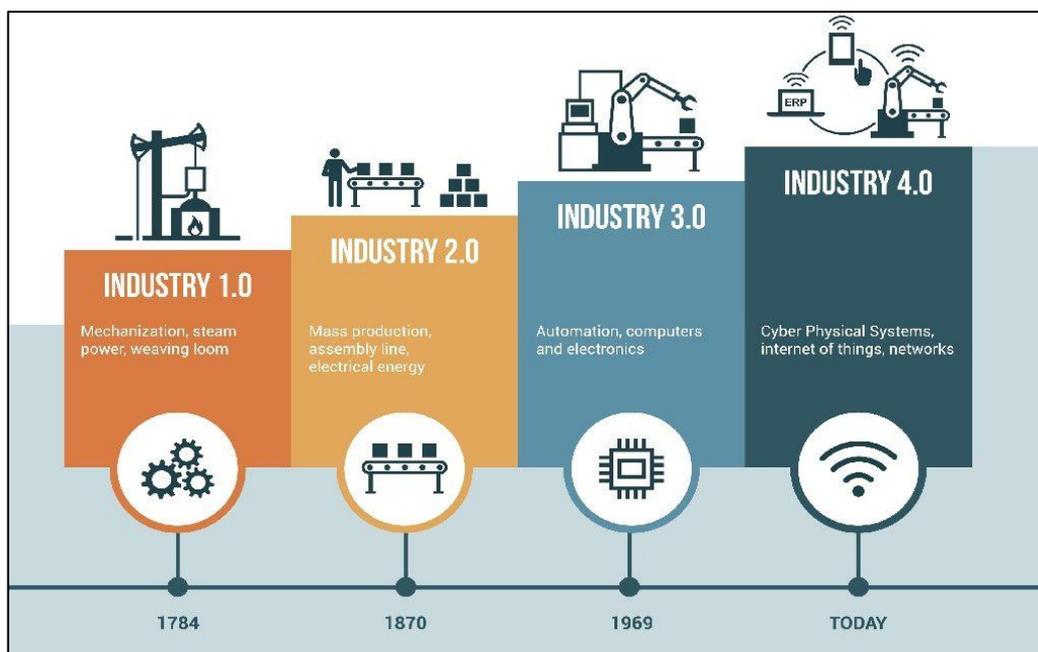
<b>IoT</b>	„Internet of Things“ – z.Dt. „Internet der Dinge“
<b>ThingWorx</b>	Eine IoT-Plattform des Softwareunternehmens PTC
<b>CAD</b>	„Computer Aided Design“ – z.Dt. „rechnerunterstütztes Konstruieren“
<b>ERP</b>	„Enterprise Resource Planning“ – z.Dt. „Ressourcenplanungssystem“
<b>SAP</b>	Eine populäre, modulare ERP-Plattform
<b>CRM</b>	„Customer Relationship Management“ – z.Dt. „Kundenbeziehungsmanagement System“
<b>AR</b>	„Augmented Reality“ – z.Dt. „Erweiterte Realität“
<b>AI / KI</b>	„Artificial Intelligence“ – z.Dt. „Künstliche Intelligenz“
<b>Server</b>	Netzwerkfähiger Computer, der Dienste und Ressourcen bereitstellt
<b>Client</b>	Computer oder Endgerät, welche mit einem Server kommunizieren
<b>Firewall</b>	Sicherungssystem eines Netzwerks, welches den Datenverkehr überwacht.
<b>URL</b>	Webadresse unter der eine Ressource / Server erreichbar ist
<b>PLM</b>	„Z.Dt. „Produktlebenszyklus-Management-System“
<b>Windchill</b>	Ein PLM-System von PTC
<b>Open Source</b>	Eine kostenfreie Software, die auf einer Community aufbaut
<b>Smart Home</b>	Vernetztes, intelligentes Zuhause mit IoT-fähigen Komponenten
<b>Ethernet</b>	Kabelgebundener Zugang zu einem Netzwerk
<b>RFID</b>	„Radio Frequency Identification“ – Drahtl. Sender-Empfänger System
<b>HTTP</b>	„Hypertext Transfer Protocol“ – Protokoll für den Austausch von Daten
<b>HTTPS</b>	HTTP-Protokoll mit verschlüsselter Verbindung
<b>Frontend</b>	Eine grafische Nutzeroberfläche
<b>Dashboard</b>	Eine Nutzeroberfläche, wo Informationen zusammengefasst sind
<b>Changelog</b>	Dokumentation über vorgenommene Änderungen

# 1 Einleitung

## 1.1 Industrie und Gesellschaft im digitalen Wandel

Die heutige Gesellschaft befindet sich im sogenannten „digitalen Wandel“. Der zunehmende Grad der „Digitalisierung“ ist zu einem oft diskutierten Phänomen in der Gesellschaft, Politik, Medien und Wirtschaft geworden. Insbesondere der Siegeszug von Computern und Smartphones in den Massenmarkt, sowie der Trend zur „Smart Home“ Automatisierung sind sinnbildlich für den digitalen Wandel der Gesellschaft.

Die Wirtschaft steht vor der sogenannten „Digital Business Transformation“. Diese beschreibt die Übergangsphase vom dritten ins vierte industrielle Zeitalter der „Industrie 4.0“<sup>1</sup> und wird als „Digitalzeitalter“ bezeichnet. Die intelligente Vernetzung von Maschinen, Systemen und Menschen spielen dabei eine essentielle Rolle. Im nordamerikanischen Raum wird dieser Technologiesprung als „Smart Manufacturing“, im chinesischem Raum als „Made in China 2025“ bezeichnet.



**Abb. 1:** Meilensteine der industriellen Entwicklung (Aberdeen Essentials)

Durch den zunehmenden Grad der Digitalisierung werden ganze Prozesse innerhalb der Wertschöpfungskette, insbesondere die der digitalen Produktentwicklung, revolutioniert. Durch die Konnektivität der Geräte und Systeme können Massen an Daten gesammelt und analysiert werden, so dass aus Ihnen neue Erkenntnisse gewonnen und genutzt werden können.

Damit der Übergang in das vierte industrielle Zeitalter gelingt, müssen in der Politik, der Gesellschaft und vor allem in der Industrie wichtige Weichen durch milliardenschwere Investitionen für die Zukunft gestellt werden. Elementarer

<sup>1</sup> Vgl. „Industry 4.0: a sneak peek“ (2017) – Aberdeen Essentials

Bestandteil sind eine flächendeckende Netzinfrastruktur und einheitliche Standards. Ziel ist es die optimalen Voraussetzungen zu schaffen, damit die Industrie zukunftsfähig, effizient, ökologisch, wettbewerbsfähig bleibt und der „Sprung“ in das vierte industrielle Zeitalter gelingt.<sup>2</sup>

## 1.2 Hintergrund der Arbeit

Im Rahmen meines Maschinenbaustudiums bin ich in einer Projektarbeit bei Professor Schelberg erstmalig mit „Augmented Reality“ in Kontakt gekommen, wodurch meine Faszination für IoT-Themen geweckt hat. Hierbei wurde mir erstmals bewusst, dass es sich nicht nur um „Spielerei“ handelt, sondern welch enormes Potential hinter vernetzten Dingen mit Einbindung von „Augmented Reality“ steckt.

Schnell wurde ich darauf aufmerksam, als Professor Schelberg berichtete, dass die Industrie dringend Personal in diesem Bereich sucht. So kam ich, dank seiner Empfehlung, im März 2017 zu meinem Hauptpraktikum bei der „NET AG system integration“, wo ich mich primär mit spannenden IoT- und AR-Themen auseinandersetzen konnte. Dieses ermöglichte mir einen nahtlosen Einstieg in die Berufswelt, so dass ich bis heute bei der NET AG tätig bin und herausfordernde Kundenprojekte im Rahmen der digitalen Produktentwicklung betreue.

Ich möchte mich an dieser Stelle ausdrücklich bei Professor Schelberg bedanken, dass er mir mit Rat und Tat zur Seite steht und mir den Weg für meine persönliche Zukunft geebnet hat. Vielen Dank auch an Freunde und meine Familie, die mich immer unterstützt haben.

## 1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Potentiale, die die Einbindung einer IoT-Plattform in die digitale Produktentwicklung und weiterer Systeme der Wertschöpfungskette ermöglicht, zu identifizieren und konkrete Anwendungsszenarien zu entwickeln. Dieses wird mit praxisnahen Fallbeispielen begleitet.

Dabei werden zunächst die Grundlagen im Rahmen der digitalen Transformation analysiert, womit gezeigt wird, dass eine IoT-Infrastruktur die Schlüsseltechnologie ist, damit der Sprung ins vierte industrielle Zeitalter gelingt. Anschließend wird praxisnah gezeigt, wie eine IoT-Plattform und Infrastruktur aufgebaut sind und wie sich diese optimal in industrielle Strukturen integrieren lässt. Ein besonderes Augenmerk liegt darauf, wie ältere Maschinenlandschaften IoT-fähig gemacht werden können.

Es wird das Konzept des „digitalen Zwillings“ vorgestellt, welches die physikalische mit der digitalen Welt verschmelzen lässt. Diese Konnektivität ermöglicht das Sammeln und Nutzen diverser Daten und Informationen, so dass diese in der digitalisierten Produktentwicklung genutzt werden können. Dabei werden verschiedene Bereiche der künstlichen Intelligenz beleuchtet. Es wird gezeigt, wie sich „Augmented Reality“ nahtlos einbinden lässt.

---

<sup>2</sup> Vgl. „Die Produktion der Zukunft“ (2013) – Wing Business - C. Ramsauer

Im Rahmen meiner beruflichen Tätigkeit habe ich vielfältige Anwendungsszenarien und Konzepte entwickelt, die ich im Rahmen der Arbeit vorstellen werde.

Schlussendlich wird eine wirtschaftliche Analyse durchgeführt, durch die aufgezeigt wird, wie man Entscheidungsträger überzeugen kann, in eine digitale Infrastruktur zu investieren.

## 2 Grundlagen

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, befindet sich die gesamte Gesellschaft im digitalen Wandel. Daher ist es notwendig, dass die Weichen für die Zukunft gestellt werden, indem man optimale Rahmenbedingungen schafft. Von daher wird die Forderung nach der Gründung eines Digitalministeriums in Deutschland immer stärker.<sup>3</sup>

Im Fokus dieser Arbeit steht die digitale Transformation der Unternehmen, damit der Sprung in das vierte industrielle Zeitalter der Industrie 4.0 gelingt. Die folgenden Schlagwörter sind insbesondere auf renommierten Fachmessen, wie der CEBIT oder der Hannover Messe omnipräsent und werden in dieser Thesen aufgegriffen. Dabei handelt es sich häufig um Anglizismen, die sich wegen der globalen Bedeutung im deutschen Sprachraum etabliert haben.



Abb. 2: Schlagwörter rund um die Industrie 4.0 (Stahl-Blog.de)

---

<sup>3</sup> Vgl. „Petition für ein Digitalministerium“ (2018) – [www.digitalministerium.org](http://www.digitalministerium.org)

## 2.1 Industrie 4.0 durch digitale Business Transformation

Das vierte industrielle Zeitalter zeichnet sich insbesondere durch die zunehmende Vernetzung von Systemen und Geräten, die „Smart Connected Products“ genannt werden, aus. Dieses erfordert eine digitale Infrastruktur, ein sogenanntes „Cyber Physikalisches System“, welches durch das „Internet der Dinge“ realisiert werden kann.

Der Weg in das neue Zeitalter wird als „Digitale Business Transformation“ bezeichnet.<sup>4</sup> und wird durch die zunehmende Digitalisierung kontinuierlich realisiert. Dieser Prozess revolutioniert die abteilungsübergreifende Vernetzung und somit den Aufbau der Wertschöpfungskette und des Produktlebenszyklus. Es können damit vollkommen neue Geschäftsfelder und Prozesse entstehen. Insbesondere das Service- und Produktangebot kann stark davon profitieren und sich dynamisch den Bedürfnissen des Marktes anpassen.

In der Studie „Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen“ von Strategy & PwC sind 235 deutsche Unternehmen zu diesem Thema befragt worden.<sup>5</sup> Diese Studie belegt, dass die digitale Transformation die kommenden Jahrzehnte maßgeblich bestimmen wird.

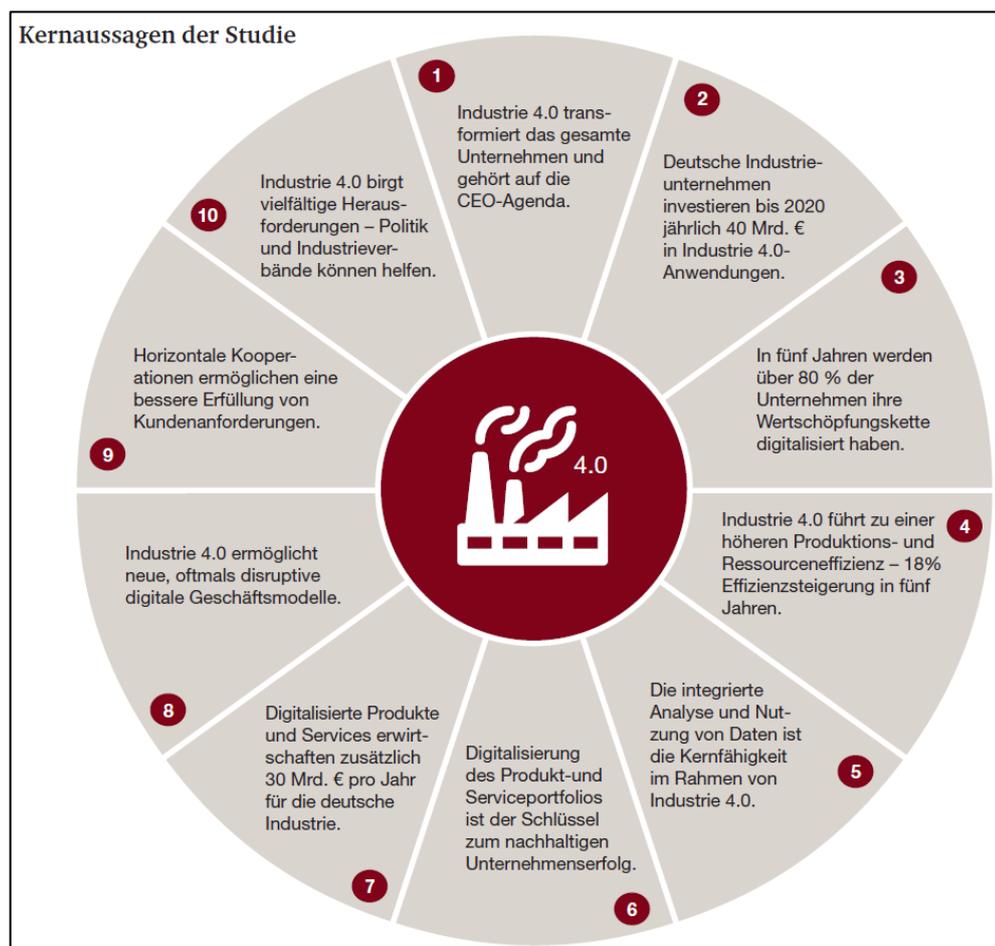


Abb. 3: Industrie im digitalen Wandel (PwC-Studie)

<sup>4</sup> Vgl. „Digital Business Transformation by CISCO“ (2017) – CISCO.com

<sup>5</sup> Vgl. „Chancen und Herausf. der vierten industriellen Revolution“ – PwC Strategy Guide

## 2.2 Wertschöpfungskette und Produktlebenszyklus

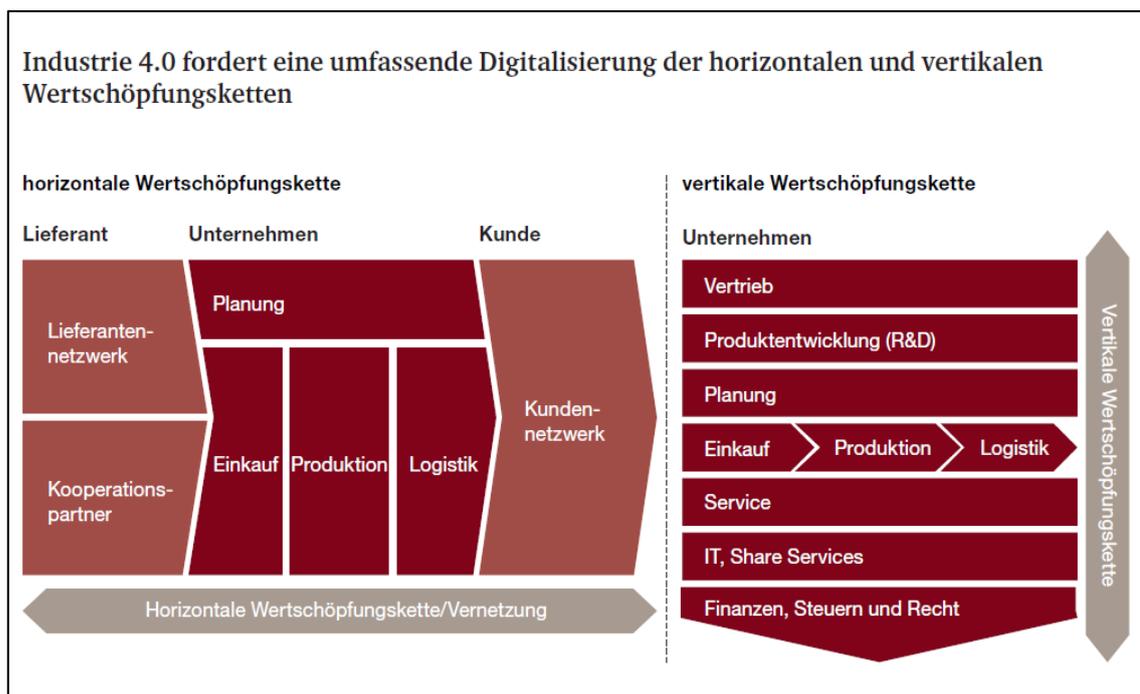
### Wertschöpfungskette

Die Wertschöpfungskette „Value Chain“ stellt die Aktivitäten und Prozesse eines Unternehmens bei der Leistungserstellung und Wertschöpfung geordnet dar. Michael Porter hat dieses Konzept 1985 in seinem Buch „Competitive Advantage“ erstmalig vorgestellt.<sup>6</sup>

Dabei wird zwischen Primäraktivitäten und Unterstützungsaktivitäten unterschieden. Primäraktivitäten sorgen für einen direkt messbaren Mehrwert und werden als horizontale Wertschöpfungskette bezeichnet. Dieser verläuft chronologisch von links nach rechts.

Unterstützungsaktivitäten schaffen die optimalen Rahmenbedingungen und stellen die Ressourcen bereit, um die Produktion zu gewährleisten. Diese sorgen also nur indirekt für eine Wertschöpfung und werden als vertikale Wertschöpfungskette bezeichnet.

In der PwC-Studie wird dabei deutlich, dass eine umfassende Digitalisierung und Vernetzung der Bereiche inklusive des Zulieferernetzwerkes erforderlich ist.

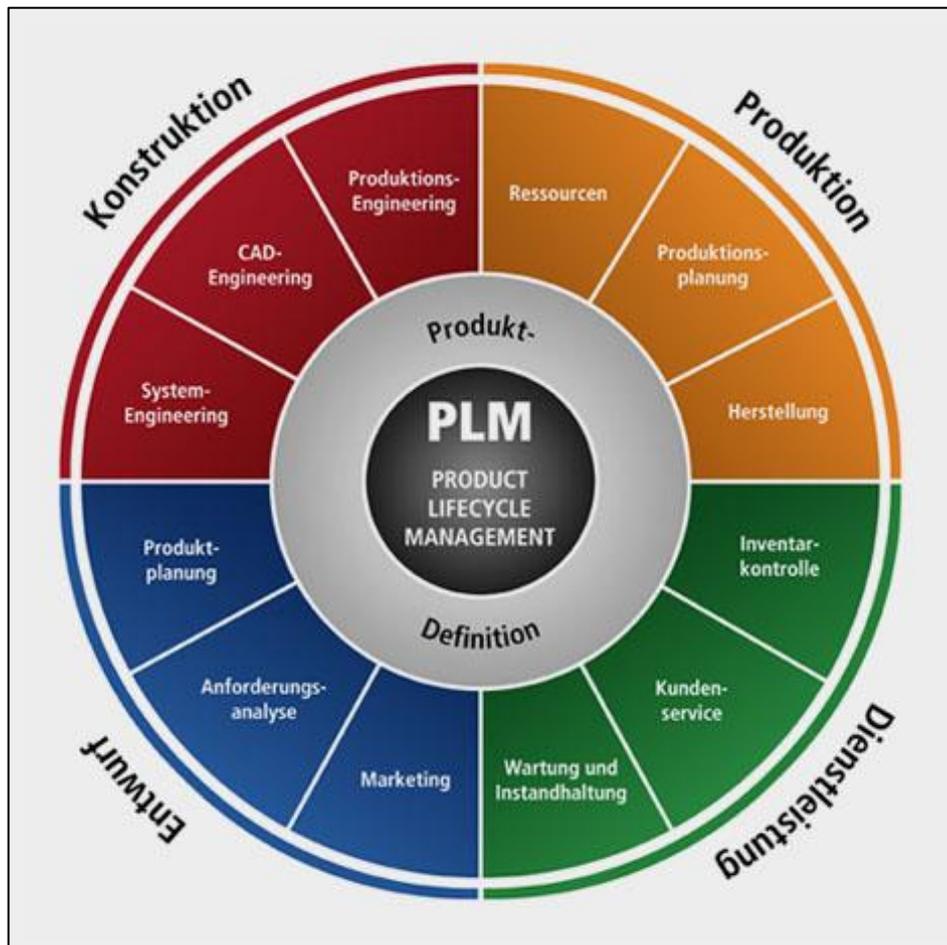


**Abb. 4:** Digitalisierung der vert. und hor. Wertschöpfungskette (PwC-Studie)

<sup>6</sup> Vgl. „Competitive Advantage“ (1985) – Michael Porter

## Produktlebenszyklus Management System

“PLM is a core technology for manufactures in the digital age” –  
Nick Flemming <sup>7</sup>



**Abb. 5:** Phasen des Produktlebenszyklus (Gmw Group)

Ein Schlüsselkonzept der digitalen, ganzheitlichen Produktentwicklung ist ein Produktlebenszyklus Management System (PLM), welches sämtliche Phasen in der Entstehung eines Produktes strukturiert begleitet. Dieses beinhaltet Elemente, sowohl aus der horizontalen-, als auch aus der vertikalen Wertschöpfungskette, angefangen bei Forschung und Entwicklung, dem Serienanlauf, bis hin zur Wartung von real existierenden Produkten. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Integration bestehender IT-Landschaften.

Das primäre Ziel ist es, einen synchronen, abteilungsübergreifenden Informationsfluss im gesamten Unternehmen sicherzustellen. Es gibt keine einheitlichen Definitionen, was ein PLM-System ausmacht, da es fließende Grenzen mit anderen Komponenten und Ausbaustufen gibt. Die Einbindung von Systemen aus der Wertschöpfungskette, wie „Supply Chain Management“, „Enterprise Resource Planning“ und „Customer Relationship Management“ sind dabei durchaus sinnvoll. <sup>8</sup>

<sup>7</sup> „PLM for Discrete Manufactures“ S.3 (2017) – Forrester Report – Nick Flemming

<sup>8</sup> Vgl. „PLM auf der Journey zur digitalen technischen Entwicklung“ (2017) - PTC



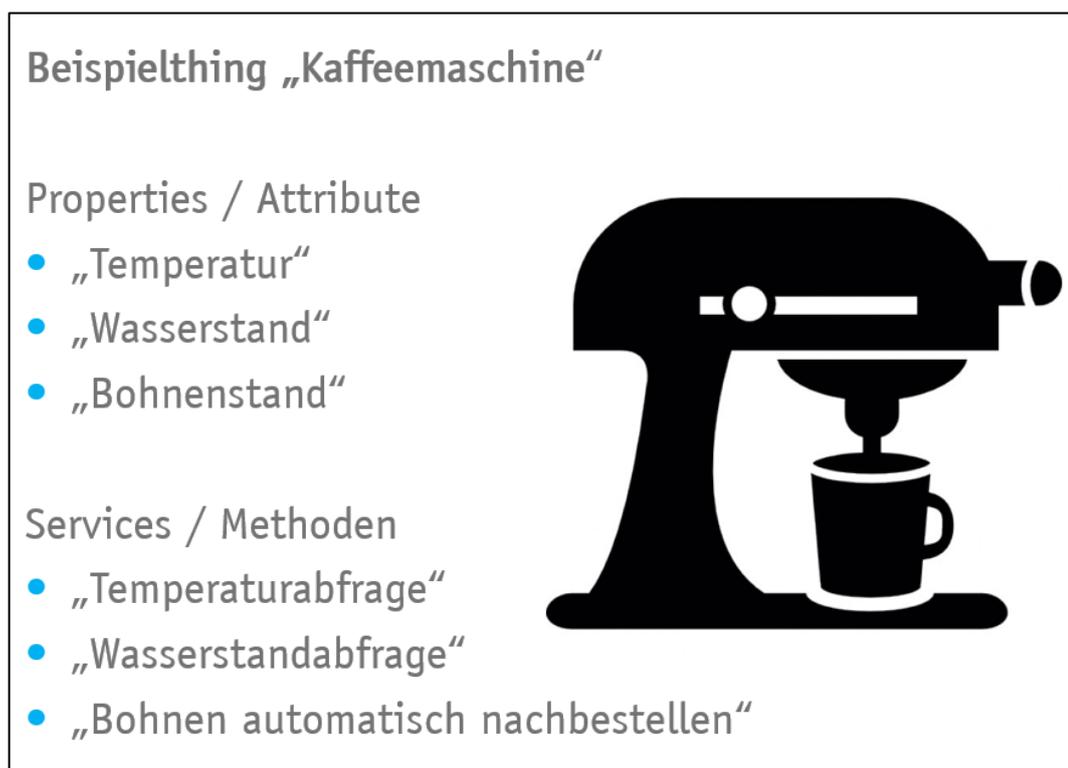
Das Internet der Dinge beschreibt die Vernetzung von Gegenständen und eingebetteter Systeme, den sogenannten „Things“. Diese werden häufig als „Smart Connected Products“ bezeichnet. Grundvoraussetzung für das Internet der Dinge ist eine flächendeckende, digitale Netzinfrastruktur. Die Gegenstände müssen netzwerkfähig sein und können sich per Mobilfunk, Wireless Technologien oder per Ethernet mit dem „Internet of Things“ verbinden. Ein modernes Smartphone eignet sich von daher hervorragend als „Smart Device“, da es alle Kriterien erfüllt.

Eine IoT-Plattform ist dabei ein zentraler Server, der mit eindeutiger Adresse im Netzwerk für alle erreichbar ist. Elementar ist es, dass alle digitalen Repräsentanten, der sogenannten „Things“ auf der Plattform verwaltbar sind, die der Benutzer mit einer Nutzeroberfläche einsehen kann:

- Administration und Verwaltung vom Browser oder Smartphone möglich
- Es können Services, Abfragen und Routinen programmiert werden
- Permanentes Monitoring der Sensordaten und Setzen von Sollwerten
- Big Data Analysen und Mustererkennung möglich
- Eigene Webseiten und weitere Module lassen sich einbinden

Das Grundkonzept der IoT-Plattform baut auf Objekten, den sogenannten „Things“, auf, welche die digitalen Repräsentanten eines physikalischen Produktes sind. Diese Dinge ähneln dem Konzept der objektorientierten Programmierung und beinhalten neben den Attributen, wie z.B. Sensordaten, auch noch frei programmierbare Services, bzw. Methoden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Objekte permanent zu überwachen und Daten zu sammeln, welches die Grundlage für „Big Data“ Analysen ist.



**Abb. 7:** Thingkonzept einer Kaffeemaschine (eigene Darstellung)

Da die Hardwarekosten in den vergangenen Jahren gesunken und die Chips bei kleinerer Größe performanter geworden sind, haben netzwerkfähige Geräte, wie beispielweise „Smart Home“ Produkte rund um Amazon Echo Ökosystem<sup>11</sup>, Einzug in den Endverbrauchermarkt gefunden. Insbesondere Chipsätze für Wireless-Technologien sind erschwinglich geworden, so dass diese auf sehr kleinem Bauraum zum Einsatz kommen können.



**Abb. 8:** Amazon Echo mit Smart Home Komponenten (Zdnet.de)

Sogenannte „Wearables“, wie z.B. Fitness-Uhren, erfreuen sich wachsender Beliebtheit. Diese begleiten den Nutzer im Alltag und sorgen somit dafür, dass massig Daten gesammelt werden können.



**Abb. 9:** Wearables im Überblick (Techcrunch.com)

<sup>11</sup> Vgl. „Amazon Echo kann jetzt das Licht ausschalten (2017) – ZDNET.DE

## 3 Infrastruktur einer IoT-Landschaft

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, was eine moderne und flexible IoT-Infrastruktur ausmacht, welche als „Cyber-physisches System“ dem Ideal der Industrie 4.0 entspricht. Es wird analysiert, wie sich ein solches System optimal in bestehende Unternehmensstrukturen einbetten lässt. Dieses wird anhand der IoT-Plattform „ThingWorx“ von PTC verdeutlicht.<sup>12</sup> Es werden Sicherheitsaspekte und die Skalierbarkeit der Infrastruktur behandelt.

### 3.1 Auswahlkriterien einer IoT-Plattform

Die Wahl einer geeigneten IoT-Plattform stellt eine Herausforderung bei einer zunehmenden Zahl an Anbietern dar. Folgende Kriterien sollten bei der Wahl einer geeigneten IoT-Plattform berücksichtigt werden:<sup>13</sup>

- Konnektivität und Kompatibilität
- Skalierbarkeit und Performance
- Modularität / Einbindung weiterer IT-Systeme
- Verwaltung, Rollenmanagement und Administration
- Webdesign / Gestaltung von Nutzeroberflächen
- Big Data Analytics
- Augmented Reality Einbindung
- Anbindung an CAD-Software
- Preisgestaltung / Lizenzmodelle

Im industriellen Umfeld können nicht nur Maschinen, sondern auch IT-Systeme, die in der Wertschöpfungskette relevant sind, in eine IoT Plattform eingebunden werden. Es sollte also die Konnektivität zu folgenden Systemen geprüft werden:

- Produktlebenszyklusmanagement System
  - CAD-Daten
  - Product Data Management
  - Change Management
  - Dokumenten Management
- Enterprise Resource Planning System
  - Controlling
  - Logistik / Materialfluss
  - Personalplanung
- Customer Relationship Management System
- Supply Chain Management
- Augmented Reality
- Data Warehouse
- Project Management

---

<sup>12</sup> Vgl. PTC Thingworx (2018) – [www.ptc.com/en/products/iot](http://www.ptc.com/en/products/iot)

<sup>13</sup> Vgl. „Das ist MindSphere – Video“ (2018) - Siemens

Viele namhafte Softwareunternehmen haben die wachsende Nachfrage erkannt und bieten IoT-Plattformen an. Zu den bekanntesten Vertretern 2018 zählen: <sup>14</sup>

- SAP - Leonardo
- PTC – ThingWorx
- Microsoft – Azure
- IBM – Watson
- Amazon – AWS IoT
- Siemens - MindSphere

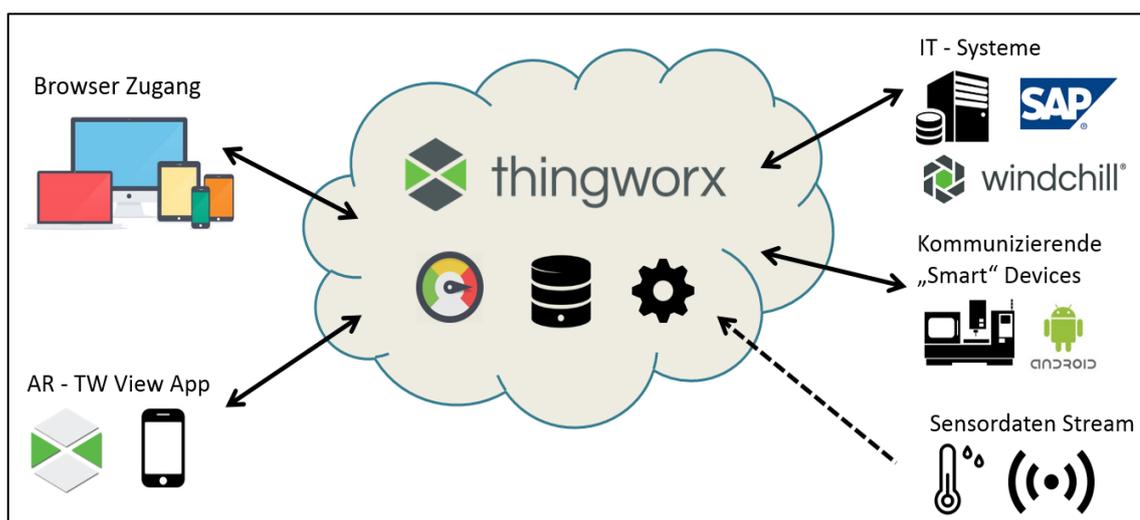


**Abb. 10:** Logos bedeutender IoT-Plattformen

Als Alternative bieten sich Open Source Plattformen, wie z.B. „OpenIoT“ <sup>15</sup> an, die sich insbesondere im Smart Home Bereich einer großer Community erfreuen. Diese erweitert permanent die Funktionalität und stellt damit eine ernstzunehmende Alternative zu kommerziellen Lösungen dar.

### 3.2 Funktionsprinzip der IoT-Plattform „ThingWorx“

In diesem Fallbeispiel wird das Funktionsprinzip von „PTC ThingWorx“ aufgezeigt, welches eine der marktführenden IoT-Plattformen ist. Dieser IoT-Server ist als zentraler Knoten für alle Systeme über eine URL erreichbar.



**Abb. 11:** Die IoT-Plattform ThingWorx (eigene Darstellung)

<sup>14</sup> Vgl. Präsenz auf der Hannovermesse 2017

<sup>15</sup> Vgl. Homepage Inhalte (2018) - [www.openiot.eu](http://www.openiot.eu)

Eine Besonderheit der ThingWorx Plattform ist es, dass „Augmented Reality“ mit integriert ist. Der User kann per „Thingmark“, welcher einem QR Code ähnelt, eine AR-Applikation auf seinem Smartphone starten. Diese kann bidirektional agieren, also beispielweise Sensordaten in Echtzeit anzeigen und Sollwerte setzen. In Kapitel 5 werden Szenarien aufgezeigt, wo AR eingebunden ist. ThingWorx ist modular aufgebaut und lässt sich durch Erweiterungen und Konnektoren zu anderen Systemen, die auf einem Marktplatz zur Verfügung gestellt werden, flexibel den Bedürfnissen anpassen.

### 3.3 Konnektivität und Knotenstrukturen

Grundvoraussetzung für eine IoT-Infrastruktur ist die Konnektivität der unterschiedlichen Systeme und Geräte. Dabei muss nicht jedes Gerät direkt mit einer IoT-Plattform verbunden sein, sondern es bietet sich an, netzwerkfähige Knoten, sogenannte „Gateways“, zu verwenden.<sup>16</sup> Diese Gateways sind damit eine Adapterlösung, die mit den lokalen Sensoren und Maschinen verbunden sind. Dabei muss es sich nicht zwingend um kabelgebundene Verbindungen handeln. Dieses Prinzip ist gut vergleichbar mit einem WLAN-Modem, welches für die im Heimnetzwerk verbundenen Geräte als Gateway zum Internet dient.

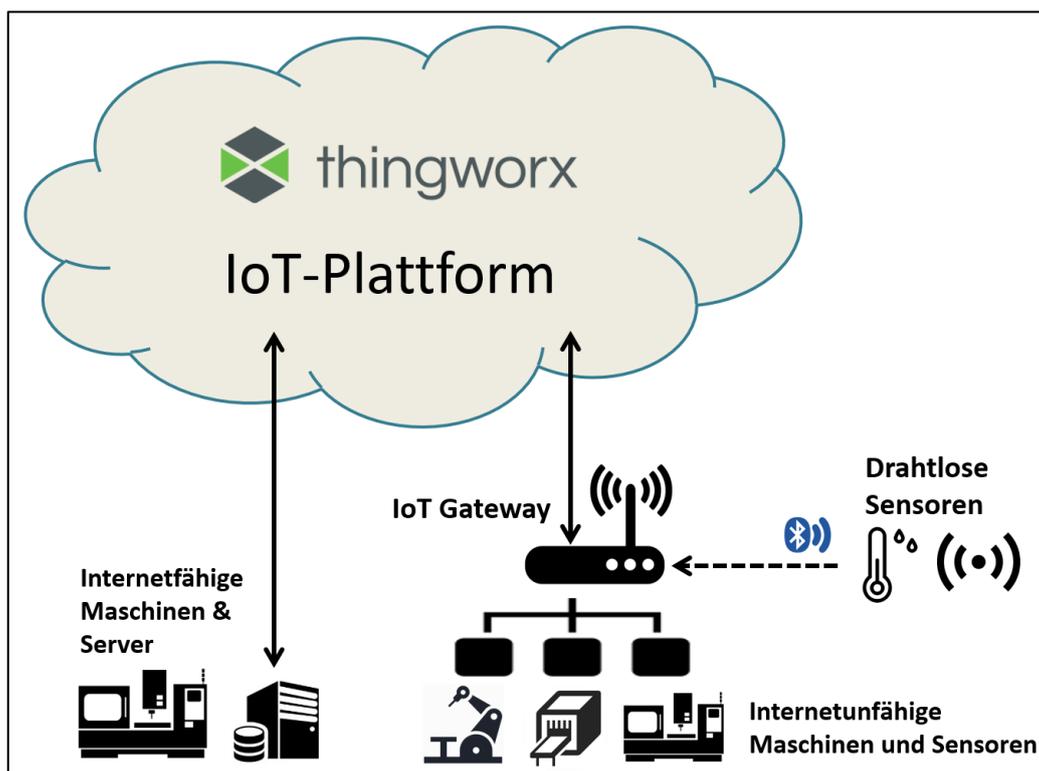


Abb. 12: Aufbau einer IoT-Infrastruktur (eigene Darstellung)

Es handelt sich hierbei um eine stark vereinfachte Darstellung. In der industriellen Praxis kann sich der letztendliche Aufbau über mehrere Knoten, Ebenen und Dimensionen erstrecken.

<sup>16</sup> Vgl. „Foundational Elements of an IoT Solution“ - S.31 (2016) – K. Biron & J. Follett

In der nachfolgenden Grafik sind die gängigen, kabellosen Technologien und deren Reichweite und Datenkapazität aufgeführt:

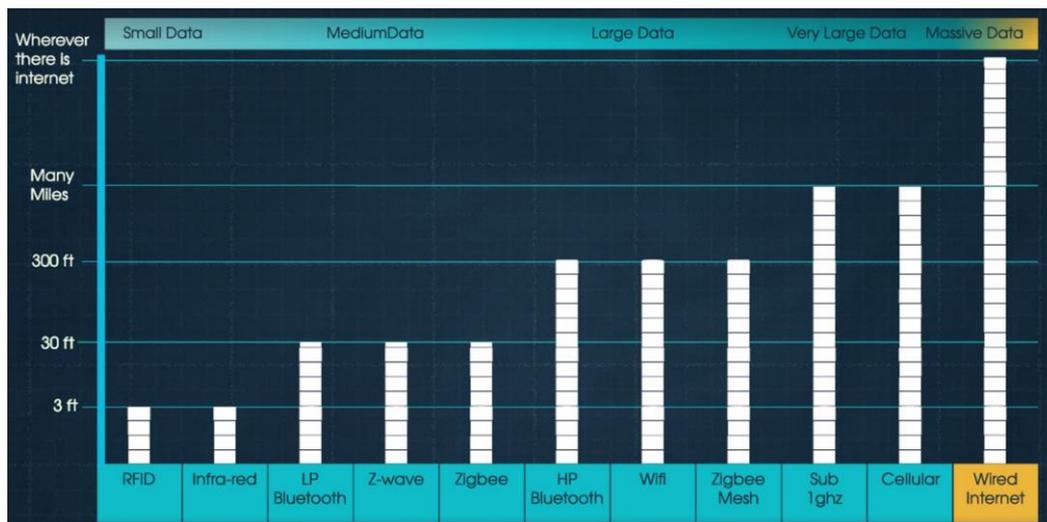


Abb. 13: Funktechnologien im Vergleich (PTC Grafik)

Dank dem technischen Fortschritt werden diese Technologien immer erschwinglicher und können selbst auf kleinen Objekten zum Einsatz kommen. Die Reichweite wird dabei immer größer, so dass es möglich wird, eine ganze Produktion mit drahtloser Technologie auszustatten. RFID-Chips sorgen, insbesondere im Bereich der lückenlosen Verfolgbarkeit, für neue Möglichkeiten.<sup>17</sup> Es gibt Pläne, neben dem Mobilfunknetz ein flächendeckendes Netz für Maschinen und Sensoren aufzubauen.<sup>18</sup> Dieses zeichnet sich insbesondere durch Robustheit und eine hohe Energieeffizienz aus.

### 3.4 Protokolle und Schnittstellen

Eine entscheidende Schlüsselrolle spielen hierbei die Schnittstellen und Protokolle eines jeweiligen Systems. Eine moderne IoT-Plattform bietet diverse Schnittstellen und Konnektoren zu unterschiedlichen Instanzen. Eine offene Schnittstelle wird als „Applikation Interface“ bezeichnet, diese muss klar definiert sein und einheitlichen Standards entsprechen. Hierfür haben sich einige Standards bereits etabliert und erfreuen sich häufiger Verwendung.

#### TCP / IP Protokoll

Im World Wide Web hat sich das „TCP / IP“ Protokoll etabliert, welches aus mehreren Schichten besteht, wie die folgende Abbildung zeigt. Jedes Gerät hat eine eindeutige lokale IP-Adresse im lokalen Netzwerk und eine globale IP-Adresse im weltweiten Netz. Die TCP Transportschicht sorgt dafür, dass ein Datenpaket vom Absender zum Empfänger gelangt, analog zu einem Paketdienst. Entscheidend bei der Konnektivität ist die Auswahl eines geeigneten Protokolls auf Anwendungsebene. Dieses sorgt dafür, dass Client und Server

<sup>17</sup> Vgl. „RFID Tracking im industriellen Umfeld“ – Hellermann Tyton

<sup>18</sup> Vgl. „Narrowband IoT – so funktioniert das Maschinennetz“ (2018) – Vodafone Business

klar geregelt miteinander kommunizieren können. Hierbei haben sich mehrere Standards, insbesondere das HTTP Protokoll, etabliert.

Schicht	Anwendung	Transport	Netzwerk	Anschluss
Protokoll	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HTTP/S</li> <li>• FTP</li> <li>• DHCP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TCP</li> <li>• UDP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IP</li> <li>• ARP</li> <li>• ICMP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet</li> <li>• WLAN</li> <li>• <u>Mo.Fu.</u></li> </ul>

**Abb. 14:** TCP / IP Modell (in Anlehnung an superuser.com)

### Auswahl der Verbindungsart

Man kann generell die folgenden beiden Verbindungsarten unterscheiden:

- Permanente Verbindungen – z.B. „Websocket“ Verbindungen
  - Permanent verbunden
  - Geringe Latenz
  - Hoher Energiebedarf
- Verbindungen auf Anfrage – z.B. über die „REST“ Schnittstelle
  - Einzelne HTTP Anfragen nach dem Client - Server Prinzip
  - Hohe Latenz
  - Geringer Energiebedarf, wenn in großen Intervallen kommuniziert wird

Von daher muss im Vorfeld geprüft werden, welche Protokolle und Verbindungsarten am besten für die individuelle Situation geeignet sind.

### 3.4.1 Einbinden von älteren, netzwerkunfähigen Systemen

Es gibt mehrere Möglichkeiten, bestehende, ältere Geräte und Systeme IoT-fähig zu machen:

#### Nutzen eines Protokolladapters als IoT-Gateway

Hierbei handelt es sich um ein Programm bzw. einen Server, der eine große Sammlung an Treibern, Schnittstellen und Protokollen bietet. Selbst ältere, per serieller Schnittstelle verbundene Maschinen, werden unterstützt. Dieser Server dient also als Adapter und ist damit das Tor für bestehende Systemlandschaften zur IoT-Welt.

Die Software „Kepserver EX“<sup>19</sup> ist eine solche Adapterlösung und in der Lage, Daten aus diversen Quellen, wie Datenbanken, Maschinen und Server so zu adaptieren, dass es für weitere Applikationen, wie insbesondere eine IoT-Plattform, nutzbar wird. Von daher eignet sich diese Softwarelösung hervorragend als IoT-Gateway für eine bestehende Fabrik und Systemlandschaft.

<sup>19</sup> Vgl. „Datasheet KEPServer Ex“ (2018) - Kepware

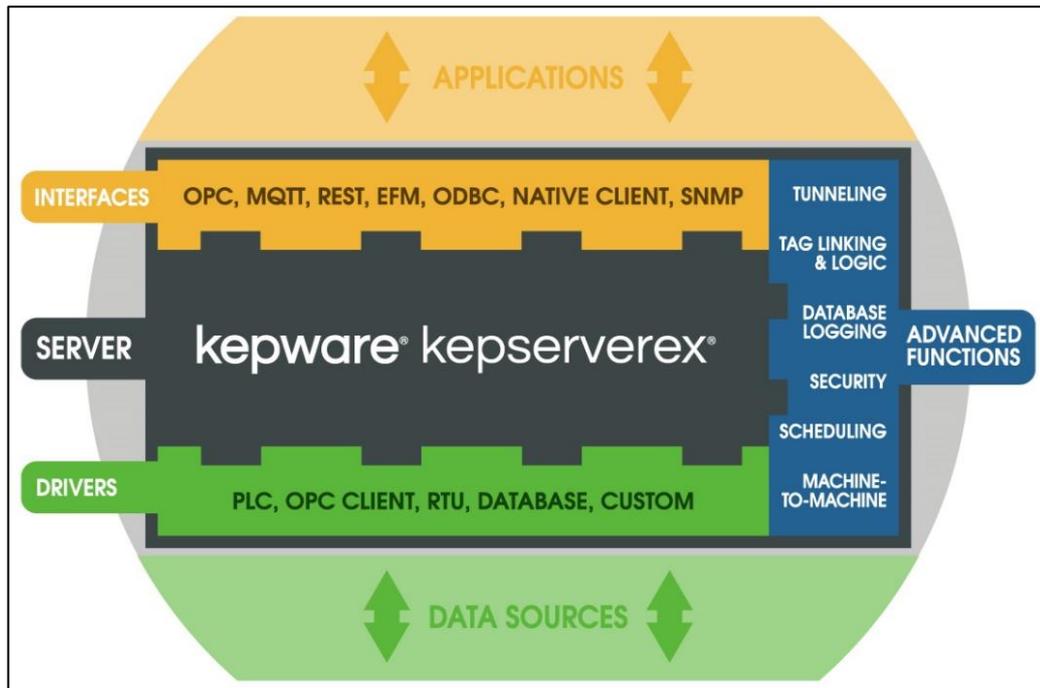


Abb. 15: KEPServer EX Funktionsprinzip (kepware.com)

### Zusätzlicher Mikrocomputer mit eigenen Sensoren

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen separaten, vollwertigen Mikrocomputer mit entsprechenden Sensoren und Aktoren in bestehende Systeme zu integrieren. Folgende Merkmale zeichnen einen geeigneten Mikrocomputer im industriellen Umfeld aus:

- Ausreichende Rechenleistung
- Ethernet-, Bluetooth- und WLAN-Modul
- Robustheit, Zuverlässigkeit, IP-Zertifizierung
- Frei programmierbare Pins für Sensoren und Aktoren
- USB Anschlüsse
- Energieeffizienz

Am weitesten verbreitet ist der Einplatinencomputer „Raspberry Pi“ mit Linux-Betriebssystem.<sup>20</sup> Dieser erfüllt, abgesehen von der Robustheit, alle Anforderungen und ist als vollwertiger PC im Mikroformat zu betrachten.

Er ist mit ca. 40,-€, insbesondere in der Heimautomatisierung, sehr beliebt und hat eine große Community, die zahlreiche Projekte umgesetzt hat. Im industriellen Umfeld sollten robustere Mikrocomputer verwendet werden, die die IP-Zertifizierungen gegen Umwelteinflüsse erfüllen. Dieser Mikrocomputer wird entweder direkt oder über eine Gateway Lösung mit einer IoT-Plattform verbunden.

<sup>20</sup> Vgl. „Raspberry Pi“ – [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)

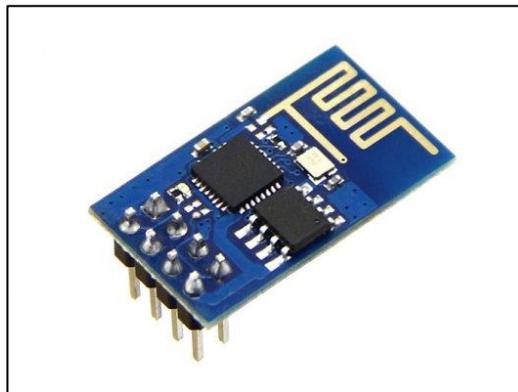
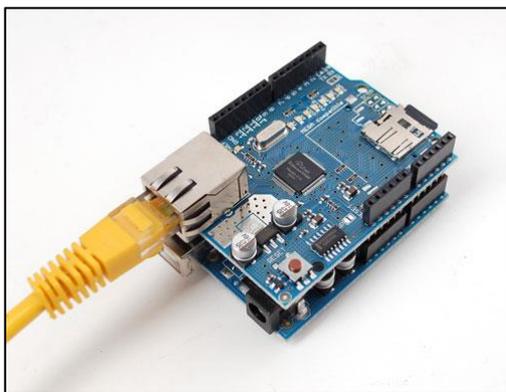


**Abb. 16:** Raspberry Pi im Größenvergleich

Moderne Smartphone-Technik auf Android-Basis eignet sich ebenfalls hervorragend als IoT-fähiges Gerät. Dieses bietet zu einem unschlagbaren Preis- / Leistungsverhältnis eine Vielzahl an Sensoren, GPS-Tracking und vor allem Mobilfunktechnik mit sich. Insbesondere für bewegliche Objekte ist Smartphone-Technik geeignet.

### Umrüsten und Umprogrammieren von Geräten oder Maschinen

Heutzutage bestehen alle gängigen elektronischen Geräte, wie Kaffeemaschinen, Radiowecker oder Smartphones aus frei programmierbaren Mikroprozessoren. Grundvoraussetzung, um ein System IoT-fähig zu machen, ist die Netzwerkfähigkeit. Platinencomputer können in der Regel für verhältnismäßig geringen finanziellen Aufwand mit Netzwerkkarten nachgerüstet werden. Dieses wird in der nachfolgenden Grafik anhand des kostengünstigen und minimalistischen Einplatinencomputers „Arduino“ verdeutlicht.



**Abb. 17:** Arduino mit Netzwerkkarte und WLAN-Modul

Das elektronische Gerät muss so umprogrammiert, bzw. erweitert werden, so dass es mit einer IoT-Plattform oder einem Gateway kommunizieren kann. Der Quellcode der meisten elektronischen Geräte ist in den Programmiersprachen „C“, „C++“, „Python“ oder vor allem „Java“<sup>21</sup> geschrieben und wird anschließend kompiliert, damit dieser lauffähig ist. Im nachfolgenden Kapitel wird demonstriert, wie eine solche Codeerweiterung in der Programmiersprache „Python“ aussieht.

<sup>21</sup> „3 Billion (z. Dt. Milliarden) Devices Running Java“ (2014) – Oracle.com

### 3.4.2 Codebeispiel zum Senden von Sensordaten per REST

In diesem Beispiel wird mit der Programmiersprache Python gezeigt, wie Sensordaten gesendet und Sollwerte von der empfangen werden können. Grundvoraussetzung ist eine REST- / HTTP- Client-Bibliothek, welche zum Senden der REST-Anfragen benötigt wird.<sup>22</sup> Die IoT-Plattform (in diesem Fall ThingWorx) hat eine klar definierte REST-Schnittstelle mit einem entsprechenden Objekt als digitalen Repräsentanten. Dieses lässt sich mit allen gängigen Programmiersprachen wie C, Java, PHP usw. umsetzen. Hierbei wird jeweils eine entsprechende REST-Client-Bibliothek benötigt.

Mit einer „PUT“ Anfrage der Funktion „twPutPropertie“ können Daten gesendet werden; dieses wird von dem IoT Server mit dem HTTP Status 200 bestätigt. Mit einer „GET“ Anfrage der Funktion „twGetPropertie“ können Daten wie z.B. Sollwerte abgefragt werden. Die Funktion gibt den aktuellen Wert auf der IoT-Plattform zurück.

```

1
2 # Timo Scherf t.scherf@net-online.de
3
4 # Import der REST Client Bibliotheken
5 import http.client
6 import json
7
8 -----
9 # Funktion zum Abfragen von Werten
10
11 def twGetPropertie(server, appkey, thingname, propertiename):
12     conn = http.client.HTTPSConnection(server)
13     headers = {
14         'appkey': appkey,
15         'accept': "application/json",}
16     conn.request("GET", "/Thingworx/Things/"+thingname+"/Properties/"+propertiename, headers=headers)
17     res = conn.getresponse()
18     data = res.read()
19     data = json.loads(data)
20     result= data["rows"][0][propertiename]
21     print('Parameter des JSON der Abfrage = '+ str(result))
22     return result
23
24 -----
25 # Funktion zum Senden von Werten
26 def twPutPropertie(server, appkey, thingname, propertiename, value):
27     conn = http.client.HTTPSConnection(server)
28     payload = "{ \r\n  \"testnumber\": "+value+" \r\n} "
29     headers = {
30         'appkey': appkey,
31         'content-type': "application/json",}
32     conn.request("PUT", "/Thingworx/Things/"+thingname+"/Properties/"+propertiename, payload, headers)
33     res = conn.getresponse()
34     data = res.read()
35     return 1
36
37 -----
38 #Main Routine
39 server = "Beispielserver URL"
40 appkey = "1234-5678 "
41 thingname = "restthing"
42 propertiename = "testnumber"
43 value = input("Wert eingeben --> ")
44
45 # Aufruf der Put Funktion zum Senden von Sensordaten
46 twPutPropertie(server, appkey, thingname, propertiename, value)
47
48 # Aufruf der Get Funktion zum Abfragen von Sensordaten
49 twGetPropertie(server, appkey, thingname, propertiename)
50

```

Abb. 18: Python Code REST-Client (eigener Quellcode)

<sup>22</sup> Vgl. „Was ist eine REST API ?“ (2017) – Cloudcomputing Insider

### 3.5 Cloud Computing und Sicherheitsaspekte

#### Cloud Computing

In den vergangenen Jahren hat das Prinzip des „Cloud Computing“ im industriellen Umfeld stark an Relevanz gewonnen. Hierbei werden sämtliche Ressourcen, die ein Server benötigt, um zuverlässig zu laufen, virtualisiert.<sup>23</sup> Dieses Cloud System kann seine Ressourcen dynamisch an die erforderliche Datenkapazität und Rechenleistung anpassen. Wegen dieser Skalierbarkeit eignet sich ein Cloud Computing Anbieter hervorragend zum Betreiben einer IoT-Plattform.

Marktführend in diesem Gebiet sind die amerikanischen Anbieter „Amazon Web Services“, „Google Cloud Platform“ und „Windows Azure“.

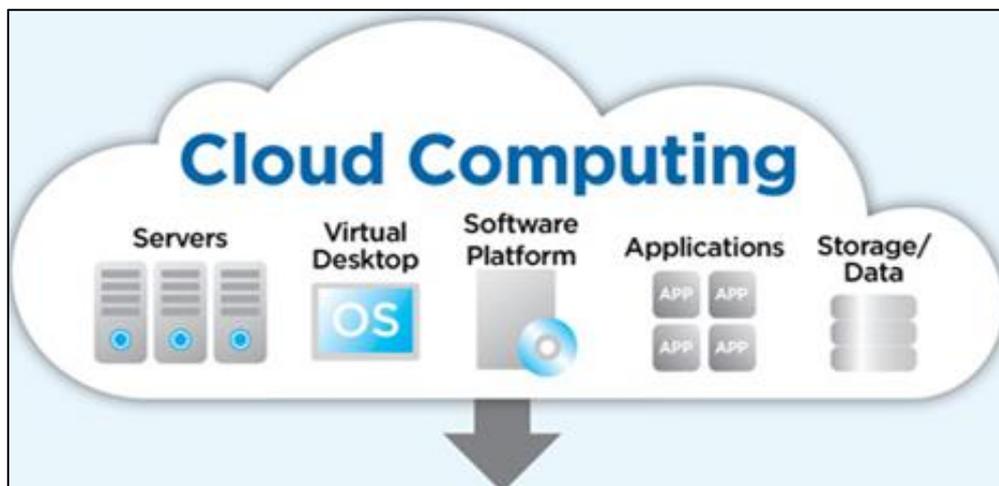


Abb. 19: Cloud Computing Komponenten (osaip.com)

Folgende Vor- und Nachteile bietet das Prinzip des Cloud Computing:

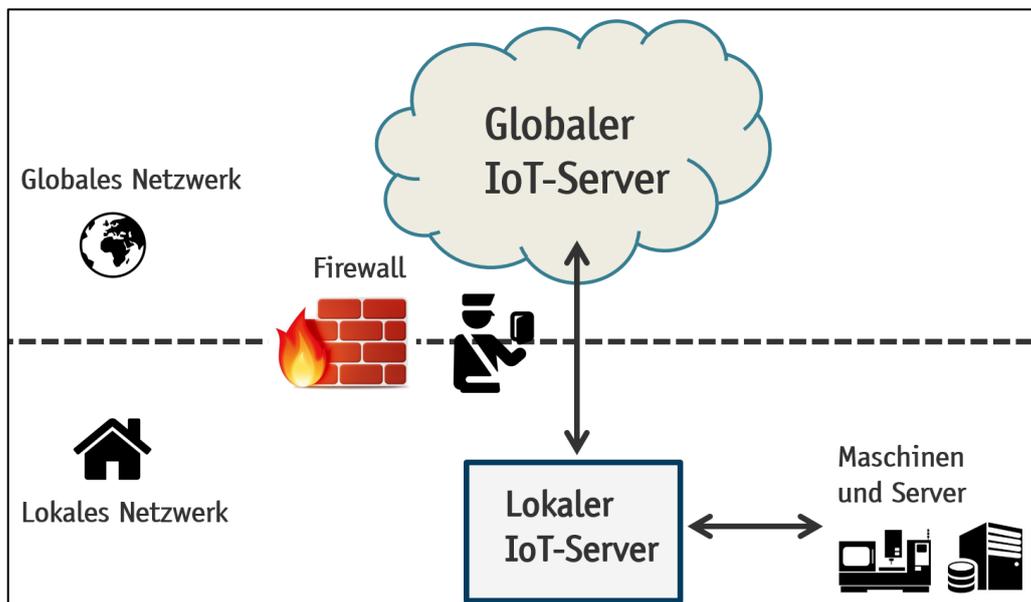
- + Flexible Rechen- und Datenkapazitäten
- + Keine Investitionskosten in Hardware, Personal und Implementierung
- + Keine Wartungskosten
- + Globale Erreichbarkeit
  
- Datensicherheit und Datenschutz häufig unklar
- Verschlüsselung beim Verlassen des lokalen Netzwerks erforderlich
- Keine direkte Verwaltung der Server
- Gegebenenfalls hohe monatliche Kosten

#### Föderative Subsysteme und hybride Strukturen

Im bisherigen Verlauf ist die Rede von einer einzigen IoT-Plattform bzw. einem IoT-Server gewesen. Dabei kann es durchaus sinnvoll sein, einen föderativen Verbund aus mehreren IoT-Servern zu verwenden. Insbesondere sensible Daten und Bereiche, die nur lokal erreichbar sein sollen, können durch eindeutig

<sup>23</sup> Vgl. „Cloud Computing“ – Mark Bedner – Forum Wirtschaftsrecht

definierte Schnittstellen zur Außenwelt abgesichert werden. Die Firewall eines Unternehmens spielt dabei die Rolle eines „Türstehers“. In der nachfolgenden Grafik wird verdeutlicht, wie eine IoT-Landschaft in einem Unternehmen aufgebaut sein kann, welche besonders großen Wert auf Datensicherheit legt.



**Abb. 20:** Föderative IoT-Infrastruktur (eigene Darstellung)

### Sicherheitsaspekte

Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Datensicherheit dabei an erster Stelle stehen muss. Durch die zunehmende Konnektivität entstehen völlig neue Möglichkeiten für Angreifer mit krimineller Energie. Maschinen und Server könnten im schlimmsten Fall manipuliert werden, so dass ein produzierendes Unternehmen lahmgelegt wird. Dabei können insbesondere Verschlüsselung und eine föderative Struktur diese Angriffsfläche verkleinern.

Generell gelten bei dem Aufbau einer sicheren IoT-Infrastruktur folgende Grundsätze: <sup>24</sup>

- Verschlüsselte Protokolle wie HTTPS verwenden
- Firewall, die Zu- und Abgänge überwacht
- Verwenden von Subsystemen, Gateways und eindeutiger Schnittstellen
- Nicht mehr Daten als nötig kommunizieren
- Rollen und Berechtigungen klar definieren
- Laufende Aktualisierungen und Sicherheitspatches installieren

Generell sollten Cloud-Lösungen von amerikanischen Anbietern kritisch betrachtet werden. Es besteht keine absolute Sicherheit, was genau mit den Daten passiert. Von daher ist das eigenständige Betreiben der Ressourcen, die zur Außenwelt abgeschottet sind, eine beliebte Variante.

<sup>24</sup> Vgl. „Best Practices zur Absicherung der IT-Infrastruktur“ (2013) – Wolfgang Kandek

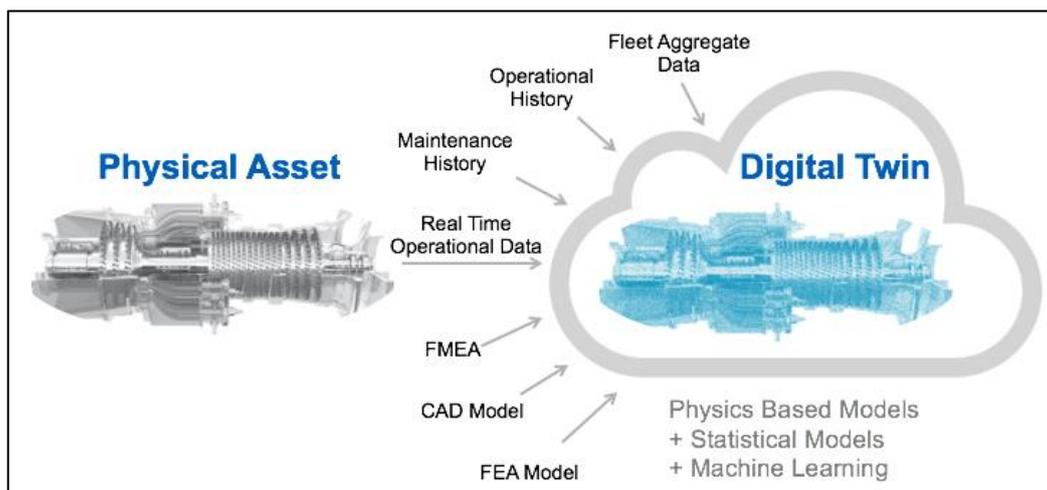
## 4 Digitalisierte Produktentwicklung

„Daten sind das Öl des 21. Jahrhunderts“ – Prof. Björn Bloching <sup>25</sup>

Insbesondere die Produktentwicklung kann nachhaltig von der Konnektivität zu sämtlichen Systemen und Bereichen profitieren. Die Analyse der gesammelten Datenmengen kann zu nie dagewesenen Erkenntnissen führen, indem z.B. reale Nutzungsdaten in Echtzeit einbezogen werden können. Die Lücke zwischen der physischen mit der digitalen Welt wird damit nahtlos geschlossen. Es entstehen damit effiziente, komplett digitalisierte Prozesse, die die Qualität enorm verbessern und die Markteinführungszeit drastisch reduzieren können.

### 4.1 Konzept des „Digitalen Zwillings“

Eine essentielle Rolle zur Vernetzung des Produktlebenszyklus und der Wertschöpfungsketten spielt das Konzept des „Digitalen Zwillings“. Jede Phase eines physischen Produktes wird durch einen digitalen Zwilling, einem Objekt auf einer IoT-Plattform, repräsentiert. <sup>26</sup> Dabei kann es durchaus Sinn machen, sämtliche Komponenten einer Baustruktur, separat zu erfassen.



**Abb. 21:** Digitaler Zwilling einer General Electric Turbine (geoilandgas.com)

IoT steht dabei im Zentrum und sorgt für eine erweiterte, bidirektionale Vernetzung der unterschiedlichen Bereiche des Produktlebenszyklus. Für jede Phase des Zyklus gibt es eine entsprechende, digitale Repräsentation eines physikalischen Objektes. Jenes ermöglicht das Sammeln gewaltiger Datenmengen. Dieses Prinzip kann auf sämtliche Bereiche der vertikalen und horizontalen Wertschöpfungskette angewendet werden und somit für eine gesteigerte Konnektivität sorgen. Es kann ein unternehmensübergreifender, synchroner Informationsfluss realisiert werden. Somit kann damit eine lückenlose Verfolgung ermöglicht werden, die insbesondere beim Aufspüren von Fehlerquellen in Echtzeit von enormen Vorteil ist. Ein Produkt, in seiner individuellen Konfiguration, kann ab dem Zeitpunkt seiner Bestellung in allen Phasen lückenlos, in digitaler und phy-

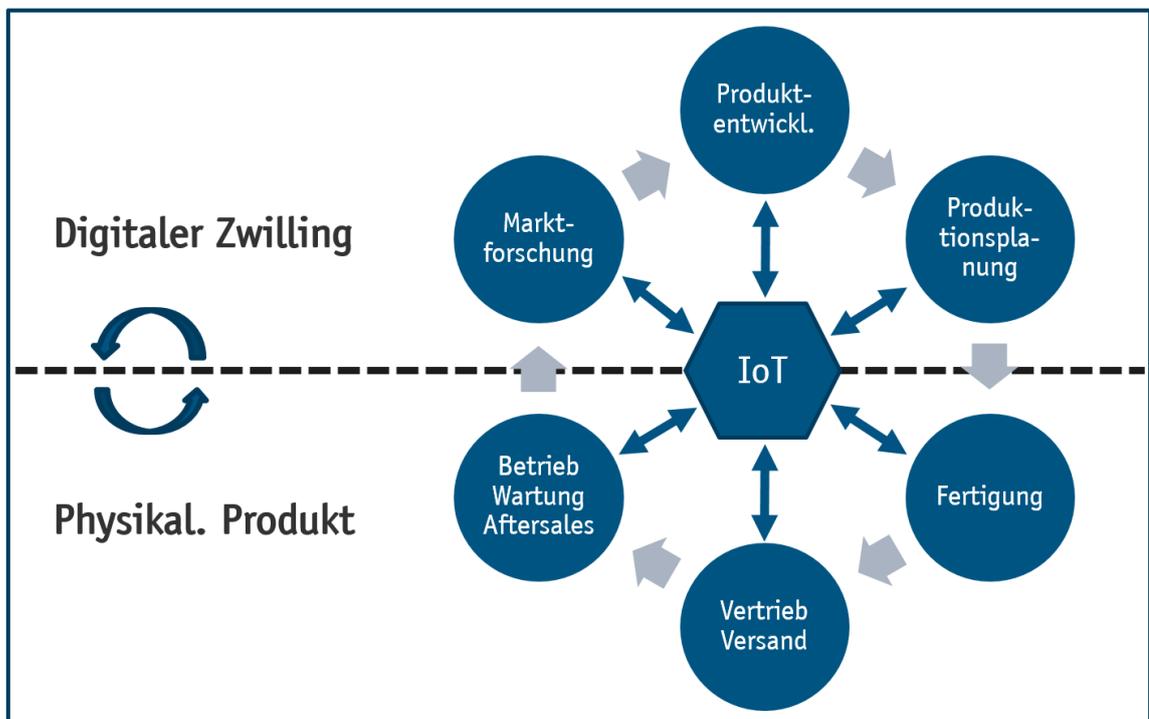
<sup>25</sup> „Wie ihr Vertrieb von Kundendaten profitiert“ (2014) – Prof. Björn Bloching

<sup>26</sup> Vgl. „What is a digital twin?“ – General Electric

sikalischer Form, begleitet werden. Somit ist es heutzutage möglich, ein vernetztes Fahrzeug, anhand seiner Fahrgestellnummer, zu verfolgen. Es kann eindeutig nachvollzogen werden, welche Komponenten verbaut worden sind und wie die Fertigung zu dem Produktionszeitraum ablief. Sämtliche Werkstattbesuche sind in einem digitalen Checkheft erfasst.

Selbst die nachgelagerte Fehlerbehebung ist dank der neuen, präzisen Diagnosemöglichkeiten möglich. Sie lässt sich beispielsweise mit Updates „Over the Air“, also ohne, dass der Verbraucher es merkt, per Fernzugriff einspielen. Es wird eine Rückkopplung der Fertigungsmaschinen zur Produktentwicklung ermöglicht, sodass, auf Probleme bei der Fertigung der konstruierten Teile, deutlich schneller reagiert werden kann.

Der Prozess der Marktforschung profitiert enorm von den gesammelten, realen Nutzungsdaten. Sie kann deutlich präziser und schneller die Bedürfnisse und Anforderungen für die Produktentwicklung ermitteln.<sup>27</sup> Nachgelagerte, unpräzise Marktforschung der Produktnutzung gehört damit der Vergangenheit an.



**Abb. 22:** IoT im Zentrum des Produktlebenszyklus (eigene Darstellung)

<sup>27</sup> Vgl. "IoT-Anwendungsfälle für die Produktentwicklung" (2017) – NET Blog

## 4.2 Augmented Reality

„AR & IoT – Better Together“ - Jim Heppelmann - CEO PTC <sup>28</sup>

### 4.2.1 Definition und Unterschied zu Mixed und Virtual Reality

„Augmented Reality“ bereichert eine Umgebung computergestützt mit nützlichen Zusatzinformationen.<sup>29</sup> Dabei wird die Realität dreidimensional erfasst und relevante Objekte passend eingebettet. Ein bekanntes Beispiel dafür ist eine virtuelle Abseitslinie bei einer Fußballübertragung; diese hat sich seit Jahren etabliert.



Abb. 23: AR-App „Pokemon Go“ (Nintendo) & Playstation VR (Sony)

#### Augmented Reality

- Erweitert die Realität mit Zusatzinhalten
- Nutzer ist nicht abgeschottet von seiner Umwelt
- Kann mit bestehender Hardware wie z.B. Smartphones genutzt werden
- „**Smart Glasses**“ werden häufig als „**Mixed Reality**“ bezeichnet

#### Virtual Reality

- Nutzer taucht in eine virtuelle Welt ein
- Nutzer ist abgeschottet von seiner Umwelt
- Teure Zusatzhardware ist nötig

**Mixed Reality** ist stark mit AR verwandt und zeichnet sich durch ein händefreies Erlebnis durch „**Smart Glasses**“ aus. Was zunächst recht futuristisch anmutet, könnte bald Einzug in produzierende Unternehmen finden. Insbesondere für den in Kapitel 5.2 vorgestellten Anwendungsbereich eines Servicemechanikers eignet sich eine Datenbrille hervorragend. Durch das integrierte Headset und die Frontkamera werden Videokonferenzen möglich gemacht.

<sup>28</sup> „IoT & AR – better together“ (2017) – Jim Heppelmann PTC

<sup>29</sup> Vgl. „Augmented Reality: An Overview“ (2011) – J. Carmigniani & B. Furht



**Abb. 24:** Mixed Reality Brille "Microsoft Hololens" im Einsatz

#### 4.2.2 Erkennung und Einbindung von CAD-Objekten

AR ermöglicht die maßstabsgetreue Visualisierung von CAD Objekten. Dieses kann insbesondere im Vertrieb und in der Produktentwicklung genutzt werden, um eine realistische Vorstellung der Dimensionen eines Produktes zu bekommen. Es besteht zusätzlich die Möglichkeit, dreidimensionale Animationen einzubetten, was sich hervorragend für Schulungszwecke eignet. Als Grundlage dient dabei entweder eine Bildmarke (siehe Motorrad-Abbildung) oder eine simple, ebene Fläche.



**Abb. 25:** „Thingmark“ als AR-Referenzobjekt (PTC)

### 4.2.3 AR mit Einbindung einer IoT-Plattform

Insbesondere die Einbindung von IoT-Informationen in AR eignet sich, um die physikalische mit der digitalen Welt verschmelzen zu lassen.<sup>30</sup> Ein physikalisches Objekt einer AR-Applikation ist dabei mit dem digitalen Zwilling der IoT-Plattform bidirektional verbunden. Somit wird ein Transfer digitaler Informationen in die physikalische Welt und umgekehrt ermöglicht. Dieses Konzept wird in der folgenden Yin und Yang Grafik von PTC dargestellt.

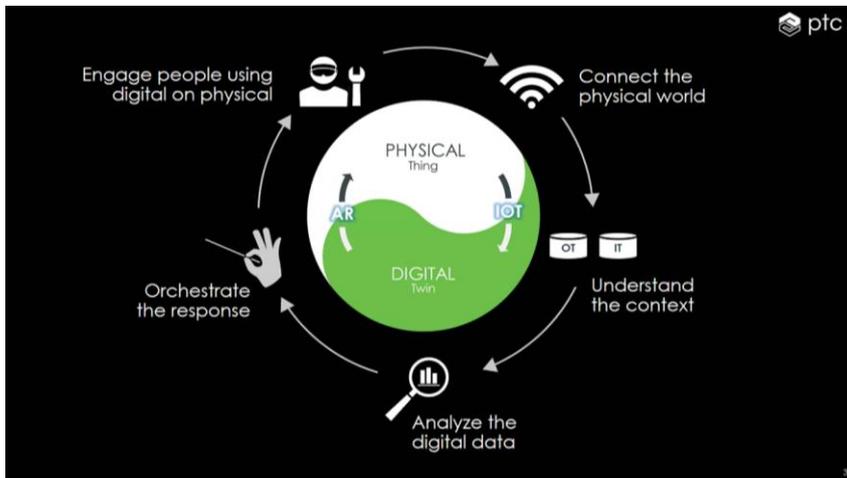


Abb. 26: Yin und Yang des Digital Twins (PTC)

Durch Einscannen der an der Maschine sich befindlichen Bildmarke wird die entsprechende AR-Applikation von einem Server geladen. Die App verbindet sich mit der IoT-Plattform. Dabei dient der Digitale Zwilling der IoT-Plattform als bidirektionales Brückenelement zum physischen Produkt. Nun ist der Nutzer in der Lage, Betriebsdaten in Echtzeit zu betrachten und die Maschine zu steuern.

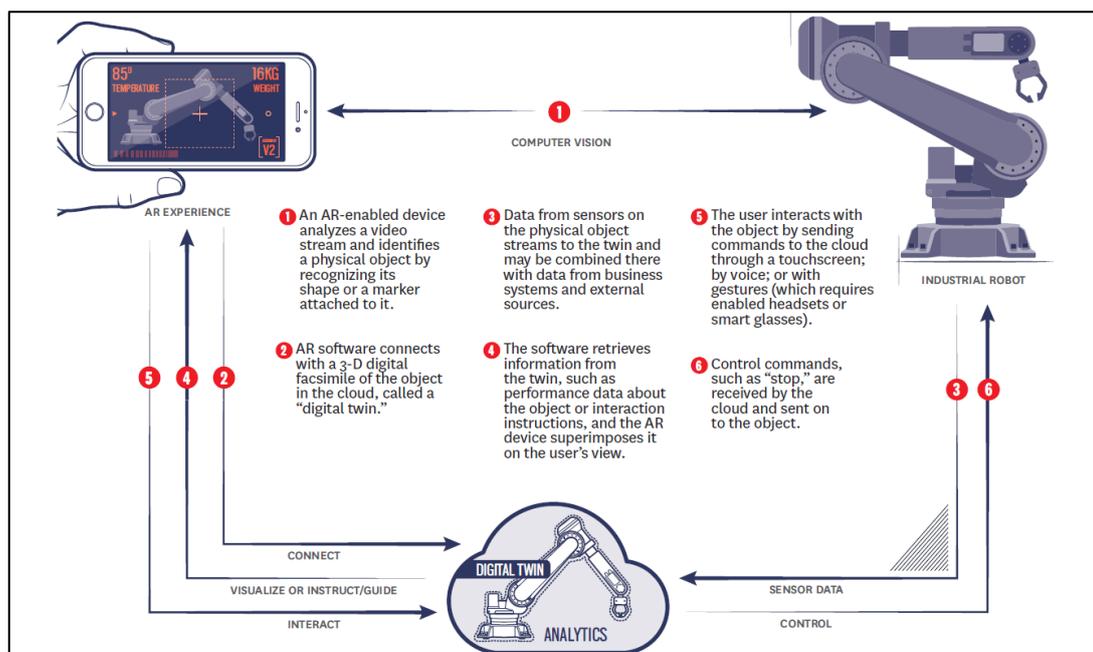


Abb. 27: Funktionsprinzip von AR mit IoT (HBR PTC)

<sup>30</sup> „A Manager’s Guide to AR“ – S.5 (2017) – HBR PTC

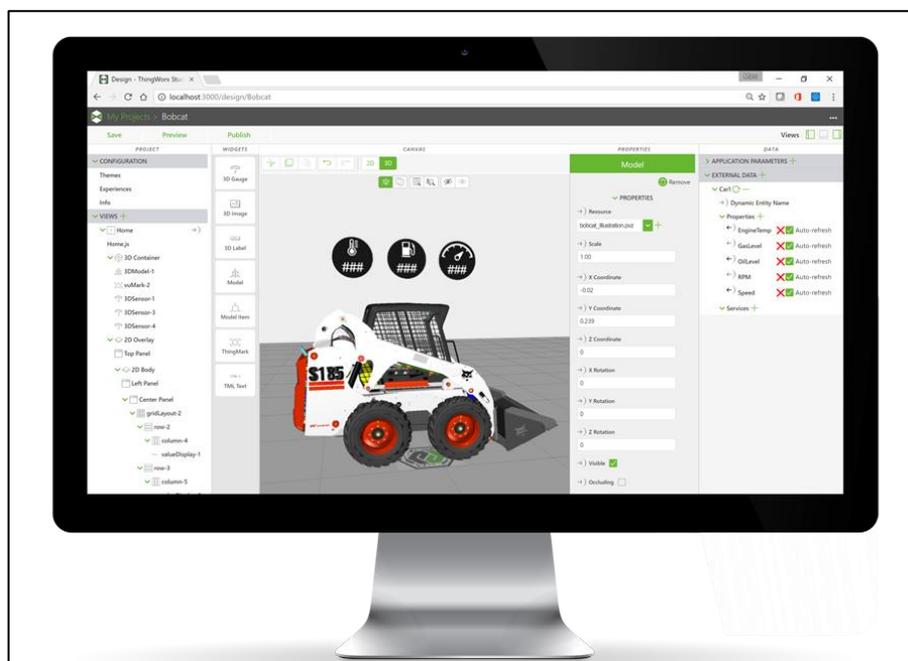
## 4.2.4 AR-Engine und Entwicklungsumgebung

Grundlage für AR ist eine komplexe „Engine“, die in der Lage ist, Bildinformationen, die eine Kamera liefert, zu verarbeiten. Diese Informationen werden dreidimensional aufbereitet, so dass augmentierte Inhalte für den Benutzer mit der echten Welt „verschmelzen“.<sup>31</sup> Als räumliches Referenzobjekt können glatte Oberflächen, Umrisse und bestimmte Zielobjekte, wie z.B. ein „Thingmark“ dienen. Die „Engine“ verwendet Informationen der Gyroskope und Beschleunigungssensoren, damit ein Zielobjekt verfolgt werden kann.

Dieses ist ein rechenintensiver Prozess, der entsprechend potente Hardware auf einem mobilen Endgerät voraussetzt. Die Klassen und Methoden vieler AR-Engines lassen sich in Form eines Entwicklerpaketes in weitere Programme einbetten. So ist es beispielweise möglich, die „Vuforia Engine“ in eine Android-, Apple-, oder Spielentwicklungsumgebung einzubetten.

Wichtig ist es hierbei, dass eine Applikation in wenigen Minuten erstellt werden kann. Dieses geschieht intuitiv und erfordert kaum Programmierkenntnisse und entspricht damit der Philosophie des „Rapid Application Buildings“, welches eine Art Baukastensystem ist. Hierfür lassen sich Vorlagen nutzen, so dass nur noch ein CAD Modell eingefügt werden muss. Eine nahtlose Einbindung zu einer IoT-Plattform ist dabei wichtig, um beispielsweise Sensordaten in Echtzeit anzeigen zu lassen.

Mit der Software „ThingWorx Studio“ ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit, eigene AR Applikation zu erstellen, die nahtlos mit der IoT-Plattform verbunden sind.<sup>32</sup>



**Abb. 28:** AR-Entwicklungsumgebung "Thingworx Studio"

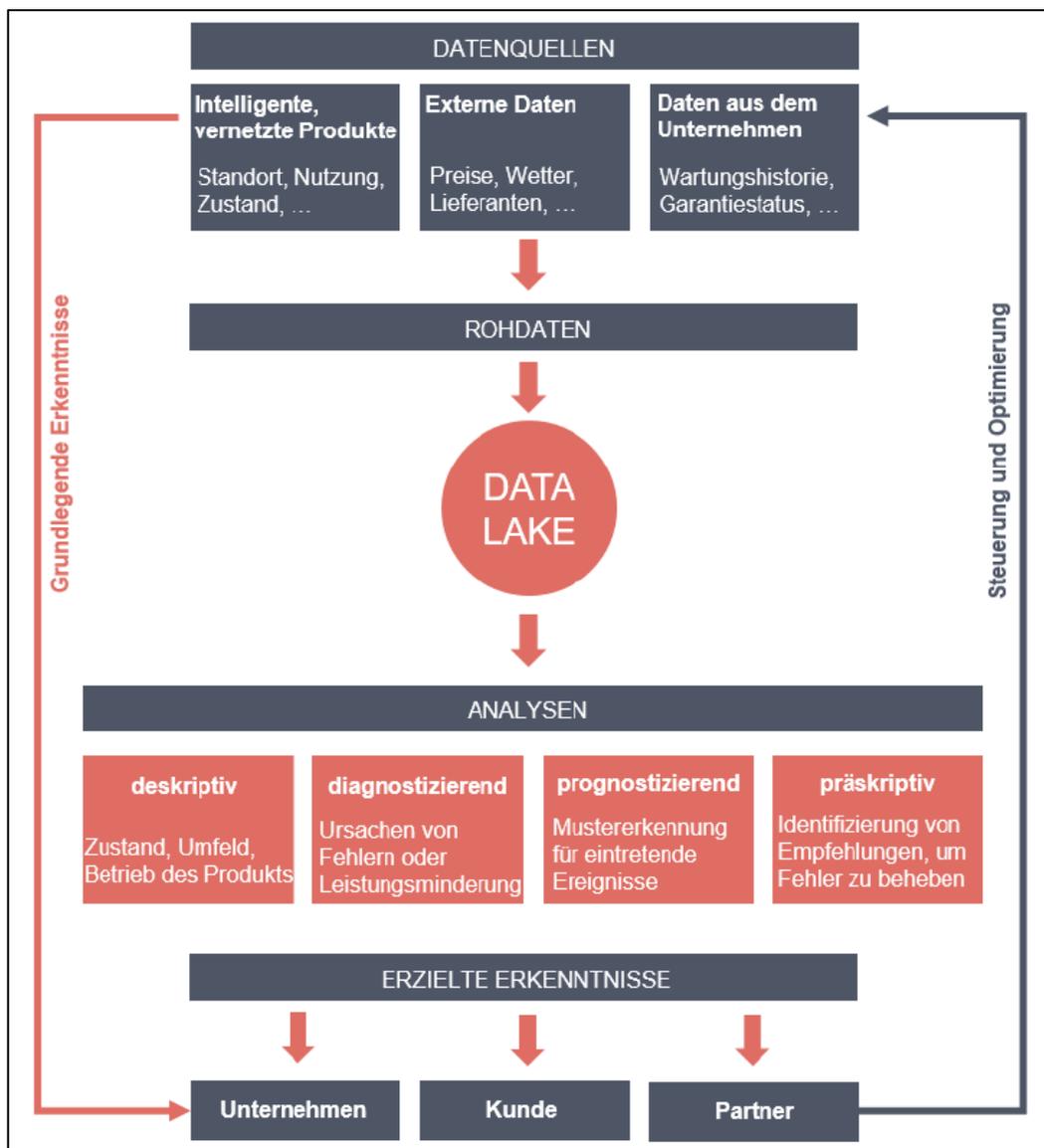
<sup>31</sup> Vgl. „Vuforia Engine“ (2018) – Vuforia.com

<sup>32</sup> Vgl. „Product Brief – ThingWorx Studio“ (2018) - PTC

### 4.3 Big Data Analytics und maschinelles Lernen

Eine digitalisierte IoT-Infrastruktur ermöglicht das Sammeln gewaltiger Datenmengen aus diversen Quellen. Diese gewaltigen Datenströme werden in einem sogenannten „Data Lake“ zwischengespeichert. Dank der vorgestellten „Cloud Computing Technologie“ kann man genügend Ressourcen zur Verfügung zu stellen, um diese zu speichern und zu verarbeiten. Die gewonnenen Erkenntnisse werden an die entsprechenden Systeme zurückgespielt, wodurch ein geschlossener Regelkreis entsteht.

Philipp Fischer hat in seiner Bachelorthesis den Ablauf von „Big Data Analytic“ , in Anlehnung an Heppelmann & Porter <sup>33</sup>, wie folgt schematisiert: <sup>34</sup>



**Abb. 29:** Regelkreis von Datenströmen (Bachelorarbeit: Philipp Fischer)

<sup>33</sup> Vgl. „Wie smarte Produkte Unternehmen verändern“ S.9 – Jim Heppelmann & Michael Porter

<sup>34</sup> Vgl. „IoT als Instrument zur sensorischen Datenüberwachung“ S.14 (2017) – Philipp Fischer

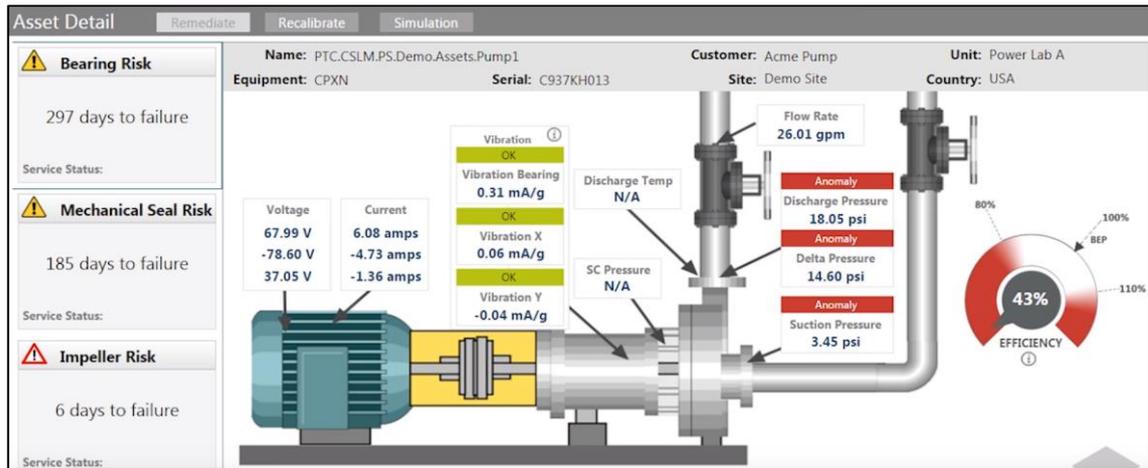


Abb. 30: ThingWorx Analytics - Flowserve Pump Demo (YouTube)

Eine IoT-Plattform hat einen Analytics Teil integriert, welcher permanent läuft. Dabei wird im Wesentlichen unter diesen Ausbaustufen unterschieden:

## Deskriptive Analyse / Monitoring der Daten

Deskriptive Datenanalysen sind in der Lage, gewaltige Datenmengen in Echtzeit zu erfassen, und anschließend zu strukturieren. Diese werden archiviert und aufbereitet zur Verfügung gestellt, was eine permanente Überwachung über sämtliche, sich im Unternehmen befindliche Objekte, Systeme und Prozesse ermöglicht. Es können Alarmregeln definiert werden, die beim Überschreiten von Schwellenwerten ausgelöst werden. Eine Anomalieerkennung ist somit möglich.

*„Die Betriebstemperatur ist deutlich höher als normalerweise“*

## Diagnostizierend

Das System ist in der Lage, die Ursache für das beschriebene Problem zu identifizieren. Dieses kann durch die Auswertung vieler Einflussgrößen geschehen.

*„Schmierstoffbestand hat sich innerhalb der letzten 24 Stunden halbiert, diese führt zu höherer Reibung als üblich“*

## Prädiktiv

Durch verschiedene Algorithmen ist das System in der Lage, die Folgen für die Zukunft zu extrapolieren.

*„Der Energiebedarf steigt um 40% und die Gleitlager gehen in 65 Stunden kaputt, wenn das Problem nicht behoben wird“*

## Präskriptiv

Durch intelligente Algorithmen ist das System in der Lage, konkrete Handlungsempfehlungen auszugeben, um das Problem zu lösen.

*„Prüfen Sie die Dichtung und tauschen Sie die Gleitlager innerhalb der nächsten 24 Stunden aus“*

### 4.3.1 Artificielle / künstliche Intelligenz

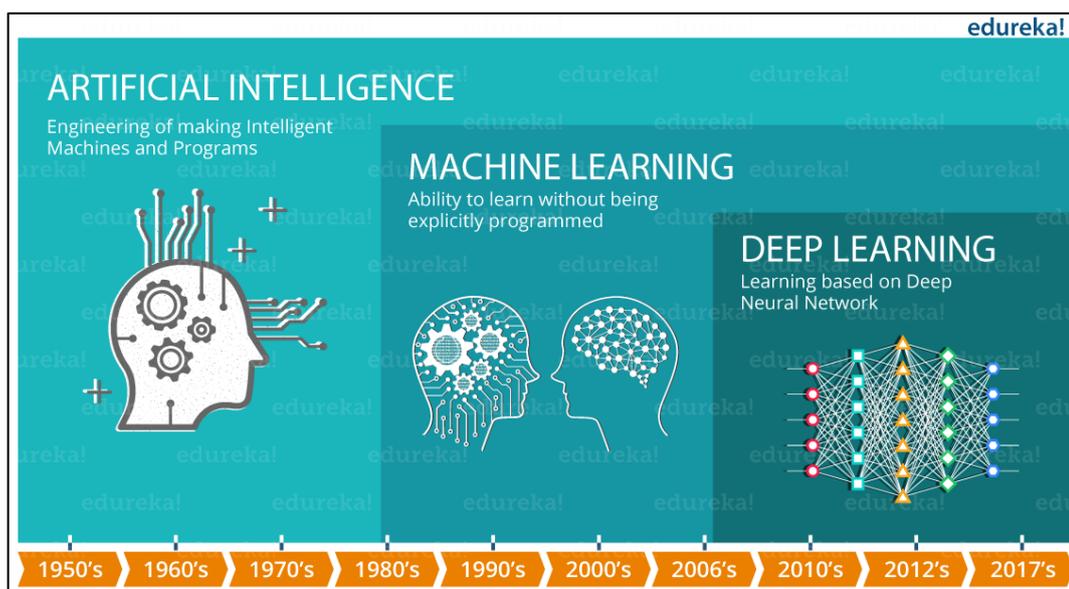
„Artificial Intelligence is the study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better“ – Elaine Rich <sup>35</sup>

Als Maßstab für die Ausgereiftheit der KI dient der „Turing-Test“. Hierbei kommuniziert ein unwissender Mensch mit einer Maschine per Texteingabe. Falls es dem Menschen nicht auffällt, dass er mit einem Computer schreibt, gilt dieser Test als bestanden.

Zur klassischen künstlichen Intelligenz zählen explizit formulierte Algorithmen. Diese verhalten sich in der Regel immer nach denselben Mustern und können sich nicht dynamisch auf die Umgebung anpassen. Der deskriptive und der diagnostizierende Teil einer Big Data Überwachung kann mit klar definierten Regeln und mathematischen Algorithmen realisiert werden.

Insbesondere der prädiktive und präskriptive Teil sind die Königsdisziplin und erfordern ein hohes Maß an artifizierter Intelligenz. Eine Schlüsselrolle spielt dabei das „maschinelle Lernen“. Grundlage zum Lernen sind Daten, die von einer IoT-Plattform bereitgestellt werden.

Die Entwicklung der künstlichen Intelligenz ist also sinnbildlich für den technologischen Fortschritt. In Zukunft müssen klare Rahmenbedingungen zur Beschränkung autonomer System geschaffen werden, damit es nicht zu einem digitalen Frankenstein ausartet.



**Abb. 31:** Deep Learning, nachmodelliertes Gehirn (Edureka)

<sup>35</sup> Vgl. „Definitionen von KI“ -verschiedene Zitate – Informatik Uni Oldenburg

### 4.3.2 Maschinelles Lernen und Deep Learning

„Maschinelles Lernen ist ein breiter Expertenbereich und reicht von abstrakter Theorie bis zur extremen Praxis“ – Prof. Morris Riedel <sup>36</sup>

Als Vorbild dient dabei der Lernprozess eines Menschen, welcher mit verschiedenen, kombinierten Ansätzen imitiert wird. Dabei werden zunächst Daten aus allen möglichen Quellen gesammelt und strukturiert. Diese werden analysiert und in einen Kontext zu anderen Informationen gesetzt.

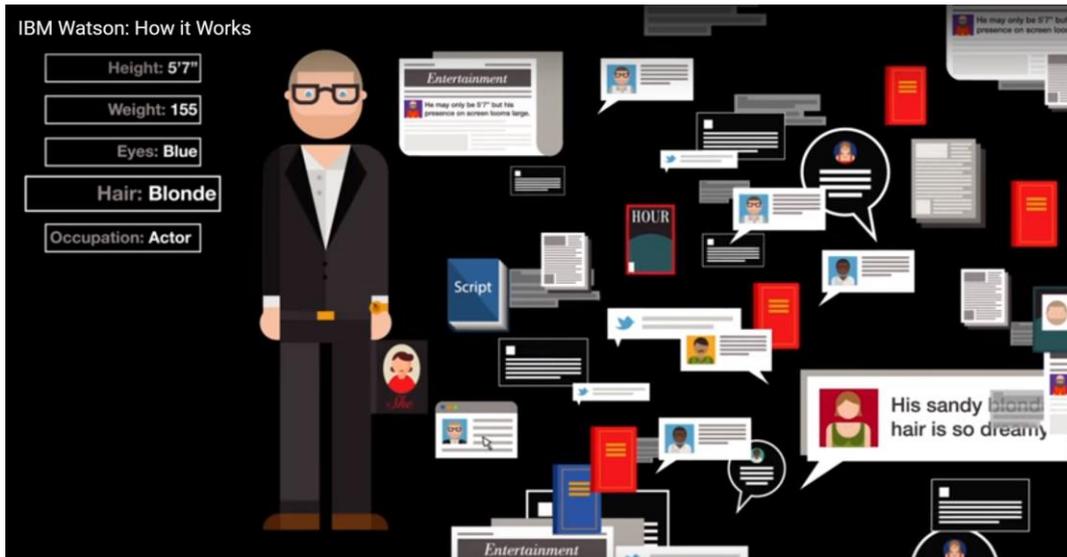


Abb. 32: Lernprozess von IBM Watson

#### Deep Learning / Künstliche Nachbildung neuronaler Netze

„Deep Learning“ ist ein Teilgebiet des maschinellen Lernens; das menschliche Gehirn dient dabei als Vorbild und wird durch künstliche, neuronale Netze nachmodelliert. Eine KI mit Deep Learning ist eigenständig in der Lage, Muster und Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Diese Engine muss permanent mit Daten „gefüttert“ werden. Hierbei gibt es eine Eingabeschicht, zahlreiche (versteckte) Zwischenschichten, welche vernetzten Neuronen nachempfunden sind, und eine Ausgabeschicht. <sup>37</sup>

Dieses sehr abstrakte Konzept lässt sich anhand eines Projektes des Youtubers „Seth Bling“ verdeutlichen, dessen Aufgabe darin besteht, eine neuronale KI zu entwickeln. Diese ist in der Lage Rennen des populären Spiels „Mario Kart“ zu gewinnen. <sup>38</sup>

Als Eingabeschicht dient eine stark abstrahierte Sicht des Spielers, die in pixeligen Graustufen in das System eingegeben wird. Als Ausgabeschicht dienen die acht Handlungsoptionen, die der Controller eines Super Nintendos bietet.

<sup>36</sup> „Einführung in Maschinelles Lernen zur Datenanalyse“ (2016) S.7 – Prof. Morris Riedel

<sup>37</sup> Vgl. „Neuronale Netze –Erste Einführung“ S.5 (2016) – Neuronalesnetz.de

<sup>38</sup> Vgl. „Self-Driving Mario Kart“ (2017) – Seth Bling – Youtube Kanal

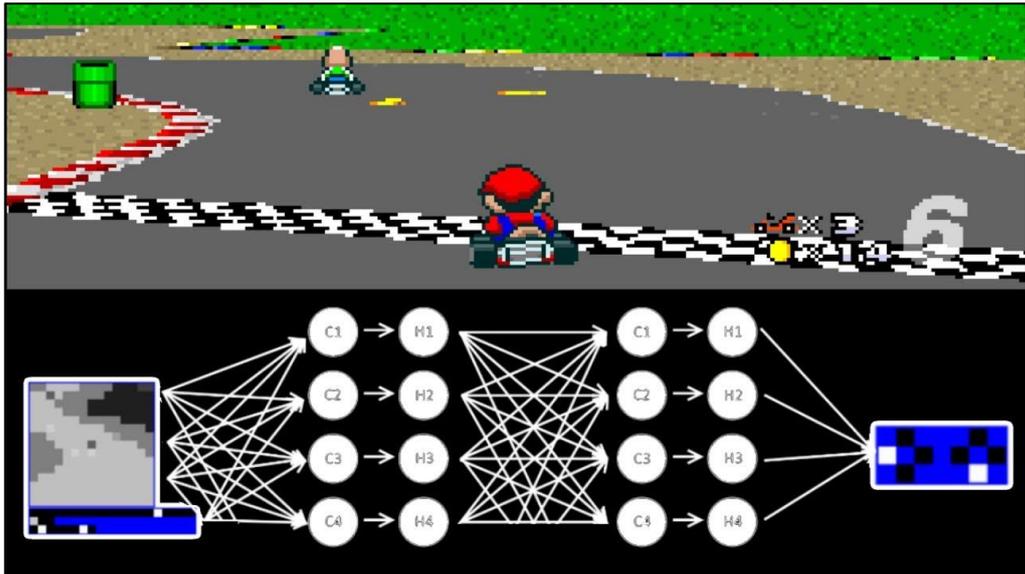


Abb. 33: Lernprozess einer neuronalen Mario Kart KI (Seth Bling)

### Lernprozess

Der Schlüssel zur Ausbildung der neuronalen Zwischenschichten ist der Lernprozess. Der Youtuber hat die neuronale KI stundenlang mit Informationen gefüttert, indem er selber gespielt hat.

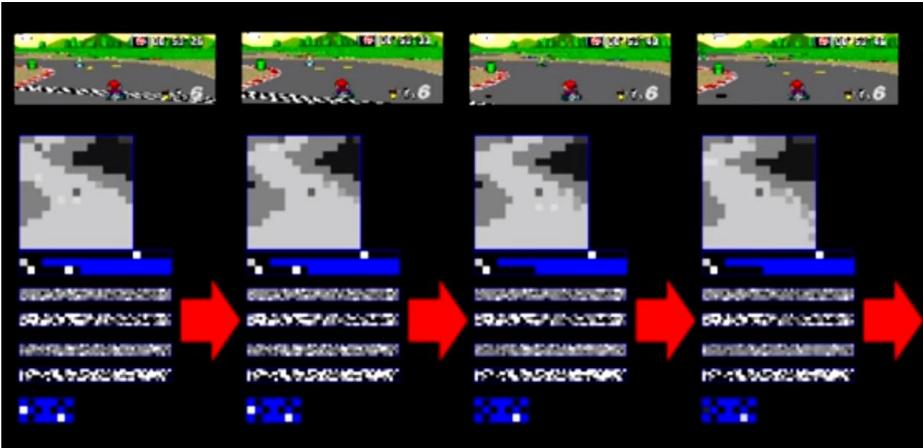


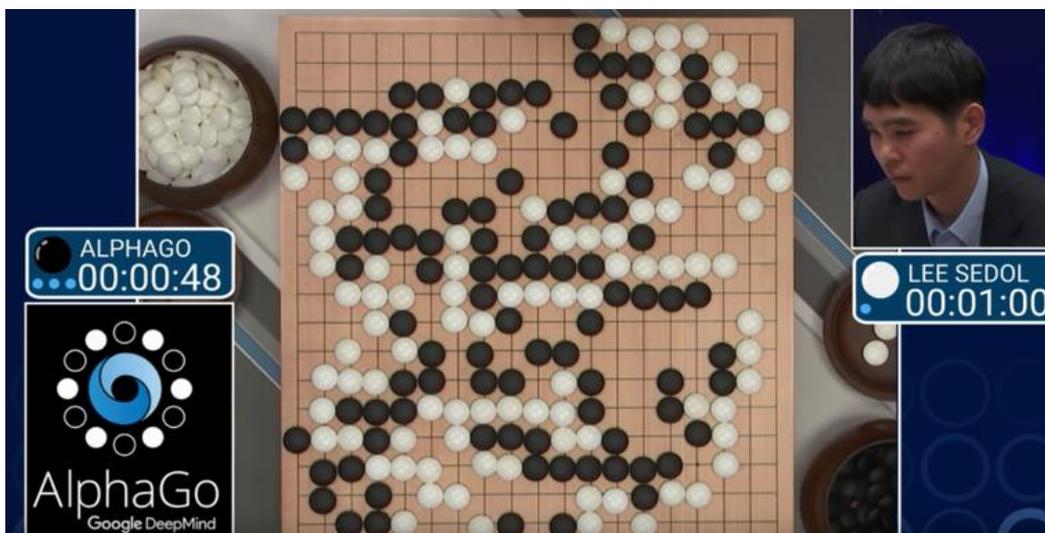
Abb. 34: Lernprozess der Mariokart KI

Anschließend ist die KI gefahren und konnte in dutzenden Zyklen weiter dazu-lernen, dadurch konnten sich die Zwischenschichten immer mehr vernetzen. Insbesondere der Umgang mit Fehlern stellt eine große Herausforderung dar.

### Entscheidungsfindung

Der Algorithmus bzw. das künstliche neuronale Netz stellt potentielle Kandidaten und Handlungsoptionen auf. Diese werden anschließend bewertet und die optimale Lösungsvariante ausgewählt. Je mehr Erfahrung, und damit Vernetzungen, die KI besitzt, desto besser kann bewertet werden. In dem Mario Kart Beispiel entscheidet sich die neuronale KI zu bremsen und nach links zu lenken. Die KI ist in der Lage, eine Bananenschale zu erkennen und dieser auszuweichen.

### Mensch gegen Maschine – Alpha Go



**Abb. 35:** Alpha Go schlägt einen asiatischen Großmeister

Dass selbst lernende Algorithmen mit neuronalen Netzen keine Fiktion mehr sind, bewies die „Alpha Go Engine“ von Google im Jahre 2015, indem Sie einen asiatischen Großmeister im komplexen Brettspiel „Go“ besiegte.<sup>39</sup>

Dieses Brettspiel bietet, im Gegensatz zu Schach, nahezu unbegrenzt viele Zugmöglichkeiten, so dass eine gewisse Kreativität und Intuition gefragt sind. Die Engine hatte unter anderem dadurch dazugelernt, dass Sie regelmäßig gegen sich selber gespielt hat.

<sup>39</sup> Vgl. „AlphaGo Zero: Learning from Scratch“ (2018) – Deepmind Blog

## 5 Industrielle Anwendungsszenarien und Konzepte

In diesem Kapitel werden Anwendungsszenarien und Konzepte vorgestellt, die dank einer IoT-Plattform realisierbar und zum Teil schon im produktiven Einsatz sind. Insbesondere die nahtlose Einbindung von diversen Systemen, Maschinen und AR spielen hierbei eine relevante Rolle. Das permanente Sammeln von Daten ermöglicht den Einsatz von maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz bietet damit völlig neue Möglichkeiten.

Verschiedene Konzepte, für unterschiedliche Anwendungsgebiete, werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt. Diese sind im Laufe meiner beruflichen Tätigkeit bei der „NET AG“ im Rahmen vielfältiger Projekte entwickelt worden.

Die NET AG veranstaltet gemeinsam mit PTC sogenannte „Connected Hack“ Events,<sup>40</sup> wo mit Kunden IoT-Konzepte entwickelt und realisiert werden. Hierbei wird die komplette Kette von der realen Maschine zur IoT-Plattform, welche über den digitalen Zwilling mit AR verbunden ist, realisiert. Im Rahmen des Events werden gemeinsam mit den Kunden neue Anwendungsszenarien und Einsatzgebiete aus der Berufspraxis identifiziert.

Als Referenzobjekt ist hierbei eine präzise Vakuumpumpe des Herstellers „Gebrüder Becker“ verwendet worden. Diese wurde im Verlaufe des Events IoT-fähig gemacht. Am Ende des Events war es möglich, die Pumpe von einer AR-Applikation zu steuern und eine animierte Montageanleitung maßstabsgetreu einzubinden.



**Abb. 36:** „Connected Hack“ 2017 in Berlin (PTC & NET)

---

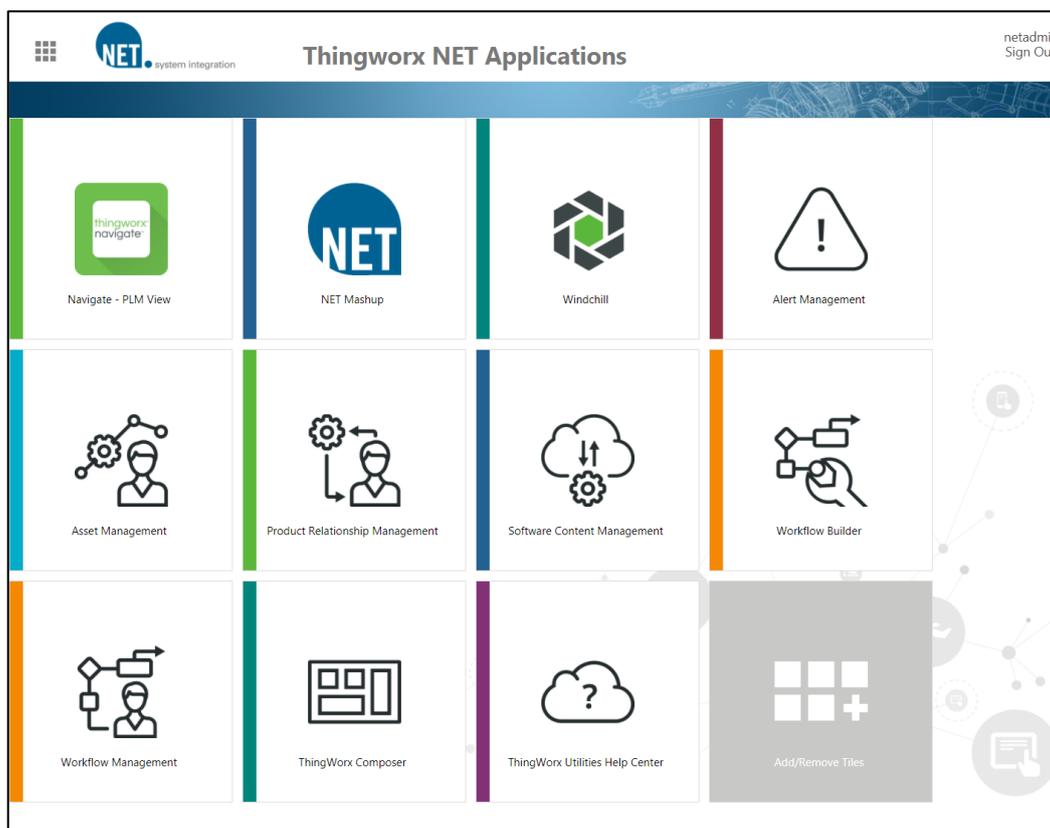
<sup>40</sup> Vgl. „Connected Hack“ (2017) – NET & PTC

## 5.1 Komponenten einer modularen IoT-Nutzeroberfläche

Eines der wichtigsten Ziele einer modernen IoT-Plattform ist es, möglichst viele Systeme zu konsolidieren, so dass sämtliche Nutzer im Unternehmen Zugriff mit einer übersichtlichen Oberfläche haben.

Diese sollte modular aufgebaut sein, sodass, gemäß des Rollenmanagements, nur die Elemente für den Nutzer verfügbar sind, die seiner Aufgabe entsprechen. Es besteht die Möglichkeit, komplett eigene Nutzeroberflächen, sogenannte „Mashups“ zu kreieren, und als Modul, bzw. auswählbare Kachel, in die Nutzeroberfläche einzubauen. Eine moderne Plattform bietet einen Marktplatz, wo man verschiedenste Module erwerben kann.

Eine IoT-Plattform ist somit ein Ort, wo sämtliche Business Systeme konsolidiert zugreifbar sind. Hierfür ist lediglich ein einmaliger Login erforderlich.



**Abb. 37:** Modulare IoT-Nutzeroberfläche (eigene ThingWorx Modifikation)

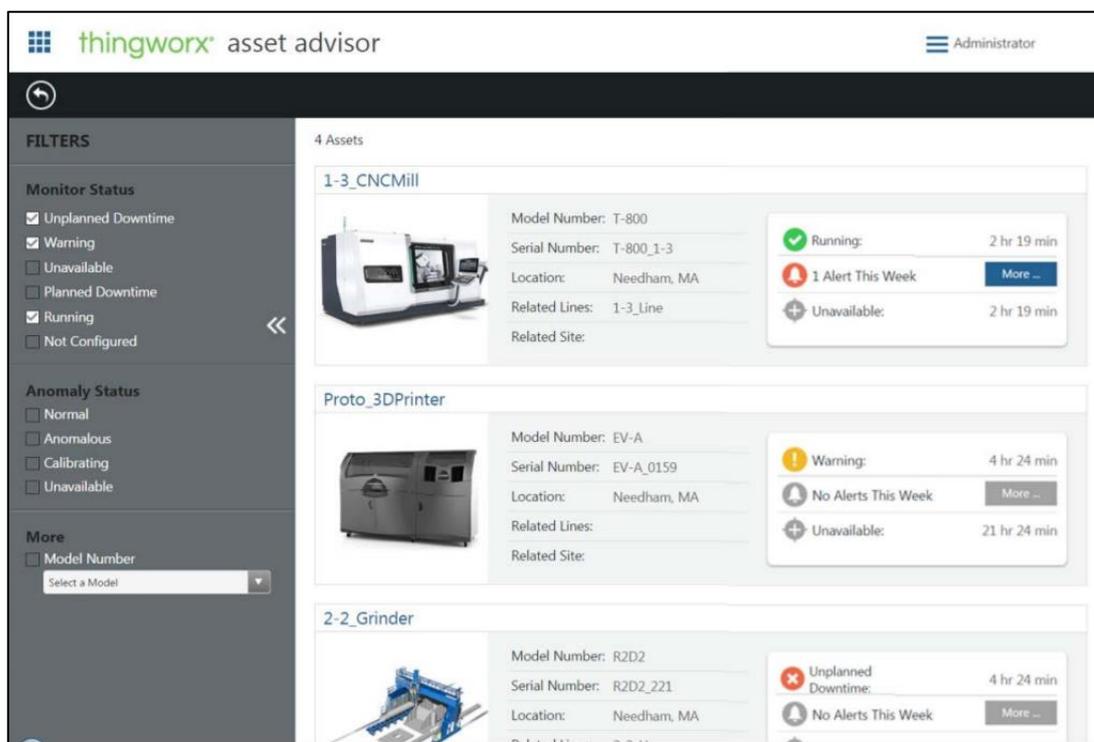
Jeder Nutzer kann sich sein „Dashboard“ individuell konfigurieren, damit er den Überblick über die wichtigsten Geschehnisse im gesamten Unternehmen behält. Diese werden, optisch ansprechend, mit Schlüsselindikatoren dargestellt. Wichtige Module, die einen großen Mehrwert bieten, werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt.

### 5.1.1 Asset Monitoring Dashboard

Im „Asset Monitoring“ können sämtliche Maschinen im Unternehmen komfortabel verwaltet und überwacht werden.<sup>41</sup> Grundvoraussetzung hierfür ist eine permanente, bidirektionale Verbindung zu den Maschinen, damit diese aktiv geregelt werden können. Dabei können die in Kapitel 3 vorgestellten Gateway-Lösungen zum Einsatz kommen. Die gesammelten Daten werden permanent überwacht und analysiert, sodass Muster erkannt werden können. Durch die intelligente Verarbeitung der Daten, dem sogenannten „Machine Learning“, können vom „Big Data Analytics“ System Muster erkannt und präventive Maßnahmen getroffen werden, die für Menschen nicht in einem direkten kausalen Zusammenhang stehen.

Somit kann die Lebenszeit der Maschinen deutlich verlängert- und der Wartungsaufwand drastisch reduziert werden, da Probleme frühzeitig erkannt und die Maschinen aktiv geregelt werden können. In der Fernwartung, für sich beim Kunden im Einsatz befindliche Produkte, ergeben sich völlig neue Möglichkeiten. Somit ist eine Fehlerbehebung und das Optimieren von Parametern „over the air“ möglich. TESLA-Fahrzeuge werden regelmäßig mit Softwareupdates versorgt<sup>42</sup>

Jede Abteilung ist in der Lage, rollenspezifisch auf einem übersichtlichen „Dashboard“ den aktuellen Stand in der Fertigung zu überblicken und gegebenenfalls zu handeln, was optimalen, effizienten Informationsfluss ermöglicht.



**Abb. 38:** Asset Monitoring Dashboard des „ThingWorx Asset Advisor“

<sup>41</sup> Vgl. „Data Sheet – Thingworx Asset Advisor“ (2018) - PTC

<sup>42</sup> Vgl. „Software-Updates -Support“ – TESLA Motors

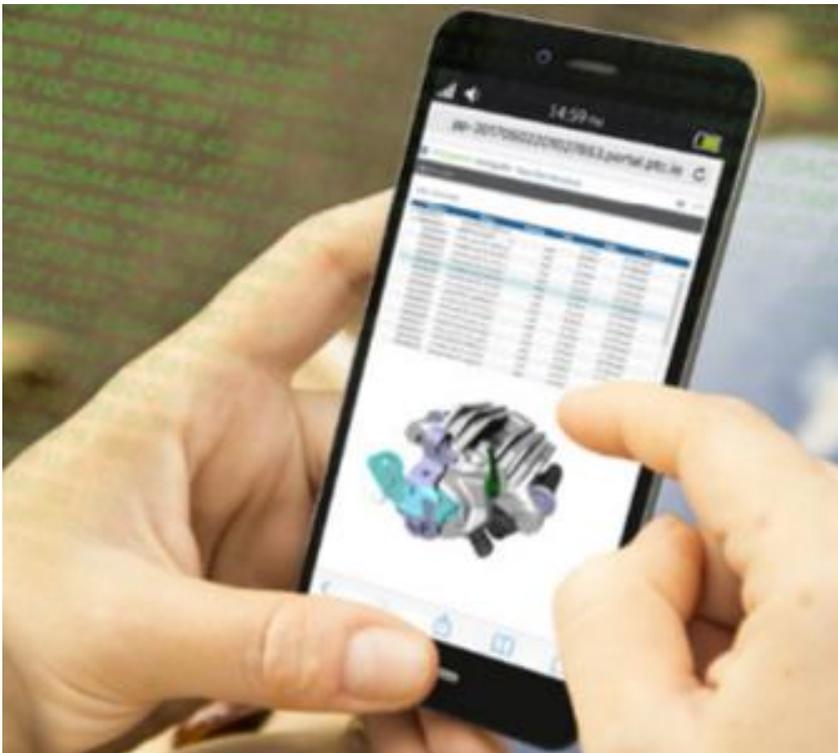
## 5.1.2 Optimierte Sicht auf ein PLM-System

Jeder Anwender im Unternehmen kann rollenspezifisch per browserbasierter Nutzeroberfläche, den aktuellen Stand von Bauteilen und Baugruppen eines PLM-Systems überblicken. Hierbei handelt es sich um eine reduzierte, übersichtliche und Smartphone taugliche Oberfläche, die jeder Nutzer intuitiv versteht. Informationen werden rollenspezifisch und reduziert dargestellt.

Dieses sorgt für einen optimalen Informationsfluss, da abteilungsübergreifend der aktuelle Stand, inklusive der folgenden Komponenten, betrachtet werden kann:

- Bauteile und deren Attribute
- Baugruppen und Strukturen
- CAD-Darstellungen
- Technische Zeichnungen
- Anforderungslisten
- Änderungsmanagement
- Weitere Businesssysteme, wie ERP, CRM oder ALM

Die PTC Software „ThingWorx Navigate“, welches eine „ThingWorx“ Erweiterung ist, bietet genau diese Features und kann flexibel und modular erweitert werden.<sup>43</sup> Die Nutzer können, sowohl per Smartphone, als auch per Computer Browser auf die Oberfläche zugreifen.



**Abb. 39:** ThingWorx Navigate in der mobilen Ansicht

---

<sup>43</sup> Vgl. „Data Sheet –Thingworx Navigate“ (2018) - PTC

### 5.1.3 Einbindung externer Systeme und individueller Seiten

Es besteht die Möglichkeit, externe Systeme in die modulare IoT-Oberfläche einzubinden. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass externe Systeme, wie z.B. SAP, eine klar definierte offene Schnittstelle besitzen. Nach dem Prinzip eines „Single Signons“ sollte, falls möglich, eine einmalige Angabe der Zugangsdaten ausreichen, um Daten aus allen Systemen abzufragen.

#### Bestehende Module und Konnektoren

Viele Hersteller bieten bereits fertige Module und Konnektoren für gängige IoT-Plattformen an, die die Einrichtung und Konfiguration erleichtern. Bei standardisierten Schnittstellen besteht die Möglichkeit, selbstständig Konnektoren einzurichten, die von einer Benutzeroberfläche aufgerufen werden können. Beispielsweise bietet die ThingWorx-Plattform einen Marktplatz, wo fertige Erweiterungen geladen werden können.

#### Eigene Mashups

Eine moderne IoT-Plattform bietet die Möglichkeit, eigene Nutzeroberflächen, sogenannte „Mashups“, welches dem Design einer Webseite sehr ähnelt, zu gestalten. Die Schaltflächen der Nutzeroberfläche rufen die entsprechenden Methoden der Konnektoren auf, die mit dem externen System kommunizieren. Die Antwort des externen Systems wird verarbeitet, so dass diese auf einer optisch ansprechenden Benutzeroberfläche dargestellt werden kann. Eine weitere Möglichkeit ist es, bestehende externe Webseiten in ein Mashup einzubetten. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass die externe URL dieses zulässt, wofür in der Regel ein separater Login erforderlich ist.

The screenshot displays an 'Engineering Dashboard' with the following components:

- Navigation:** Change Notice, Part Monitoring, Linked Documents, Report.
- Part Monitoring Section:**
  - Levelanzahl: 3
  - Projekt Part No.: E0002991458
  - Buttons: Aktualisieren, Zielvorgaben, Gen., Des., Det.
  - Legend: in Work (blue), Prototype (30) (green), Full Release (50) (red)
- Table:**

Type	Name	Number	NX_STRUCTURELEVEL
Configurable Module	asm nacelle	E0002991458	
NX Part	asm Gefahrenfeuer	E0003445504_ASM	
NX Part	heat exchanger	E0003445497_ASM	
NX Part	FF wind sensor type FT02LT/D50-V22-FF	05001-27375.PRT	Detail
NX Part	frame wind measuring system	03000-1049913_ASM	Detail
NX Part	washer DIN 125-A-10.5-4Zn	03850-7827.PRT	Detail
NX Part	washer DIN 125-A-10.5-4Zn	03850-7827.PRT	Detail
NX Part	washer DIN 125-A-10.5-4Zn	03850-7827.PRT	Detail
NX Part	washer DIN 125-A-10.5-4Zn	03850-7827.PRT	Detail
- SAP Integration:**

Nummer	Benennung	Werkstoff	Masse	Einheit	Erstelldatum	
000000007000003106	Motor mit ECN	Aluminium	1.530	KG	20130923	Ressourcen sind vorhanden
- Windchill Integration:**

Number	PartType	Name	Ufid
7000003106	separable	engine	Produkt ist freigegeben

Abb. 40: Engineering Dashboard mit Einb. von ERP und PLM Systemen

## 5.2 Augmented Reality



Abb. 41: Virtuelle IKEA Möbelplatzierung

„Augmented Reality“ bietet in der industriellen Praxis deutlich mehr Anwendungsszenarien, als man zunächst annimmt. Im Rahmen der beruflichen Tätigkeit habe ich die Erfahrung gesammelt, dass AR bei vielen Entscheidungsträgern den Ruf hat, „Spielkram“ zu sein. Dabei ermöglicht insbesondere die Verschmelzung der physikalischen mit der digitalen Welt völlig neue Anwendungsszenarien und bietet einen hohen Nutzwert.

Die Firma PTC hat AR-Technologie gemäß des „Digital Twin“ Konzeptes an ihre IoT-Plattform „ThingWorx“ angebunden. Somit kann das physische Produkt mit seinem digitalen Zwilling verbunden werden, um beispielsweise Sensordaten anzuzeigen.

Mit einem HTTP-Client ist es, neben dem IoT-System, möglich, dass Informationen aus externen Systemen bidirektional einbezogen werden können. Somit ist es beispielweise möglich, dass die AR-Applikation aktuelle Informationen aus dem Lagerungssystem abfragen kann.

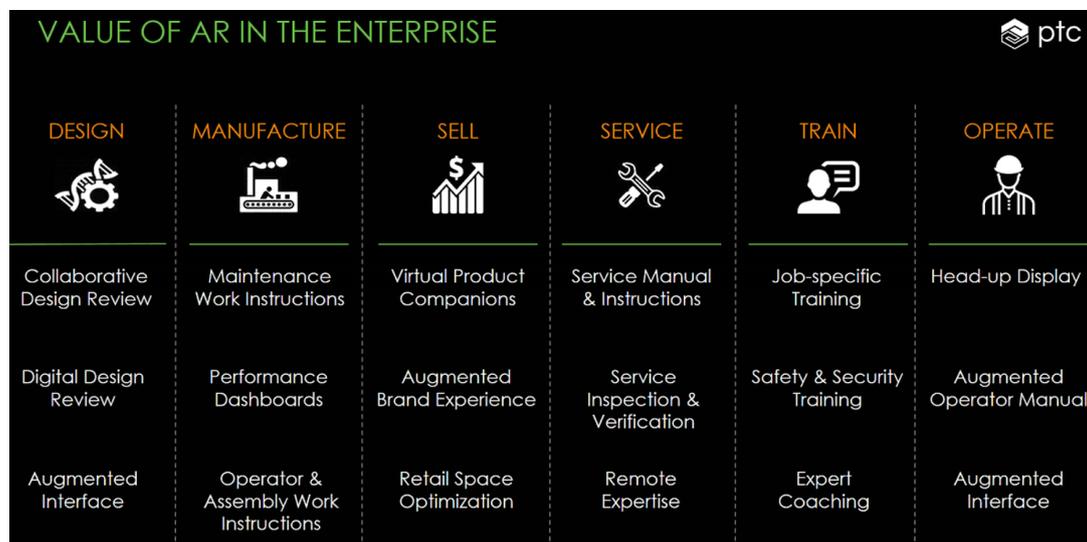


Abb. 42: Industrielle Einsatzfelder von Augmented Reality (PTC)

## 5.2.1 Technische Zeichnung mit PLM-Einbindung

**Antriebswelle – Bauteil Nr 123456789**

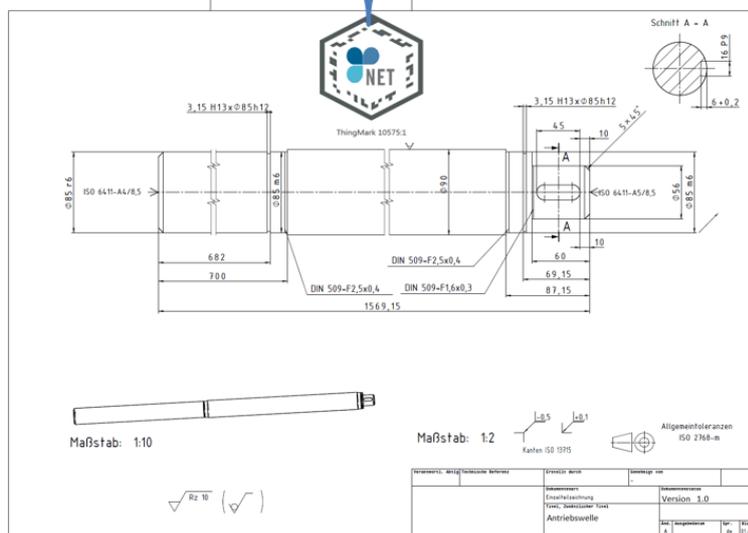


Aktuellere Version 1.3 ist vorhanden  
Nicht freigegeben

**Menu**

- Bauteilspezifikationen
- Aktuelle technische Zeichnung
- Fertigungsprozesse -
- Ressourcen und Materialfluss
- Changelog - Lastenheft





**Abb. 43:** Technische Zeichnung mit PLM-Einbindung (eigenes Konzept)

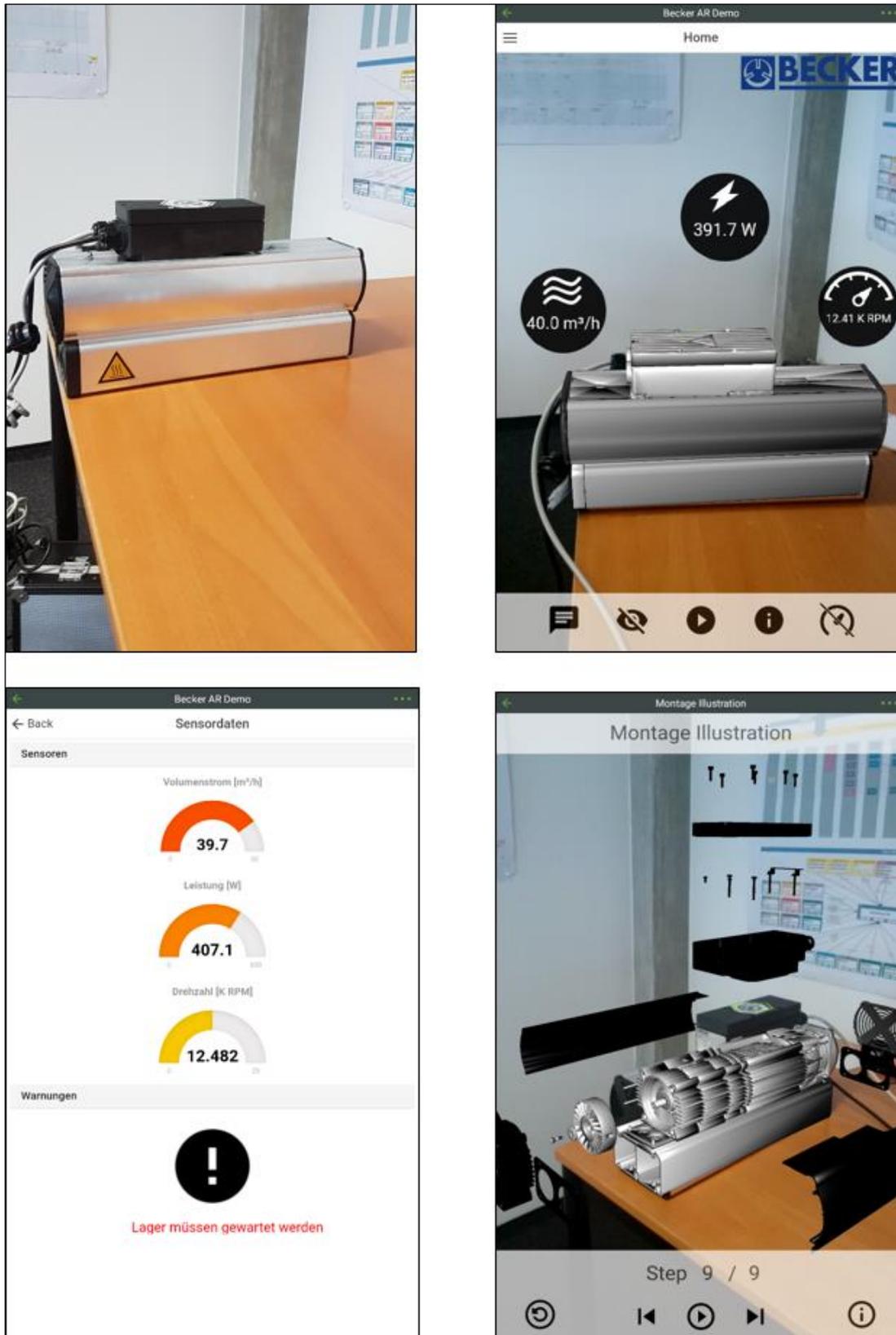
Jedes Bauteil, beispielsweise eine technischen Zeichnung, wird mit einem Mark versehen, welches mit einem entsprechenden Repräsentanten im PLM-System verbunden ist. Nun kann jeder Mitarbeiter im Unternehmen mit einer AR-Applikation per Smartphone den Mark einscannen und den aktuellen Stand des Bauteiles einsehen.

Folgende Informationen lassen sich einbinden:

- Prüfung, ob aktuellere Version vorhanden ist
- Freigabestatus
- Dreidimensionale Visualisierung des aktuellen CAD-Objektes
- Bauteilspezifikationen
- Ressourcen und Materialfluss
- Changelog und aktuelle Meldungen

Dieses ermöglicht einen optimierten, synchronisierten Informationsfluss im gesamten Unternehmen und vermeidet Redundanzen.

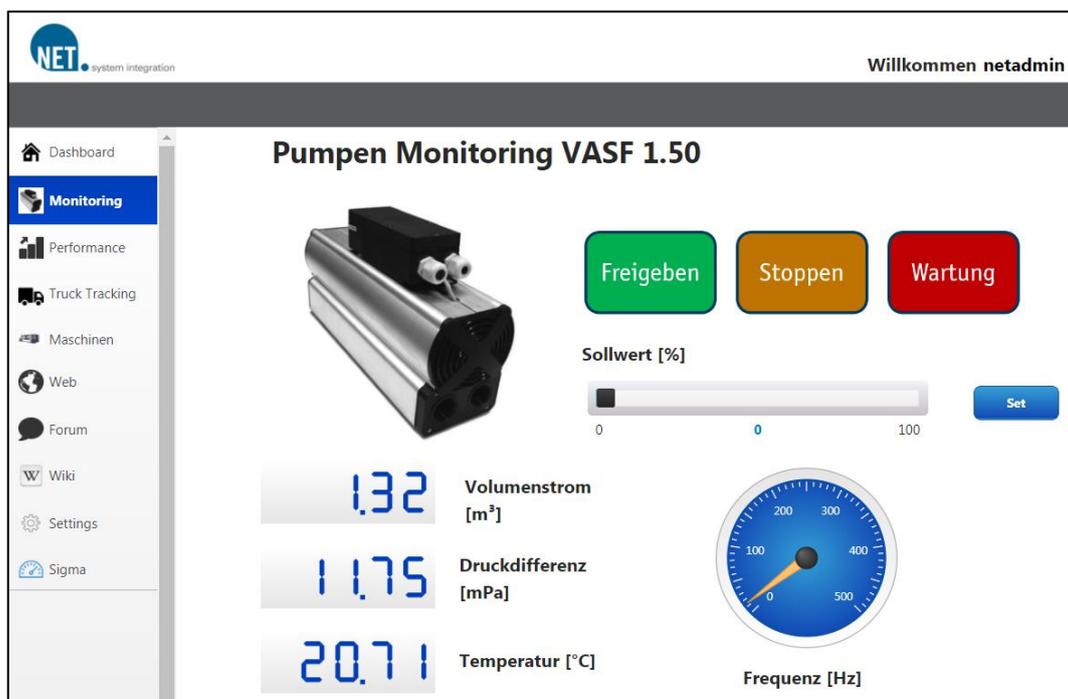
## 5.2.2 AR Servicemechaniker



**Abb. 44:** AR-Servicemechaniker am Beispiel einer Becker-Pumpe

Auf jeder physikalischen Maschine befindet sich ein „Thingmark“, den der Mechaniker mit seinem AR-fähigen, mobilen Gerät einscannet. Es wird ein maßstabsgetreues Modell über das physikalische Modell gelegt. Die Applikation ist bidirektional mit dem digitalen Zwilling der Maschine verbunden, somit können Sensordaten in Echtzeit abgerufen werden. Dank der permanenten Überwachung der Sensordaten leuchten diese auf, falls eine Anomalie erkannt worden ist. Der Mechaniker hat die Möglichkeit, die Maschine neu zu kalibrieren und neue Sollwerte zu setzen.

Falls ein Bauteil ausgetauscht werden muss, wird eine Montage Animation eingeblendet. Der Mechaniker hat dabei die Möglichkeit, einen Blick in das Innere der Maschine zu werfen und kann den augmentierten Austauschvorgang Schritt für Schritt durchgehen. Die AR-Applikation ist mit einem ERP-System verbunden, somit ist der Mechaniker in Echtzeit in der Lage, die Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu prüfen. Dieses wird in der Applikation durch direktes Tippen auf das gewünschte Bauteil ermöglicht. Ist die Austauschoperation erfolgreich durchgeführt, wird dieses ins virtuelle Logbuch eingetragen und die Maschine wieder freigegeben.



**Abb. 45:** Browser-basierte Wartungsoberfläche

Das Abspielen von Montageanimationen eignet sich hervorragend für Schulungszwecke und ist bereits bei vielen Unternehmen im Einsatz. Besonders interessant ist dabei der Einsatz von „Smart Glasses“, wie z.B. der „Microsoft HoloLens“. Diese ermöglichen eine Gestensteuerung, so dass beide Hände zum Montieren frei bleiben. Das integrierte Headset, in Kombination mit der Frontkamera, ermöglicht Videokonferenzen. Somit entstehen völlig neue Möglichkeiten in der Fernwartung.



**Abb. 46:** Servicemechaniker mit Microsoft Hololens

### 5.2.3 AR - virtuelle Produktpräsentation

AR bietet für den Vertriebsbereich vielfältige Möglichkeiten, um das Produkt optimal zu präsentieren. Moderne AR-Engines, wie die Vuforia Engine, sind in der Lage, ebene Flächen zu detektieren und ein Objekt in maßstabsgerechter Größe einzublenden.

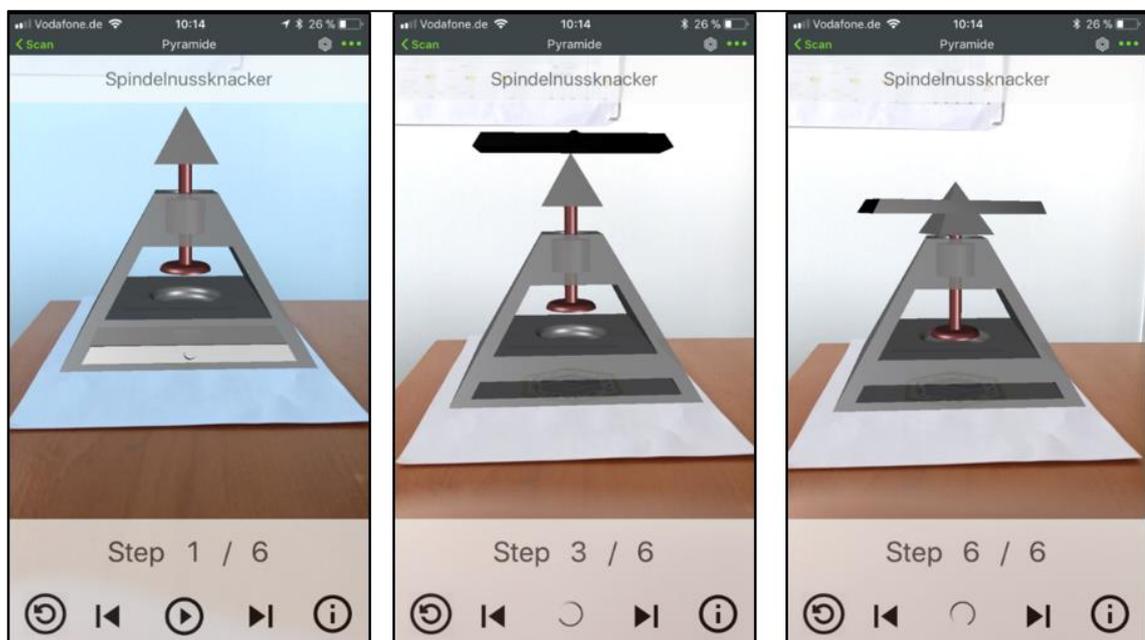
Alternativ kann auch ein Zielobjekt, wie z.B. ein QR Code oder ein Bild, als Referenzobjekt im Raum dienen. Wichtig ist es hierbei, dass die Applikation optisch ansprechend gestaltet ist und sich intuitiv bedienen lässt. Der Begeisterungsfaktor der „User Experience“ steht im Vordergrund und kann die Produktpräsentation nachhaltig bereichern.

Dem Kunden kann damit folgender Mehrwert geboten werden:

- Sofortige dreidimensionale Visualisierung einer individuellen Konfiguration
- Abschätzung der Dimensionen / virtuelle Produktplatzierung
- Darstellung von Animationen und virtuellen Bedienungsanleitungen

#### Fallbeispiel „Pyramidennussknacker“

In diesem Fallbeispiel handelt es sich um die Produktpräsentation mit integrierter Bedienungsanleitung eines Pyramidennussknackers, den ich mit Kommilitonen im Rahmen der Vorlesung „Methodischen Produktentwicklung 2“ bei Professor Meyer-Eschenbach entwickelt habe.



**Abb. 47:** Virtuelle Bedienungsanleitung eines Nussknackers (MPE 2 Projekt)

## Aufruf der augmentierten Bedienungsanleitung

Zum Aufrufen der AR-Applikation auf einem mobilen Endgerät ist die Software „ThingWorx View“ erforderlich; diese lässt sich über alle gängigen App-Stores installieren. Nun muss der Thingmark mit der Kamera eingescannt werden und die „User Experience“ kann beginnen.



**Abb. 48:** Bedienungsanleitung des Pyramidennusknackers

### 5.3 Closed Loop – Nutzen von realen Sensorinformationen

Bei dem neuartigen Konzept des „Closed Loops“ werden reale Sensordaten, von diversen, sich im Einsatz befindenden Produkten am entsprechenden Digitalen Zwilling gesammelt und analysiert.<sup>44</sup> Die CAD-Software ist mit der IoT-Plattform verbunden, so dass diese in Echtzeit auf die gesammelten Daten zugreifen kann.

Der Konstrukteur ist somit in der Lage, einen virtuellen Sensor einzubauen, welcher mit realen Daten verbunden ist. Dabei kann es sich um tausende von Sensordaten, aus sich im Einsatz befindenden Maschinen, handeln. Zu beachten ist hierbei, dass die Produktentwicklung in der Regel bereits an einer Nachfolgeneration arbeitet, wodurch sich die Rahmenbedingungen verändern. Diese Erkenntnisse können insbesondere bei der Dimensionierung und bei der Identifikation von Schwachstellen genutzt werden. Je mehr reale Nutzungsdaten gesammelt werden, desto genauer kann analysiert und dimensioniert werden.

Die Rückspielung von Sensordaten in Echtzeit an das CAD-System kann das Testen von Prototypen revolutionieren. Hierdurch kann sich die Produkteinführungszeit drastisch verkürzen

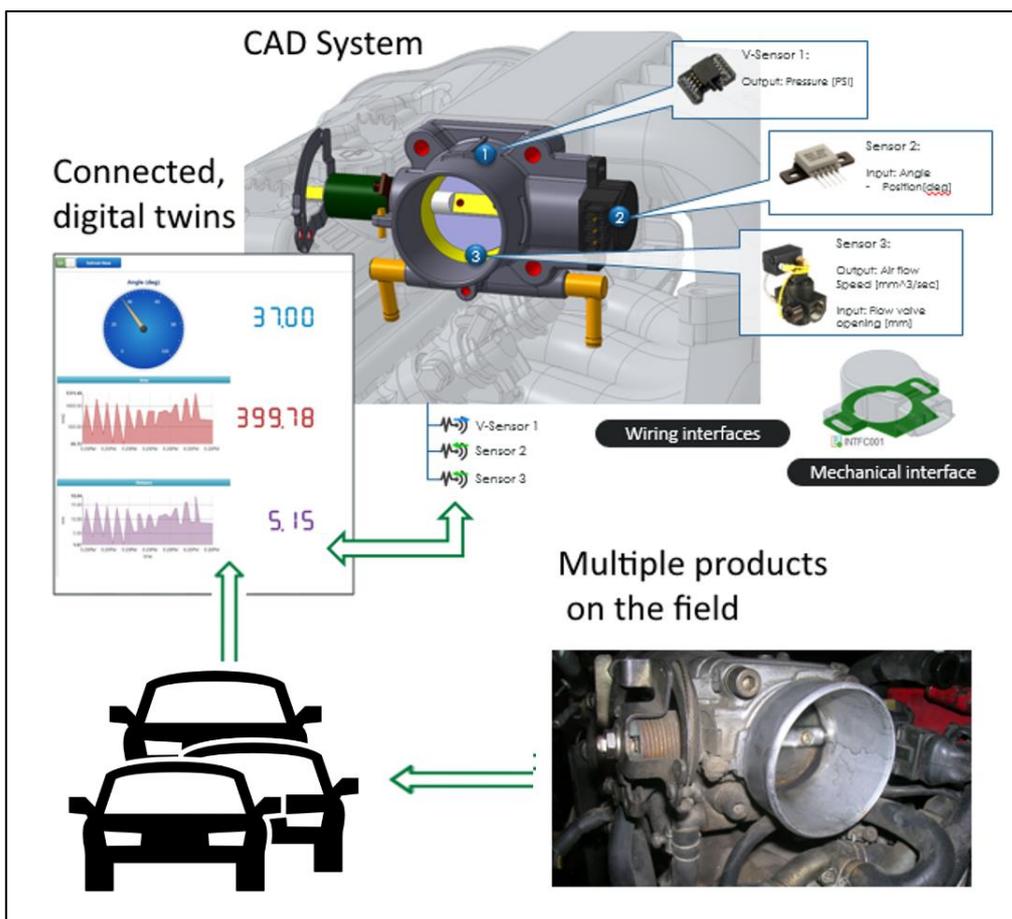


Abb. 49: Closed-Loop-Prinzip (modifizierte PTC Grafik)

<sup>44</sup> Vgl. "Datasheet - Creo Product Insight" (2018) - PTC

## 5.4 KI unterstützte Produktentwicklung

Entscheidend hierfür ist, dass ein KI System Zugang zu sämtlichen Daten im Unternehmen und einer IoT-Plattform hat, um eine große Menge an Informationen zu sammeln. Dieses ist die Grundvoraussetzung dafür, dass die künstliche Intelligenz in der Lage ist, zu lernen. Die KI nutzt einen wachsenden Erfahrungsschatz, welcher dadurch erreicht wird, dass das menschliche Gehirn durch die Nachbildung neuronaler Netze imitiert wird. Somit ist diese in der Lage, für ein konkretes Problem mögliche Lösungsvorschläge zu ermitteln.

Es bietet sich an, dass Mensch und KI per Sprache miteinander kommunizieren. So ein System kann für sämtliche Bereiche als Assistenz dienen und konkrete Lösungsvorschläge herausarbeiten und bewerten.

Folgende Möglichkeiten kann ein KI gestützter Assistent bieten:

- Mustererkennung, frühzeitiges Aufdecken von Konstruktionsfehlern
- Eigenständige Lösung- und Konstruktionsvorschläge liefern
- Beantworten von Fragen, die das Produkt betreffen
- Plausibilitätsprüfungen mit Berücksichtigung von Umwelteinflüssen

### Fallbeispiel

Ein Konstrukteur konzipiert eine Fahrzeugtür für ein global vertriebenes Automobil. Dieser fragt die KI, ob alles korrekt gestaltet worden ist. Die KI antwortet:

*„In Brasilien ist die durchschnittliche Niederschlagsmenge besonders hoch. Die Türdichtung hält diesen Belastungen nicht stand. Bitte konstruiere diese wirksam gegen höhere Wassersäulen“*

Dieses Szenario ist keine Vision mehr, sondern ist beispielweise bereits mit der „IBM Watson KI“ im industriellen Umfeld im Einsatz. Diese war 2011 in der Lage Quizchampions bei der Quizshow „Jeopardy“ zu schlagen.<sup>45</sup>



Abb. 50: IBM Watson bei Jeopardy (TV Ausschnitt)

<sup>45</sup> Vgl. „IBM's Watson computer takes the Jeopardy!“ (2011) – IBM.com

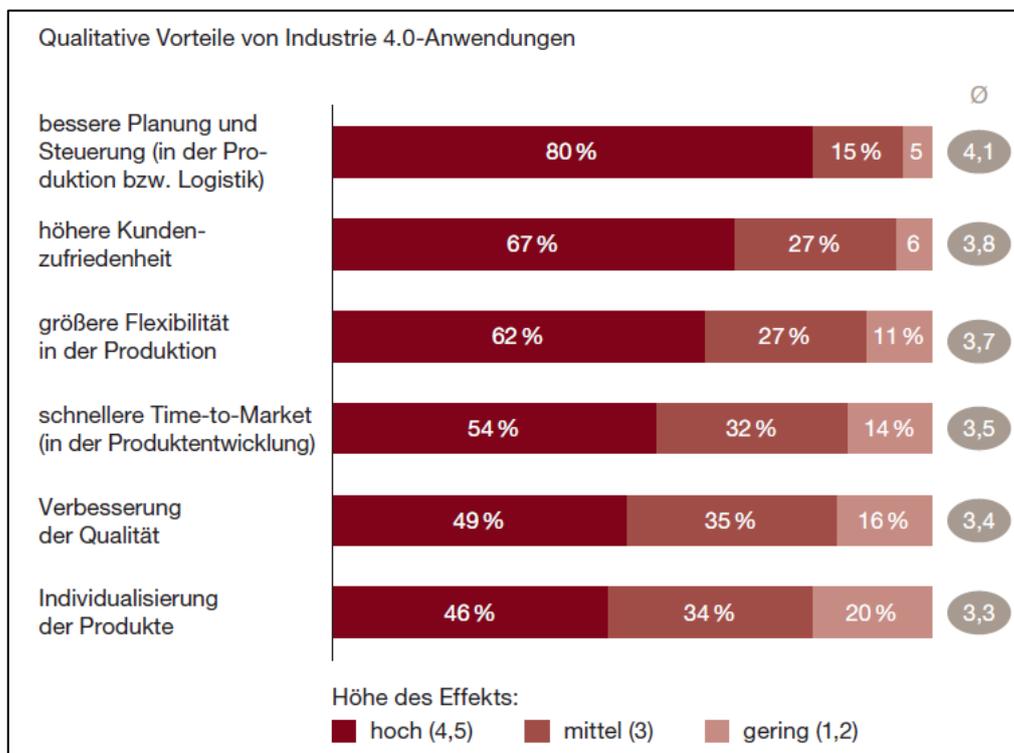
## 6 Wirtschaftliche Analyse

In diesem Kapitel wird der Nutzen einer IoT-Infrastruktur unter wirtschaftlichen Aspekten analysiert und aufgezeigt. Ziel ist es, Entscheidungsträger zu überzeugen, Investitionen in diesem zukunftsrelevanten Themenbereich zu tätigen. Dabei wird gezeigt, dass sich ökonomische mit ökologischen Prinzipien ergänzen lassen.

Es besteht konkreter Handlungs- und Investitionsbedarf für die Wirtschaft, Gesellschaft und Politik. Eine moderne Netzinfrastruktur mit flächendeckendem Breitbandausbau und einem performanten Mobilfunknetz sind Grundvoraussetzungen, damit der Sprung ins vierte industrielle Zeitalter gelingt.

### 6.1 Chancen und Potentiale

Durch den Technologiesprung ergeben sich in allen Unternehmensbereichen entlang der Wertschöpfungskette neue Möglichkeiten. Zum einen steckt enormes Potential in der verbesserten Steuerung von bestehenden, horizontalen und vertikalen Wertschöpfungsketten.<sup>46</sup> Zum anderen besteht die Möglichkeit, völlig neue Prozesse zu integrieren, die durch die Vernetzung erst möglich gemacht werden.<sup>47</sup> Insbesondere die digitale Produktentwicklung kann enorm profitieren und sich den Bedürfnissen des Marktes deutlich schneller anpassen.



**Abb. 51:** Mehrwert von IoT Anwendungen (PwC-Studie)

<sup>46</sup> Vgl. „Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen S.3 – Strategy & PwC

<sup>47</sup> Vgl. „Herausf. von Industrie 4.0 für den Mittelstand“ S.9 (2017) – Christian Schröder

Darüber hinaus sind im Verlaufe dieser Arbeit folgende Potentiale identifiziert worden:

- Abteilungsübergreifende Synchronisierung des Informationsflusses
- Rückmeldung und Analyse realer Nutzungsdaten in Echtzeit
- Neue Marketingmöglichkeiten
- Optimiertes Monitoring
- Maschinelles Lernen aus Big Data / Nutzen der Erkenntnisse
- Optimierter Service und Echtzeit Produktwartung
- Konsolidierung der IT-Landschaften und Business-Systeme
- AR lässt die digitale mit der physischen Welt verschmelzen
- Schonender Umgang mit den bestehenden Ressourcen
- Flexibles Anpassen an Kundenbedürfnisse
- Frühzeitige Fehlervermeidung

Diese Potentiale monetär zu beurteilen, fällt schwer, da manche Vorteile sofort, andere erst mittelfristig, wirksam werden. Manche Effekte sind gut messbar, da sie quantitativer Natur sind, andere sind qualitativer Natur und damit schwer einzustufen. Beispielsweise kann die digitalisierte Struktur, durch frühzeitige Fehlervermeidung, zu einer Null-Fehler-Strategie beitragen. Das Potential ist stark von der jeweiligen Unternehmensstruktur und den Geschäftsfeldern abhängig und sollte im Rahmen eines Pilotprojektes oder einer Machbarkeitsstudie individuell ermittelt werden.

## 6.2 Ökologische Aspekte / Green IT



Abb. 52: Green IoT Philosophie von BlueApp.io

Mit dem zunehmenden Grad der Digitalisierung ergeben sich völlig neue Möglichkeiten, die zu einem nachhaltigen, ökologischen Nutzen beitragen können. Der effiziente Umgang der Ressourcen steht dabei im Vordergrund. Dieses entspricht der Philosophie der „Green IT“, welche auf dem Weg zur Einhaltung der Klimaziele zunehmend an Bedeutung gewinnt.<sup>48</sup>

### **Energieeinsparung**

Durch intelligente, vernetzte und effiziente Systeme kann Energie eingespart werden. Entscheidend hierfür ist, dass der Energieaufwand für die permanente Vernetzung und den Betrieb der IoT-Infrastruktur durch den entstehenden Effizienzgewinn amortisiert wird. Eine Schlüsselrolle spielt hierbei eine optimierte Knotenstruktur, wo Sensoren und Aktoren per Nahfunktechnologie mit einem IoT-Gateway verbunden sind. Energieeffiziente Technologien und Protokolle, wie z.B. der „ZigBee“ Funkstandard im Smart Home Bereich, sind daher optimal dafür geeignet. Kritisch zu betrachten sind Cloud-basierte Big Data Systeme. Diese laufen permanent mit hohen Durchsatzraten und können somit viel Energie verbrauchen.

### **Vermeidung von Redundanzen / Materialeinsparung**

Durch den optimierten, synchronisierten Informationsfluss werden Redundanzen vermieden, welcher frühzeitig Fehlplanungen und Missverständnisse verhindert. Dieses sorgt also passiv dafür, dass die bestehenden menschlichen und materiellen Ressourcen optimal genutzt werden können.

### **Optimierung der Produktentwicklung / Kürzere Produkteinführungszeit**

Unternehmen sind dank einer IoT-Infrastruktur in der Lage, die Produkteinführungszeit zu verkürzen und die Produktentwicklung zu optimieren. Dieses beschleunigt den allgemeinen technischen Fortschritt, insbesondere bei Unternehmen, die nachhaltige Produkte entwickeln.

### **Selbstwartende Maschinen / Langlebigkeit**

Bedingt durch die permanente Überwachung von Maschinen und den Vorteilen, die das maschinelle Lernen mit sich bringt, kann sich die durchschnittliche Lebensdauer eines Produktes erhöhen. Es sind somit auch deutlich weniger Serviceintervalle erforderlich, welches Energie und Materialeinsparung nach sich zieht. Durch präzise Fehlerdiagnosen kann eine unnötige Entsorgung von teilweise defekten Maschinen vermieden werden.

### **Papiereinsparungen**

Durch ein digitales Büro ist es nicht mehr nötig, Dokumente, technische Zeichnungen oder Formulare auszudrucken. Eine virtualisierte Bedienungsanleitung ersetzt das physische Handbuch.

---

<sup>48</sup> Vgl. „Was wurde aus Green IT“ (2015) – T3N.de

### 6.3 Herausforderungen und Investitionshemmnisse

In Verlaufe dieser Arbeit wurden diverse Herausforderungen auf dem Weg der digitalen Transformation identifiziert. Es wurde gezeigt, welch riesiges Potential hinter diesem Technologiesprung steht. Viele, konservativ eingestellte, Unternehmen stehen dem digitalen Wandel skeptisch und zurückhaltend gegenüber.

In der Studie über Chancen und Herausforderungen von PwC <sup>49</sup> wurde ermittelt, dass vielen Unternehmen der wirtschaftliche Nutzen noch unklar ist, oder in keinem Verhältnis zu den Investitionen steht.



**Abb. 53:** Herausforderungen bei der Umsetzung (PwC Studie)

<sup>49</sup> Vgl. „Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen“ S.3 – Strategy & PwC

## 6.4 Lösungsansätze zur Entkräftigung der Bedenken

### Unklarer wirtschaftlicher Nutzen

Im Rahmen dieser Arbeit werden Einsatzgebiete identifiziert, die mittelfristig einen enormen wirtschaftlichen Nutzen bringen. Entscheidend ist, dass jedes Unternehmen sich mit diesem Thema auseinandersetzt, und das individuelle Potential identifiziert. Viele IoT-Anbieter bieten eine kostenlose Probephase an.

### Zu hohe Investitionen

Es wurde gezeigt, wie sich bereits bestehende Systemlandschaften mit geringem Aufwand integrieren lassen. Durch Cloud Computing reduzieren sich die, einmalig zu tätigenden, Investitionen drastisch und verteilen sich auf monatliche Raten. Das „Cost per Order“- oder auch „Business as a Service“-Modell gewinnt zunehmend an Bedeutung; hierbei entstehen nur Kosten, wenn die Dienstleistung auch tatsächlich genutzt wird. Durch Modularität und das Verwenden bestehender Methoden können die Implementierungskosten enorm gesenkt werden. Open Source Lösungen stellen, dank dem Support der wachsenden Community, eine kostenfreie Alternative dar.

### Unzureichende Qualifikation

Durch Cloud Computing lassen sich Ressourcen auslagern, sodass signifikant weniger fachliche Kompetenz und Qualifikation bei dem Aufbau einer digitalen Infrastruktur benötigt wird. Baukastensysteme und einheitliche Standards ermöglichen den rapiden Aufbau von Applikationen. In diesem Bereich droht ein Fachkräftemangel zu entstehen, der durch Investitionen in digitale Bildung ausgeglichen werden muss. Onlinebasierte, kostenlose Schulungsangebote können von Mitarbeitern zur Weiterbildung genutzt werden.

### Fehlende Rechts- und Datensicherheit

In diesem Punkt ist die Politik gefragt; diese muss auf internationaler Ebene für klare Rahmenbedingungen sorgen. Auf Soft- und Hardwareebene gibt es bereits weltweit etablierte Standards, Schnittstellen und Normen. Datensicherheit sollte immer an erster Stelle stehen. Es wird gezeigt, wie sich eine föderative Infrastruktur aufbauen lässt, die allen Sicherheitskonventionen entspricht. Ein IoT-System lässt sich alternativ auch lokal, und damit isoliert von der Außenwelt betreiben.

### Breitbandausbau

Insbesondere Deutschland hinkt beim Breitbandausbau stark hinterher. Hier ist die Politik in Kooperation mit den Telekommunikationsunternehmen gefordert. Ein flächendeckendes, performantes Breitband- und Mobilfunknetz ist die Grundvoraussetzung für die Digitalisierung. In den nächsten Jahrzehnten sollte dieses besser ausgebaut sein.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die vielfältigen Anwendungsbereiche in der industriellen Praxis belegen, was für ein großer Mehrwert durch eine digitale IoT-Infrastruktur ermöglicht werden kann. Durch den gesteigerten Grad der Konnektivität und Digitalisierung ergeben sich, insbesondere im Bereich der Datenanalyse, völlig neue Möglichkeiten. Ich habe dabei besonders auf eine Visualisierung der komplexen Sachverhalte Wert gelegt.

Somit wird belegt, dass eine IoT-Infrastruktur die Schlüsselkomponente ist, um sämtliche Bereiche der Produktentwicklung und der gesamten Wertschöpfungskette eines Unternehmens zu digitalisieren. Dieses ermöglicht einen synchronisierten, strukturierten Informationsfluss, Vermeidung von Redundanzen. Somit werden völlig neue Erkenntnisse aus den gesammelten, analysierten Daten gewonnen, welche sich positiv auf alle Bereiche eines Unternehmens auswirken. Insbesondere die Effizienz und Qualität können signifikant gesteigert werden, wobei sich die Produkteinführungszeit in der digitalisierten Produktentwicklung drastisch reduzieren wird.

Es wird gezeigt wie eine IoT-Infrastruktur aufgebaut ist und wie sich bestehende Maschinen und Systemlandschaften mit verhältnismäßig geringen Mitteln integrieren lassen. Besonders eindrucksvoll demonstriert die Augmented Reality Technologie die Symbiose der digitalen mit der physikalischen Welt. Hierbei werden in der industriellen Praxis völlig neue Anwendungsbereiche erschlossen. Ein spannendes Themenfeld ist künstliche Intelligenz mit permanentem, maschinellem Lernen und vorausschauenden Algorithmen. Es ist durchaus realistisch, dass Konstrukteure von einer künstlichen Intelligenz unterstützt werden können. Der Aufbau einer IoT-Infrastruktur ist somit der Wegbereiter in das vierte industrielle Zeitalter.

Ein besonderer Fokus liegt auf den Herausforderungen in der industriellen Praxis. Mit dieser Arbeit sollen viele Bedenken aufgelöst, und Investitionshemmnisse entkräftet werden, so dass Entscheidungsträger überzeugt werden, massiv zu investieren. Dieses ist ein langjähriger Transformationsprozess, der auf jede Agenda gehört. Entscheidend ist, dass Gesellschaft, Politik und Wirtschaft den Mehrwert erkennen, damit verstärkt der Ausbau der digitalen Infrastruktur gefördert wird. Es müssen optimale Rahmenbedingungen mit einheitlichen Standards geschaffen werden. Dieses ist sowohl unter ökologischen, als auch unter ökonomischen Aspekten eine nachhaltige Investition in die Zukunft für den Produktionsstandort Deutschland und sichert die weltweite Wettbewerbsfähigkeit. Die Nachfrage nach IT-Fachkräften in diesem Bereich wird in den nächsten Jahren massiv ansteigen. Von daher muss nachhaltig in Bildung investiert werden, damit kein Fachkräftemangel entsteht.

Ich hoffe, Ihnen hat das Lesen meiner Arbeit Spaß gemacht. Mir ist dadurch noch bewusster geworden, welche bahnbrechenden Technologien uns im 21. Jahrhundert erwarten. Viele futuristische Visionen stehen bereits in den Startlöchern.

**Timo Scherf**

## IV Literatur- und Quellenverzeichnis

### Referenzen

1

„Industry 4.0: a sneak peek“ (2017) – Aberdeen Essentials

<http://www.aberdeenessentials.com/opspro-essentials/industry-4-0-industrial-iot-manufacturing-sneak-peek/>

2

„Die Produktion der Zukunft“ (2013) – Wing Business - C. Ramsauer

[www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/7521\\_0\\_DieProduktionderZukunft\\_ChristianRamsauer.pdf](http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/7521_0_DieProduktionderZukunft_ChristianRamsauer.pdf)

3

„Petition für ein Digitalministerium“ (2018)

[www.digitalministerium.org](http://www.digitalministerium.org)

4

„Digital Business Transformation by CISCO“ (2017) – CISCO.com

[www.cisco.com/c/dam/global/en\\_au/home/digital\\_business\\_transformation\\_by\\_cisco\\_v13.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/global/en_au/home/digital_business_transformation_by_cisco_v13.pdf)

5

„Chancen und Herausf. der vierten industriellen Revolution“ (2014) – PwC Strategy Guide

<https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf>

6

„Competitive Advantage“ (1985) – Michael Porter

ISBN - 0684841460

7

„PLM for Discrete Manufactures“ S.3 (2017) – Forrester Report – Nick Fleming

[www.ptc.com/en/resources/plm/report/forrester-wave](http://www.ptc.com/en/resources/plm/report/forrester-wave)

8

„PLM auf der Journey zur digitalen technischen Entwicklung“ (2017) – PTC

[www.ptc.com/de/resources/plm/ebook/navigate-transform-product-development](http://www.ptc.com/de/resources/plm/ebook/navigate-transform-product-development)

**9**

„PLM mit PTC Windchill“ (2018) – JKS Engineering

[https://jkse.ch/solutions/chi/neu-mit-cad-plm-loesungen-von-ptc\\_93130.shtml](https://jkse.ch/solutions/chi/neu-mit-cad-plm-loesungen-von-ptc_93130.shtml)

**10**

„IoT – Was ist das eigentlich?“ (2016) – Vodafone Featured Magazin

[www.vodafone.de/business/firmenkunden/loesungen/internet-of-things.html](http://www.vodafone.de/business/firmenkunden/loesungen/internet-of-things.html)

**11**

„Amazon Echo kann jetzt das Licht ausschalten (2017) – ZDNET.DE

[www.zdnet.de/88231094/amazon-echo-kann-jetzt-das-licht-ausschalten/](http://www.zdnet.de/88231094/amazon-echo-kann-jetzt-das-licht-ausschalten/)

**12**

PTC Thingworx (2018) – PTC

[www.ptc.com/en/products/iot](http://www.ptc.com/en/products/iot)

**13**

„Das ist MindSphere – Video“ (2018) – Siemens

[www.siemens.com/global/de/home/produkte/software/mindsphere.html](http://www.siemens.com/global/de/home/produkte/software/mindsphere.html)

**14**

Präsenz auf der Hannovermesse 2017

[www.hannovermesse.de](http://www.hannovermesse.de)

**15**

Homepage (2018) – Open IoT

[www.openiot.eu](http://www.openiot.eu)

**16**

„Foundational Elements of an IoT Solution“ - S.31 (2016) – K. Biron & J. Follett

[www.oreilly.com/iot/free/foundational-elements-of-an-iot-solution.csp](http://www.oreilly.com/iot/free/foundational-elements-of-an-iot-solution.csp)

**17**

„RFID Tracking im industriellen Umfeld“ (2018) – Hellermann Tyton

[www.hellermanntyton.de/kompetenzen/rfid-tracking-industrie](http://www.hellermanntyton.de/kompetenzen/rfid-tracking-industrie)

**18**

„Narrowband IoT – so funktioniert das Maschinennetz“ (2018) – Vodafone Business

[www.vodafone.de/featured/business/narrowband-iot/](http://www.vodafone.de/featured/business/narrowband-iot/)

**19**

„Datasheet KEPServer Ex“ (2018) – Kepware

[www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/documents/kepserverex-datasheet/](http://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/documents/kepserverex-datasheet/)

**20**

„Raspberry Pi“ (2018)

[www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)

**21**

„3 Billion (z. Dt. Milliarden) Devices Running Java“ (2014) – Oracle.com

[www.oracle.com/us/corporate/advertising/115m-java-3b-devices-2283055.pdf](http://www.oracle.com/us/corporate/advertising/115m-java-3b-devices-2283055.pdf)

**22**

„Was ist eine REST API ?“ (2017) – Cloudcomputing Insider

[www.cloudcomputing-insider.de/was-ist-eine-rest-api-a-611116/](http://www.cloudcomputing-insider.de/was-ist-eine-rest-api-a-611116/)

**23**

„Cloud Computing“ (2012)– Mark Bedner – Forum Wirtschaftsecht

[www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-86219-080-5.volltext.frei.pdf](http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-86219-080-5.volltext.frei.pdf)

**24**

„Best Practices zur Absicherung der IT-Infrastruktur“ (2013) – Wolfgang Kandek

[www.security-insider.de/best-practices-zur-absicherung-der-it-infrastruktur-a-399339/](http://www.security-insider.de/best-practices-zur-absicherung-der-it-infrastruktur-a-399339/)

**25**

„Wie ihr Vertrieb von Kundendaten profitiert“ (2014) – Prof. Björn Bloching

[www.vertriebszeitung.de/wie-ihr-vertrieb-von-guten-kundendaten-profitiert/](http://www.vertriebszeitung.de/wie-ihr-vertrieb-von-guten-kundendaten-profitiert/)

**26**

„What is a digital twin?“ (2018) – General Electric

[www.ge.com/digital/predix/digital-twin](http://www.ge.com/digital/predix/digital-twin)

**27**

„IoT-Anwendungsfälle für die Produktentwicklung“ (2017) – NET Blog  
[www.net-online.de/iot-fuer-die-produktentwicklung/](http://www.net-online.de/iot-fuer-die-produktentwicklung/)

**28 & 29**

„IoT & AR – better together“ (2017) – Jim Heppelmann PTC  
[www.youtube.com/watch?v=U55ohh15oSE](http://www.youtube.com/watch?v=U55ohh15oSE)

**30**

„A Manager´s Guide to AR“ – S.5 (2017) – HBR PTC  
[www.hbr.org/2017/11/a-managers-guide-to-augmented-reality](http://www.hbr.org/2017/11/a-managers-guide-to-augmented-reality)

**31**

„Vuforia Engine“ (2018) – Vuforia  
[www.vuforia.com](http://www.vuforia.com)

**32**

„Product Brief – ThingWorx Studio“ (2018) – PTC  
[www.ptc.com/en/resources/iot/product-brief/thingworx-studio](http://www.ptc.com/en/resources/iot/product-brief/thingworx-studio)

**33**

„Wie smarte Produkte Unternehmen verändern“ (2015) S.9 – Jim Heppelmann & Michael Porter  
[www.ptc.com/de/~media/DE/Files/PDFs/IoT/de\\_HBR-How-Smart-Connected-Products-Are-Transforming-Companies2.pdf?la=en](http://www.ptc.com/de/~media/DE/Files/PDFs/IoT/de_HBR-How-Smart-Connected-Products-Are-Transforming-Companies2.pdf?la=en)

**34**

„IoT als Instrument zur sensorischen Datenüberwachung“ S.14 (2017) – Bachelorarbeit Philipp Fischer

**35**

„Definitionen von KI“ -verschiedene Zitate – Informatik Uni Oldenburg  
[www.informatik.uni-oldenburg.de/~iug08/ki/Grundlagen\\_Definitionen.html](http://www.informatik.uni-oldenburg.de/~iug08/ki/Grundlagen_Definitionen.html)

**36**

„Einführung in Maschinelles Lernen zur Datenanalyse“ (2016) S.7 – Prof. Mor. Riedel  
<http://morrisriedel.de/wp-content/uploads/2017/12/2016-10-13-1-Maschinelles-Lernen-Riedel-v1.pdf>

**37**

„Neuronale Netze –Erste Einführung“ S.5 (2016) – Neuronalesnetz.de  
[http://www.neuronalesnetz.de/downloads/neuronalesnetz\\_de.pdf](http://www.neuronalesnetz.de/downloads/neuronalesnetz_de.pdf)

**38**

“Self-Driving Mario Kart” (2017) – Seth Bling – Youtube Kanal  
[www.youtube.com/watch?v=lpi40cb\\_Rsl](http://www.youtube.com/watch?v=lpi40cb_Rsl)

**39**

„AlphaGo Zero: Learning from Scratch“ (2018) – Deepmind Blog  
[www.deepmind.com/blog/alphago-zero-learning-scratch/](http://www.deepmind.com/blog/alphago-zero-learning-scratch/)

**40**

“Connected Hack” (2017) – NET & PTC  
[www.net-online.de/industrie-4-0-connected-hack-einfach-mal-machen-ist-die-devise/](http://www.net-online.de/industrie-4-0-connected-hack-einfach-mal-machen-ist-die-devise/)

**41**

„Data Sheet – Thingworx Asset Advisor“ (2018) – PTC  
[www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/Manufacturing](http://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/Manufacturing)  
[www.tesla.com/de\\_DE/](http://www.tesla.com/de_DE/)

**42**

“Software-Updates -Support” (2018) – TESLA Motors  
[www.tesla.com/de\\_DE/](http://www.tesla.com/de_DE/)

**44**

“Datasheet - Creo Product Insight” (2018) – PTC  
[www.pdsvision.se/wp-content/uploads/2017/12/Datasheet-Creo-Product-Insight-Extension.pdf](http://www.pdsvision.se/wp-content/uploads/2017/12/Datasheet-Creo-Product-Insight-Extension.pdf)

**45**

„ IBM's Watson computer takes the Jeopardy! “ (2011) – IBM.com  
[www.ibm.com/midmarket/us/en/article\\_Smartercomm5\\_1209.html](http://www.ibm.com/midmarket/us/en/article_Smartercomm5_1209.html)

**46 & 49**

„Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen“ S.3 – Strategy & PwC  
[www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf](http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf)

47

„Herausf. von Industrie 4.0 für den Mittelstand“ S.9 (2017) – Christian Schröder  
www. <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12277.pdf>

48

„Was wurde aus Green IT“ (2015) – T3N.de  
<https://t3n.de/news/was-wurde-aus-green-it-612559/>

## Abbildungen

Die Quellen der meisten Abbildungen stimmen mit den Fußnoten auf der jeweiligen Seite überein. Bei der Erstellung von eigenen Abbildungen wurde darauf geachtet, Icons mit Open Source Lizenz zu verwenden. Sollte dieses nicht der Fall sein, liegen die Rechte der verwendeten Icons bei dem jeweiligen Urheber.

### Abb. 2:

Schlagwörter rund um die Industrie 4.0  
[www.stahl-blog.de/index.php/industrie-4-0-stahl-vernetzt/](http://www.stahl-blog.de/index.php/industrie-4-0-stahl-vernetzt/)

### Abb. 5:

Phasen des Produktlebenszyklus  
<http://www.gmwgroup-gmbh.de>

### Abb. 6:

Internet of Things – Ökosystem  
[www.cbronline.com/what-is/what-is-consumer-internet-of-things-4926794/](http://www.cbronline.com/what-is/what-is-consumer-internet-of-things-4926794/)

### Abb. 9:

Wearables im Überblick  
[www.Techcrunch.com](http://www.Techcrunch.com)

### Abb. 14:

TCP / IP Modell Eigendarstellung in Anlehnung an  
[www.superuser.com](http://www.superuser.com)

### Abb. 17:

Arduino mit Netzwerkkarte und WLAN-Modul  
[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) / [www.ladyada.net/learn/arduino/ethfiles.html](http://www.ladyada.net/learn/arduino/ethfiles.html)

**Abb. 19:**

Cloud Computing Komponenten

<http://osaip.com/cloud-training.html>

**Abb. 23:**

AR-App "Pokemon Go" & Playstation VR

[www.nintendo.de](http://www.nintendo.de) / [www.sony.de](http://www.sony.de)

**Abb. 31:**

Deep Learning, nachmodelliertes Gehirn

[www.edureka.co/blog/what-is-deep-learning](http://www.edureka.co/blog/what-is-deep-learning)

**Abb. 32:**

Lernprozess von IBM Watson

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_Xcmh1LQB9I](https://www.youtube.com/watch?v=_Xcmh1LQB9I)

**Abb. 35:**

Alpha Go schlägt einen asiatischen Großmeister

<https://www.youtube.com/watch?v=vFr3K2DORc8>

**Abb. 41:**

Virtuelle IKEA Möbelplatzierung

<http://www.ikea-unternehmensblog.de/article/2017/ikea-place-app>

# V Erklärung zur selbstständ. Bearbeitung



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Scherf

Vorname: Timo

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Nutzen und Potentiale einer IoT-Plattform als Schlüsselkomponente der digitalen Produktentwicklung

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorarbeit ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

15.03.2018

Datum

*J. Scherf*

Unterschrift im Original