



ulm university universität  
**uulm**

Universität Ulm | 89069 Ulm | Germany

**Fakultät für  
Ingenieurwissenschaften,  
Informatik und  
Psychologie**

Institut für Datenbanken  
und Informationssysteme

# Internet of Things – Concepts, Applications and Processes

Masterarbeit an der Universität Ulm

**Vorgelegt von:**

Patrick Hanselmann  
patrick.hanselmann@uni-ulm.de

**Gutachter:**

Prof. Dr. Manfred Reichert  
Prof. Dr. Mischa Seiter

**Betreuer:**

Prof. Dr. Manfred Reichert

2015

Fassung 21. Dezember 2015

© 2015 Patrick Hanselmann

# Abstract

Die Vision des Internet of Things wird in Zukunft von zentraler Bedeutung für das Privatleben und die Wirtschaft werden, da Milliarden vernetzter Objekte miteinander kommunizieren können. Der Einsatz hochmoderner Technologien ermöglicht somit das Entstehen neuer Anwendungen und Einsatzgebiete. Durch den sofortigen Zugriff auf Informationen über die physische Welt und die Objekte erhöhen sich Effizienz und Produktivität, wodurch sich große Chancen für Wirtschaft und Privatleben eröffnen. Die dadurch entstehenden neuen Anforderungen erfordern zudem, dass bestehende Geschäftsprozesse angepasst werden, um das volle Potenzial des Internet of Things ausschöpfen zu können.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Konzept des Internet of Things und schafft ein ganzheitliches Verständnis für die Thematik. Deshalb werden sowohl Technologien und Anwendungsszenarien als auch Prozesse im Zusammenhang mit diesem Thema dargestellt und erläutert. Ziel ist es, im Vergleich zu anderen Arbeiten auf diesem Gebiet, Anforderungen an die Prozessunterstützung und an die Technologie abzuleiten und den Einfluss des Internet of Things auf Prozesse darzustellen. Es wird die Frage geklärt, wie bestehende Prozesse und Prozessmodelle angepasst und verändert werden müssen, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden.

Der Einsatz des Internet of Things ermöglicht es, umfangreiche Echtzeitinformationen in Geschäftsprozessen zu berücksichtigen. Die Folge sind transparentere Prozesse und ein Monitoring der Geschäftsprozesse, wodurch Schwierigkeiten und Ineffizienzen einfacher erkannt sowie Probleme und Informationsasymmetrien innerhalb der Prozesse aufgedeckt werden können.



# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich denjenigen danken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt Prof. Dr. Manfred Reichert, der mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit tatkräftig unterstützt, mir hilfreiches Feedback und Denkanstöße gegeben hat.

Herrn Prof. Dr. Mischa Seiter danke ich für die Übernahme der Begutachtung dieser Arbeit.

Ein großer Dank geht ebenfalls an Anna-Maria Kindler, Daniel Wielsch und Sebastian Kuhner, die diese Arbeit in zahlreichen Stunden Korrektur gelesen haben. Außerdem will ich denjenigen danken, die mir während des Erstellens der Arbeit interessante Tipps und hilfreiche Verbesserungsvorschläge gegeben haben.

Meinen Freunden danke ich für die schöne Studienzeit, die unzähligen gemütlichen Abende und die interessanten Gespräche.

Abschließend möchte ich meinen Eltern, Esther und Rainer Hanselmann, danken, die mir meine bisherige Ausbildung und das Studium, welches ich nun mit dieser Arbeit abschließe, ermöglicht haben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	2
1.2	Beitrag . . . . .	4
1.3	Methodik . . . . .	5
1.4	Aufbau der Arbeit . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1	Internet of Things . . . . .	12
2.2	Begriffe . . . . .	13
2.3	Business Process Modeling Notation . . . . .	16
2.4	Zusammenfassung . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Technologien</b>	<b>19</b>
3.1	Verbindungstypen / Kommunikation . . . . .	19
3.1.1	Barcodes . . . . .	20
3.1.2	RFID . . . . .	20
3.1.3	NFC . . . . .	21
3.1.4	Bluetooth . . . . .	22
3.1.5	Internet Protocol . . . . .	23
3.2	Gerätetypen . . . . .	24
3.2.1	RFID-Transponder Klassifikation . . . . .	25
3.2.2	Smart Object Model . . . . .	26

## *Inhaltsverzeichnis*

3.3	Sensorik . . . . .	28
3.3.1	Sensoren . . . . .	28
3.3.2	Drahtlose Sensornetzwerke . . . . .	32
3.4	Eingebettete Datenverarbeitung . . . . .	34
3.5	Zusammenfassung . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Anforderungsanalyse</b>	<b>37</b>
4.1	Methodik . . . . .	38
4.2	Anforderungen an Prozessunterstützung . . . . .	38
4.2.1	Funktionale Anforderungen . . . . .	39
4.2.2	Nichtfunktionale Anforderungen . . . . .	40
4.3	Anforderungen an Technologien . . . . .	42
4.3.1	Funktionale Anforderungen . . . . .	43
4.3.2	Nichtfunktionale Anforderungen . . . . .	43
4.4	Diskussion . . . . .	45
4.5	Zusammenfassung . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>55</b>
5.1	Smart Home und Smart Building . . . . .	56
5.2	Smart City . . . . .	57
5.3	Smart Industry . . . . .	61
5.4	Smart Health . . . . .	63
5.5	Zusammenfassung . . . . .	64
<b>6</b>	<b>Einfluss des Internet of Things auf Prozesse</b>	<b>67</b>
6.1	Internet of Things im Supply Chain Management . . . . .	68
6.2	Beispielszenarien . . . . .	74
6.2.1	Supply Chain Management . . . . .	75
6.2.2	Smart Health . . . . .	77
6.3	Erweiterung von Prozessmodellen . . . . .	80
6.4	Zusammenfassung . . . . .	85
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>87</b>

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>95</b>
8.1 Zusammenfassung . . . . .	95
8.2 Ausblick . . . . .	97
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>101</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>109</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>111</b>
<b>A Grundlegende BPMN-Modellierungselemente</b>	<b>113</b>



# Abkürzungsverzeichnis

AIDC	Automatic identification and data capture
BPMN	Business Process Model and Notation
CoAP	Constrained Application Protocol
CPS	Cyber-physisches System
CTO	Chief Technology Officer
ERP	Enterprise Resource Planning
GSM	Global System for Mobile Communications
HCR	HealthCare Record
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPsec	Internet Protocol Security
LTE	Long Term Evolution
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NFC	Near Field Communication
RFID	Radio Frequency Identification
SCM	Supply Chain Management
WSBPEL	Web Service Business Execution Language
XML	Extensible Markup Language



# 1

## Einleitung

„Es wird in wenigen Jahrzehnten kaum mehr Industrieprodukte geben,  
in welche die Computer nicht hineingewoben sind.“

---

Karl Steinbuch, Pionier der deutschen Informatik, 1966

## 1.1 Motivation

Das Internet der Dinge (Internet of Things) steht immer noch am Anfang seiner Entwicklung. Jeden Tag werden mehr Maschinen, Container, Häuser, Fahrzeuge und Menschen mit Sensoren ausgerüstet, um ihren Status zu melden, Anweisungen zu erhalten oder selbst Maßnahmen, basierend auf der erhaltenen Information, zu ergreifen. Mit dem Internet of Things (IoT) könnte die Vision von Karl Steinbuch (siehe Zitat) nun tatsächlich Wirklichkeit werden. McKinsey schätzt in einer Studie, dass das Internet of Things im Jahr 2025 insgesamt einen wirtschaftlichen Mehrwert in Höhe von bis zu 11 Billionen Dollar schaffen wird. Dies würde etwa elf Prozent der weltweiten Wirtschaftsleistung entsprechen [1, S. 2].

Das Internet of Things hat somit das Potenzial die Art und Weise, wie wir mit unserer Umgebung interagieren, grundlegend zu verändern. Die Möglichkeit zur elektronischen Überwachung und Kontrolle von Objekten in der physischen Welt ermöglicht automatisierte, datengesteuerte Entscheidungsfindungen zur Optimierung der Leistungsfähigkeit von Systemen und Prozessen, Effizienzsteigerungen von Unternehmen sowie eine Verbesserung der Lebensqualität. Von der Überwachung von Maschinen in Produktionshallen bis hin zur Verfolgung von Produkten auf Schiffen auf hoher See können Sensoren dazu beitragen, dass Unternehmen ihre Vermögenswerte besser und effizienter einsetzen. Auch in privaten Haushalten oder in der Gesundheitsbranche, vor allem bei der Behandlung chronisch Kranker wie beispielsweise, Diabetiker, hat das Internet of Things das Potenzial, Prozesse und Abläufe signifikant zu verändern bzw. zu verbessern.

Das Internet of Things ist in der Lage, die Reichweite der Informationstechnologie durch das Verschmelzen der physischen realen Welt mit der digitalen Welt erheblich zu verändern. Um dies zu erreichen, müssen nicht nur technische und organisatorische Hürden überwunden, sondern vor allem die bestehenden Geschäftsprozesse verändert werden. Insbesondere jene Unternehmen, die die Technologien des Internet of Things zukünftig nutzen wollen, benötigen bessere Instrumente und Methoden, um bisherige Prozesse zu analysieren und diese an das Internet of Things anzupassen.

In einem Umfeld ständigen Wettbewerbes und immer schnelleren Innovationen befinden sich viele Unternehmen in einem dauerhaften Prozess der Veränderungen. Selbst in einem Unternehmen mit einem gewissen Grad an Stabilität müssen betriebliche und technische Abwicklungsprozesse kontinuierlich verbessert und angepasst werden. Daher haben Prozesse im Unternehmen einen hohen Stellenwert. Um aber das volle Potenzial ausschöpfen zu können, müssen die Prozesse an die neuen Möglichkeiten des Internet of Things angepasst werden. Es muss gewährleistet sein, dass die richtigen Objekte zur richtigen Zeit, von den richtigen Personen, in der richtigen Situation genutzt werden. Dazu müssen allen Beteiligten, insbesondere Menschen, Systeme, Maschinen und smarte Objekte koordiniert werden. Durch unzählige Sensoren an Geräten in der Industrie, in Städten, Häusern und Autos entsteht eine riesige Menge an Echtzeit-Daten, die analysiert werden muss. Durch Netzwerke können diese Daten ausgetauscht und Entscheidungen auf Grundlage der Prozesslogik getroffen werden. Jedoch handelt diese Logik nur nach zuvor geplanten Verhaltensregeln. Unvorhergesehene Ausnahmen basierend auf den realen Ereignissen erfordern eine dynamische Prozessadaption. Der Einsatz des Internet of Things erfordert daher flexible Geschäftsprozesse, die in der Lage sind, sich entsprechend den Änderungen, die durch die Prozessausführung oder durch die Eigenschaften der Smart Objects auftreten können, dynamisch anzupassen [2, S. 43 ff.].

Während die einen das Internet of Things nur als einen kurzfristigen Hype bezeichnen, steht die Verbreitung des Internet of Things außer Frage. Es wird geschätzt, dass es heutzutage mehr als fünf Milliarden vernetzte Geräte einschließlich Smartphones und Computern in der ganzen Welt gibt. Im Laufe der nächsten zehn Jahre wird erwartet, dass sich diese Zahl drastisch auf bis zu 25 Milliarden im Jahr 2020 erhöht [3]. Das Internet of Things versucht diese enorme Anzahl an unterschiedlichen Geräten mit Personen und Anwendungen durch Geschäftsprozesse abzustimmen und zu koordinieren. Ziel ist es auch die Lücke, die zwischen den Geschäftsprozessen in der realen Welt und den Informationssystemen in der digitalen Welt existiert, zu schließen.

## 1.2 Beitrag

Hauptziel dieser Arbeit ist es, ein besseres und vor allem ganzheitliches Verständnis für die Thematik des Internet of Things zu schaffen. Aus diesem Grund werden Konzepte, Technologien, Anwendungsszenarien und Prozesse in Zusammenhang mit diesem Thema dargestellt und erläutert. Es wird ein umfassender Überblick über das Internet of Things mit den wichtigsten Komponenten geschaffen.

Um dies erreichen zu können ist es notwendig, das Konzept des Internet of Things darzustellen. Dies geschieht zum einen durch die Betrachtung unterschiedlicher Definitionen des Begriffs des Internet of Things und der Erklärung relevanter Begriffe. Zum anderen werden ergänzend dazu die Technologien, die den Einsatz des Internet of Things überhaupt erst ermöglichen sowie die bekanntesten Anwendungsgebiete des Internet of Things erläutert.

Ein weiteres Ziel besteht darin, Anforderungen an die Prozessunterstützung und an die Technologie abzuleiten. Dadurch wird ein Überblick ermöglicht, über das was bereits getan wurde und das was zukünftig noch erforderlich sein wird, um einen effizienten Einsatz des Internet of Things zu gewährleisten.

Außerdem ist es Ziel der Arbeit herauszufinden, ob das Internet of Things, mit den neuen Technologien die es mit sich bringt, bereits bestehende Prozesse und Prozessmodelle verändert. Anhand des Supply Chain Managements wird diese Frage geklärt und es werden mit Hilfe der Business Process Modeling Notation [4] beispielhafte Prozessmodelle betrachtet und analysiert.

Da das Internet of Things noch nicht all zu lange existiert und noch am Beginn seiner Entwicklung steht, ist es besonders wichtig den Fokus nicht auf einzelne Bereiche zu legen. Vielmehr wird eine in sich geschlossene Übersicht über alle relevanten Themen gegeben. Dementsprechend werden in dieser Arbeit die wichtigsten Komponenten des Internet of Things dargestellt, um ein grundlegendes Verständnis zu verschaffen.

## 1.3 Methodik

Dieser Abschnitt stellt die der Arbeit zugrundeliegende Forschungsmethodik vor. Die durchgeführte Literaturrecherche basiert grundsätzlich auf zwei Methoden: zum einen wurde mit der systematischen Methode gearbeitet, zum anderen wurde die unsystematische Methode (auch Schneeballmethode genannt) angewendet. Dies schließt die Gefahr aus, sich zu einseitig über das Thema zu informieren. Wie eine systematische Literaturrecherche durchgeführt wird, ist in [5, S. 6 f.] beschrieben. Prinzipiell werden die Quellen auf relevante Stichworte durchsucht, um zu letzteren passende Literatur zu erhalten. Eine systematische Literaturrecherche beinhaltet das Erstellen wissenschaftlicher Fragestellungen, das Auswählen relevanter Quellen, das Definieren der Suchbegriffe, die Überwachung der Qualität sowie die Eingrenzung der Literatur mit Hilfe von Einbeziehungs- und Ausschlusskriterien. Sie ist vorteilhaft wenn Autoren und Titel unbekannt sind.

Die der Literaturrecherche zugrunde gelegten Forschungsfragen sind an dieser Stelle aufgeführt:

- **RQ1:** Welche Technologien werden im Internet of Things eingesetzt?
- **RQ2:** Gibt es spezifische Anforderungen des Internet of Things?
- **RQ3:** Welche Anwendungen ermöglicht das Internet of Things?
- **RQ4:** Wie beeinflusst das Internet of Things Prozesse?
- **RQ5:** Welche Veränderungen ergeben sich dadurch für die Prozessmodelle bei der Modellierung und bei der Ausführung?

Nach der Festlegung der Forschungsfragen müssen Quellen ausgewählt werden. Dabei wurden folgende Bibliothekskataloge, Datenbanken und Suchmaschinen benutzt:

- Springer Link
- Google
- Google Scholar
- Science Direct - Elsevier

## 1 Einleitung

- Universitätsbibliothek Stuttgart Hohenheim
- Universitätsbibliothek Stuttgart Vaihingen
- Universitätsbibliothek Ulm
- Landesbibliothek Baden-Württemberg

Durch die Auswahl der obigen Quellen wird ein breites Spektrum an Literatur abgedeckt. Dadurch können zahlreiche Studien mit einer minimalen Anzahl an Bibliothekskatalogen, Datenbanken und Suchmaschinen gefunden werden.

Im Anschluss wurden Suchbegriffe festgelegt, anhand derer die Quellen durchsucht wurden. Folgende Suchbegriffe wurden zu Beginn für die Literaturrecherche benutzt: „Internet of Things“, „Internet of Things requirements“, „Internet of Things technologies“, „Internet of Things processes“, „Internet of Things security“, „Internet of Things applications“ und „Internet der Dinge“. Diese Begriffe wurden im Laufe der Literaturrecherche, je nach Themengebiet, verfeinert und präzisiert.

Zuletzt wurden die so gefunden Werke mit Hilfe von Einbeziehungs- und Ausschlusskriterien eingegrenzt. Die folgenden Ausschlusskriterien wurden definiert:

- Literatur mit einem Veröffentlichungsjahr vor dem Jahr 2000
- Literatur die nicht in Englisch oder Deutsch verfasst ist
- Literatur die nicht elektronisch verfügbar ist
- Literatur die kostenpflichtig ist

Wurde eine dieser Ausschlusskriterien erfüllt, wurde die jeweilige Quelle nicht weiter berücksichtigt.

Um weitere Literatur zu erhalten wurde aufbauend auf der systematischen Literaturrecherche die unsystematische Literaturrecherche eingesetzt. Als Ausgangspunkt der Suche wurden dazu die aus der systematischen Literaturrecherche vorliegenden Quellen nach besonders vielversprechenden Werken durchsucht. Vor allem Literaturverzeichnisse und Fußnotenhinweise gaben hierbei Aufschluss über das Vorhandensein potenzieller weiterer Literaturquellen. Die so gefundenen Quellen wurden ausgewählt

und wiederum deren Literaturverzeichnisse durchsucht. Zwar können auf diese Weise nicht die neuesten Erkenntnisse zu einem Themengebiet gefunden werden, allerdings liefert die unsystematische Literaturrecherche relativ schnell eine Vielzahl geeigneter Literaturquellen. Um aktuelle Literatur zu erhalten wurde wiederum die systematische Literaturrecherche eingesetzt. Hat man durch die systematische Literaturrecherche erst einmal einige aktuelle Veröffentlichungen gefunden, lässt sich anschließend durch die unsystematische Literaturrecherche schnell ein repräsentativer Überblick über den aktuellen Stand der Forschung des Themas gewinnen. Abbildung 1.1 stellt die Vorgehensweise der Literaturrecherche übersichtlich dar.

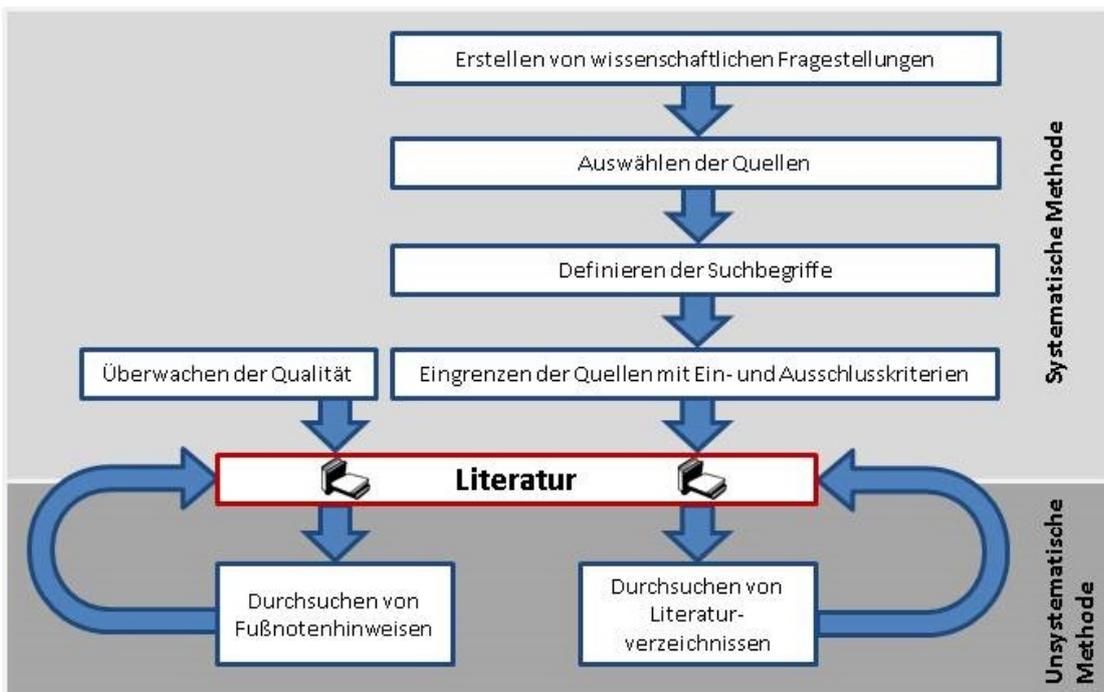


Abbildung 1.1: Methodik der Arbeit

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit ist wie folgt gegliedert (siehe auch Abbildung 1.2):

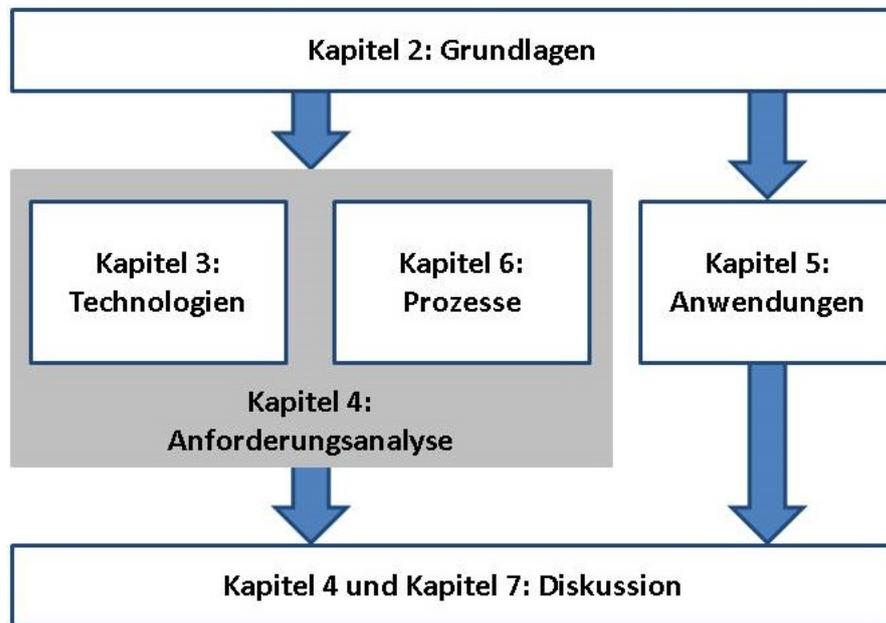


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden die Grundlagen erläutert. Dazu werden in Abschnitt 2.1 unterschiedliche Definitionen des Begriffs des Internet of Things betrachtet, während in Abschnitt 2.2 wichtige Begriffe in jenem Zusammenhang sowie deren Beziehungen untereinander erläutert werden. Da Prozesse für das Internet of Things grundlegend sind, wird in Abschnitt 2.3 die bekannteste Prozessmodellierungssprache BPMN 2.0 vorgestellt.

Kapitel 3 betrachtet das Internet of Things aus technologischer Perspektive und beschreibt die existierenden Geräte- und Verbindungstypen. Dazu beschreibt Abschnitt 3.1 explizit einige Technologien, die im Internet of Things am häufigsten zum Einsatz kommen. In Abschnitt 3.2 werden unterschiedliche Ansätze zur Klassifikation von Geräten vorgestellt. Abschnitt 3.3 und 3.4 beschäftigen sich mit der Sensorik und der eingebetteten Datenverarbeitung.

Kapitel 4 beschreibt Anforderungen, welche das Internet of Things speziell an die Prozessunterstützung und an die Technologien stellt. Dazu werden die Anforderungen in Abschnitt 4.2 und 4.3 erläutert und kategorisiert. In Abschnitt 4.4 wird diskutiert, inwieweit der aktuelle Stand des Internet of Things diesen Anforderungen gerecht wird. Abschließend liefert Abschnitt 4.5 einen Überblick über die Anforderungen.

In Kapitel 5 werden die mit dem Internet of Things am häufigsten in Zusammenhang gebrachten Anwendungsgebiete beschrieben. Dazu zählen neben dem wohl bekanntesten Bereich Smart Home auch die Anwendungsgebiete Smart City, Smart Industry und Smart Health. Diese werden in den einzelnen Abschnitten jeweils erläutert.

Kapitel 6 beschäftigt sich mit dem Einfluss des Internet of Things auf Prozesse. Abschnitt 6.1 beschreibt, inwieweit sich Prozesse im Supply Chain Management durch den Einsatz von Smart Objects verändern. Dies wird im darauf folgenden Teil des Kapitels anhand von Beispielen verdeutlicht. Abschnitt 6.2.1 betrachtet ein Beispiel des Supply Chain Managements, in welchem modernste Technologien zur Güterverfolgung und -überwachung eingesetzt werden. In Abschnitt 6.2.2 wird anhand eines weiteren Beispiels aus dem Gesundheitssektor der Einfluss des Internet of Things aufgezeigt. Abschließend wird in Abschnitt 6.3 veranschaulicht, wie bestehende Prozessmodelle mit Hilfe der abgeleiteten Anforderungen aus Kapitel 4 vereinfacht und übersichtlicher dargestellt werden können.

In den beiden letzten Kapiteln werden die Erkenntnisse der Arbeit diskutiert und zusammengefasst. Kapitel 7 setzt sich mit den Erkenntnissen auseinander und betrachtet diese kritisch. Zudem werden einige Herausforderungen aufgezeigt, die es für das Internet of Things noch zu überwinden gilt. Kapitel 8 fasst die Arbeit sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse abschließend zusammen und gibt einen kurzen Ausblick.



# 2

## Grundlagen

In diesem Abschnitt soll ein allgemeines Verständnis für das Internet of Things entwickelt werden. In Abschnitt 2.1 werden unterschiedliche Definitionen des Begriffs „Internet of Things“ betrachtet, während in Abschnitt 2.2 wichtige Begriffe in jenem Zusammenhang sowie deren Beziehungen untereinander erläutert werden.

Da Prozesse für das Internet of Things grundlegend sind, ist ein Verständnis der Modellierung und Darstellung von Prozessen notwendig. Um zum Beispiel auf Änderungen in der Umgebung von Smart Objects intelligent reagieren zu können, ist eine prozessorientierte Betrachtungsweise erforderlich. Mit der Business Process Modeling Notation ist genau dies möglich. Es können auch moderne komplexe Prozesse modelliert werden, welche sowohl mehrere Teilnehmer einschließen, als auch organisationsintern und -extern koordiniert werden. In Abschnitt 2.3 wird aus diesem Grund die bekannteste und am häufigsten verwendete Prozessmodellierungssprache BPMN 2.0 kurz beschrieben.

## 2.1 Internet of Things

Bei dem Hype, der sich um den Begriff des Internet of Things entwickelt hat, ist es nicht verwunderlich, dass es ebenso viele Versuche einer Begriffsdefinition gibt. In der Literatur lässt sich keine offizielle oder eindeutige Definition finden. Manche Definitionen sind sogar widersprüchlich.

Im Jahre 1966 wies Karl Steinbuch, Pionier der deutschen Informatik und Mitbegründer der künstlichen Intelligenz, als erster vorausschauend darauf hin, welche bedeutende Rolle eingebettete Computer zukünftig spielen werden. Als Erfinder des Begriffs „Internet of Things“ gilt jedoch Kevin Ashton, langjähriger Mitarbeiter des Auto-ID Center am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Im Jahr 2000 beschrieb er das Internet of Things wie folgt: *„A world in which all electronic devices are networked and every object, whether it is physical or electronic, is electronically tagged with information pertinent to that object. We envision the use of physical tags that allow remote, contactless interrogation of their contents; thus, enabling all physical objects to act as nodes in a networked physical world. The realization of our vision will yield a wide range of benefits in diverse areas including supply chain management and inventory control, product tracking and location identification, and human-computer and human-object interfaces“* [6, S. 4].

Anthony Furness, CTO des European Centre of Excellence for AIDC und technischer Leiter von Casagras definiert das Internet of Things als eine globale Netzwerkinfrastruktur, die physische und virtuelle Objekte, Dinge und Geräte eindeutig identifiziert und mit Hilfe von Sensoren (Sensing) sowie automatischer Kommunikation und Interaktion verknüpft. Die zugrunde liegende Infrastruktur der virtuell dargestellten Dinge ist eine Internet-ähnliche Struktur. Dabei entstehende Dienste und Anwendungen sind vor allem durch ein hohes Maß an autonomer Datenerfassung, Ereignisübertragung, Netzwerkverbindungen und Interoperabilität gekennzeichnet [7].

Stephan Haller von SAP Research definiert das Internet of Things hingegen deutlich kürzer und weniger kompliziert: *„A world where physical objects are seamlessly integrated into the information network, and where the physical objects can become active*

*participants in business processes. Services are available to interact with these 'smart objects' over the Internet, query and change their state and any information associated with them, taking into account security and privacy issues“* [8, S. 12].

Im Unterschied zu den obigen Definitionen bezieht Haller auch Aspekte der Datensicherheit und Privatsphäre in seine Definition mit ein. Auch dies stellt einen wichtigen Bestandteil des Internet of Things dar. Bemerkenswert ist außerdem, dass in dieser Definition das Internet of Things nicht als Technologie bezeichnet wird, sondern RFID, Sensornetze, eingebettete Systeme usw. die Basistechnologien darstellen. Diese werden sich im Laufe der Jahre ändern. Das grundlegende Konzept hinter dem Internet of Things hingegen bleibt bestehen [9, S. 15].

Trotz der Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen des Begriffs des Internet of Things, haben sie eines gemeinsam: Die Integration der physischen Welt in die virtuelle Welt des Internets. Außerdem sind sich die meisten Autoren darüber einig, dass das Internet of Things den Zweck verfolgt, eine IT-Infrastruktur bereitzustellen, die den Datenaustausch zwischen den Dingen in einer sicheren und zuverlässigen Weise erleichtert [10, S. 23].

## 2.2 Begriffe

Viel wichtiger aber als eine allgemeingültige Definition zu finden, ist es, ein allgemeines Verständnis für das Internet of Things zu bekommen. Was also sind die „Dinge“ und Geräte im Internet of Things und welche Beziehung haben diese untereinander?

Das Bedürfnis physikalische Objekte bzw. Dinge zu verfolgen, zu überwachen und mit ihnen zu interagieren ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Beispiele für solche Objekte sind Paletten, Container, Konsumgüter, Autos, Maschinen, Kühlschränke und vielleicht sogar die berüchtigte Packung Milch oder der Becher Joghurt. Diese Objekte werden *Entities of Interest* genannt [11, S. 2]. Auch Gebäude, Räume oder Dinge in der Umwelt, wie Flüsse oder Gletscher, können *Entities of Interest* sein. Grundsätzlich kann jedes Objekt, jede Person oder jeder Ort als *Entity of Interest* angesehen werden.

Zur Überwachung und zur Interaktion der Objekte sowie zur Herstellung einer Internetverbindung, sind technische *Geräte* erforderlich. Diese Geräte können an den Objekten

## 2 Grundlagen

direkt angebracht bzw. eingebettet werden — um so Smart Things zu erschaffen — oder sie können in die Umgebung der Objekte, die überwacht werden sollen, installiert werden. Solche Geräte können beispielsweise RFID-Lesegeräte, Sensoren oder eingebaute Computer sein.

Die Geräte die heutzutage am häufigsten mit dem Internet verbunden sind, sind Computer, Laptops, Server, Smartphones oder Tablet-PCs. Ein Objekt im eigentlichen Sinne, wie zum Beispiel eine Palette oder eine Packung Milch, kann dies selbstverständlich nicht. Hier setzt das Konzept des Internet of Things an. Es verbindet eine *Entity of Interest* (z.B. Palette) mit einem Gerät (z.B. RFID-Transponder), sodass sich das Objekt mit dem Internet verbinden kann. M. Swan definiert daher „Dinge“ als *„everyday objects, that are readable, recognizable, locatable, addressable, and controllable via the Internet - whether via RFID, wireless LAN, wide-area network, or other means“* [12, S. 218].

Diese Definition ist sehr offen formuliert und spezifiziert nicht, ob ein „Ding“ in der Lage sein muss, auch Daten senden oder empfangen zu können. Sie schließt daher ein sehr breites Spektrum von solchen „Dingen“ mit ein. Insbesondere Alltagsgegenstände die zuvor nicht elektronisch waren, können mit Hilfe von eingebetteten Sensoren und Mikroprozessoren online sein, um so miteinander und mit dem Internet zu kommunizieren. Allerdings ist diese Definition zu allgemein. Ansonsten würde plötzlich jeder Gegenstand mit angeheftetem RFID-Transponder zu einem „Ding“ werden, etwa wäre eine Packung Milch mit angeheftetem RFID-Chip ein „Ding“.

López et al. schränken die Definition von oben dabei folgendermaßen ein: *„A smart object is any object or product that is – by way of embedded technologies – aware of its environment and state, and it may have the ability to make its own decisions about itself and its uses, communicate state information, and achieve actuation under its own control“* [13, S. 285].

Um ein „Ding“ im Sinne des Internet of Things darzustellen, genügt es also nicht, nur lesbar, erkennbar, lokalisierbar und ansprechbar zu sein. Es reicht nicht aus, Daten nur zu speichern. Auch muss eine Verarbeitung der Daten stattfinden, um dynamisch auf Änderungen reagieren zu können. Außerdem sollte ein „Ding“ in der Lage sein,

sich autonom zu verhalten. Dementsprechend muss es mit Software ausgestattet sein, sodass es ohne menschlichen Eingriff autonom im Internet agieren kann. Dies setzt wiederum voraus, dass es dem „Ding“ möglich ist, auf das Internet zuzugreifen. Somit benötigt es einen Zugang zum Internet. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, so spricht man von einem „Ding“ im Sinne des Internet of Things, oft auch von einem *Smart Object*.

Der Vollständigkeit halber ist an dieser Stelle ein weiterer Ansatz zu erwähnen, welchem keine allzu große Beachtung geschenkt werden sollte. Dieser betrachtet nur die Geräte selbst als Dinge. Ein solcher Ansatz scheint allerdings begrenzt, da Unternehmen und Verbraucher mehr an den physischen Objekten interessiert sind und nicht an irgendwelchen technischen Geräten, die lediglich für die Überwachung und Kommunikation benötigt werden [14, S. 1].

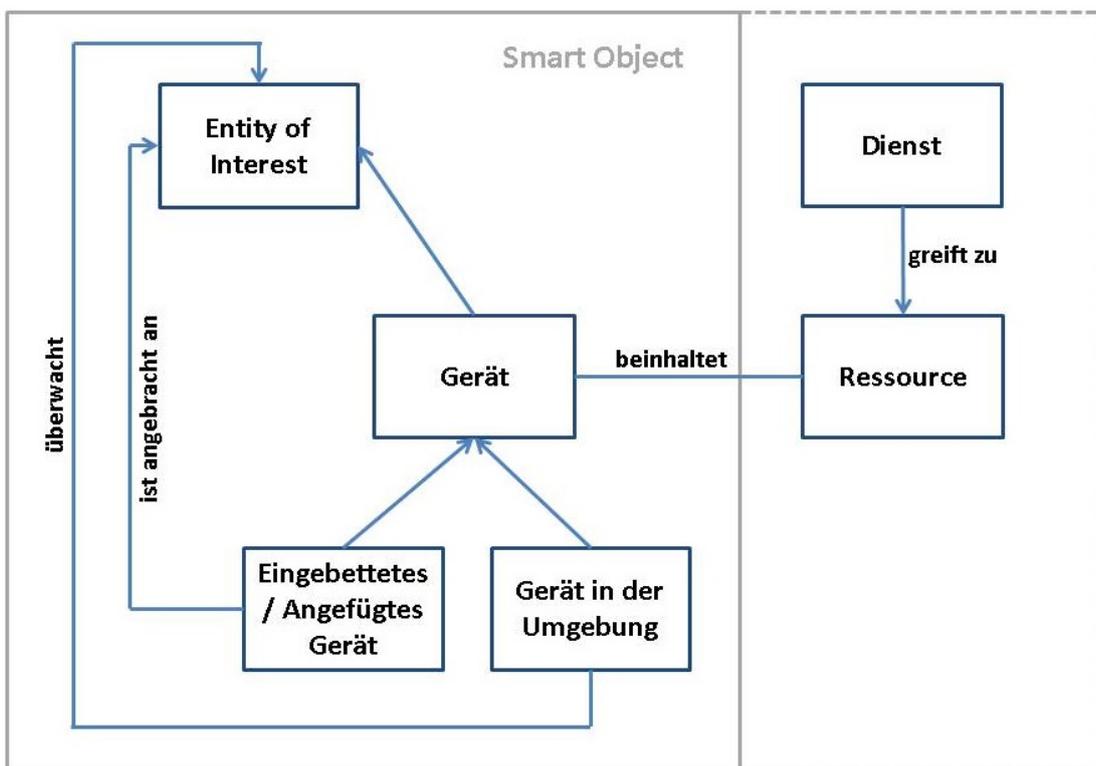


Abbildung 2.1: Beziehung zwischen den Entities of Interest, Geräten, Ressourcen und Services (in Anlehnung an [14])

In der Regel binden die Geräte *Ressourcen* mit ein. Ressourcen bezeichnen Rechenelemente, die die technische Verbindung zu den *Entities of Interest* bereitstellen. Sie bieten beispielsweise Informationen über das Objekt, wie eine Objektbezeichnung. *Dienste* ermöglichen letztlich den Zugang von der Außenwelt auf die Ressourcen. Die Beziehung der soeben erwähnten Begriffe wird durch Abbildung 2.1 illustriert. Eine *Entity of Interest* bzw. mehrere *Entities of Interest* werden von einem Gerät in der Umgebung überwacht. Auch kann ein Gerät direkt am Objekt angebracht werden oder eingebettet sein, welches dieses dann überwacht. Damit stellt dieses das Smart Object („Ding“) im Konzept des Internet of Things dar. Das Gerät wiederum fungiert als Schnittstelle und bindet eine oder mehrere Ressourcen mit ein, auf die durch Dienste von außen zugegriffen werden kann.

### 2.3 Business Process Modeling Notation

Die *Business Process Modeling Notation* (BPMN) ist eine grafische Spezifikationsprache für die Modellierung und Dokumentation von Geschäftsprozessen und wurde von der Business Process Management Initiative (BPMI) entwickelt. Zunächst war es Ziel, eine grafische Notation zur Darstellung von Prozessbeschreibungen der Business Process Modelling Language (BPML) bereitzustellen. Im Jahr 2004 wurde die erste BPMN-Spezifikation von Stephen White von IBM veröffentlicht. Zwei Jahre später wurde BPMN offiziell durch die Object Management Group (OMG) als Standard verabschiedet. Seitdem wurde BPMN auch für Unternehmen interessant [15, S. 10]. Bis zum Jahr 2011 galt die Version 1.2 als Standard. Diese wurde abgelöst durch die auch heute noch aktuelle Version 2.0, welche die vorangehende Darstellung um einige Aspekte erweitert [16].

Mit BPMN werden hauptsächlich sogenannte Business Process Diagramme erstellt. Dieser Begriff wird allerdings nicht oft benutzt. Häufiger wird die Bezeichnung Prozessdiagramm oder BPMN-Diagramm verwendet. Zusätzlich dazu gibt es Kollaborationsdiagramme, Choreographiediagramme oder Konversationsdiagramme [4, S. 24 ff.]. Diese werden in dieser Arbeit aber nicht weiter vorgestellt. Prozessdiagramme die mit BPMN

2.0 erstellt werden, bestehen grundsätzlich aus grundlegenden Modellierungselementen und erweiterbaren Modellierungselementen. Tabelle A.1 im Anhang A zeigt die grundlegenden BPMN-Modellierungselemente. Eine detaillierte BPMN-Übersicht findet sich in [4]. Die grundlegenden Modellierungselemente können in fünf Kategorien eingeordnet werden [4, S. 27 f.]:

**Fluss-Objekte** (Flow Objects) stellen Knoten in den Geschäftsprozessdiagrammen dar. Sie sind die Hauptgrafikelemente und definieren das Verhalten des Geschäftsprozesses. Sie unterteilen sich in Entscheidungspunkte (Gateways), Aktivitäten (Activities) und Ereignisse (Events).

**Daten** (Data) repräsentieren Dateien oder Dokumente und ihnen werden Aufgaben oder Ereignisse über eine Assoziation zugeordnet. Daten können in Form von Datenobjekten (Data Objects), Dateneingabe (Data Input), Datenausgabe (Data Output) oder als Datenspeicher (Data Stores) in Geschäftsprozessdiagrammen erscheinen.

**Verbindende Objekte** (Connecting Objects) sind Konnektoren (Kanten) zwischen Fluss-Objekten oder anderen Informationen in den Geschäftsprozessdiagrammen. Sie unterteilen sich in Sequenzflüsse (Sequence Flows), Nachrichtenflüsse (Message Flows) und Assoziationen (Associations).

**Teilnehmer** (Pools und Lanes) werden durch Pools dargestellt und gruppiert. Dabei kann ein Pool durch Lanes weiter unterteilt werden. Innerhalb der Lanes werden die Aktivitäten einer Einheit abgebildet.

**Artefakte** (Artifacts) liefern zusätzliche Informationen die im Zusammenhang mit dem zu modellierenden Prozess stehen. Dazu gehören Anmerkungen (Annotations) und Gruppierungen (Groups).

BPMN richtet sich zum einen an die Anwender bzw. Designer. Diese sollen in der Lage sein, die Prozessdiagramme zu erstellen und auszuwerten. Zum anderen richtet sich BPMN an die Entwickler bzw. Implementierer, die diese Diagramme in eine konkrete Implementierung übertragen sollen. Auf diese Weise soll die Lücke, die zwischen Design und Implementierung von Geschäftsprozessen besteht, überwunden werden. Außerdem soll mit BPMN sichergestellt werden, dass die Prozessmodelle derart modelliert werden,

## 2 Grundlagen

sodass sie über die Transformation in die Web Services Business Process Execution Language (WSPBEL) ausgeführt werden können, bzw. die XML Sprachen in einer anschaulichen Weise dargestellt werden können [4, S. 1].

BPMN stellt derzeit einen viel versprechenden Ansatz dar, der auch von Herstellerseite breite Unterstützung erfährt. Mittlerweile gibt es mehrere große IT-Unternehmen, wie zum Beispiel SAP, die den neuen BPMN 2.0 Standard unterstützen [17, S. 1].

### 2.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden unterschiedliche Definitionen des Internet of Things mit dem Schluss betrachtet, dass das Internet of Things die physischen Welt in die virtuelle Welt des Internets integriert, eine IT-Infrastruktur bereitstellt und den Datenaustausch zwischen den unterschiedlichen Objekten erleichtert. Außerdem wurde der Begriff des Smart Objects eingeführt und die Beziehungen zwischen *Entity of Interest*, Gerät, Resource und Dienst erläutert. Zum Verständnis der Prozessmodellierung- und darstellung wurde abschließend die Prozessmodellierungssprache Business Process Modeling Notation vorgestellt.

# 3

## Technologien

Um das Konzept des Internet of Things aus der technologischen Perspektive näher zu beleuchten, setzt sich dieses Kapitel mit existierenden Geräte- und Verbindungstypen auseinander. In Abschnitt 3.1 werden die wichtigsten Technologien für das Internet of Things vorgestellt. Abschnitt 3.2 beschreibt unterschiedliche Ansätze zur Klassifikation von Geräten. Die Abschnitte 3.3 und 3.4 beschäftigen sich schließlich mit Sensorik und eingebetteter Datenverarbeitung.

### **3.1 Verbindungstypen / Kommunikation**

Das Internet of Things ermöglicht es den Nutzern, physische Objekte mit dem Internet zu verbinden. Um dies zu gewährleisten, sind unterschiedliche Technologien wie NFC, RFID oder Barcodes notwendig. Sie erlauben es physische Objekte zu identifizieren

### 3 Technologien

und sie mit dem Internet zu verbinden. Im folgenden Abschnitt werden die bekanntesten Technologien vorgestellt.

#### 3.1.1 Barcodes

Barcodes stellen eine Technologie zur elektronischen Kennzeichnung von Produkten dar. Ein auf dem Produkt angebrachter Barcode (Strichcode mit hinterlegten Informationen, die einem Produkt zugewiesen sind) wird dabei optisch durch ein Barcode-Lesegerät erkannt, um so das jeweilige Produkt zu identifizieren. Das Lesegerät erkennt den aufgedruckten Strichcode und liefert die erfassten Daten an das Informationssystem weiter, dass dann beispielsweise den Produktzustand aktualisiert. Aufgrund geringer Komplexität und geringen Entwicklungs- und Betriebskosten eignen sich Barcodes hervorragend zum Identifizieren von Objekten im Internet of Things [18, S.658]. Da immer eine optische Verbindung zwischen Barcode und Lesegerät bestehen muss, ist ihr Einsatzgebiet allerdings beschränkt. Es ist zum Beispiel nicht möglich, ein Objekt in einem geschlossenen Container zu erfassen. Barcodes werden daher hauptsächlich bei logistischen Prozessen beim Be- und Entladen von Containern eingesetzt.

#### 3.1.2 RFID

Die RFID-Technologie (engl. radio-frequency identification) ermöglicht das automatische und berührungslose Identifizieren von Objekten. Typischerweise besteht ein RFID-Transponder aus einem Mikrochip und einer Kopplungseinheit (Antenne oder Spule) [19, S. 2]. Der Mikrochip dient als elektronischer Datenspeicher, um Informationen wie eine Seriennummer zu speichern. Die Kopplungseinheit ermöglicht das Auslesen der Informationen über mehrere Meter Distanz mittels drahtloser Kommunikation durch ein Lesegerät. Um den Mikrochip zu betreiben und um Daten zum Lesegerät zu senden wird Energie benötigt. Dabei unterscheidet man drei Arten von RFID-Transpondern [19, S. 2]:

**Aktive RFID-Transponder** besitzen für den Betrieb des Mikrochips und zum Senden der Daten eine eigene Stromversorgung.

**Semi-aktive RFID-Transponder** haben eine interne Stromversorgung, mit der sie den Mikrochip mit Energie versorgen. Die erforderliche Energie zum Senden der Daten beziehen sie extern über die Radiowellen des Lesegerätes.

**Passive RFID-Transponder** benutzen sowohl zum Betreiben des Mikrochips, als auch zum Senden der Daten die Energie (Radiowellen) des Lesegerätes.

Neben der Stromversorgung unterscheiden sich aktive, semi-aktive und passive RFID-Transponder in ihrer Reichweite. Die maximale Reichweite für passive Systeme beträgt 5–7 Meter, für semi-aktive Systeme bis zu 15 Meter und für aktive Systeme bis zu 100 Meter [20, S. 78].

Im Gegensatz zu Barcodes ist somit eine deutlich höhere Lesereichweite möglich und es können Informationen auf einem RFID-Transponder mit Datenspeicher auch während des Einsatzes flexibel verändert werden. Da zwischen RFID-Transpondern und Lesegeräten keine Sichtverbindung nötig ist, können mehrere RFID-Transponder vollautomatisch und gleichzeitig erkannt werden. Dies erlaubt es auch, RFID-Transponder in Objekte einzubetten, ohne dass sie äußerlich sichtbar sind. Geschützt, etwa durch eine Verpackung, kann die RFID-Technologie auch bei extremen Bedingungen wie hohen Temperaturen oder Schmutz eingesetzt werden. Dies spielt vor allem in der Industrie eine bedeutende Rolle. Neben der Industrie wird die RFID-Technologie in nahezu allen Lebensbereichen eingesetzt. RFID-Transponder sind beispielsweise in Skipässen oder Reisepässen integriert und dienen der Zugangskontrolle. Sie sind in Schlüsselanhängern eingebaut, dienen der Wegfahrsperrung, dem Öffnen von Türen oder der Identifikation von Tieren, indem sie in kleinen Glasröhrchen unter die Haut des Tieres injiziert werden.

#### 3.1.3 NFC

Die NFC-Technologie (engl. Near Field Communication) basiert auf der RFID-Technologie und dient dem kontaktlosen Austausch von Daten per Funktechnik über kurze Strecken von wenigen Zentimetern. Im Unterschied zur RFID-Technologie besitzt NFC ein spezielles Kopplungsverfahren, das auf einen gesonderten Frequenzbereich genormt ist. Während RFID nur einen Betriebsmodus hat, besitzt NFC noch zwei weitere Modi [21].

### 3 Technologien

Im ersten Modus kann ein NFC-Kartenleser ein sogenanntes Smart-Tag lesen. Der Abstand zwischen Smart-Tag und Kartenleser muss dabei so gering sein (wenige Zentimeter), dass sie eine Verbindung aufbauen können. Smart Tags sind ähnlich wie RFID-Tags, können aber nur von einem NFC-Lesegerät erkannt werden. So enthalten Filmplakate, politische Flyer oder Sehenswürdigkeiten in Städten Smart-Tags. Hält man etwa ein Smartphone (mit NFC-Technologie) mit nur wenigen Zentimetern Abstand an das Smart-Tag, so werden zusätzliche Informationen bereitgestellt. Ein weiterer Betriebsmodus ist die Card-Emulation für kontaktloses Bezahlen. Elektronische Bezahlssysteme wie beispielsweise Google-Wallet funktionieren über diesen Modus. Smartphones können dadurch Kredit-, Bank- oder Zugangskarten ersetzen. Der letzte Betriebsmodus ist der sogenannte Peer-to-Peer-Betrieb, bei welchem zwei Geräte Daten austauschen können. Hält man zwei Geräte nur wenige Zentimeter voneinander entfernt, so können beispielsweise Bilder oder Kontaktdaten zwischen Smartphones ausgetauscht werden. Die NFC-Technologie stellt somit eine rückwärtskompatible Spezialisierung der RFID-Technologie dar, die sich auf kurze Strecken und sichere Datenübertragung spezialisiert hat [22, S. 381].

#### 3.1.4 Bluetooth

Bei Bluetooth handelt es sich um einen kabellosen, genormten Standard für die Datenübertragung über kurze Distanz per Funktechnik. Dabei lassen sich die unterschiedlichsten Daten zwischen verschiedenen Geräten, die zwischen 10 und 100 Meter voneinander entfernt sind, verschicken. Es spielt keine Rolle, ob die Geräte stationär oder mobil sind. Außerdem können mit Bluetooth mehrere Geräte gleichzeitig miteinander verbunden werden. Damit diese sich gegenseitig eindeutig erkennen und andere Funkverbindungen nicht stören, besitzt jedes einzelne Gerät eine eindeutige Seriennummer. Des Weiteren benötigt jedes Gerät einen Mikrochip samt Sende- und Empfangseinheit und die passende Software, die den Datentransfer steuert [23].

Seit 2014 existiert die neuste Version von Bluetooth – Bluetooth 4.2. Der größte Vorteil liegt im signifikant geringeren Stromverbrauch beim Einsatz und in der übertragbaren Paketgröße, die um den Faktor zehn erhöht wurde [24]. Auch im Vergleich zur

NFC-Technologie hat Bluetooth 4.2 einen deutlich geringeren Stromverbrauch und die Daten lassen sich auch über größere Distanzen (max. 100 m) zwischen den Geräten versenden.

Bluetooth wird häufig eingesetzt, um etwa drahtlosen Kontakt zu Headsets, Kopfhörern, Lautsprecher oder Druckern herzustellen. In Autos wird Bluetooth zur Verbindung von Smartphones mit der Freisprechanlage verwendet.

#### 3.1.5 Internet Protocol

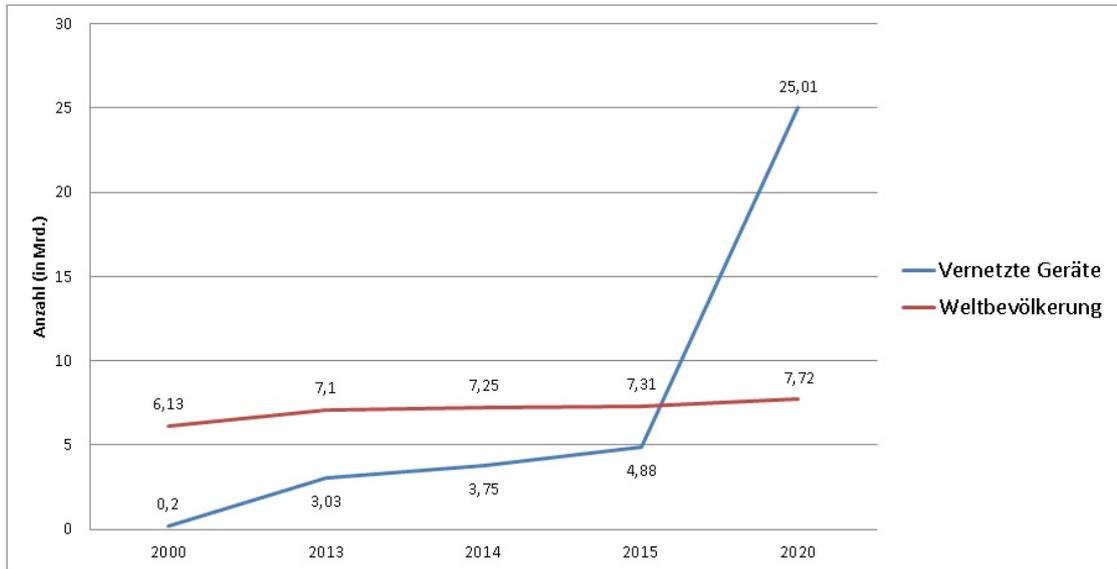
Das Internet Protocol (deutsch Internetprotokoll) stellt die Grundlage des Internets dar und ist somit eine wichtige Komponente im Internet of Things. Die Aufgabe des Internet Protocols besteht darin, Datenpakete von einem Sender über Netzwerke hinweg zu einem Empfänger zu transportieren. Damit alle Datenpakete an den richtigen Empfänger geschickt werden, haben alle Stationen und Endgeräte eine eigene eindeutige Adresse im Netzwerk. Sie dient zum einen zur Identifikation des Netzwerkes, zum anderen der Identifikation des Endgerätes. Das derzeit am häufigsten verwendete Internetprotokoll stellt das Internet Protocol Version 4 (IPv4) dar. IPv4 benutzt 32-Bit-Adressen, um Geräte zu identifizieren, wodurch in einem Netz maximal  $2^{32}$  (= 4.294.967.296) eindeutige Adressen vergeben werden können [25].

Laut einer Studie von Gartner [3] wird sich der Markt aller weltweit über das Internet vernetzten Geräte in den kommenden Jahren rasant entwickeln. So werden 2015 fast fünf Milliarden Objekte miteinander vernetzt sein. Dies sind im Vergleich zum Vorjahr knapp 30 Prozent mehr. Bis 2020 soll sich die Zahl der vernetzten Geräte sogar auf 25 Milliarden verfünffachen. In Abbildung 3.1 ist die Entwicklung der vernetzten Geräte im Vergleich zur Weltbevölkerung dargestellt.

Aufgrund des starken Wachstums werden die IPv4-Adressen bald erschöpft sein. Dieses Problem wird momentan noch durch globale Router gelöst. Dabei besitzt der Router eine eindeutige globale IP-Adresse. Die Geräte die mit dem Router verbunden sind hingegen nicht.

### 3 Technologien

Sie werden durch den Router sozusagen verwaltet und sind dadurch in der Lage, ebenso mit dem Internet zu kommunizieren, als hätten sie eine eigene globale IP-Adresse.



**Abbildung 3.1: Entwicklung der Anzahl an vernetzten Geräten im Vergleich zur Weltbevölkerung**

Eine dauerhafte Abhilfe hingegen verschafft der Nachfolger Internet Protocol Version 6 (IPv6), welcher derzeit immer häufiger verwendet wird. IPv6 benutzt 128-Bit-Adressen, wodurch sich der Adressraum auf  $2^{128}$  ( $= 3,4 \cdot 10^{38} \approx 340$  Sextillionen) Adressen erhöht [26]. Dies sind genügend, um auch in Zukunft eine eindeutige Identifikation für jedes Gerät zu ermöglichen. Bis allerdings der Umstieg auf IPv6 erfolgt, wird es noch einige Zeit dauern. Aus diesem Grund werden beide Protokolle vermutlich für eine längere Zeit nebeneinander existieren.

### 3.2 Gerätetypen

Damit ein besseres Verständnis für die unterschiedlichen Gerätetypen entwickelt werden kann, muss man diese unterscheiden können. Zu diesem Zweck werden sie im Folgenden anhand unterschiedlicher Klassifizierungen eingestuft. Obwohl eine allge-

meingültige Taxonomie zur Einordnung der verschiedenen Geräte noch aussteht, gibt es einige sinnvolle Ansätze für die Klassifikation von Geräten.

### 3.2.1 RFID-Transponder Klassifikation

In [27, S. 8] hat EPCglobal RFID-Transponder klassifiziert. Ziel war es, das Design, die Entwicklung und somit die Nutzung zu verbessern. Die Klassifikation [13, S. 283] definiert die folgenden fünf Klassen:

In der **ersten Klasse** sind passive Transponder mit minimaler Funktionalität (Schreib- / Lesespeicher, eindeutiger Identitätscode) enthalten.

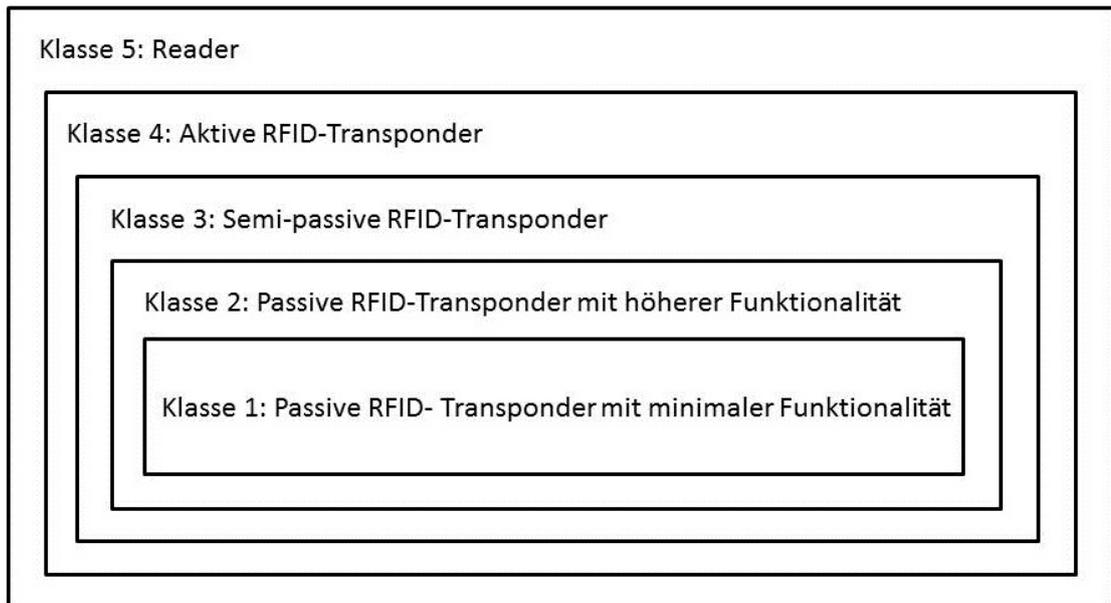
Die **zweite Klasse** stellt passive Transponder mit zusätzlichen Funktionen dar, wie etwa erweiterte Sicherheitsfunktionen.

Die **dritte Klasse** enthält semi-passive Transponder mit internen Batterien zur Gewährleistung ihrer Stromversorgung und Verbesserung ihrer Lesereichweite im Vergleich zu Klasse 1- und Klasse 2-Transpondern.

Die **vierte Klasse** spiegelt aktive Transponder mit Batterien wider, die für den Betrieb des Transponders zuständig sind. Es können weitere Funktionen wie zum Beispiel Manipulationserkennung oder Sensoren integriert werden. Außerdem können sie auch direkt mit anderen Klasse 4-Transpondern kommunizieren.

Die **fünfte Klasse** enthält sogenannte Reader, die genug Energie haben, um andere Transponder zu aktivieren. Sie sind in der Regel mit Back-End-Netzwerken verbunden.

Die RFID-Transponder-Klassifikation unterscheidet Transponder zum einen anhand ihrer Ausstattung bzw. Funktionen. Zum anderen werden sie anhand ihrer integrierten smarten Technologien wie verfügbarer Anwendungsspeicher, Sensoren oder Art der Stromversorgung differenziert. Dabei werden die Funktionen der unteren Klassen an die oberen Klassen vererbt. Dies bedeutet beispielsweise, dass alle Klasse 3-Transponder die Funktionen der Transponder aus Klasse 1 und Klasse 2 besitzen. Dies veranschaulicht Abbildung 3.2.



**Abbildung 3.2: RFID-Transponder Klassifikation (in Anlehnung an [13, S. 283])**

Diese Klassifikation beschränkt sich allerdings nur auf die RFID-Transponder und bezieht keine anderen Geräte mit ein. Außerdem ist sie relativ unflexibel, da sie die Klassen anhand ihres Funktionsumfangs strikt hierarchisch unterscheidet und somit keine anderen Kombinationen der einzelnen Klassen zulässt.

#### **3.2.2 Smart Object Model**

Einen weiteren Versuch zur Klassifikation von Geräten, stellt das sogenannte *Smart Object Model* von Sánchez López et al. [13, S. 285 ff.] dar. Dieses bezieht sich nicht auf eine bestimmte Gruppe von Smart Objects (wie der obige Ansatz der RFID-Transponder-Klassifikation), sondern schließt alle Smart Objects mit ein. Außerdem geht das Modell von keiner strikten hierarchischen Trennung der einzelnen Klassifikationsstufen aus. Dies stellt bei der Klassifikation eine Herausforderung dar, denn im Gegensatz zur RFID-Transponder-Klassifikation werden Funktionen der Geräte beim Smart Object Model nicht implizit aus den unteren Klassen vererbt.

Die Klassifikation beim Smart Object Model erfolgt mit einem Buchstabencode anhand der wesentlichen (Haupt-) Funktionen der Smart Objects. Dazu gibt es die folgenden Klassifikationsstufen:

Smart Objects der **Kategorie I (Identity)** sind Objekte, die eine eindeutige Identität besitzen und / oder die Möglichkeit bieten, Daten von bzw. über sich selbst zu speichern.

Smart Objects der **Kategorie S (Sensing)** sind in der Lage, ihr Umfeld zu erfassen und relevante physische Informationen bereitzustellen.

Smart Objects der **Kategorie A (Actuation)** können Befehle an andere Geräte senden, müssen aber selbst keine Aktoren enthalten.

Smart Objects der **Kategorie D (Decision making)** sind im Stande, autonome Entscheidungen auf Basis von den ihnen vorliegenden Informationen zu treffen.

Smart Objects der **Kategorie N (Network)** sind fähig, Daten bzw. Informationen über kabelgebundene oder drahtlose Netzwerke zu empfangen und zu senden. Dazu benötigen die Objekte in der Regel eine eindeutige Identität.

Ein Smart Object kann durch verschiedene Kombinationen der Buchstaben I-S-A-D-N klassifiziert werden. Je smarter ein Objekt ist, desto mehr Kombinationen enthält es. Ein Objekt welches IS-smart ist, besitzt beispielsweise eine eigene Identität, kann relevante Daten über sich selbst speichern und hat einen oder mehrere Sensoren, um den physischen Zustand seiner Umgebung (z.B. Temperatur) zu messen.

Nachteil der Klassifizierung ist, dass es unrealistische Kombinationen von Buchstaben gibt. Dies bedeutet, dass existierende Kombinationen technisch gesehen keinen Sinn ergeben. Zum Beispiel benötigt ein Objekt das N-smart ist, eine eindeutige Identität, um mit anderen Objekten innerhalb eines Netzwerkes kommunizieren zu können. Somit muss es minimal IN-smart sein (ein Objekt das N-smart ist, muss auch I-smart sein). Weitere unrealistische Kombinationen sind beispielsweise: D, SD, DN, SN, AD, AN, SDN, ADN, ASDN.

### 3.3 Sensorik

Im Gegensatz zu früher ermöglicht es das Internet of Things, Informationen über die Lage, Position oder Funktionszustand von Objekten ohne menschliche Beobachtung zu liefern. Daher werden die Daten im Internet of Things in Zukunft größtenteils von Gegenständen kommen, die ihren eigenen Zustand oder den ihrer Umgebung weiterleiten. Unzählige Sensoren werden immer mehr Informationen aufzeichnen und diese über Netzwerke weitergeben. Mit Hilfe von Sensoren können zum Beispiel ein Kamerasystem zur Bildüberwachung eingesetzt, die Durchflussmenge von Wasser oder Gas bestimmt oder Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck gemessen werden.

#### 3.3.1 Sensoren

Sensoren stellen einen wichtigen Teil im Internet of Things dar. Sie ermöglichen es, Informationen aus der Umwelt der Smart Objects zu erfassen. Ein Sensor ist eine Komponente, welche eine gemessene nicht-elektrische physikalische Größe in ein analoges elektrisches Signal umwandelt. Physikalische Größen können Druck, Gewicht, Beschleunigung, Lichtstärke, Temperatur, Strahlung, Schall und viele andere physikalische Größen sein. Eine formale Definition liefert das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): *„An electronic device that produces electrical, optical, or digital data derived from a physical condition or event. Data produced from sensors is then electronically transformed, by another device, into information (output) that is useful in decision making done by intelligent devices or individuals (people)“* [28].

Das technologische Gegenstück zu einem Sensor ist ein Aktuator (oder Aktor). Dies ist ein Bauteil, das ein elektrisches Signal in eine mechanische Bewegung oder eine andere physikalische Größen umsetzt [29]. Ein einfaches Beispiel hierfür ist ein Elektromotor, der elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt.

Unterschiedliche Sensoren erfassen unterschiedliche Arten von Informationen. Beispielsweise messen Beschleunigungssensoren (Akzelerometer) Beschleunigungen und erfassen, ob sich ein Objekt bewegt und in welche Richtung es sich bewegt. Hingegen

reagieren Lagesensoren (Gyroskope) auf kleinste Drehbewegungen, Positions- oder Lageänderungen eines Objekts. Durch Kombination mehrerer unterschiedlicher Sensoren ist es möglich, viele verschiedene Arten von Informationen zu erfassen. Beispielsweise bietet Thingsee, ein Do-it-yourself Internet of Things Gerät die Möglichkeit, Sensoren wie Beschleunigungsmesser, Gyroskope und Magnetometer mit anderen Sensoren zu kombinieren, die Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Druck und Licht messen, um beispielsweise interessante Daten zu sammeln [30].

Sensoren werden häufig nach der Art ihrer Stromversorgung kategorisiert. Aufgrund dessen kann man zwischen aktiven und passiven Sensoren unterscheiden [31, S. 7]. Aktive Sensoren erzeugen die Energie selbst, die für die Weitergabe der Information notwendig ist. Sie senden also Energie aus, die sie dann wieder empfangen und messen. Ein Beispiel dafür sind Mikrowellensensoren, die auch RADAR (Radio Detection And Ranging) genannt werden [32]. Der Sensor strahlt Mikrowellen aus und misst die zurückkommende Strahlung, wodurch die Distanz zum Objekt ermittelt werden kann. Passive Sensoren hingegen senden keine Energie aus. Sie empfangen lediglich Energie die von außerhalb kommt. Sie messen also nur physikalische Größen der Umgebung. Beispiel für einen passiven Sensor ist eine Photodiode in einer Kamera [31, S. 7]. Sie empfängt Energie in Form von Licht und speichert sie auf einem Speicherchip in der Kamera.

Tabelle 3.1 liefert eine Übersicht über die unterschiedlichen Arten von Sensoren mit der jeweiligen Beschreibung.

<b>Sensor Typ</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Beispiel</b>
Position	Ein Positionssensor misst die Position eines Objekts. Die Positionsmessung kann entweder absolut (absolute Positionssensoren) oder relativ sein (Wegsensoren).	Potentiometer, Inclinometer, Näherungssensor
Strahlung	Strahlungssensoren erfassen Strahlungen (z.B. radioaktive Strahlung) in der Umwelt.	Szintillator, Geiger-Müller-Zähler

Fortsetzung auf nächster Seite

**Tabelle 3.1 – Fortsetzung von vorheriger Seite**

<b>Sensor Typ</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Beispiel</b>
Geschwindigkeit und Beschleunigung	Geschwindigkeitssensoren messen, welche Geschwindigkeit ein Objekt in einer bestimmten Richtung oder im Raum hat. Beschleunigungssensoren messen die Beschleunigung, also die Veränderungen der Geschwindigkeit.	Akzelerometer, Gyroskop, G-Sensor
Präsenz und Bewegung	Präsenzmelder überwachen die Anwesenheit von Menschen und Tieren in einem Bereich, während Bewegungssensoren die Bewegung von Menschen und Objekten erfassen. Der Unterschied zwischen den beiden Sensoren ist, dass Präsenzsensoren viel empfindlicher sind und beispielsweise erkennen, wenn jemand in einem Raum sitzt und nur den Kopf dreht. Ein Bewegungssensor würde dies nicht erkennen.	RADAR, Bewegungsmelder
Kraft	Kraftsensoren erkennen wenn eine physische Kraft angewendet wird und ob die Größe der Kraft über einen Schwellenwert steigt.	Waage, Touch-Sensor, Viskometer
Strömung	Strömungssensoren messen in einer gegebenen Zeitspanne die Fließgeschwindigkeiten von Flüssigkeiten oder die Strömungsgeschwindigkeit von Gasen in einem System.	Anemometer, Wasserzähler
Feuchtigkeit	Feuchtigkeitssensoren messen die Feuchtigkeit (Wasserdampfmenge) in der Luft oder in einer Masse.	Bodenfeuchte-sensor, Hygrometer

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle 3.1 – Fortsetzung von vorheriger Seite

Sensor Typ	Beschreibung	Beispiel
Licht	Lichtsensoren erkennen das Vorhandensein von Licht (sichtbar oder unsichtbar, hell oder dunkel).	Infrarot-Sensor, Photodetektor, Flammenmelder
Druck	Drucksensoren sind eine besondere Art von Kraftsensoren und messen die durch Flüssigkeiten oder Gase aufgebrachte Kraft. Der Druck wird dabei in Bezug auf die aufgebrachte Kraft pro Flächeneinheit gemessen.	Barometer, Piezometer
Akustik	Akustische Sensoren messen den Schalldruckpegel und wandeln diese Informationen in digitale oder analoge Datensignale um.	Mikrofon, Geophon, Hydrophon
Temperatur	Temperatursensoren messen die Wärme oder Kälte, die in einem System vorhanden ist.	Thermometer, Kalorimeter
Chemie	Chemische Sensoren messen die Konzentration von Chemikalien in einem System.	Alkoholtester, Olfaktometer, Rauchmelder
Biosensoren	Biosensoren erfassen verschiedene biologische Elemente wie Organismen, Gewebe, Zellen, Enzyme, Antikörper oder Nukleinsäuren.	Elektrokardiograph, Blutzuckermessgerät, Pulsoxymeter

Tabelle 3.1: Unterschiedliche Arten von Sensoren mit Beispielen [33, S. 7]

Wie in Tabelle 3.1 ersichtlich wird, gibt es viele Typen von Sensoren, die für bestimmte Bedingungen in unterschiedlichen Umgebungen eingesetzt werden können. Ebenso gibt es eine große Auswahl von Sensorentypen, deren Eignung von Faktoren wie beispielsweise Preis, Größe, Präzision, Dynamik und Stromverbrauch abhängen. Die Auswahl des jeweiligen geeigneten Sensors bzw. Sensortyps hängt dabei von zwei Faktoren ab, zum einen von der Anwendung für die der Sensor vorgesehen ist, zum anderen von der physikalischen Beschränkung der Hardware-Plattform, an der der Sensor angebracht

wird. Ein kostengünstiger passiver RFID-Transponder ist beispielsweise nicht in der Lage einen Sensor mit Strom zu versorgen, während dies im Gegensatz dazu einem semi-passiven RFID-Transponder, mit einer eingebauten Batterie, möglich ist [13, S. 288]. Um die Integration von Sensoren in die bestehenden Systeme zu erleichtern und da viele der aktuellen Sensoren nur ihre eigenen spezifischen Schnittstellen bieten, bekommen sogenannte Sensor-Standards eine immer größer werdende Bedeutung. Sie zielen darauf ab, Standards unabhängig von der Art, des Herstellers oder des zugrunde liegenden Datennetzwerks zu schaffen [13, S. 288].

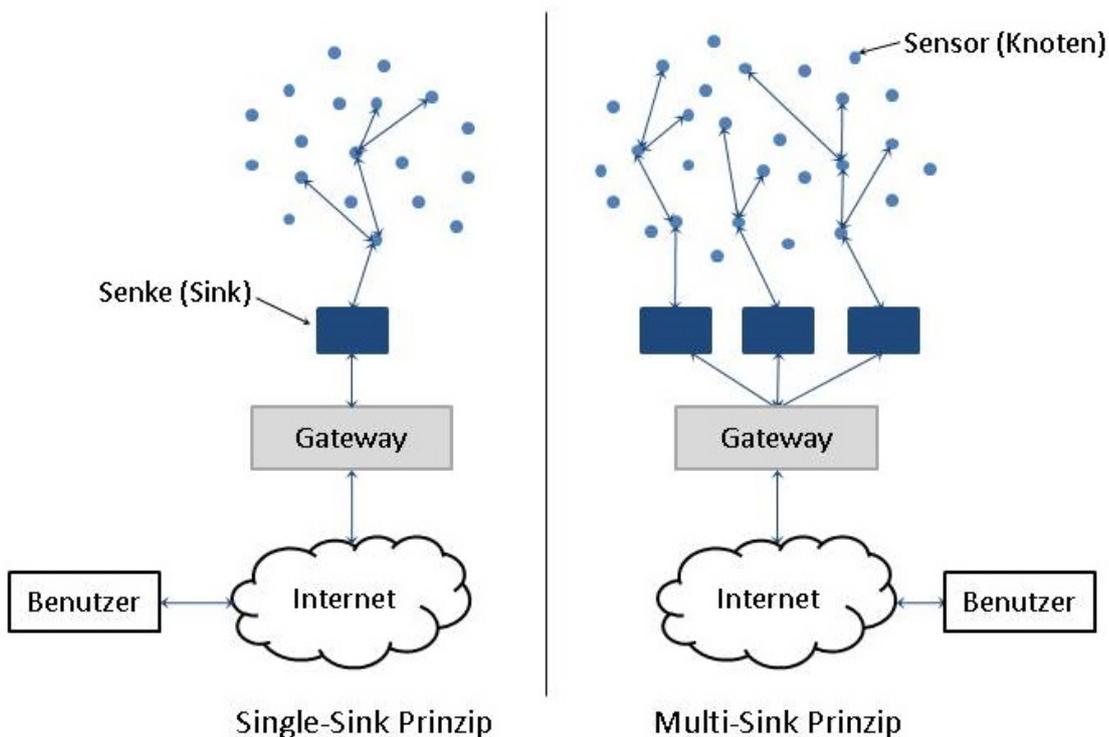
#### 3.3.2 Drahtlose Sensornetzwerke

Informationen die von Sensoren stammen erreichen nur selten ihren maximalen Nutzen an jenem Ort wo sie gemessen werden. Die Daten von Sensoren müssen für eine Aggregation oder Analyse daher oft zu anderen Standorten übermittelt werden. Dies erfordert typischerweise die Übertragung der Daten über ein drahtloses Sensornetzwerk (Wireless Sensor Network). Aufgrund von Systemen mit reduzierter Größe, geringem Stromverbrauch, hoher Reichweite und geringen Kosten gewinnen drahtlose Sensornetzwerke zunehmend an Popularität. Die Möglichkeit der Datenverarbeitung und die Bildung von Ad-hoc-Netzwerken, stellt eine signifikante Verbesserung gegenüber herkömmlichen Sensornetzwerken dar.

Ein drahtloses Sensornetzwerk bezeichnet ein Netzwerk von Sensoren (die auch als Knoten bezeichnet werden), welche die Umwelt überwachen und die erfassten Informationen vom jeweiligen zu überwachenden Bereich durch drahtlose Verbindungen (z.B. Wi-Fi, Infrarot oder Funk) kommunizieren [34, S. 6871]. Typischerweise enthält ein drahtloses Sensornetzwerk mehrere Tausende von Sensoren. Ein einzelner Sensor ist dabei in der Regel mit einer Prozessor- und Funkkomponente sowie einer Sensor- und Energieversorgungseinheit ausgestattet.

Die von den Sensoren erfassten Informationen werden möglicherweise auch über mehrere sogenannte Sprünge bzw. Hops, an eine Senke (auch Sink genannt) weiter geleitet. Dort können die Daten lokal genutzt oder über ein Gateway an andere weitere Netzwerke (z.B. dem Internet) kommuniziert werden. Nach diesem Prinzip aufgebaute

Netzwerke werden Single-Sink Netzwerke genannt (siehe Abbildung 3.3, linker Teil). Die Senke ist in der Regel mit einer kleinen Speichereinheit verbunden und verwaltet und koordiniert die verschiedenen Sensorknoten, damit die Sensoren die jeweiligen zugeordneten Messaufgaben korrekt durchführen [35, S. 9]. Außerdem können durch Abfragen erforderliche Information über das Netzwerk von der Senke abgerufen werden. Sie stellt also die Schnittstelle zwischen den Benutzern und dem Netzwerk dar [35, S. 3].



**Abbildung 3.3: Single-Sink- und Multi-Sink Prinzip eines drahtlosen Sensor Netzwerks (in Anlehnung an [34, S. 6872])**

Großer Nachteil des Single-Sink Prinzips ist allerdings die Skalierbarkeit. Wird die Anzahl an Knoten im Netzwerk erhöht, steigt logischerweise die Datenmenge die in der Senke zusammen kommt. Ist die Kapazität der Senke einmal erreicht, kann die Netzwerkgröße nicht mehr zusätzlich erweitert werden [34, S. 6871]. Deshalb existiert neben dem Single-Sink Prinzip das allgemeinere Multi-Sink Prinzip, welches nicht nur eine Senke,

### 3 Technologien

sondern mehrere Senken besitzt (siehe Abbildung 3.3, rechter Teil). Dies ermöglicht es, dass die gleiche Leistung des drahtlosen Sensornetzwerks auch bei einer Erhöhung der Anzahl von Knoten erreicht wird. Bei einem Multi-Sink Netzwerk werden die Sensordaten in vielen Fällen erst von der Senke selektiert und an das Gateway weitergeleitet, um dann endgültig beim Benutzer zu landen [34, S. 6871].

Zweck der drahtlosen Sensornetzwerke ist die Überwachung einer bestimmten Umgebung. Dabei haben drahtlose Sensornetzwerke viele Einsatzgebiete, wie zum Beispiel Umweltüberwachung (z.B. frühzeitiges Erkennen von Tsunamis), Gesundheitswesen und Supply Chain Management.

Die Autonomie und die relativ einfache Bereitstellung stellen zwei große Pluspunkte drahtloser Sensornetzwerke dar. Allerdings können diese Vorteile auch zu Einschränkungen werden, da die Autonomie der Sensoren auf kleinen Batterien beruht, die schnell erschöpft sein können. Generell sind die einzelnen Sensoren ressourcenbeschränkt. Dies bedeutet dass sie in ihrer Verarbeitungsgeschwindigkeit, Speicherkapazität und Kommunikationsbandbreite begrenzt sind. Der limitierte Speicher und die beschränkte Leistung führen dazu, dass die Programmierung der Sensoren Hardware-spezifisch sein muss. Manche Sensoren haben deshalb einen externen Speicher, was allerdings einen langsameren Zugriff und zusätzlichen Stromverbrauch zur Folge hat [13, S. 289].

## 3.4 Eingebettete Datenverarbeitung

Eingebettete Datenerarbeitung stellt einen wichtigen Teil im Internet of Things dar. Dafür kommen Mikrocontroller und Mikroprozessoren zum Einsatz, die in Geräte eingebettet werden. Sie steuern ihren Betrieb, garantieren eine Datenverarbeitung in Echtzeit und stellen somit eine wichtige Voraussetzung für einen Großteil der Anwendungen des Internet of Things dar.

Eine Unterscheidung zwischen Mikroprozessoren und Mikrocontrollern ist heutzutage nicht mehr ganz einfach. Ein Mikroprozessor ist ein winziger Prozessor, bei welchem alle Bausteine des Prozessors auf einem Mikrochip verbaut sind. Als Mikrocontroller hingegen werden Chips bezeichnet, die einen Prozessor und zugleich auch Peripheriefunk-

### 3.4 Eingebettete Datenverarbeitung

tionen (z.B. Speicher, Netzwerk-Schnittstellen etc.) enthalten. Angesichts verbesserter Fertigungsprozesse und der zunehmenden Bedeutung von Mikroprozessoren enthalten heutzutage viele Mikroprozessoren nicht nur etwas Speicher zum Booten, sondern auch zum Speichern von Daten. Dadurch ist der Übergang zwischen Mikroprozessoren und Mikrocontrollern heutzutage fließend [36]. Mikrocontroller und Mikroprozessoren sind in ihrer Leistung und Ausstattung auf die jeweilige Anwendung angepasst, weshalb sie gegenüber normalen Computern deutliche Kostenvorteile und eine bessere Leistungsaufnahme bieten. Im Kontext des Internet of Things stellt dies einen großen Vorteil dar.

Trotz ihrer winzigen Bauweise müssen Mikrocontroller und Mikroprozessoren Sicherheit garantieren, um die vernetzten und drahtlosen Systeme vor Eindringlingen zu schützen und gleichzeitig Leistung und Zuverlässigkeit zu gewährleisten [37, S. 3]. Da sich die Anwendungsfälle erheblich unterscheiden, muss es möglich sein, die Mikrocontroller und Mikroprozessoren flexibel miteinander zu verknüpfen. In Smart Homes etwa können die Anforderungen in Abhängigkeit von der Größe des Wohnsitzes, von einem einfachen Netzwerk, bis hin zu einer komplexen Netzwerkstruktur mit hierarchischen, verschachtelten Teilnetzen auf verschiedenen Ebenen variieren.

Werden Mikrocontroller und Mikroprozessoren mit weiteren Hard- und Softwarekomponenten kombiniert und in einem technischen Kontext eingebunden, so spricht man von einem eingebetteten System. Die Komponenten haben die Aufgabe ein System zu steuern, zu regeln und zu überwachen. „Ein eingebettetes System verrichtet vordefinierte Aufgaben, oftmals mit Echtzeitberechnungs-Anforderungen und erlaubt es in der Regel nicht, dass verschiedene Anwendungen geladen und neue Peripheriegeräte angeschlossen werden. Im Gegensatz dazu kann ein herkömmlicher Computer je nach verwendeter Software viele verschiedene Aufgaben verrichten“ [38, S. 4]. Die Kommunikation eines eingebetteten Systems mit der Außenwelt erfolgt über Sensoren und Aktoren [38, S.7].

Aufgrund der langen Lebensdauer müssen eingebettete Systeme auf ein breites Spektrum möglicher Änderungen in ihrer Umgebung vorbereitet sein. Prozessoren, Sensoren und Hardware ändern sich mit der Zeit, die Geräte müssen aber unverändert weiter funktionieren. Genauso wie die im Abschnitt zuvor erwähnten drahtlosen Sensornetz-

### 3 Technologien

werke, welche auch ein eingebettetes System darstellen, sind eingebettete Systeme ressourcenbeschränkt. Die Systeme müssen trotz wenig Speicherplatz, begrenzter Rechenkapazität, billigen Mikrocontrollern / -prozessoren und geringem Stromverbrauch zuverlässig arbeiten [38, S. 9].

Eingebettete Systeme sind von DVD-Playern und Elektrowerkzeugen, bis hin zu Autos und Computertomographen in praktisch allen Produkten zu finden. In Waschmaschinen können sie etwa auf Informationen in elektronischen Etiketten der Kleidung zugreifen, die in die Stoffe integriert sind. So können sie das Waschprogramm, je nach Verschmutzung und Stoffart, automatisch auswählen. In Kombination mit dem jeweiligen Sensor können sie beispielsweise auch Wasserventile steuern oder sicher stellen, dass Türen richtig geschlossen sind [39]. Eingebettete Systeme verbessern, egal ob sie auf einem Mikrocontroller oder einem Mikroprozessor basieren, die Variabilität, Konfigurierbarkeit, Erweiterbarkeit und Austauschbarkeit von Produkten im täglichen Leben und werden deshalb zukünftig noch häufiger und breiter eingesetzt werden.

### 3.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die grundlegenden Technologien des Internet of Things erklärt und Klassifikationen vorgestellt, um Smart Objects zu kategorisieren. Mit Hilfe der RFID-Transponder Klassifikation und des Smart Object Modells können sowohl RFID-Transponder als auch alle anderen Smart Objects klassifiziert werden. Technologien wie Barcodes, NFC und RFID erlauben es Objekte zu kennzeichnen und sie zu identifizieren, während Technologien wie Bluetooth oder das Internet Protocol die Grundlage für Kommunikation innerhalb von Netzwerken darstellen. Durch Sensoren können Informationen auch im Umfeld von Objekten aufgezeichnet und über drahtlose Sensornetze weitergeben werden. Den Betrieb dieser Sensoren und weiterer Geräte in eingebetteten Systemen steuern Mikrocontroller und Mikroprozessoren und garantieren somit eine Datenverarbeitung in Echtzeit.

# 4

## Anforderungsanalyse

Aktuelle Konzepte konzentrieren sich auf die Modellierung und Ausführung geplanter Prozesse in einer konstanten, sich nicht ändernden Unternehmensumgebung. Im Gegensatz dazu erfordert das Internet of Things eine flexible Umsetzung von Geschäftsprozessen und daher schnelle Anpassbarkeit, um neu auftretenden Anforderungen gerecht zu werden. Dies beinhaltet auch, moderne Technologien in das vorhandene Geschäftsumfeld zu integrieren, wodurch sich die vorhandenen Prozessmodelle und letztlich die Geschäftsprozesse selbst verändern. In diesem Kapitel werden Anforderungen aufgezeigt, die das Internet of Things speziell an die Prozessunterstützung und an die Technologien stellt. Dazu werden die Anforderungen jeweils erläutert und kategorisiert. Abschließend wird diskutiert, inwieweit der aktuelle Stand des Internet of Things diesen Anforderungen gerecht wird.

### 4.1 Methodik

Die Anforderungen im folgenden Kapitel stammen aus einer ausführlichen Literaturrecherche. Diese wurde, entsprechend der Beschreibung in Kapitel 1.3 durchgeführt. Zusätzlich dazu wurden weitere Herausforderungen betrachtet und analysiert, aus welchen dann weitere Anforderungen abgeleitet werden konnten. Die Anforderungen wurden sowohl inhaltlich als auch nach Themen sortiert und abschließend eingeordnet. Generell können alle Anforderungen in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen kategorisiert werden. Funktionale Anforderungen beschreiben, was ein Produkt tun soll. Nichtfunktionale Anforderungen hingegen beschreiben, welche Eigenschaften ein Produkt haben soll.

### 4.2 Anforderungen an Prozessunterstützung

Klassischerweise liegt der Schwerpunkt bei einem Prozessmodell auf der Modellierung und Ausführung von Geschäftsprozessen mit einer konstanten Anzahl von Prozessressourcen. Im Gegensatz dazu bilden bei einem Prozessmodell des Internet of Things viele einzelne Geräte und Objekte eine variable Netz-Struktur. Diese und ihre vielen potenziellen einzelnen Ressourcen ermöglichen es, sich an permanente Umweltveränderungen schnell anzupassen und die Geschäftsprozesse dementsprechend flexibel zu verändern. Die Integration des Internet of Things in die Geschäftsprozesse wird daher zukünftig neue bzw. abgeänderte Prozesse zur Folge haben. Dies führt dazu, dass die Prozessunterstützung entsprechend anpassbar und erweiterbar sein muss, um die neuen Möglichkeiten, die das Internet of Things mit sich bringt, ausschöpfen zu können. Unter Prozessunterstützung ist dabei sowohl die Modellierung der Prozesse (Build-Time), als auch die Ausführung der Prozesse (Run-Time) zu verstehen.

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Anforderungen beschrieben, welche an die Prozessunterstützung gestellt werden. Sie wurden aus den Herausforderungen von Haller und Magerkurth in [40] und Meyer et al. in [41, S. 844 f.] abgeleitet.

### 4.2.1 Funktionale Anforderungen

**R1 Ereignis-gesteuerte Anpassung:** Statische Prozesse decken heutzutage nicht mehr die Bedürfnisse der Unternehmen ab, deren Umgebungen sich ständig verändern. Ereignis-gesteuert Prozessanpassungen sind deshalb ein Muss für Unternehmen, um ein wettbewerbsfähiges Niveau zu halten. Die Erstellung von dynamisch anpassbaren Geschäftsprozessen kann dabei eine schwierige Aufgabe sein. Generell ist es sehr schwer, alle eventuell möglichen Ereignisse zu entdecken, die im jeweiligen Prozess auftreten können. Diese müssen jedoch so exakt und realitätsnah wie nur möglich berücksichtigt werden, um die Prozesse der realen Welt möglichst genau abzubilden.

**R2 Entitäten-basiert:** Begriffe wie *Entities of Interest*, Geräte, Dienste und Ressourcen stellen Schlüsselbegriffe im Konzept des Internet of Things dar (Erläuterung der Begriffe siehe Kapitel 2.2). Daher muss eine Prozessmodellierungssprache einen Entitäten-basierten Modellierungsansatz unterstützen, die Begriffe unterscheiden und ihn in bestehende Modellierungskonzepte integrieren können.

**R3 Interaktion:** In den Geschäftsprozessen des Internet of Things findet zum einen Interaktion zwischen den verschiedenen Geräten statt, zum anderen eine Interaktion mit dem Internet nach außen. Diese beiden Arten der Interaktion müssen bei der IoT-spezifischen Prozessunterstützung sowohl bei der Modellierung, als auch bei der Ausführung des Prozesses berücksichtigt werden.

**R4 Abstraktion:** Im Kontext des Internet of Things gibt es *Entities of Interest* mit mehreren Geräten mit unterschiedlichen Diensten. Daher ist es sinnvoll, diese Geräte zu einer *Entity of Interest* zusammenzufassen (z.B. werden mehrere Sensoren eines Kühlschranks zu der *Entity of Interest* „Kühlschrank“ zusammengefasst). Die Genauigkeit und die Verfügbarkeit solcher akkumulierten Daten ist von höherer Qualität als die Daten jedes einzelnen Geräts. Eine Modellierungssprache muss daher diese Art von Abstraktion unterstützen, in der die Dienste eines Gerätes sowie die *Entities of Interest* repräsentiert werden.

**R5 Verfügbarkeit / Mobilität:** Aufgrund der Möglichkeit mobiler *Entities of Interest*, kann eine Verfügbarkeit der Geräte nicht dauerhaft gewährleistet werden. Dies wirkt sich

#### 4 Anforderungsanalyse

auf die Ausführungszeit eines Prozesses aus, in dem ein Gerät oder eine Ressource eines solchen mobilen *Entity of Interest* beteiligt ist. Eine IoT-fähige Prozessmodellierungssprache muss daher das Verschwinden und das Wiederauftauchen von *Entities of Interest* bzw. von Geräten berücksichtigen und die damit entstehende Ausführungsverzögerung ausdrücken und berücksichtigen können. Entsprechend muss es bei der Prozessausführung selbst eine Möglichkeit geben, um mit dem Verschwinden und dem Wiederauftauchen von Geräten umgehen zu können.

**R6 Echtzeit:** Im Internet of Things kommt es zur Interaktion mit den *Entities of Interest* in Echtzeit und Bereitstellung von Echtzeitinformationen. Prozesse hängen somit von Echtzeitinformationen ab und benötigen diese für ihren Ablauf. Diese Echtzeitinformationen müssen zum einen bei der Ausführung des Prozesses bereitgestellt werden, zum anderen muss die Prozessmodellierungssprache konkrete Zeitpunkte bzw. bestimmte für einen Prozessschritt relevante Zeitperioden ausdrücken können.

#### 4.2.2 Nichtfunktionale Anforderungen

**R7 Umgang mit unzuverlässigen Daten:** Mit der steigenden Anzahl an Geräten mit verschiedenen Informationen und Informationsgenauigkeiten kann die Qualität der Informationen variieren und wird zunehmend unklarer. Beim Umgang mit Ereignissen aus der realen Welt (z.B. über Sensoren) werden Unzuverlässigkeiten und Unsicherheiten in einem gewissen Maß in die Prozesse eingebracht. Werden Entscheidungen in einem Geschäftsprozess anhand unsicherer Ereignisse getroffen, so ist es notwendig, jedes dieser Ereignisse mit einem Wert für die Informationssicherheit bzw. Informationsqualität zu versehen. Dieser Wert drückt aus, wie sicher die Informationen sind und inwiefern man ihnen vertrauen kann. In einfachen Fällen erlaubt dies zum Beispiel die Definition von Schwellenwerten bei der Modellierung. Beträgt der Wert der Informationssicherheit mehr als 90 Prozent, so kann davon ausgegangen werden, dass das Ereignis tatsächlich eingetreten ist. Um zu verifizieren, ob das Ereignis aufgetreten ist oder nicht, können andere Aktivitäten ausgelöst werden wenn der Wert zwischen 90 Prozent und 50 Prozent liegt. Liegt der Wert bei weniger als 50 Prozent, so wird das Ereignis ignoriert. Sobald mehrere Ereignisse beteiligt sind, wird es allerdings komplizierter. Deshalb ist es

erforderlich, dass solche Informationen erfasst, verarbeitet und im jeweiligen Prozess berücksichtigt werden können. Der Prozess muss Informationen nach dem Wert der Sicherheit bzw. der Qualität selektieren, auch im Falle von unsicheren Informationen oder Daten einen zuverlässigen Ablauf garantieren und darf nicht unterbrochen werden. Damit dies funktioniert muss die Prozessmodellierungssprache die entsprechenden Möglichkeiten und Instrumente bereitstellen.

**R8 Umgang mit unzuverlässigen Geräten:** Nicht nur die von Ressourcen stammenden Daten sind unglaubwürdig. Auch die Ressourcen selbst, welche für die Bereitstellung der Daten zuständig sind, können beispielsweise durch einen Ausfall eines Sensors falsche Daten übermitteln. Prozesse, die Ressourcen miteinbeziehen, müssen in der Lage sein, sich an solche Situationen anzupassen. Auch müssen sie Mechanismen bereitstellen, um mögliche Fehlerquellen zu erkennen.

**R9 Dezentralisierung:** Da bei einem Prozess des Internet of Things auch eine Interaktion mit realen Objekten und Geräten stattfindet, kann die Ausführung der einzelnen Prozessschritte über die einzelnen verschiedenen Geräte dezentral verteilt sein. In [9] werden positive Effekte der Dezentralisierung erläutert. *„The decomposition and decentralization of existing business processes increases scalability and performance, allows better decision making and could even lead to new revenue streams through entitlement management of software products deployed on smart items.“* Beispielsweise sind bei Anwendungen zur Überwachung von Lieferketten keine Benachrichtigungen an das zentrale System nötig, solange alles innerhalb der definierten Grenzen abläuft. Nur wenn es zu einer Abweichung vom vordefinierten Rahmen kommt, wird ein Alarm ausgelöst (bzw. Ereignis erzeugt). Dies führt zu einer Anpassung des gesamten Prozessablaufes. Deshalb kann es sinnvoll sein, einen Prozess dezentral auszuführen. Diese dezentrale Ausführung der Aktivitäten muss in einem IoT-spezifischen Prozessmodell möglich sein. Aus Prozessmodellierungssicht betrachtet sollte es allerdings möglich sein, obwohl der Prozess möglicherweise mehrere dezentral ausgeführte Geräte besitzt, den Prozess möglichst zentral zu definieren. Berücksichtigt werden muss dabei die Tatsache, dass Aktivitäten (z.B. die Überwachung) aus der Ferne durchgeführt werden. Eine Dezentralisierung bewirkt zudem, dass die Daten über mehrere Datenspeicher verteilt sein können. Deshalb muss es zum einen bei der Modellierung möglich sein, diese Dezentralisierung

#### 4 Anforderungsanalyse

der Daten über mehrere Speicherorte zu bewerkstelligen, zum anderen muss bei der Ausführung des Prozesses sichergestellt sein, dass zu jeder Zeit auf die dezentralen Daten zugegriffen werden kann.

**R10 Fehlertoleranz:** Da aufgrund der Dezentralisierung die Verfügbarkeit der Geräte im Internet of Things unterschiedlich ist, muss ein Geschäftsprozess mit Fehlern umgehen können, die aus der Abwesenheit resultieren. Dementsprechend muss dafür ein Konzept bereitgestellt werden.

**R11 Flexibilität:** Normalerweise sind die Prozesse starr und strukturiert. Bei Prozessen des Internet of Things kann der Prozessablauf allerdings durch das Verhalten des Benutzers oder durch ein auftretendes Ereignis (beispielsweise verursacht durch eine Zustandsänderung) variabel beeinflusst werden. Die Modellierungssprache muss daher in der Lage sein, solche situationsabhängigen Geschäftsprozesse, die je nach auftretendem Ereignis vom normalen Sequenzfluss abweichen, zu beschreiben [2, S. 43 ff.].

**R12 Skalierbarkeit:** Die Komplexität des modellierten Prozesses sollte unabhängig von der Anzahl der Geräte, *Entities of Interest*, Ressourcen und Services sein. Zusätzlich sollte die steigende Anzahl von Geräten keine Auswirkung auf die Leistung bei der Prozessausführung haben. Aufgrund der Flexibilität und der Mobilität von Prozessen im Internet of Things muss es außerdem ohne größeren Aufwand möglich sein, neue Geräte in den Prozess zu integrieren. Diese müssen bei der Ausführung erfasst und anschließend in das Prozessmodell integriert werden.

### 4.3 Anforderungen an Technologien

Mit Hilfe der Technologien sind wir in der Lage, Daten mit höheren Geschwindigkeiten, mit geringerem Energiebedarf und zu geringeren Kosten als zuvor zu übertragen. Das Ergebnis davon ist eine immer weiter zunehmende und vielfältigere Zusammensetzung der angeschlossenen Objekte wie Laptops, Smartphones, Haushaltsgeräte, Fahrzeuge oder Verkehrssignale. Die hohe technologische Vielfalt und Anforderungskomplexität sowie hohe Ansprüche an die Sicherheit bringen zusätzliche Herausforderungen und

Anforderungen mit sich. Mit der zunehmenden Standardisierung der Technologie und der damit einhergehenden Größe der zu realisierenden Systeme, steht immer mehr der Aufbau komplexer Gesamtsysteme im Mittelpunkt [42, S. 101]. Zentrale Aspekte solcher Systeme stellen dabei Sensoren, Netzwerke, Mikroprozessoren und Mikrocontroller dar. Die Anforderungen, welche im Folgenden aufgeführt sind, beziehen sich deshalb auf diese Technologien. Sie wurden aus [43, S. 9 f.] und [33, S. 9 ff.] abgeleitet.

#### 4.3.1 Funktionale Anforderungen

**R13 Eingebettete-Architektur:** Die Vielfalt der Anwendungen des Internet of Things erfordert eine Architektur, welche Anwendungen, Steuerung, Überwachung, Datenverarbeitung und -sicherheit in einem System verknüpft und einbettet. Die Software von Sensoren, Mikrocontrollern und Mikroprozessoren soll möglichst eine Architektur aufweisen, die alle Funktionen in einem System einbetten kann.

**R14 Interoperabilität:** Interoperabilität beschreibt die Kommunikationsfähigkeit eines Geräts, bei vergleichbarer Systemumgebung anderer Geräte, desselben Standards. In vielen Fällen basiert der Mehrwert des Internet of Things darauf, dass verschiedene Systeme zusammenarbeiten und Daten austauschen. Daher stellt die Interoperabilität eine Grundvoraussetzung für das Internet of Things dar. Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren müssen Interoperabilität deshalb unbedingt gewährleisten.

#### 4.3.2 Nichtfunktionale Anforderungen

**R15 Energieeffizienz:** Da im Internet of Things Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren mit einem Netzwerk verbunden sind und somit dauerhaft Strom verbrauchen, ist eine dauerhafte energieeffiziente Stromversorgung für diese Geräte unerlässlich.

**R16 Software-Skalierbarkeit:** Ein wichtiger Erfolgsfaktor für Unternehmen, welche Anwendungen für das Internet of Things entwickeln stellt die Software-Wiederverwendung dar. Eine flexible Software, die lediglich zur Wiederverwendung angepasst werden muss, spart Kosten und ermöglicht eine einfache, flexible und schnelle Anpassung auch

#### 4 Anforderungsanalyse

an mehrschichtige Architekturen. Die Software von Sensoren, Mikrocontrollern und Mikroprozessoren sollte deshalb skalierbar sein.

**R17 Kosteneffizienz:** Die massenhafte Verbreitung der Technologie tritt nur dann ein, wenn ein bestimmter Preis erreicht wird. Deshalb müssen die Gesamtkosten des Systems bezahlbar sein, um so die Technologie auch im Alltag zu integrieren. Die Produktionskosten für die jeweilige Technologie stellen deshalb einen sehr relevanten Faktor dar und sollten im Verhältnis zur jeweiligen Leistung stehen.

**R18 Qualität, Langlebigkeit und Zuverlässigkeit:** Im Gegensatz zu Smartphones oder Notebooks, die im Schnitt alle drei Jahre gewechselt werden, sind die Produktlebenszyklen in der Industrie deutlich länger. Im Automotive-Sektor gelten etwa auf Grund der Verkehrssicherheit strengere Anforderungen an die Zuverlässigkeit und an die Qualität. Daher müssen Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren bei gleich bleibender Qualität über eine längere Zeit zuverlässig funktionieren, um auch diesen Anforderungen gerecht zu werden.

**R19 Sicherheit:** Mit zunehmendem Einsatz von Mikrocontrollern und Mikroprozessoren in sicherheitstechnischen Produkten wie in Steuerungen oder in Sensoren, entstehen immer höhere Anforderungen an deren Sicherheit. So müssen etwa auch im Fehlerfall Lösungen existieren, um gefährliche Aktionen zu verhindern. Auch Zugriffs- und Nutzungsberechtigungen sollten definiert und entsprechend geschützt werden. Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren müssen demnach den hohen Sicherheitsanforderungen genügen, entsprechende Schutzmechanismen bereitstellen und dürfen keine Sicherheitslücke im System darstellen. Zudem gibt es durch die wachsende Anzahl von Sensorsystemen, die mit einem Netzwerk verbunden sind, einen zunehmenden Bedarf an einer effektiven und sicheren Authentifizierung und Berechtigungskontrolle.

**R20 Vernetzung:** Im Internet of Things werden alle Dinge miteinander und mit dem Internet vernetzt. Das Metcalfesche Gesetz besagt, dass der Nutzen eines Netzwerks etwa im Quadrat zur Anzahl der möglichen Verbindungen zwischen den Teilnehmern wächst [44]. „*There is limited value in connecting the devices to the Internet; companies can create enhanced value by connecting devices to the network and to each other*“ [33, S. 14].

Die Netzwerktechnologien müssen dementsprechend sinnvoll und effizient eingesetzt werden, um den Nutzen zu maximieren und keine unnötigen Kosten zu verursachen.

**R21 Netzwerkabdeckung:** Damit die Vernetzung reibungslos funktioniert und die riesigen Mengen an Daten in Echtzeit ausgetauscht werden können, müssen Technologien mit hoher Bandbreite, wie beispielsweise LTE oder VDSL, zum Einsatz kommen. Die Verbreitung dieser Technologien muss deshalb in den kommenden Jahren ausgebaut werden, sodass hohe Bandbreiten auch in abgelegeneren Gebieten verfügbar sind, um einen Einsatz der Technologien des Internet of Things überhaupt zu ermöglichen.

## 4.4 Diskussion

In folgendem Abschnitt werden die oben genannten Anforderungen diskutiert. Da BPMN 2.0 bei der Prozessmodellierung die bekannteste und am häufigsten verwendete Prozessmodellierungssprache darstellt, werden Anforderungen an die Prozessmodellierungssprachen auf Grundlage von BPMN 2.0 diskutiert.

**R1 Ereignis-gesteuerte Anpassung:** Eines der wichtigsten Argumente für das Internet of Things ist die variable Anpassung der Prozesse an das, was tatsächlich in der realen Welt geschieht. Die Basis stellen Ereignisse dar, die entweder direkt oder durch Echtzeit-Analysen von Sensordaten erkannt werden. Unvorhergesehene Ereignisse können jedoch jederzeit im Prozess auftreten. Für einige Ereignisse ist die Eintrittswahrscheinlichkeit zwar sehr gering, trotzdem weiß man aber nie wann oder ob sie überhaupt auftreten. Die Berücksichtigung solcher Ereignisse im Prozess ist umständlich, da sie alle möglichen Aktivitäten beeinflussen und einzelne Ereignisse vom Kontext abhängig sein können. Die Berücksichtigung aller eventuell auftretender Ereignisse führt zu einem deutlichen Mehraufwand bei der Modellierung und macht es schwieriger, den gesamten Prozess zu verstehen.

**R2 Entitäten-basiert:** Bei der Modellierung eines normalen Prozesses wird häufig von einer Prozessmodellierung im Unternehmenskontext ausgegangen. In diesem Umfeld ist die Darstellung von *Entities of Interest*, deshalb weniger wichtig. BPMN erlaubt es, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten darzustellen. *Entities of Interest* lassen sich

#### 4 Anforderungsanalyse

allerdings, außer durch Anmerkungen an Aktivitäten oder durch Pools und Lanes, nicht explizit abbilden. Außerdem wird nicht zwischen den Begriffen *Entity of Interest*, Gerät oder Ressource unterschieden. Die Anforderung an einen Entitäten-basierten Ansatz sind deshalb nur teilweise erfüllt.

**R3 Interaktion:** BPMN bietet die Möglichkeit den Datenfluss und den Prozessfluss in einem Prozess zu unterscheiden. Die unterschiedlichen Arten von Interaktionen werden allerdings weniger berücksichtigt. Aspekte wie etwa Antwortzeiten oder die Unterscheidung der Interaktion mit einer Datenbank oder einem RFID-Transponder werden nicht berücksichtigt.

**R4 Abstraktion:** Zur Abstraktion bietet BPMN zwei Möglichkeiten an. Es können bestimmte Teile eines Prozesses als Sub-Prozess dargestellt oder unabhängig vom Prozess- oder Datenfluss eine bestimmte Anzahl von Aktivitäten inhaltlich gruppiert werden.

**R5 Verfügbarkeit / Mobilität:** BPMN betrachtet die Modellierung eines Geschäftsprozesses vor der eigentlichen Ausführung. Modellierte Aktivitäten können aber plötzlich durch die Mobilität der Geräte zur Ausführungszeit nicht mehr verfügbar sein. Umgekehrt können Geräte, die bei der Modellierung nicht zur Verfügung standen, bei der Ausführung plötzlich verfügbar sein. Der erste dieser beiden Fälle kann mit BPMN problemlos modelliert werden, da das Gerät bei der Modellierung verfügbar ist. Um auf den zweiten Fall (das Gerät ist zur Zeit der Modellierung nicht verfügbar) entsprechend zu reagieren, sind weitere Informationen zu den *Entities of Interest* und zu ihren Geräten bei der Modellierung hilfreich (z.B. die durchschnittliche Verfügbarkeit eines Gerätes). Diese Informationen werden momentan allerdings nicht durch BPMN berücksichtigt.

**R6 Echtzeit:** Mit Hilfe von verschiedenen sogenannten zeitbasierten Ereignissen (start event, intermediate event oder end event) ermöglicht BPMN, mit Einschränkungen, die Berücksichtigung der Echtzeit bei der Modellierung.

**R7 Umgang mit unzuverlässigen Daten:** BPMN bietet die Möglichkeit Teile oder Teilgebiete zu modellieren, um so die Richtigkeit der Einzelinformationen durch Verwendung von Fehlererfassungsmechanismen zu überprüfen. Die Genauigkeit der Informationen unterscheidet sich jedoch stark entsprechend dem jeweiligen Gerät oder der jeweiligen

Ressource. Zum Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit fehlerfreie Daten zu erhalten dann viel höher, wenn die Informationen von einem sicheren Abrechnungssystem stammen, als dies bei einem Sensor der Fall ist, der durch häufige Signalausfälle beeinträchtigt wird. In Abhängigkeit von der Beschreibung der Informationsquelle ist es vorstellbar, dass sich der Geschäftsprozess entsprechend ändert. BPMN bietet derzeit allerdings keine Möglichkeit um genauere Beschreibungen von Informationsquellen oder einen Wert für die Informationssicherheit bzw. Informationsqualität zu modellieren.

**R8 Umgang mit unzuverlässigen Geräten:** Ein Problem beim Umgang von unzuverlässigen Geräten ist es, einen Ausfall (z.B. eines Sensors) überhaupt zu erkennen. Greift ein Prozess direkt und dauerhaft auf eine Ressource zu, erfolgt der Nachweis über die Funktionsfähigkeit der Ressource auf einfachem Wege, etwa über eine Ausreißererkennung. Ressourcen die aber zum Beispiel ein Ereignis nur zu einem bestimmten Zeitpunkt auslösen (z.B. ein Sensor der die Temperatur in einem LKW überwacht und nur alarmiert, wenn die Temperatur einen gewissen Wert überschreitet), können nur schwer auf Konsistenz überprüft werden. Um solche Probleme zu erkennen, ist eine Monitoring-Software erforderlich, welche den Prozess dauerhaft überwacht und mögliche Fehlerquellen erkennt.

**R9 Dezentralisierung:** BPMN bietet die Möglichkeit eine Aktivität mit dem Namen einer *Entity of Interest* oder eines Gerätes durch eine Anmerkungen zu versehen. Es können allerdings keine weiteren Informationen für die Dezentralisierung der *Entities of Interest* modelliert werden. So ist es nicht möglich eine Aktivität zu modellieren, die auf jeder verfügbaren *Entity of Interest* eines bestimmten *Entity of Interest-Typs* ausgeführt wird (z.B. alle Kühlschränke eines Herstellers). Die klassischen Möglichkeiten die von BPMN bereitgestellt werden sind hier deshalb nicht ausreichend. BPMN ermöglicht allerdings die Modellierung von Datenobjekten, die dem Begriff der Ressource im Kontext des Internet of Things entsprechen. Außerdem ist es möglich, einen separaten Datenfluss von (bzw. zu) einer Ressource zu (bzw. von) einer spezifischen Aktivität anzugeben. Zusätzlich können in BPMN Datenobjekte durch Anmerkungen mit dem Namen der Ressource versehen werden oder es kann das Datenobjekt in einer Lane, die alle Aktivitäten einer bestimmten Ressource enthält, platziert werden.

#### 4 Anforderungsanalyse

**R10 Fehlertoleranz:** Die Anforderung der Fehlertoleranz liegt eigentlich im Widerspruch zu den Zielen der Geschäftsprozessmodellierung, da ein Geschäftsprozess zuverlässig sein muss. In BPMN gibt es allerdings die Möglichkeit, Aktivitäten mit Hilfe eines Nachrichtenflusses zu verknüpfen. In einem Prozess, in welchem Aktivitäten in mehreren Pools (= mehrere *Entities of Interest* bzw. Geräte) dargestellt werden, können Informationen zwischen den Aktivitäten der verschiedenen Pools über einen Nachrichtenfluss ausgetauscht werden. Dies ermöglicht einen fehlertoleranteren Daten- bzw. Prozessfluss, da sich die Nachrichtenübertragungen nicht auf Aktivitäten des vorherigen Geräts bzw. Pools auswirken.

**R11 Flexibilität:** Prozessmodellierungssprachen wurden entworfen, um alle möglichen Variationen von Prozessabläufen zu modellieren, bevor der Prozess ausgeführt wird. Sie bieten somit keine Möglichkeiten, den Prozess während der Ausführung flexibel anzupassen. Bei BPMN kann sich allerdings ein Prozess bzw. der Fluss des Prozesses durch die während der Ausführung auftretenden Aktivitäten und Ereignisse ändern. In BPMN können dabei verschiedene Arten von Ereignissen auftreten, wie Nachrichten-, Zeit- oder ereignisbasierte Ereignisse. In Abhängigkeit von einem Ereignis kann ein Prozessablauf gestartet oder beeinflusst werden und ein Prozess ein neues Ereignis auslösen, wodurch wiederum weitere Prozesse gestartet werden können.

**R12 Skalierbarkeit:** Um die Skalierbarkeit eines Geschäftsprozesses zu bewerten, werden Informationen (z.B. über die Anzahl der enthaltenen Geräte) über die beteiligten *Entities of Interest* und ihren Geräten, Ressourcen und Diensten benötigt. BPMN bietet die Möglichkeit, verschiedene *Entities of Interest* und Geräte durch Lanes getrennt voneinander darzustellen. Um die Skalierbarkeit des Geschäftsprozesses zu bewerten, müssen allerdings weitere Informationen zu den modellierten *Entities of Interest* oder den Geräten während der Modellierungsphase bereitgestellt werden.

**R13 Eingebettete-Architektur:** Während die Bedeutung von Software in den letzten Jahren stark zugenommen hat, fehlen immer noch Tool- und Softwarelösungen, um Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren effizient einzubetten [43, S. 9].

**R14 Interoperabilität:** Die meisten der Sensorsysteme sind firmeneigen und nur für spezielle Anwendungen entwickelt. Dies führt zu Fragen der Interoperabilität der Sen-

sorsysteme in Beziehung zu Kommunikation, Austausch, Speicherung und Sicherheit von Daten und Skalierbarkeit. Aufgrund der Einschränkungen durch die geringe Rechenleistung und die geringe Speicherkapazität sind leichte Kommunikationsprotokolle zu bevorzugen, um die Kommunikation zwischen den Sensoren zu erleichtern. Dabei können Protokolle wie etwa das *Constrained Application Protocol (CoAP)* helfen, dass Datenpakete in einem leichteren Format überträgt als andere Protokolle (z.B. *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*). CoAP besitzt allerdings keine eingebauten Sicherheitsfunktionen, weshalb zusätzliche Protokolle benötigt werden, um die Kommunikation zwischen Sensorsystemen sicher zu stellen [45, S. 127].

**R15 Energieeffizienz:** Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren haben entweder eine interne Stromversorgung oder werden durch Batterien mit Strom versorgt. Interne Stromquellen sind konstant, können aber unpraktisch (weil unflexibel) oder teuer sein. Batterien sind eine gute Alternative, wobei deren Akkulaufzeit oder deren Ersatz vor allem in abgelegenen Gebieten Probleme darstellen. Alternative Stromquellen können, zumindest während eines Batteriewechsels, Unterstützung bereitstellen. Ein Sensor der sich etwa in einem batteriebetriebenen Thermostat befindetet muss so wenig Energie wie möglich verbrauchen, um die Batterielaufzeit nicht unnötig zu verkürzen. Um dies zu gewährleisten, sind Technologien wie beispielsweise *low-leakage Technologien* oder innovative Bauweisen der einzelnen Geräte notwendig [43, S. 9]. Je nach Anwendungsfall können Technologien, wie *Power-Aware Routing Protocols* oder *Sleep-Scheduling-Protocols*, zur Verbesserung des Energiemanagements in Netzwerken beitragen. Power-Aware Routing Protocols bestimmen auf einer möglichst energieeffizienten Grundlage das Übertragen von Datenpaketen. Sleep-Scheduling-Protocols bestimmen hingegen wie und wann Geräte inaktiv bleiben können, um dadurch Strom zu sparen [33, S. 15].

**R16 Software-Skalierbarkeit:** Die Software-Skalierbarkeit kann Unternehmen vor beträchtliche Schwierigkeiten stellen. Deshalb stellt sie einen wichtigen Erfolgsfaktor für Unternehmen dar. Eine flexible Software, welche zur Wiederverwendung lediglich angepasst werden muss, spart Kosten und ermöglicht eine einfache, flexible und schnelle Anpassung. Es existieren zwar Ansätze dafür, diese sind aber noch nicht ausgereift genug, um in großen komplexen Systemen eingesetzt zu werden.

#### 4 Anforderungsanalyse

**R17 Kosteneffizienz:** Komplexe Lösungen haben bis heute mit hohen Kosten und überproportional hohem Aufwand zu kämpfen. Die zunehmende Standardisierung der Produkte wird in Zukunft aber die Herstell- und Produktionskosten senken, sodass ein angemessenes Preis-Leistungs-Niveau erreicht wird und es somit möglich wird, die Technologie auch im Alltag zu integrieren.

**R18 Qualität, Langlebigkeit und Zuverlässigkeit:** Es existieren bereits qualitativ hochwertige Komponenten, die auch über längere Zeit hinweg zuverlässig eingesetzt werden können. Sie sind zwar sehr teuer, kommen heutzutage aber dennoch in sicherheitsrelevanten Bereichen wie in Autos zum Einsatz.

**R19 Sicherheit:** Es existieren komplexe Verschlüsselungsalgorithmen, die die Datensicherheit von Sensoren, Mikrocontrollern und Mikroprozessoren sicherstellen [43, S. 10]. Für Netzwerke bietet beispielsweise das *Internet Protocol Security* (IPSec) eine sichere IP-Verbindung zwischen den Geräten. Dennoch gibt es Sicherheitsrisiken einzelner oder mehrerer Geräte im Netzwerk [46]. Relativ geringe Rechenleistung, geringe Speicherkapazität und die eventuell unsichere Stromversorgung, können zusätzliche Bedenken über die Sicherheit aufkommen lassen.

**R20 Vernetzung:** Unternehmen können durch den Anschluss von Geräten an das Netzwerk ihren Nutzen steigern. Trotzdem erfordern unterschiedliche Netzwerktechnologien Gateways, um die Netzwerke miteinander zu verbinden. Dies erhöht die Kosten und die Komplexität und kann auch das Sicherheitsmanagement erschweren. Es muss dementsprechend gut abgewogen werden, ob die Kosten und der Nutzen des jeweiligen Netzwerks noch im Verhältnis stehen.

**R21 Netzwerkabdeckung:** Derzeit entfallen nur 5 Prozent aller weltweiten Mobilfunkverbindungen auf LTE. Die LTE-Netzwerkabdeckung liegt in Südkorea bei 69 Prozent, 40 Prozent in den Vereinigten Staaten und in den Entwicklungsländern nur bei 2 Prozent [47, S. 16]. Die Durchschnittsgeschwindigkeit eines Internetzugangs liegt in Deutschland bei 8,7 Megabit je Sekunde. Damit liegt Deutschland weit hinter den führenden asiatischen Ländern (z.B. Südkorea 25,3 Mbit/s), vielen europäischen Nachbarländern (z.B. Niederlande 14 Mbit/s) und auch hinter den USA (11,5 Mbit/s) [48]. Vor allem in

abgelegeneren Gebieten besteht deshalb noch großes Verbesserungspotenzial in der Abdeckung der neuesten und schnellsten Internet- und Mobilfunktechnologien.

Die Integration des Internet of Things in die Geschäftsprozesse von Unternehmen erfordert einen hohen technologischen Einsatz. Jede neue Integration stellt wiederum einen erheblichen Aufwand dar. Allerdings bietet die Prozessunterstützung Verfahren zur Modellierung und Ausführung von komplexen Prozessen in Unternehmen. Wenn nun diese Methoden und Techniken auch für IoT-fähige Prozesse vollständig angepasst und übertragen werden können, wäre das ein bedeutender Schritt hin zur verstärkten Einführung von Technologien des Internet of Things in Unternehmen. Viele Unternehmen verlassen sich auf die Geschäftsprozessmodellierung für ihre Prozesse und möchten gleichzeitig auch vom Internet of Things profitieren. Daher besteht eine absolute Notwendigkeit Prozessmodellierungssprachen so anzupassen, dass IoT-fähige Prozesse dargestellt und modelliert werden können. Ebenso besteht die Notwendigkeit, die letzten technologischen Lücken zu schließen, um somit dem Internet of Things den Weg in den Alltag vollends zu ermöglichen.

## 4.5 Zusammenfassung

Das Internet of Things wird die Geschäftsprozesse in Zukunft völlig neu gestalten und verändern. Eine Ereignis-gesteuerte Anpassung hat bereits schon stattgefunden. Eine Umsetzung der Dezentralisierung ist bisher nur teilweise geschehen. Probleme bestehen noch im Umgang mit unzuverlässigen Daten und Geräten. BPMN ermöglicht des Weiteren nur eine teilweise Darstellung des Entitäten-basierten Konzepts und lässt verschiedene Arten von Interaktionen (außer der Unterscheidung zwischen Prozess- und Datenfluss) auf der Modellierungsebene außer Acht. Während es mehrere Instrumente zur Darstellung der Abstraktion gibt, sind Anforderungen wie Fehlertoleranz und Skalierbarkeit nur teilweise in BPMN berücksichtigt. Möglichkeiten für die Modellierung von Aspekten wie Verfügbarkeit oder Mobilität fehlen komplett. Prozesse die in BPMN modelliert werden sind aber in der Lage, die Echtzeit zu berücksichtigen und können sich flexibel, je nach Eintreten eines bestimmten Ereignisses, anpassen.

#### 4 Anforderungsanalyse

Durch Technologien wie Netzwerke, Sensoren, Mikrocontroller und Mikroprozessoren wird der Aufbau komplexer Gesamtsysteme ermöglicht. Für Anforderungen wie Energieeffizienz, Sicherheit, Vernetzung und Qualität bietet die Technologie genug Möglichkeiten, um die Anforderungen zu erfüllen. Anforderungen wie skalierbare Software, Kosteneffizienz und Netzwerkabdeckung sind nur teilweise abgedeckt. Daran wird sich allerdings in den kommenden Jahren noch einiges ändern. Lediglich bei den Anforderungen der eingebetteten Architektur und der Interoperabilität gibt es noch einiges aufzuholen. Tabelle 4.1 bietet eine abschließende Übersicht über die Anforderungen, die das Internet of Things an die Prozessunterstützung und an die Technologien stellt.

	Nr.	Anforderungen	Umsetzung	Funktional	Nichtfktl.
Prozessunterstützung	R1	Ereignis-gesteuerte Anpassung	Ja	✓	
	R2	Entitäten-basiert	Teilweise	✓	
	R3	Interaktion	Nein	✓	
	R4	Abstraktion	Ja	✓	
	R5	Verfügbarkeit / Mobilität	Nein	✓	
	R6	Echtzeit	Ja	✓	
	R7	Umgang mit unzuverlässigen Daten	Nein		✓
	R8	Umgang mit unzuverlässigen Geräten	Nein		✓
	R9	Dezentralisierung	Teilweise		✓
	R10	Fehlertoleranz	Teilweise		✓
	R11	Flexibilität	Ja		✓
	R12	Skalierbarkeit	Teilweise		✓

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle 4.1 – Fortsetzung von vorheriger Seite

	Nr.	Anforderungen	Umsetzung	Funktional	Nicht fktl.
Technologie	R13	Eingebettete Architektur	Nein	✓	
	R14	Interopabilität	Nein (nur fir- menintern)	✓	
	R15	Energieeffizienz	Ja		✓
	R16	Software-Skalierbarkeit	Teilweise		✓
	R17	Kosteneffizienz	Teilweise		✓
	R18	Qualität, Langlebigkeit und Zu- verlässigkeit	Ja (aber teuer)		✓
	R19	Sicherheit	Ja		✓
	R20	Vernetzung	Ja (aber teuer)		✓
	R21	Netzwerkabdeckung	Teilweise		✓

Tabelle 4.1: Überblick über die Anforderungen an das Internet of Things



# 5

## Anwendungen

Die vielen Möglichkeiten die das Internet of Things bietet ermöglichen es, eine Vielzahl von Anwendungen für die unterschiedlichsten Einsatzbereiche zu entwickeln. Zukünftig wird es noch mehr Anwendungen für intelligente Wohnungen und Büros, intelligente Verkehrssysteme, intelligente Krankenhäuser und intelligente Unternehmen und Fabriken geben. Durch die rasche Entwicklung der Technologien und die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzer ist es unmöglich, alle potenziellen Anwendungen des Internet of Things zu beschreiben. Zu den drei wichtigsten Einflussgebieten des Internet of Things zählen Fabriken (bis zu 3,7 Billionen Dollar wirtschaftlicher Mehrwert), Städte (1,7 Billionen Dollar) und das Gesundheitswesen (1,6 Billionen Dollar). Das wirtschaftliche Potenzial im wohl bekanntesten Einsatzbereich Smart Home beläuft sich lediglich auf bis zu 300 Milliarden Dollar [1].

## 5 Anwendungen

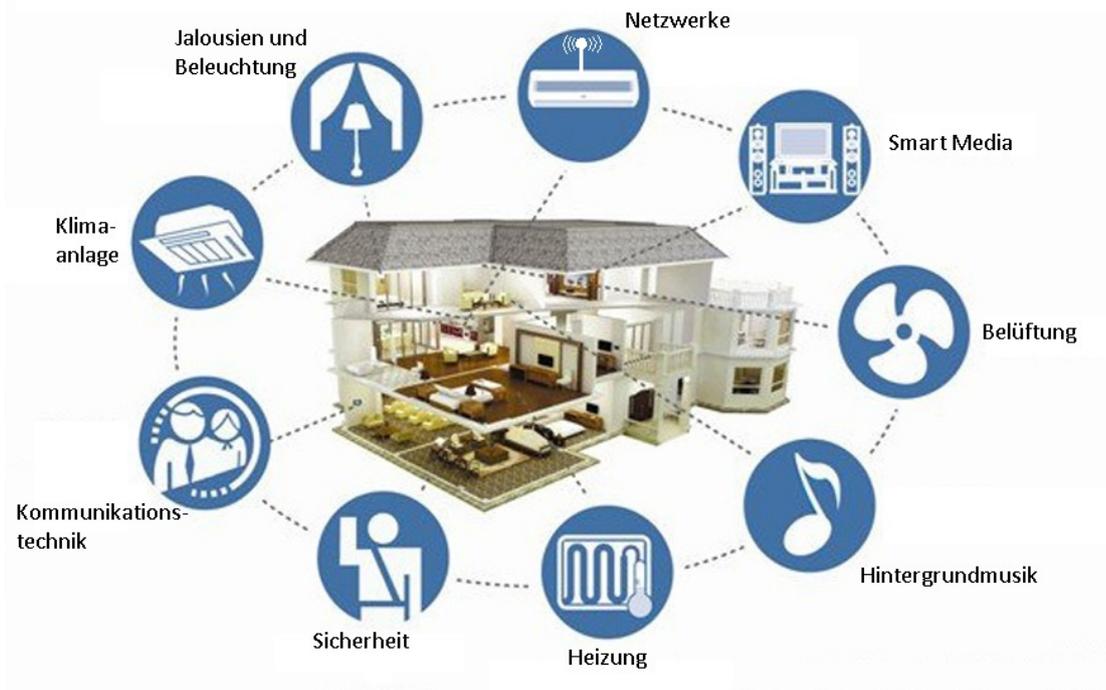
In den folgenden Abschnitten werden die drei wichtigsten Anwendungen Smart Industry, Smart City und Smart Health sowie die bekannteste Anwendung des Internet of Things Smart Home und Smart Building dargestellt.

### 5.1 Smart Home und Smart Building

Werden Gebäude mit Technologien des Internet of Things ausgestattet, so spricht man von Smart Buildings (öffentliche Gebäude) bzw. Smart Homes (private Häuser). Dies kann Auswirkungen sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht (z.B. reduzierte Betriebskosten durch eine Reduzierung des Ressourcenverbrauchs) als auch in gesellschaftlicher Hinsicht (z.B. Verringerung des Kohlenstoff-Fußabdrucks von Gebäuden oder Steigerung der Zufriedenheit der Menschen) haben.

Ein Smart Home bzw. Smart Building kann als ein intelligentes Gebäude definiert werden, dass mit Informationstechnologie ausgestattet ist, um auf die Bedürfnisse der Insassen zu reagieren.

Durch eine integrierte Gebäudesteuerung, die alle Komponenten für die Steuerung und Automatisierung von Anlagen und Geräten einschließt, entsteht ein vernetztes Gebäude. Wie in Abbildung 5.1 veranschaulicht, stellen Smart Homes und Smart Buildings ein ganzheitliches Konzept dar, in das sowohl die Energieversorgung (Smart Grid) und Verbrauchssteuerung (Smart Metering) mit allen Haushaltsgeräten und Beleuchtungen (Smart Living) eingebunden sind, als auch die Netzwerke von Computern und Geräten der Unterhaltungselektronik (Smart Media), Überwachungs- und Sicherungsanlagen, Jalousien, Türöffner, Heizungsanlagen und alle kommunikationstechnischen Anlagen [49, S. 17].



**Abbildung 5.1: Konzept eines Smart Homes (in Anlehnung an [50])**

Besonders Sensoren besitzen bei dieser Art von Anwendung eine Schlüsselrolle, denn sie überwachen den Ressourcenverbrauch und erkennen die Bedürfnisse der Benutzer [51, S. 1510]. Sensoren für Temperatur und Luftfeuchtigkeit ermitteln beispielsweise die notwendigen Daten, um die gewünschte Temperatur automatisch einzustellen und die Energieeffizienz für Heizung oder Kühlung zu optimieren. Mehrwert wird zudem durch Überwachung und die Reaktion auf menschliche Aktivitäten geschaffen, sodass Situationen (z.B. Einbruch) nachgewiesen und die Leute im Alltag unterstützt werden können.

## 5.2 Smart City

In einer Smart City werden durch den Einsatz des Internet of Things die Bedingungen der städtischen Infrastrukturen (dazu zählen z.B. Straßen, Brücken, Tunnel, U-Bahnen, Flughäfen oder Strom- und Wasserleitungen) überwacht und es wird versucht, den Ressourceneinsatz zu optimieren. Durch Überwachungssysteme und eingebaute intelligente

## 5 Anwendungen

Sensoren können Daten gesammelt und in Echtzeit ausgewertet werden, um so die Entscheidungsfindung der Stadtverwaltung zu verbessern [52, S. 43]. Ziel ist es, dadurch die bestehenden Stadtinfrastrukturen (z.B. Straßennetze) besser zu nutzen und die Qualität der angebotenen Dienstleistungen für die Bürger zu steigern, bei gleichzeitiger Reduzierung der Betriebskosten der öffentlichen Verwaltungen. So soll letztendlich die Lebensqualität der Bürger erhöht werden. Dieses Ziel wird durch den Einsatz von einer städtischen Kommunikationsinfrastruktur erreicht, die einen einheitlichen, einfachen und kostengünstigen Zugang zu einer Vielzahl von öffentlichen Dienstleistungen bietet.

Charakteristisch für eine Smart City sind die Dimensionen Smart Economy, Smart Mobility, Smart Environment, Smart People, Smart Living und Smart Governance [53, S. 11].

Die **Dimension Smart Economy** beschreibt die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Dies schließt Faktoren wie beispielsweise Innovation, Unternehmertum, Marken, Produktivität und Flexibilität des Arbeitsmarktes sowie die Integration in den (inter-) nationalen Markt mit ein.

Die **Dimension Smart People** beschreibt nicht nur die Qualifikation und Ausbildung der Bürger, sondern auch die Qualität der sozialen Interaktionen in Bezug auf Integration, das öffentliche Leben und die Offenheit gegenüber der äußeren Welt.

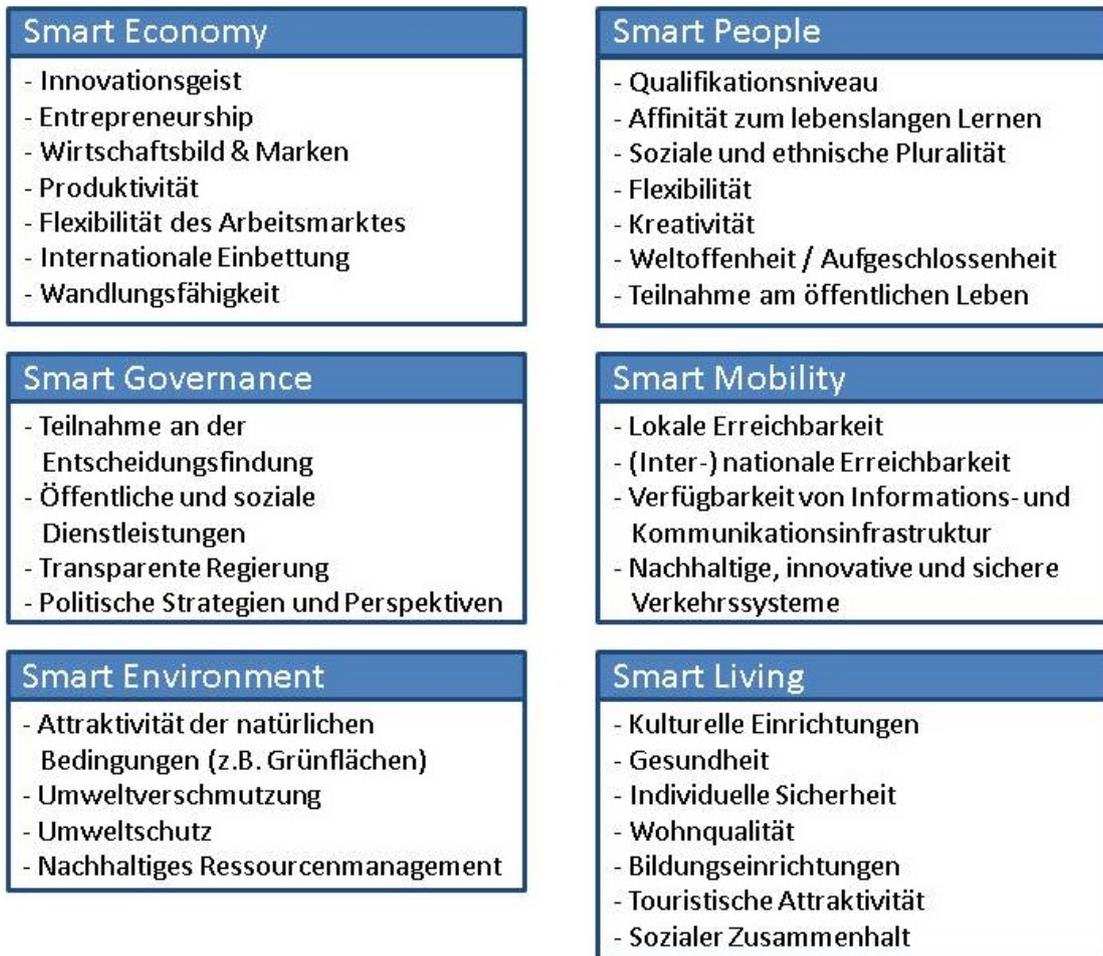
Die **Dimension Smart Governance** umfasst Aspekte der politischen Partizipation, Dienstleistungen für die Bürger sowie die Funktionsfähigkeit der Verwaltung.

Wichtige Aspekte der **Dimension Smart Mobility** sind lokale und internationale Erreichbarkeit, die Verfügbarkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie moderne und nachhaltige Verkehrssysteme.

Die **Dimension Smart Environment** umfasst Faktoren wie Klima, Grünflächen, Umweltverschmutzung, Ressourcenmanagement und Bemühungen für den Umweltschutz.

Letztlich umfasst die **Dimension Smart Living** verschiedene Aspekte der Lebensqualität wie Kultur, Gesundheit, Sicherheit, Wohnen oder Tourismus [53, S. 11 f.].

Abbildung 5.2 veranschaulicht die sechs Dimensionen und die ihnen zugewiesenen Faktoren.



**Abbildung 5.2: Dimensionen einer Smart City mit ihren Faktoren (in Anlehnung an [53, S. 12])**

Durch die verschiedenen Dimensionen bietet der Einsatz des Internet of Things in Städten eine Reihe vielfältiger Einsatzmöglichkeiten. Um Staus zu vermeiden ist es möglich, den Autoverkehr oder Autobahnen in großen Städten zu überwachen und Services bereitzustellen, die Autofahrer entsprechend durch den Verkehr leiten. Obwohl kamerabasierte Verkehrsüberwachungssysteme bereits in vielen Städten im Einsatz sind, können weit verbreitete Low-Power Kommunikationstechnologien (z.B. Sensoren

## 5 Anwendungen

und GPS in Autos) eine bessere Informationsquelle darstellen. Diese Informationen sind zum einen für die Stadtverwaltung von großer Bedeutung, um den Verkehr zu regeln und Polizisten dort hin zu schicken, wo sie benötigt werden. Zum anderen sind sie aber auch für die Bürger bedeutsam, um Routen im Voraus zu planen [54, S. 24].

Außerdem können intelligente Parksysteme auf Basis von Sensoren und Displays, Autofahrer auf dem schnellsten Weg zu freien Parkplätzen leiten. Der sich daraus ergebende Nutzen ist vielfältig. Die Autofahrer benötigen weniger Zeit, um eine Parklücke zu finden. Dies hat weniger CO<sup>2</sup>-Emissionen, weniger Verkehr auf den Straßen und zufriedener Bürger zur Folge. Durch die Verwendung von Technologien wie RFID oder NFC kann zudem eine elektronische Verifikation von Parkausweisen ermöglicht werden, wodurch die Parkplätze für nicht berechnigte Autos automatisch gesperrt werden und somit nur die Berechnigten freie Parkplätze haben [54, S. 25].

Darüber hinaus kann die Lärmbelastung in einer Smart City überwacht werden, indem der Lärm an bestimmten Orten zu bestimmten Zeiten gemessen wird. Dadurch kann neben dem Erstellen einer Ort-Zeit-Landkarte der Lärmbelastung, auch die öffentliche Sicherheit überwacht werden, indem mittels Schallerkennungsalgorithmen zum Beispiel das Geräusch von zerbrechendem Glas oder Schlägereien erkannt wird. Eine Lärmüberwachung kann somit sowohl den Lärmpegel in der Nacht senken, als auch die Sicherheit an öffentlichen Plätzen steigern [54, S. 24].

Auch die Abfallwirtschaft, ein Hauptproblem in vielen modernen Städten, kann durch den Einsatz des Internet of Things verbessert werden. Zum Beispiel können mit Sensoren ausgestattete, intelligente Abfallbehälter ihr aktuelles Gewicht erfassen und somit, je nach aktueller Beladung des Müllautos, die Route optimieren. Damit sinken die Kosten für die Abfallsammlung und es kann das Recycling verbessert werden. Um ein solches intelligentes Abfallmanagement zu ermöglichen, benötigt man intelligente Abfallbehälter, die ihre Daten an eine Zentrale senden, wo eine Optimierungssoftware die Daten verarbeitet und die optimale Route der Müllautos ermittelt [54, S. 24].

Durch ein intelligentes Stromnetz kann die Erzeugung, Verteilung und Speicherung von Energie koordiniert werden, sodass Behörden und Bürger eine klare und detaillierte Ansicht der verbrauchten Energie (von z.B. Straßenlampen, Transport, Heizen / Kühlen

von öffentlichen Gebäuden, usw.) bekommen. So genannte Smart Grids sind mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien in der Lage, die Energiezufuhr Tausender dezentraler Quellen bedarfsgerecht zu steuern. Dies ermöglicht eine effizientere Übertragung von Strom, eine schnellere Wiederherstellung der Energieversorgung nach Störungen, reduzierte Kosten für Versorgungsunternehmen, reduzierter Spitzenbedarf und folglich niedrigere Stromkosten für die Verbraucher [55].

Zusätzlich dazu kann durch eine intelligente Beleuchtung Energie gespart werden, indem die Straßenlampenintensität entsprechend der Tageszeit, den Wetterbedingungen oder der Anwesenheit von Menschen angepasst wird [54, S. 24 f.]. Der Einsatz des Internet of Things in der Stadt bietet eine Vielzahl von Vorteilen in unterschiedlichsten Bereichen wie Transport, Parkplätze, Beleuchtung, Überwachung von öffentlichen Plätzen oder Abfallentsorgung. Darüber hinaus können die unterschiedlichen Daten, welche durch die Anwendungen gesammelt werden, beispielsweise auch dazu benutzt werden, die Transparenz der Aktionen der lokalen Regierung gegenüber den Bürgern zu erhöhen oder das Bewusstsein der Menschen über ihre Stadt zu steigern [54, S. 22].

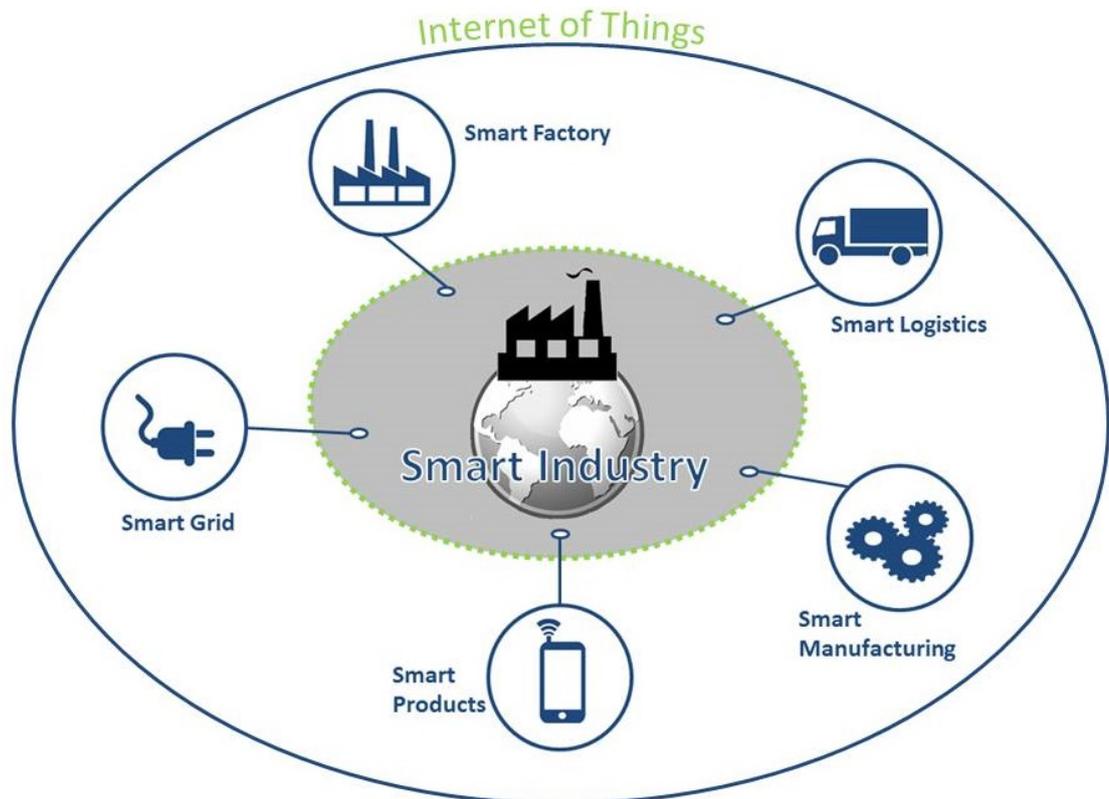
## 5.3 Smart Industry

Auch in der Industrie spielt das Internet of Things eine große Rolle. Die technischen Entwicklungen ermöglichen es der Informationstechnologie bis in die kleinsten Fertigungssysteme in Produktionshallen durch zu dringen und ebnen den Weg für eine Reihe von neuen Anwendungen. Diese reichen vom Anschluss der Fabrik an ein intelligentes Stromnetz (Smart Grid), bis hin zu agileren und flexibleren Produktionssystemen, um eine intelligentere und effizientere Produktion zu gewährleisten (Smart Manufacturing). Abbildung 5.3 veranschaulicht die verschiedenen Bereiche einer Smart Industry.

Vorstellbar sind Fertigungsanlagen und Logistiksysteme, die sich ohne menschliche Eingriffe weitgehend selbst organisieren (Smart Factory). Technische Grundlage sind dabei Cyber-physische Systeme <sup>1</sup>, die über Netzwerke miteinander kommunizieren.

---

<sup>1</sup>Cyber-physische Systeme bezeichnen einen Verbund informations- und softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die über eine Dateninfrastruktur, wie zum Beispiel das Internet, kommunizieren [57].



**Abbildung 5.3: Smart Industry als Teil des Internets of Things (in Anlehnung an [56])**

Zudem findet eine Kommunikation zwischen Produkt und Fertigungsanlage statt. Dies bedeutet, dass das Produkt seine Fertigungsinformationen in maschinell lesbarer Form, zum Beispiel auf einem RFID-Chip, selbst mitbringt. Anhand dieser Daten werden der Weg des Produkts durch die Fertigungsanlage und die einzelnen Fertigungsschritte gesteuert.

Üblicherweise wird die RFID-Technologie in der Logistik verwendet, um Bewegung von Produkten innerhalb von Lieferketten zu überwachen und zu koordinieren (Smart Logistics). Dabei werden die RFID-Transponder typischerweise direkt am Artikel (oder am Behälter, der die Artikel enthält) befestigt, während in der gesamten Anlage zur Überwachung Lesegeräte platziert sind. Dies gewährleistet neben hoher Flexibilität auch eine hohe Interoperabilität zwischen den unterschiedlichen Akteuren, die mit dem Produkt in den verschiedenen Phasen des Lebenszykluses in Kontakt kommen [51, S. 1511].

In Anwendungen im Einzelhandel können Technologien des Internet of Things dazu verwendet werden, um in Echtzeit die Verfügbarkeit von Produkten zu kontrollieren und den Warenbestand im Lager zu überwachen. Auch nach dem Verkauf können Identifikationstechnologien (wie z.B. RFID oder NFC) dazu beitragen, dass Benutzer beispielsweise automatisch alle Daten über gekaufte Produkte abrufen können. Zudem können sie bei Diebstählen oder bei Fälschungen hilfreich sein, indem sie eine eindeutige Identifikationsnummer und eine vollständige und vertrauenswürdige Beschreibung der Ware selbst bereitstellen [51, S. 1511].

Darüber hinaus erlauben es Sensoren, insbesondere Bio-Sensor-Technologien in Kombination mit der RFID-Technologie, die Produktqualität im Produktionsprozess und die Qualität des Endproduktes zu kontrollieren sowie die Haltbarkeit der Ware, etwa in der Lebensmittelindustrie, zu überwachen. Um ein Produkt zu verfolgen kann die RFID-Technologie verwendet werden, während die Bio-Sensoren Parameter wie Temperatur oder bakterielle Zusammensetzung des Produkts überwachen, um die erforderliche Qualität des Endproduktes zu gewährleisten [51, S. 1511].

### 5.4 Smart Health

Auch im Gesundheitssektor sind eine Reihe von Anwendungen durch den Einsatz von Technologien des Internet of Things zu finden. Hauptziel von Smart Health ist es, für die richtige medizinische Unterstützung zur richtigen Zeit zu sorgen, die Lebensqualität für Menschen, die permanente Unterstützung oder Überwachung benötigen, zu verbessern und Hindernisse für die Überwachung wichtiger Gesundheitsparameter zu verringern, um unnötige Kosten und Leistungen zu vermeiden [52, S. 63].

Technologien des Internet of Things können etwa im Krankenhaus verwendet werden, um den physiologischen Zustand der Patienten dauerhaft zu überwachen. Dies erfordert Sensoren und eine Cloud, um umfassende medizinische Informationen (z.B. Körpertemperatur, Blutdruck oder Atmungsaktivität) zu sammeln, zu analysieren, zu speichern und um diese drahtlos an das Krankenhauspersonal zur weiteren Analyse und Bewertung weiter zu leiten. Dadurch kann die Qualität der Betreuung durch ständige Aufmerksam-

## 5 Anwendungen

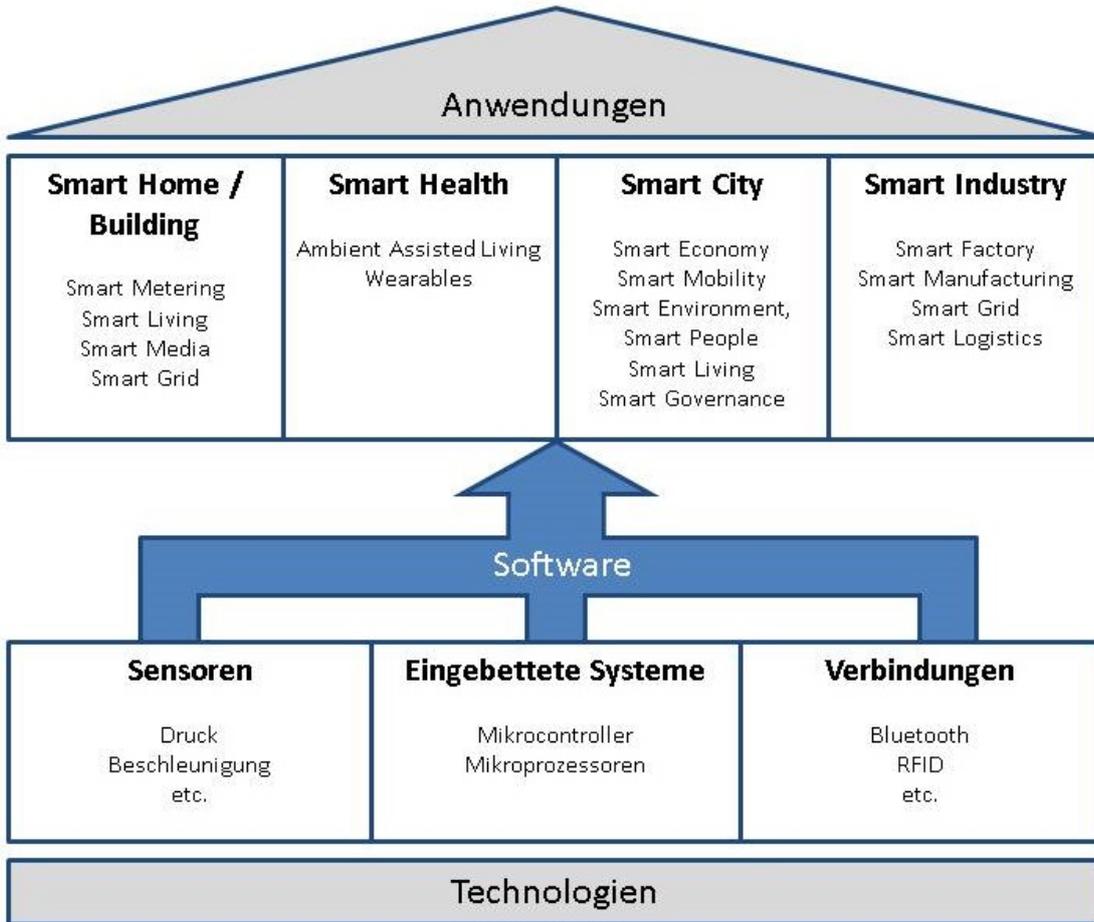
keit verbessert und die Kosten für die Pflege gesenkt werden, da das Pflegepersonal nicht mehr selbst aktiv Daten erheben und analysieren muss [52, S. 62].

Darüber hinaus kann die Technologie zur Fernüberwachung von Patienten (Ambient Assisted Living) eingesetzt werden. Patienten können medizinische Sensoren tragen, womit medizinische Parameter überwacht werden können. Andere Sensoren (z.B. Beschleunigungsmesser) werden eingesetzt, um Daten über Patienten in deren Lebensumfeld zu sammeln. Die gesammelten Informationen werden lokal zusammengefasst und zu medizinischen Zentren gesendet. Von dort aus findet eine Analyse der Daten mit komplexen Algorithmen und medizinischen Fachleuten statt, wodurch in kritischen Situationen (z.B. Beschleunigungsmesser meldet einen schweren Sturz) sofort Hilfe gerufen werden kann. In Verbindung mit dieser Technologie kann ein umfassendes Bild der Gesundheitsparameter bereitgestellt werden, wodurch entweder ein sofortiges Eingreifen des medizinischen Personals möglich ist, sobald sich der Gesundheitszustand der Patienten drastisch verschlechtert, oder angemessene Gesundheitsempfehlungen ausgesprochen werden können [52, S. 62]. Ein ausführliches Beispiel dazu wird in Abschnitt 6.2.2 beschrieben.

Eine weiteres Anwendungsgebiet betrifft die Gesundheitsvorsorge bzw. das persönliche Wohlbefinden. Die Verwendung von Sensoren zusammen mit geeigneten Anwendungen auf tragbaren Computersystemen, sogenannten *Wearables*, ermöglichen es Menschen, ihre täglichen Aktivitäten zu verfolgen (z.B. Anzahl an Schritten, Kalorienverbrauch, Puls, etc.). Auf Grundlage dessen können Vorschläge für die Verbesserung ihrer Lebensweise gemacht werden, um das Auftreten von gesundheitlichen Problemen frühzeitig zu verhindern [51, S. 1510].

### 5.5 Zusammenfassung

Abbildung 5.4 zeigt einen abschließenden Überblick über die wichtigsten und bekanntesten Anwendungsgebiete des Internet of Things.



**Abbildung 5.4: Überblick über die wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten**

Momentan findet sich der Einsatz des Internet of Things vor allem in der Logistik wieder, wo insbesondere RFID-Systeme eingesetzt werden. Auch Anwendungsgebiete wie Smart Homes und Smart Cities bieten Lösungen, die das alltägliche Leben einfacher gestalten und das Sparen von Ressourcen unterstützen. Die Anwendungsgebiete Smart Health und Smart Industry stecken noch in der Kinderschuhen, wobei es vielversprechende Lösungsansätze gibt. Diese werden allerdings nur selten in die Tat umgesetzt, da sie noch zu teuer sind. Können die bestehenden Herausforderungen gelöst werden, wird sich dies in den nächsten Jahren aber grundlegend verändern und immer mehr Technologien des Internet of Things werden Einzug in die Häuser, Städte, Fabriken und Krankenhäuser halten.



# 6

## **Einfluss des Internet of Things auf Prozesse**

Das Internet of Things schafft erstmals eine Basis, die Lücke zwischen den in der realen Welt stattfindenden Geschäftsprozessen und den durch Informationssysteme digital unterstützte Workflows zu schließen. Supply Chain Management (SCM) bietet zahlreiche Anwendungsszenarien, die vom Internet of Things profitieren können. So gibt es innerhalb des Supply Chain Managements eine Vielzahl an Gütern, die mit Fahrzeugen, Schiffen oder Flugzeugen transportiert werden.

Für den SCM-Bereich besteht daher das Bedürfnis, die Güter mit Hilfe von Technologien wie RFID und Sensoren zu überwachen, verfolgen und koordinieren. Dadurch werden große Mengen an (Kontext-)daten gesammelt, welche dann zur Echtzeitüberwachung von Geschäftsprozessen und zum Monitoring der beteiligten Objekte eingesetzt werden können. Liegt zum Beispiel verderbliche Ware vor, muss bei Bedarf sofort eingegriffen

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

werden, um ein Verderben der Ware zu vermeiden. Insgesamt stellt das Supply Chain Management einen prädestinierten Bereich dar, um den Einfluss des Internet of Things auf Prozesse darzustellen.

Abschnitt 6.1 beschäftigt sich mit dem Einfluss des Internet of Things auf Prozesse des Supply Chain Managements. Dabei steht die Frage im Mittelpunkt, inwieweit logistische Prozesse durch den Einsatz von Smart Objects verändert werden. In Abschnitt 6.2 werden dazu zwei Anwendungsbeispiele betrachtet. Um den Einfluss des Internet of Things auf Prozesse zu verdeutlichen, beschreibt Abschnitt 6.3 eine Möglichkeit, wie die etablierte *Business Process Modeling Language* [4] zu erweitern ist, um IoT-spezifische Prozesse übersichtlich darzustellen.

### 6.1 Internet of Things im Supply Chain Management

Das Supply Chain Management stellt einen geeigneten Bereich dar, um Technologien des Internet of Things einzusetzen. Diese Technologien führen im Allgemeinen nicht nur zu qualitativen Verbesserungen (z.B. Benutzerzufriedenheit), sondern auch zu quantitativen Optimierungen (z.B. Prozessoptimierung) [58, S. 155].

Das Supply Chain Management bezeichnet den Aufbau sowie die unternehmensweite Integration von Planung, Steuerung und Controlling der integrierten Logistikketten (Material- und Informationsflüsse) über den gesamten Wertschöpfungsprozess von der Rohstoffgewinnung bis hin zum Endverbraucher. Ein logistischer Prozess besteht dabei im Wesentlichen aus der Planung, Durchführung und Kontrolle eines kosteneffizienten Transports von Waren sowie deren Lagerung entsprechend den Anforderungen des Kunden. Hauptaufgabe der Logistik ist es, die richtigen Güter in der richtigen Menge und Qualität zum richtigen Zeitpunkt an den richtigen Ort zum richtigen Preis zu transportieren [58, S. 158]. Um dies gewährleisten zu können, müssen Informationssysteme für den Logistikbereich geeignete Funktionen bereitstellen wie etwa Identifikation, Verfolgung, Standortermittlung, Monitoring, Echtzeit-Anpassung oder Optimierung.

Eine Identifizierung der Güter garantiert, dass die richtigen Güter transportiert werden. Die Verfolgbarkeit der Güter ermöglicht es, verlorene Güter zu identifizieren und

## 6.1 Internet of Things im Supply Chain Management

garantiert somit, dass die richtige Menge an Gütern transportiert wird. Durch die Standortermittlung wird gewährleistet, dass die Güter an den richtigen Ort geliefert werden, da der Transport an sich überwacht wird. Das Monitoring wiederum überwacht und kontrolliert den Zustand der Güter, wodurch die richtige Qualität garantiert wird. Mit all diesen gesammelten Daten kann der gesamte logistische Prozess im Detail überwacht und beobachtet werden. Daher kann auch auf das Eintreten unvorhergesehener Ereignisse angemessen reagiert werden, sodass der richtige Lieferzeitpunkt gewährleistet oder zumindest entsprechend frühzeitig korrigiert wird. Darüber hinaus stellen die Daten die Grundlage für Optimierungen dar, die den Preis beeinflussen.

Damit Informationssysteme mit diesen Daten gespeist werden können, muss das Internet of Things die entsprechenden Technologien dazu bereitstellen. Einige Technologien die in Kapitel 3 vorgestellt wurden tragen dazu bei die eben genannten Funktionen im Informationssystem zu implementieren. Dies wird in Tabelle 6.1 dargestellt.

Aufgaben (Logistik)	Funktionen (Informationssystem)	Technologien		
		Barcode	RFID	Wireless Sensor Networks
Güter	Identifizierung	Voll	Voll	Voll
Menge	Verfolgung	Teilweise	Voll	Voll
Ort	Standortermittlung	-	Voll	Voll
Qualität	Monitoring	-	Teilweise	Voll
Zeit	Echtzeit-Anpassung	-	-	Voll
Preis	Optimierung	-	-	Voll

**Tabelle 6.1: Zuordnung ausgewählter Technologien zu logistischen Funktionen (in Anlehnung an [59, S. 614])**

Mit Hilfe von Barcodes können Waren elektronisch identifiziert werden, wodurch ihre Aufzeichnung in den Informationssystemen automatisch aktualisiert wird. Die Verfolgung der Waren wird durch Barcodes allerdings nur teilweise unterstützt, da es zum Beispiel unmöglich ist, einzelne Elemente von Waren auf einer Palette zu erkennen. Barcodes werden daher nur beim Be- und Entladen größerer Objekte verwendet.

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

Kommt hingegen die RFID-Technologie zum Einsatz, so ist es möglich, einzelne Warenelemente auf Paletten oder in Containern zu identifizieren. Auch eine Standortermittlung und Verfolgung der Waren ist möglich, soweit die Infrastruktur der RFID-Lesegeräte dies zulässt. Ähnlich wie Sensoren erlauben es neuartige RFID-Transponder, Informationen über die Waren (z.B. Temperatur oder Erschütterungen beim Transport) zu erfassen und ermöglichen damit ein Monitoring der Waren. Diese Erfassungsfunktionen sind jedoch begrenzt.

Drahtlose Sensornetzwerke können spezifisch auf die Anforderungen des Transportgutes angepasst werden und im Gegensatz zu den anderen Technologien, die lediglich Daten an ein Informationssystem liefern, Teile von Prozessschritten eines Informationssystems direkt an Ort und Stelle ausführen [58, S. 159]. Die Waren selbst werden so zu einem „eingebetteten“ logistischen Informationssystem. Beispielsweise existieren Sensornetzwerke, welche Funktionen wie Identifikation, Verfolgung, Standortermittlung, Monitoring, Echtzeit-Anpassung und Optimierung vereinen [60].

Durch die Technologien ergeben sich beim Einsatz von Smart Objects auch neue Möglichkeiten für die Prozessgestaltung. Ihr Einsatz vereinfacht die Überwachung und Steuerung der Produkte entlang des gesamten Logistikprozesses und ermöglicht die Qualität, Korrektheit und Aktualität der Informationen über die Geschäftsprozesse hinweg zu verbessern. Es führt auch dazu, dass die Logistikketten transparenter werden [58].

Der Einsatz von Smart Objects bedingt dabei drei Arten von Integrität [59, S. 614]:

Die physische **Integrität der Produkte** innerhalb eines Logistikprozesses kann durch Sensoren überwacht werden. Zum Beispiel kann ein Produkt beim Prozessstart mit dem Status „geschlossen“ gekennzeichnet sein. Wenn sich dieser Status im Laufe des Prozesses ändert (z.B. hin zu „geöffnet“ oder „manipuliert“), könnte die Integrität des Produkts verletzt sein. Für verderbliche Waren können Sensoren für Temperaturmessungen verwendet werden, um den Produktzustand zu überwachen. Zu Prozessbeginn ist zum Beispiel ein mit Obst beladener Container mit dem Status „frisch“ markiert. Wenn nun die Temperatur über einen vorgegebenen Schwellenwert ansteigt, kann die Qualität der Früchte beeinträchtigt werden. Der Status des Containers ändert sich entsprechend in „verdorben“.

Die **Integrität des Transportweges** kann durch Technologien überwacht werden, die den Standort der Waren bestimmen können. Für den Transport der Produkte müssen die Routen vorher geplant werden. Jedoch kann es unterwegs, aufgrund von Umweltveränderungen, zu Veränderungen der Transportwege kommen. So könnten unvorhersehbare Ereignisse wie Verkehr, Wetter oder Straßensperren die Route beeinträchtigen. Im Umgang mit umweltschädlichen Gefahrenstoffen etwa kann ein Umweg bedeuten, dass die neue Route über ein Gebiet verläuft, das ohne Bevollmächtigung nicht befahren werden darf und somit die Integrität des Transportweges verletzen würde.

Die **Integrität der Bestandteile** erfordert die komplexeste Überwachung. Jede Komponente des Produkts muss während der Herstellung und des Transports kontrolliert werden. Die Integrität der Komponenten sorgt dafür, dass das Produkt seine beabsichtigte Verwendung beibehält und nicht gegen vorgegebene Regeln oder Gesetze in Bezug auf rechtliche Fragen oder die Einhaltung von Umweltvorschriften innerhalb des Logistikprozesses verstößt.

Das Verletzen eines Integritätstyps kann auch dazu führen, dass deshalb die anderen Integritätstypen verletzt werden. So kann es vorkommen, dass ein mit Obst beladener Container aufgrund einer Verletzung der Produktintegrität umdrehen oder einen Umweg fahren muss. Umgekehrt kann auch ein Umweg dazu führen, dass die Produktintegrität verletzt wird [59, S. 614].

Innerhalb des Supply Chain Management bieten die Smart Objects für eine Vielzahl von Anwendungen und Bereiche Vorteile. Sie ermöglichen die Aufzeichnung von Informationen aller Art und das Sammeln von Echtzeitinformationen. Sie helfen somit letztlich dabei, die Prozesse im Supply Chain Management effizienter zu machen und zu optimieren [61, S. 6].

Smart Objects ermöglichen zum Beispiel eine Standortermittlung mit deren Hilfe man feststellen kann, ob Produkte von der geplanten Route abweichen. Auch die Überwachung des Produktzustandes ist möglich. Damit können beispielsweise Änderungen der Frachtbedingungen festgestellt werden. Erreichen diese einen kritischen Wert, wird der Spediteur automatisch alarmiert und kann entsprechende Maßnahmen ergreifen, um

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

die Waren vor dem Verderben zu retten. Durch die dauerhafte Überwachung der Waren mit Smart Objects können kritische Situationen frühzeitig erkannt und somit verhindert werden.

Durch den Einsatz von Smart Objects zur Kontrolle von Rohstoffen oder fertigen Erzeugnissen in der Lagerverwaltung können deutlich mehr Informationen gesammelt und ausgewertet werden. Dies verhindert eine Überproduktion und verringert daher das Risiko eines überhöhten Lagerbestandes [61, S. 6]. Die dauerhafte Überwachung in Echtzeit hilft auch, um Diebstahl oder Verlust von Produkten zu verhindern. Die Prozesse im Lager können entsprechend effizienter abgewickelt werden und es kommt zu weniger Fehlern innerhalb der Prozessketten. Dadurch kann die Reaktionszeit eines Unternehmens auf die Anforderungen des Kunden reduziert werden. Eine schnellere Reaktionszeit bedeutet, dass die Lagergröße verringert werden kann, was wiederum die Kosten senkt.

Im Supply Chain Management wird versucht, die Prozesse sowie die Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen, ihren Lieferanten und Kunden zu optimieren. Dabei stellen Informationsasymmetrien eine große Herausforderung dar [62, S. 1875]. In bisherigen Prozessen wurden die Informationen nur an den direkt vor- bzw. nachgelagerten Partner weitergegeben, anstatt die Informationen mit allen Akteuren aus der gesamten Prozesskette zu teilen. Mit Hilfe von Smart Objects kann ein besserer Informationsfluss über die komplette Lieferkette hinweg garantiert werden, indem alle relevanten Akteure miteinbezogen werden [63, S. 328 f.].

Das Supply Chain Management kann von komplexeren Smart Objects, ausgestattet mit Sensoren und Netzwerken, profitieren und somit eine ganzheitliche Überwachung der empfindlichen Waren gewährleisten. Darüber hinaus können genaue und leicht zugängliche Echtzeitinformationen bereitgestellt werden. Folglich erzielen Entscheidungsträger eine verbesserte Qualität sowie eine höhere Präzision und Aktualität der Informationen. Bessere Informationen tragen auch zu besseren Entscheidungen bei, wodurch Kosten reduziert und die Erträge maximiert werden können. Potenziell kann dies ein Wettbewerbsvorteil für Unternehmen bedeuten. Zusätzlich können die Geschäftsprozesse durch die Vielzahl an Informationen genauer analysiert werden. Dadurch werden

eventuelle Konflikte und Ineffizienzen einfacher und früher entdeckt und es können entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

Bezogen auf ihr Potenzial sind Smart Objects in der Lage, mehr als „nur“ Informationen in Echtzeit bereitzustellen. Mit eingebetteter Intelligenz (z.B. auf Basis von Mikrocontrollern oder -prozessoren) können sie auch Daten verarbeiten und auf deren Grundlage selbstständig Entscheidungen treffen. Obwohl Smart Objects eine wichtige Rolle bei der Überwachung logistischer Prozesse spielen, werden sie vor allem zum Sammeln von Informationen verwendet, anstatt sie aktiv bei der Entscheidungsfindung oder Geschäftsprozessplanung einzusetzen [59, S. 616].

Wird die Geschäfts- und Prozesslogik auf die einzelnen Smart Objects übertragen, verschiebt sich die Entscheidungsfindung weg von einer zentralen, serverbasierten Lösung hin zu einem Netzwerk dezentraler Geräte, die Daten verarbeiten. Dies erzeugt eine autonome Zusammenarbeit der einzelnen Geräte innerhalb der Logistikprozesse. Jedes Smart Object besitzt dabei seine eigene intelligente Software, die selbstständig nach Teillösungen sucht, Entscheidungen trifft und mit anderen Instanzen kommuniziert. Ohne direkten Eingriff des Menschen treffen Smart Objects Entscheidungen in Echtzeit [59, S. 616]. Tritt beispielsweise bei einem Gütertransport mit einem LKW eine Straßensperre auf, muss sofort die beste Alternativroute berechnet und gefunden werden. Diese Route darf nicht gegen die anderen logistischen Vorgaben verstoßen und muss die drei Arten von Integrität wahren.

Selbst in Transportszenarien, in denen theoretisch keine unvorhergesehenen Situationen auftreten können, alles festgelegt ist bevor der Prozess überhaupt beginnt und daher eigentlich keine Notwendigkeit besteht Entscheidungsverantwortung an die Smart Objects zu übertragen, können Änderungen im Straßenverkehr, neue Auftragseingänge oder jede andere Art von unvorhersehbaren Ereignissen eine Änderung der zuvor geplanten Route erfordern. Um solch unerwartete Szenarien zu unterstützen ist es trotzdem notwendig, genügend Smart Objects mit eingebetteter Intelligenz zu verwenden, um im Falle eines Falles trotzdem dynamisch planen und reagieren zu können [59, S. 616].

Smart Objects mit eingebetteter Intelligenz verarbeiten Daten, beobachten und bewerten ihre Umgebung und treffen Entscheidungen basierend auf den erfassten Informationen.

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

Allerdings sind diese abhängig von der Entscheidungsfreiheit, die den Smart Objects innerhalb des Prozesses gewährt wird. Smart Objects bestimmen damit, wie sich Prozesse dynamisch verändern und anpassen können [64, S. 108 f.]. Da jedes am Prozess beteiligte smarte Objekt Einfluss auf Entscheidungen nehmen kann, bestimmen sie somit auch wie stark dezentralisiert die Prozesse ausgeführt werden. Umso mehr Entscheidungsfreiheit die Smart Objects besitzen, desto mehr werden die Geschäftsprozesse in einzelne Prozessschritte zerlegt, von denen einige im Netzwerk, andere von den Smart Objects selbst ausgeführt werden (Business Process Decomposition). Diese Dezentralisierung der Geschäftsprozesse erhöht die Skalierbarkeit und Performance und ermöglicht eine bessere Entscheidungsfindung. Außerdem wird dadurch die Rechenleistung dorthin verteilt, wo die Entscheidungen getroffen werden. Dies spart Rechenzeit und reduziert die Rechenlast [9, S. 16 ff.].

In einem zentralen Ansatz hingegen stellen die smarten Objekte im Logistikprozess detaillierte Informationen bereit und stellen deshalb nur einzelne atomare Aktivitäten in einem Geschäftsprozess dar [65]. Der Einsatz von Smart Objects ermöglicht eine Berücksichtigung umfangreicher Echtzeitinformationen in Geschäftsprozessen. Das Ergebnis ist ein detaillierter Einblick in die Geschäftsprozesse, wodurch Schwierigkeiten und Flaschenhälse einfacher erkannt werden können. Die Prozesse werden transparenter und es werden Probleme und Informationsasymmetrien innerhalb der Prozesse aufgedeckt. Für Unternehmen bedeutet dies wiederum eine Reduzierung der Kosten und eine Erhöhung der Durchflussrate innerhalb der Prozesse, da diese effizienter sind als zuvor [66].

### 6.2 Beispielszenarien

Nachfolgend werden zwei Beispielszenarien beschrieben. Das erste Szenario befasst sich mit einem Prozess des Supply Chain Managements, in dem modernste Technologie eingesetzt wird, um Güter zu überwachen und zu verfolgen. Das zweite Szenario beschreibt ein konkretes Prozessmodell aus dem Anwendungsgebiet Smart Health. Dieses Beispiel zeigt einen möglichen Überwachungsprozess für Patienten.

### 6.2.1 Supply Chain Management

Da die Verwaltung von Gütern in unterschiedlichen, unvorhergesehenen Situationen mit verschiedenen Beteiligten eine kontinuierliche Überwachung erfordert, besteht ein Bedarf intelligenter Technologien. Dieses Anwendungsbeispiel [58, S. 159 ff.] verdeutlicht anhand eines Logistikprozesses, wie Technologien des Internet of Things nutzbringend eingesetzt werden können.

*Beispiel 6.1 (Logistikprozess).* Ein Kunde bestellt bei einem Anbieter chemischer Substanzen Chemikalien. Der Anbieter wiederum beauftragt einen Spediteur für den Transport dieser gefährlichen Substanzen. Die Behälter, in denen die Chemikalien lagern, stellen Smart Objects dar. Mit Sensoren, die direkt an den Behältern angebracht sind, können diese identifiziert und überwacht werden. Sie stellen ein drahtloses Sensornetzwerk dar und ermöglichen die Verfolgung der beladenen Container durch eine mobile Kommunikationsinfrastruktur.

Der Anbieter der Chemikalien ist dafür verantwortlich, dass alle Smart Objects mit grundlegenden Informationen ausgestattet sind, etwa einer Identifizierung des Containers, dem Ziel, Transportbedingungen, Größe der Lieferung und der Zeit bis das Ziel erreicht wird.

Der Spediteur ist für die Planung der Strecke zuständig und plant dabei die Strecken unterschiedlicher Güter getrennt voneinander. Die verschiedenen Aufträge, die der Spediteur erhält, werden (im sog. Cross-Dock) zusammengefasst und erneut organisiert, um die Auslastung der LKWs zu optimieren.

Informationen für den Transport, die bisher in einem Enterprise Resource Planning System (ERP System) festgehalten wurden, werden nun durch Smart Objects erfasst und überprüft. Sie identifizieren die Behälter in der Umgebung automatisch und schlagen im Falle einer Unverträglichkeit einzelner Behälter sofort Alarm.

Durch ein Wide Area Network (z.B. GSM) kann der Zustand der Chemikalien direkt von den Prozessbeteiligten abgefragt werden, damit eventuell relevante Sicherheitsrichtlinien überprüft und eingehalten werden können.

Erreicht die Lieferung den Kunden, informieren die Smart Objects automatisch den

Lieferanten, dass die Lieferung am Ziel eingetroffen ist. Gleichzeitig findet automatisch eine Identifizierung des Kunden statt und es wird die Menge und der Zustand der Lieferung überprüft.

Das drahtlose Sensornetzwerk des Beispielfalles ermöglicht den Teilnehmern, sich jederzeit über den Zustand und die Lage der Lieferung zu informieren.

Durch das Cross-Dock werden unterschiedliche Ladungen mit dem gleichen Ziel in einen LKW verpackt. Auch können andere Parameter und Echtzeitbedingungen für die Optimierung der Lieferkette verwendet werden. Es muss beispielsweise sichergestellt sein, dass keine Gefahrgüter mit brennbaren und brandfördernden Stoffen in den selben LKW geladen werden.

Während des Transports überwachen die Smart Objects ständig die Transportbedingungen, wie zum Beispiel die Temperatur der Chemikalienbehälter. Die Smart Objects handeln dabei aktiv, das heißt sie alarmieren und benachrichtigen den Verantwortlichen, wenn bestimmte Transportbedingungen überschritten bzw. nicht eingehalten werden. Dadurch können entsprechende Aktionen ausgelöst werden. Zum Beispiel wird der Lastwagenfahrer in kritischen Fällen sofort benachrichtigt, sodass dieser die Ladung entsprechend überprüfen kann.

Ferner kann der Standort mit Hilfe der Smart Objects elektronisch bestimmt und verfolgt werden. So kann beispielsweise bei einer Lieferung, bei der ein Container versehentlich zurück gelassen wurde, sofort der Spediteur benachrichtigt werden, um entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Smart Objects gewährleisten, dass die richtige Menge der Chemikalien geliefert wird und Verluste vermieden werden.

Wird bei der Lieferung an den Kunden festgestellt, dass beispielsweise Transportbedingungen verletzt wurden und der Zustand der Waren nicht mehr in Ordnung ist, kann sofort ein Retoure-Prozess eingeleitet werden. Vor allem kann aber, wenn alles in Ordnung ist, sofort eine Rechnung an den Kunden gestellt werden.

Durch den Einsatz von Smart Objects in solchen Logistikprozessen ergeben sich Vorteile für alle Beteiligten, wie den Anbieter, den Spediteur und den Kunden. So kann das Auftreten kritischer Situationen verhindert werden. Durch kontinuierliche Überwachung

der Waren und die rasche Reaktion beim Verletzen der Transportbedingungen können weitere Beschädigungen oder sogar Verluste verhindert werden. Dadurch reduzieren sich zum Beispiel auch die Rücksendekosten oder die Kosten für die Beseitigung von Mängeln. Außerdem können Verantwortlichkeiten klar zugeordnet werden. Werden Warnungen ignoriert oder erfolgt eine verzögerte Reaktion auf eine Warnung, kann durch die Smart Objects die Beschädigung oder der Verlust der Ware nachgewiesen werden. Das Transportunternehmen kann dadurch für die Höhe des Schadens verantwortlich gemacht werden. Dies gewährleistet einerseits eine transparente Lieferkette für den Kunden und ermöglicht andererseits eine klarere Trennung der Kosten zwischen Anbieter (bzw. Versender) und Spediteur (bzw. Transportunternehmen).

### 6.2.2 Smart Health

Im Folgenden wird ein in Zukunft möglicher Anwendungsfall aus dem Bereich Smart Health vorgestellt. Das Anwendungsbeispiel aus [67, S. 131:2] zeigt, wie das Internet of Things zur Fernüberwachung von Patienten (sog. Remote Monitoring) genutzt werden kann.

*Beispiel 6.2 (Smart Health).* Robert, ein älterer Mann, der an Diabetes erkrankt ist, hat ein drahtloses identifizierbares Gerät (iDiab) implantiert, das kontinuierlich seinen Blutzuckerspiegel misst und ihn warnt, wenn dieser einen kritischen Bereich erreicht. Dieses Gerät ist Teil eines sogenannten Ganzkörper-Sensor-Systems (hCheck), das kontinuierlich den allgemeinen Gesundheitszustand von Robert durch Messung von Vitalparametern (z.B. Herzfrequenz, Atemfrequenz und Körpertemperatur) überwacht.

An einem Morgen beschließt Robert, gegen den Rat seines Arztes, ein großes Stück Kuchen zum Frühstück zu essen. Ein paar Minuten später beginnt der Blutzuckerspiegel zu steigen und droht innerhalb von Augenblicken den normalen Bereich zu verlassen. Das iDiab erkennt den Zustand und sendet eine Nachricht an Roberts Smartphone. Dieses warnt Robert und erinnert ihn daran, sich in den nächsten 30 Minuten Insulin zu injizieren. Robert ist erfreut über die kleinen smarten Helfer in

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

seinem Alltag, die seinen Zustand überwachen und ihn rechtzeitig warnen. Nachdem Robert sich, wie vorgeschlagen, das Insulin injiziert hat, verlässt er das Haus und geht zur Arbeit. Am Vormittag bekommt er einen unerwarteten Anruf von seinem Arzt im Krankenhaus. Er erzählt Robert, dass er sich Sorgen um die zwischenzeitliche Entwicklung seines Blutzuckerspiegels macht, da er gerade Roberts Gesundheitsinformationen in der Datenbank überprüft hat. Sogenannte HealthCare Records (HCR) stellen systematische Sammlungen elektronischer Gesundheitsinformationen über einzelne Patienten dar. Da es aber nicht zu ernst zu sein scheint, vereinbart Robert einen Termin für die nächste Woche.

Wieder auf dem Weg nach Hause hat Robert einen Autounfall. Die Beschleunigungssensoren seines Smartphones erkennen sofort, dass etwas gefährliches passiert sein könnte und das Smartphone fragt Roberts Zustand beim hCheck ab. Auch die Sensoren des hChecks haben erkannt, dass Robert in Gefahr sein könnte, weshalb sein Smartphone automatisch eine Nachricht mit seinen Standortdaten und seiner persönlichen Identifikationsnummer an die Notrufzentrale sendet. Dadurch wird die nächstgelegene Notrufzentrale alarmiert und ein Krankenwagen wird direkt zu Robert geschickt. Ein Arzt überprüft Roberts hCheck-System und verifiziert, dass etwas schmerzhaftes passiert sein muss, Robert aber nicht in Lebensgefahr ist, da er keine größeren Blutungen hat und bei Bewusstsein ist.

Ein paar Minuten nach dem Unfall trifft der Rettungswagen ein und transportiert Robert ins Krankenhaus. Kurz nachdem der Rettungswagen im Krankenhaus angekommen ist, wird Robert umgehend identifiziert, alle notwendigen medizinischen Daten werden dem Arzt durch Roberts HCR zur Verfügung gestellt und es kann umgehend mit der Behandlung begonnen werden.

Durch den Einsatz der modernen Technologien des Internet of Things konnte so erheblich Zeit gespart werden, um Robert schneller und effizienter zu behandeln.

Abbildung 6.1 zeigt ein BPMN-Prozessmodell des Szenarios.

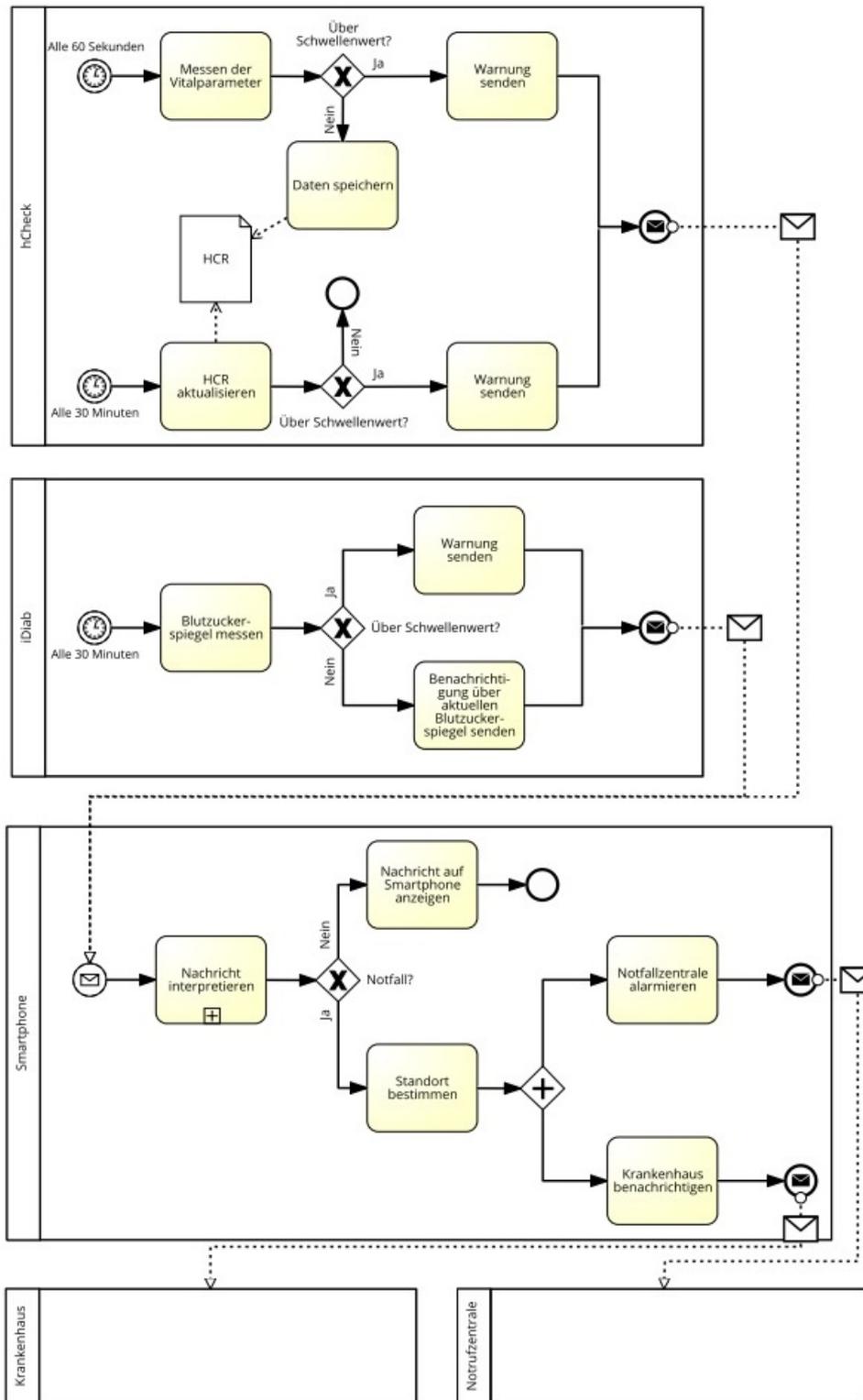


Abbildung 6.1: Darstellung des Smart Health Anwendungsbeispiels in BPMN 2.0 (in Anlehnung an [67, S. 131:3])

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

Dieses Prozessmodell stellt eine vereinfachte Darstellung der Vorgänge von Roberts Tag dar und soll verdeutlichen, wie Prozesse des Internet of Things bisher dargestellt werden können.

Das hCheck-System beinhaltet zwei Prozesse die sich auf Roberts Vitalparameter beziehen. Zum einen werden die gemessenen Sensormesswerte jede Minute überprüft, zum anderen wird Roberts HCR jede halbe Stunde aktualisiert. Wird ein Trend erkannt, etwa dass ein Vitalparameter eine vorher definierte Schwelle überschreitet, erhält Roberts Smartphone eine Nachricht. Ebenso wie das hCheck-System überprüft das iDiab-Gerät den Blutzuckerspiegel zweimal pro Stunde und aktualisiert entsprechend Roberts HCR. Liegt dieser auf einem gefährlichen Niveau, wird Robert wieder über sein Smartphone benachrichtigt.

Durch das Internet of Things wird zudem ermöglicht, dass die Nachrichten auf dem Smartphone interpretiert werden können. Dringende Notfallbenachrichtigungen könnten zum Beispiel schneller verarbeitet werden, während regelmäßige Updates langsamer verarbeitet werden können, um den Energieverbrauch des Smartphones zu minimieren. Wird eine Nachricht als Notfallbenachrichtigung eingestuft, muss zudem entschieden werden, ob externe Hilfe benötigt wird. Dies kann zum einen auf Basis der Sensordaten entschieden werden, zum anderen durch einen Arzt (bzw. Notrufzentrale), der Zugriff auf die aktuellen Daten (HCR) hat. Je nach Messwerten und Einschätzung des Arztes (bzw. der Notrufzentrale) kann dann weitere Hilfe verständigt werden.

### 6.3 Erweiterung von Prozessmodellen

Da sich viele Unternehmen auf die Geschäftsprozessmodellierung verlassen und vom Internet of Things profitieren möchten, besteht ein großer Bedarf an einer Erweiterung der bisherigen Prozessmodellierungssprachen, sodass Prozesse des Internet of Things einfacher dargestellt werden können. Wie in Abschnitt 6.2 deutlich wurde, können mit den bisherigen Möglichkeiten in BPMN zwar Prozesse des Internet of Things dargestellt werden, jedoch werden einige der in Kapitel 4 genannten Anforderungen nicht berücksichtigt. Diese sollten aber, falls möglich, in Prozessmodellen, die Prozesse des Internet

of Things darstellen, enthalten sein. Eine mögliche Erweiterung eines Prozessmodells zeigt das folgende Beispiel.

*Beispiel 6.3 (Einzelhandel).* Ein Anwendungsfall aus dem Einzelhandel zeigt, wie Sensoren eingesetzt werden können, um verderbliche Waren in einem Geschäft zu überwachen [41, S. 847].

Daten von mehreren Sensoren werden dazu verwendet, um die Qualität einer teuren Orchideenart zu bestimmen. In Abhängigkeit von Luminanz, Feuchtigkeit und Temperatur im Raum wird die Qualität der Orchideen bestimmt und die Preise werden reduziert, bevor sich die Qualität verschlechtert. Im Laden selbst befindet sich ein Kunde, der sich dem Regal mit den Orchideen nähert. Als er auf den elektronischen Preisetiketten den Preis um zehn Prozent sinken sieht, freut er sich über die Preissenkung, nimmt sofort eine Orchidee und setzt seinen Einkauf fort.

Aus Prozessperspektive handelt es sich um ein Netzwerk intelligenter Sensoren, die mit einem Backend-System verbunden sind, das bestimmte Umweltparameter kontinuierlich überwacht. Die Sensoren senden nur eine Warnung an das Backend-System, wenn sich einer der Umweltparameter drastisch ändert. Die durchschnittlichen Raumbedingungen allerdings werden über die gesamte Zeit hinweg gemessen, um den Zeitpunkt für eine wahrnehmbare Verschlechterung der Orchideenqualität zu berechnen und so die Preise der Orchideen entsprechend zu senken. Tritt dieser Zeitpunkt ein, so senkt das Backend-System den Preis am Verkaufsort und gibt den aktuellen neuen Preis an die elektronischen Preisetiketten und an das Kassensystem weiter. Abbildung 6.2 zeigt ein BPMN 2.0 Prozessmodell des beschriebenen Anwendungsfalls.

Jedes Gerät verfügt über einen eigenen Teilprozess mit Start- und Endereignis. Da das Senden von Nachrichten im Zusammenhang mit Prozessen im Kontext des Internet of Things sehr häufig vorkommt und BPMN 2.0 es verbietet, Nachrichten zwischen Lanes eines einzelnen Pools zu versenden, müssen die Akteure im Prozessmodell als unterschiedliche Pools dargestellt werden. Die verschiedenen Sensoren werden innerhalb eines Pools als verschiedene Lanes dargestellt, damit sie ein zusammenhängendes Sensornetzwerk bilden.

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

Bei genauerer Betrachtung des Prozessmodells stellt man fest, dass einige wichtige Anforderungen des Internet of Things, wie das Entitäten-basierte Konzept, die Unsicherheit der Informationen, die Verfügbarkeit der Geräte oder die Modellierung geräteinterner Dienste nicht angemessen beachtet wurden. S. Meyer et al. [41] schlagen deshalb eine IoT-spezifische Erweiterung des BPMN-Standards vor (siehe Abbildung 6.3), die einen Teil der Anforderungen berücksichtigt.

Durch Einführung eines neuen Artefakts, das die unterschiedlichen einzelnen Sensoraktivitäten darstellt, kann die Komplexität des Prozessmodells verringert werden. Dadurch kann die Darstellung geräteinterner Dienste verbessert werden. Das heißt, es können Aktivitäten, die zu einem speziellen Gerät (hier Sensor) gehören, zusammengefasst werden. Sowohl die Anzahl der Lanes als auch der Aktivitäten werden dadurch reduziert und das Prozessmodell wird übersichtlicher.

Darüber hinaus wird durch die Anmerkungen an den neu hinzugefügten Artefakten die Ausdruckskraft des Modells gesteigert. Es wird die Möglichkeit geschaffen, anhand einer Skala von 0 Prozent bis 100 Prozent die Qualität bzw. Sicherheit der Information zu beurteilen (Anmerkung recht obere Ecke). Außerdem ermöglicht es einem die Beurteilung der Verfügbarkeit von Geräten bzw. die Anzeige einer Gerätestörung (Anmerkung linke untere Ecke). Ein potenzieller Fehler könnte beispielsweise über ein Fragezeichen dargestellt werden. Das Modell integriert somit die Anforderung der Unsicherheit der Information und den Aspekt der Verfügbarkeit / Mobilität.

Eine weitere Veränderung stellt die Darstellung der *Entity of Interest* (Orchidee) dar. Im Standard-BPMN-Prozessmodell wurde die *Entity of Interest* durch eine Anmerkung an den jeweiligen zur *Entity of Interest* gehörenden Aktivitäten dargestellt. Durch die Erweiterung des Prozessmodells kann nun explizit und übersichtlich dargestellt werden, welche Aktivitäten und Geräte zur jeweiligen *Entity of Interest* gehören. Es wird somit deutlich, dass das erweiterte IoT-spezifische Modell eine verringerte Komplexität und eine bessere Übersichtlichkeit bzw. Ausdruckskraft besitzt.

Das Modell gilt zwar nur als ein erster Entwurf und es werden nur wenige IoT-spezifische Anforderungen miteinbezogen, trotzdem zeigt es, in welche Richtung zukünftige Erweiterungen von BPMN gehen können.

### 6.3 Erweiterung von Prozessmodellen

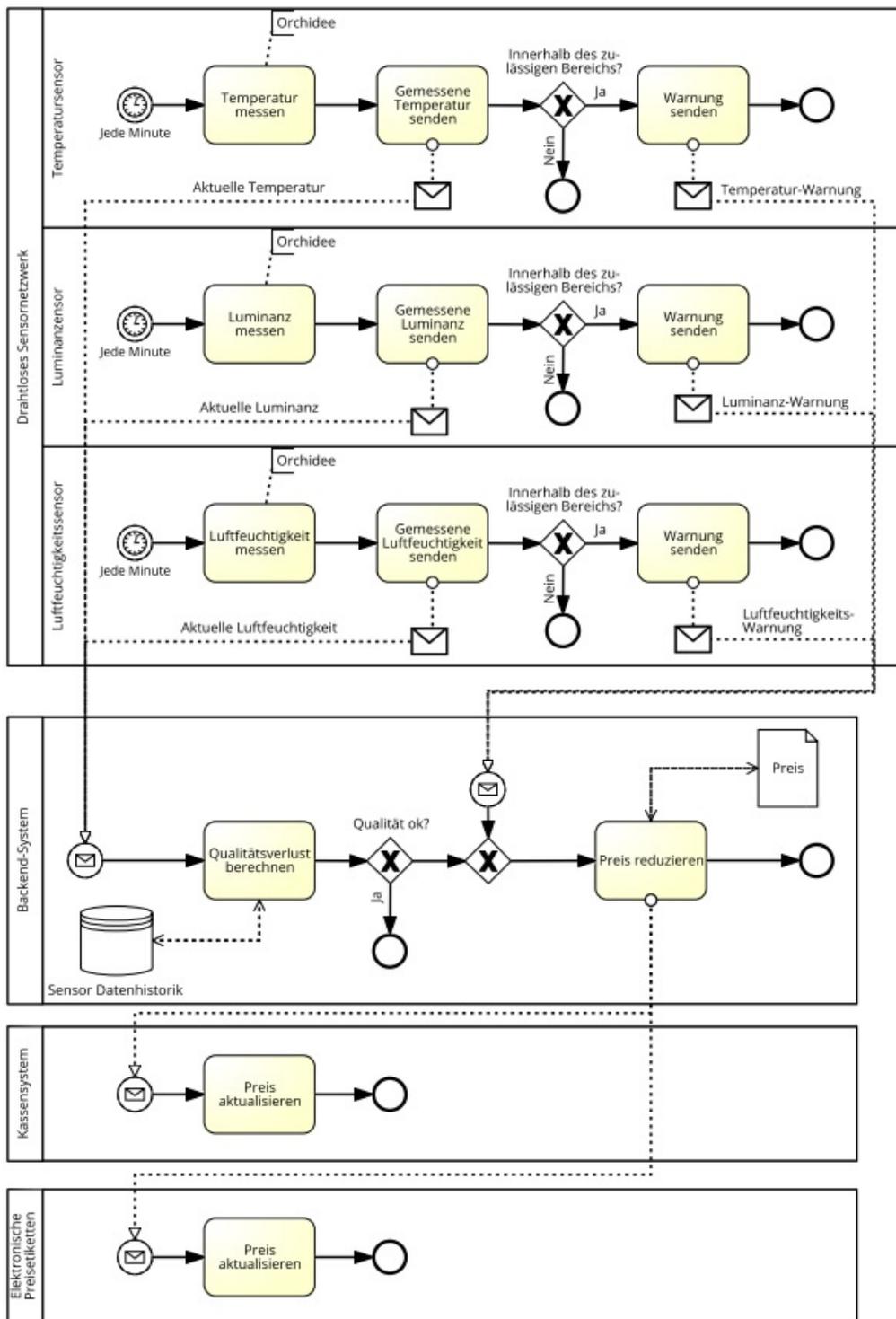


Abbildung 6.2: Darstellung des Anwendungsbeispiels in BPMN 2.0 [41, S. 847]

## 6 Einfluss des Internet of Things auf Prozesse

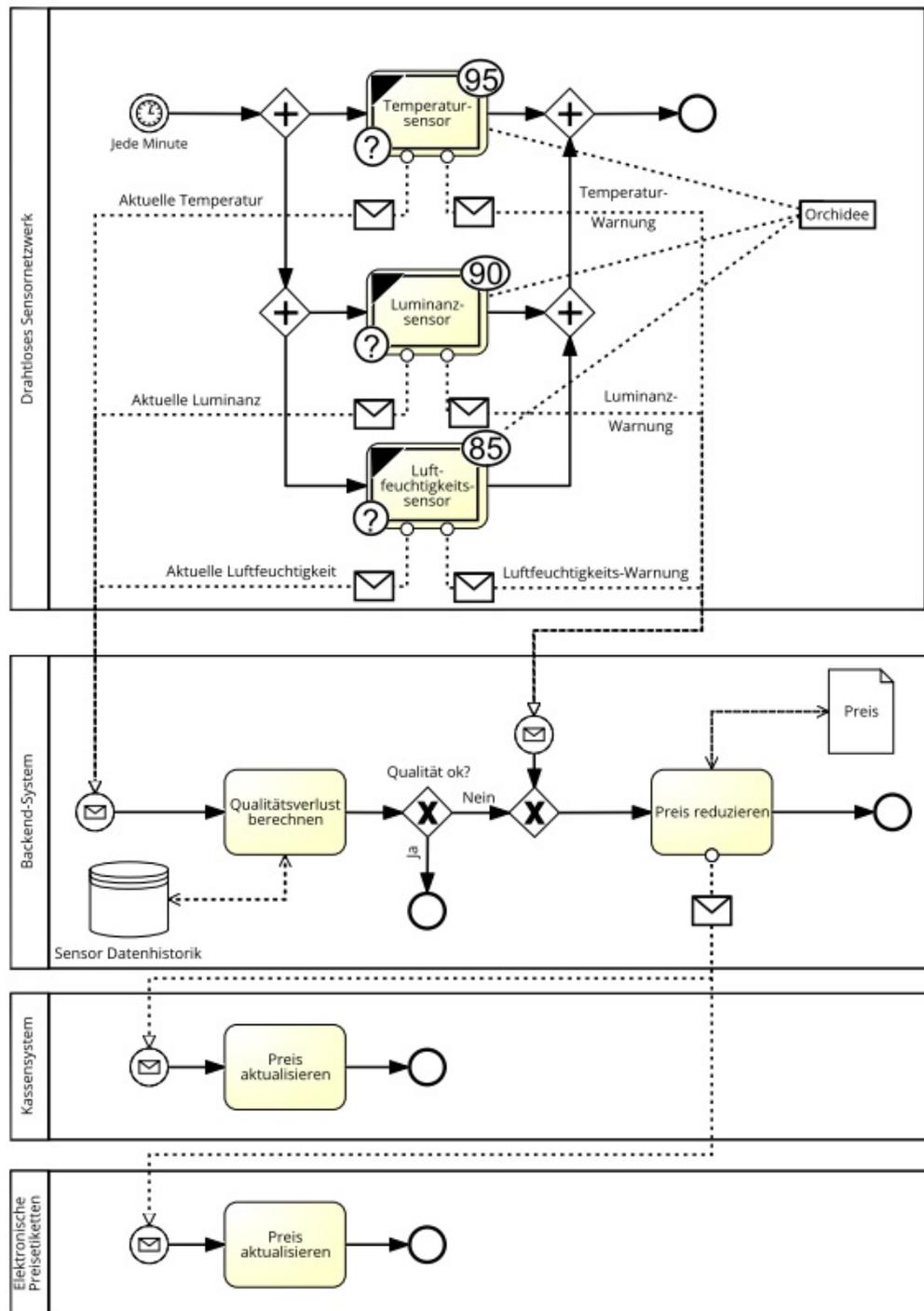


Abbildung 6.3: Darstellung des Anwendungsbeispiels in BPMN 2.0 mit IoT-spezifischen Anforderungen [41, S. 847]

## 6.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde der Einfluss des Internet of Things auf die Prozesse erläutert und es wurde aufgezeigt, welche Veränderungen sich für die Prozessmodelle ergeben. Es wurde verdeutlicht, wie mit Hilfe von Smart Objects der komplette Logistikprozess überwacht werden kann. Dies wiederum ermöglicht es, dass Prozesse automatisiert und auch optimiert werden können. Durch ein Beispiel aus dem SCM-Bereich wurde dies nochmals verdeutlicht. In einem zweiten Beispiel wurde beschrieben, wie das Internet of Things zukünftig zur Fernüberwachung von Patienten eingesetzt werden kann und es wurde der Prozess beispielhaft in BPMN 2.0 modelliert. Im letzten Abschnitt des Kapitels wurde eine erste mögliche Erweiterung eines BPMN-Prozessmodells dargestellt, welche versucht, einige der Anforderungen des Internet of Things zu integrieren, um somit IoT-spezifische Anforderungen besser modellieren und darstellen zu können.



# 7

## Diskussion

Das Internet of Things bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsbereiche. So interessant und vielversprechend die in Kapitel 5 und 6 skizzierten Anwendungsszenarien sind, ohne den Einsatz der Technologien des Internet of Things sind diese Anwendungen jedoch nicht möglich. Wie in Kapitel 4 gezeigt, sind die Ansprüche an die zugrunde liegenden Technologien enorm. Neben der Erwartung, dass die Technik möglichst billig sein sollte, soll gleichzeitig die Qualität und Zuverlässigkeit der Technologien verbessert werden.

Vor allem in sicherheitsrelevanten Bereichen, etwa in einem Smart Health-Szenario, in dem lebenswichtige Funktionen überwacht werden, ist die Qualität und Zuverlässigkeit der Technik von essenzieller Bedeutung. Die Betroffenen verlassen sich auf die dauerhafte Überwachung, wodurch keine Fehler akzeptiert werden können. Dieses „blinde“ Vertrauen in die Technologie könnte auch zum Nachteil werden. Folge davon

## 7 Diskussion

könnte sein, dass man dazu neigt, selbst weniger auf seine Gesundheit zu achten, da die smarten Helfer dies übernehmen und bei Eintreten eines kritischen Zustands warnen. Personen, die ihre Gesundheitsdaten mit Hilfe von Wearables überwachen, gewinnen zwar an Selbstbestimmtheit hinzu, es vergrößert sich aber auch die Gefahr der Fremdbestimmtheit. Wird man trotz Warnzeichen der Wearables krank, könnten Krankenversicherungen den Nutzern im schlimmsten Fall höhere Versicherungsbeiträge auferlegen, wenn diesen ein ungesunder Lebensstil nachgewiesen wird.

Sollten Wearables in naher Zukunft genauso weit verbreitet sein wie heutige Smartphones, dann muss davon ausgegangen werden, dass die dadurch gewonnenen Daten gesamtgesellschaftlichen Zwecken zur Verfügung gestellt werden. Ebenso wie die Daten der sozialen Netzwerke könnten die Daten, die bei den Anwendern zur Überwachung des Gesundheitszustandes entstehen, als potenzielle Vermögenswerte betrachtet werden. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn sie mit den Daten anderer Nutzer zusammengeführt werden. Sobald dies geschieht, werden die privaten Daten für Zwecke genutzt, die über die Interessen der einzelnen Personen hinausgehen. Dies lässt Fragen der Privatsphäre und des Datenschutzes aufkommen.

Weitere Herausforderungen im Bereich Smart Health bestehen in der korrekten Entscheidungsfindung sowie der gesamten Cyber-physischen-Infrastruktur (z.B. Hardware, Konnektivität oder Softwareentwicklung). Zudem stellt die Sicherheit eines Systems einen kritischen Aspekt dar, da mit privaten und sensiblen Daten umgegangen wird und diese innerhalb des Systems kommuniziert werden. Darüber hinaus sind medizinische Geräte im Allgemeinen nicht für die Interaktion mit anderen medizinischen Geräten oder Computersystemen ausgelegt und erfordern Fortschritte bei der Vernetzung und Kommunikation [52, S.63 f.].

Dies wird auch bei Betrachtung des Anwendungsfalls aus dem Bereich Smart Health in Abschnitt 6.2.2 klar. Der Anwendungsfall unterstreicht die Bedeutung einer homogenen, effizienten Kommunikation, die durch das Internet of Things zur Verfügung gestellt wird.

Außerdem gilt es, den folgenden Anforderungen aus dem Szenario gerecht zu werden. Um den gewünschten Service bieten zu können ist Interoperabilität notwendig, damit die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Geräte wie iDiab, hCheck und Smartphone

ermöglicht wird. Gleichmaßen wichtig sind eine begrenzte Reaktionszeit und Zuverlässigkeit beim Umgang mit Notfallsituationen, damit ein rechtzeitiges Einschreiten des medizinischen Fachpersonals gewährleistet werden kann. Ebenso müssen Anforderungen an Datenschutz, Authentifizierung und Integrität erfüllt sein, wenn sensible private Daten über das Netzwerk ausgetauscht werden.

In gleicher Weise wie im Bereich Smart Health sind in einem Smart Building bzw. Smart Home Szenario verschiedene Teilsysteme integriert. Dies erfordert ein hohes Maß an Standardisierung, um Interoperabilität zu gewährleisten. Sowohl das physische Gerät, als auch die Anwendung zur Steuerung müssen von den Nutzern bedient werden können. Einheitliche Standards (z.B. für eine einheitliche Benutzerführung der verschiedenen Geräte) müssen etabliert werden, damit sich die Benutzer nicht für jedes Gerät neu mit der Steuerung vertraut machen müssen.

Die weite Verbreitung der Technologien führt auch dazu, dass die Geräte und Anwendungen unterschiedlichen Benutzern zugänglich gemacht werden müssen. Etwa müssen die unterschiedlichen technischen Erfahrungen der Nutzer berücksichtigt werden. Noch wichtiger sind Aspekte der Sicherheit. Denn wer hätte keine Bedenken davor, dass Hacker in der Lage sind, gesamte Häuser zu entriegeln und steuern, ohne jemals einen Fuß auf das Grundstück zu setzen? Damit die Technologie weiter den Weg in die Häuser und Gebäude finden kann, müssen die Lösungen im Bereich Smart Home funktional, benutzerfreundlich, zuverlässig, flexibel, wartungsfreundlich, anpassungsfähig, erweiterbar und erschwinglich sein.

Auch im Bereich der Smart Cities gibt es trotz vieler Vorteile politische, finanzielle und technische Hürden, die es zu überwinden gilt, um das Entstehen von Smart Cities überhaupt zu ermöglichen. Politische Herausforderungen bestehen etwa in der Aufteilung der Entscheidungsgewalt und der Verantwortung über die verschiedenen Bereiche. Zudem fehlt ein klares Geschäftsmodell für die konkrete Umsetzung. Auch bestehen Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre für bestimmte Arten der Überwachung (z.B. Installation von Schalldetektoren oder Mikrofonen an öffentlichen Plätzen). Technische Herausforderungen bestehen vor allem in der Nicht-Interoperabilität der verschiedenen Technologien [54, S. 23].

## 7 Diskussion

Der Einsatz der neuen Technologien ermöglicht zwar häufig eine effizientere Nutzung von Ressourcen, die Technologien können ihrerseits aber neue Umweltprobleme, wie etwa Verbrauch knapper Ressourcen (z.B. seltene Erden) oder Produktion von Elektronikschrott hervorrufen.

Umstritten ist zudem, inwieweit bei Smart Cities von einem neuen Leitbild ausgegangen werden kann und ab wann sich eine Stadt als smart bezeichnen darf. Der Begriff Smart City hat sich bisher als Leitbild der Stadtentwicklung noch nicht durchgesetzt. Eher werden städtische Entwicklungsgebiete mit smart betitelt, in denen neuartige Versorgungslösungen oder Standorte für innovative Technologieanbieter im Blickpunkt stehen. Zwischen neuartigen Lösungen für eine intelligente und multifunktionelle stadttechnische Infrastruktur, neuen Mobilitätsformen oder einer verbesserten Datenkommunikation zwischen Verwaltungsbereichen liegen große Unterschiede, weshalb eine Einschätzung bisher schwer fällt, ab wann eine Stadt tatsächlich als smart zu bezeichnen ist.

Auch in der Industrie müssen noch einige Herausforderungen für den Einsatz von Technologien des Internet of Things überwunden werden. Zu nennen sind zu hohe Kosten, Netzwerk-Integration und Interoperabilität. Den Unternehmen fällt es momentan noch schwer, riskante und teure Investitionen für Smart Manufacturing im gesamten Unternehmen zu rechtfertigen. Änderungen der Struktur, Ausrichtung und Kultur der Unternehmen bis hin zum Einsatz von intelligenten Technologien treten nur langsam auf, was die Integration solcher Technologien behindert. Zudem sind Steuersysteme in der Produktion teuer und werden daher nur selten ersetzt. Nachrüstungen dieser bestehenden Anlagen mit neuen intelligenten Technologien sind schwierig und ebenso teuer. Zusätzlich führt das Fehlen von Standards dazu, dass kundenspezifische Software oder manuelle Vorgehensweisen eingesetzt werden müssen, was die Kosten zusätzlich erhöht.

Eine Erkenntnis der Arbeit ist, dass im Supply Chain Management durch Überwachung der Güter in Echtzeit eine schnelle Reaktionsfähigkeit gewährleistet wird. Dies erfordert eine hohe Flexibilität, um rasch auf auftretende Veränderungen reagieren zu können. Tritt etwa bei in einem Logistik-Szenario auf der geplanten Route eine Straßensperre auf, so muss sofort eine Alternativroute gefunden werden. Die Suche nach einem neuen

optimalen Transportweg gestaltet sich in manchen Fällen schwierig und nimmt viel Zeit in Anspruch (dies hängt von den Verarbeitungsmöglichkeiten der Smart Objects ab).

Die schnelle Reaktionsfähigkeit in Echtzeit erfordert deshalb geringe Rechenzeiten. Sollten dennoch Fehler auftreten, müssen die eingesetzten Systeme robust genug sein, um bei Fehlern nicht zusammenzubrechen. Dabei müssen sensible Daten natürlich weiterhin vertraulich behandelt werden und dürfen anderen Prozessteilnehmern nicht zur Verfügung gestellt werden [9].

Durch die erhöhte Transparenz und die Echtzeitüberwachung der Prozesse entsteht ein kontinuierlicher Monitoring-Prozess. Dies setzt wiederum voraus, dass rund um die Uhr auf eventuelle Alarmsignale reagiert werden und im Notfall eingegriffen werden kann. Dies führt dazu, dass die sogenannten *Standard Operating Procedures*<sup>1</sup> angepasst und verändert werden müssen.

Um die Informationen, die durch die Smart Objects erfasst werden, angemessen auswerten und nutzen zu können, müssen entsprechende Softwaretechnologien entwickelt werden – derzeitige Software ist nicht intelligent genug. Das bedeutet, dass zukünftig eine bessere Verknüpfung zwischen den Prozessen und der Software stattfinden muss, um die Technologien (wie z.B. RFID, Mikrocontroller oder -prozessoren, etc.) effizient einzusetzen.

Durch den Einsatz des Internet of Things werden nicht nur Prozesse verändert, sondern es werden in Zukunft auch neue Geschäftsmodelle entstehen. Durch die enorme Menge an Daten (Big Data), die den Unternehmen zur Verfügung steht, können sich bestehende Geschäftsmodelle verändern und neue Geschäftsmodelle entstehen. Anbieter von Daten können ihr Geschäftsmodell zum Beispiel dahin gehend ändern, dass sie nicht nur Daten speichern, sondern auch Daten analysieren und die Ergebnisse vermarkten und verkaufen. Ford, PepsiCo und Southwest Airlines analysieren zum Beispiel Postings von Verbrauchern auf Social-Media-Seiten wie Facebook und Twitter, um die unmittelbaren

---

<sup>1</sup> Auf Deutsch etwa Standardvorgehensweise oder standardisiertes Vorgehen (beides wird selten verwendet). Eine Standard Operating Procedure ist eine verbindliche textliche Beschreibung der Abläufe von Vorgängen einschließlich der Prüfung der Ergebnisse und deren Dokumentation insbesondere in Bereichen kritischer Vorgänge mit potentiellen Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Sicherheit [68].

## 7 Diskussion

Auswirkungen ihrer Marketing-Kampagnen zu messen und zu verstehen, was und wie die Konsumenten über ihre Marken denken [69].

Durch die neuen Geschäftsmodelle können Daten aus mehreren Quellen aggregiert, analysiert und verkauft werden. Durch die „neu“ gewonnenen Daten können Unternehmen ihre Strategien verbessern, da diese neue aufschlussreiche Informationen bieten.

Eine andere Möglichkeit ein Geschäftsmodell zu verändern besteht darin, Preisstrategien dynamisch und auf Grundlage der Verfügbarkeit aktueller und historischer Daten zu verändern – wie dies funktionieren kann, wurde in Abschnitt 6.3 beschrieben. Supermärkte könnten dadurch beispielsweise ihre Preise, basierend auf Daten zur Qualität der Ware, Online-Transaktionen, Kundenservice oder Besuchen auf ihrer Website, täglich oder sogar stündlich anpassen [69].

Da das Internet of Things aus einer Menge von Sensoren besteht, die eine drahtlose Datenübertragung erfordern, entstehen Bedenken über Sicherheit und Privatsphäre der Daten. Es besteht die Notwendigkeit, große Mengen an Daten und die Privatsphäre der Nutzer zu schützen sowie Störungen der Netzwerke zu verhindern.

Diese Herausforderungen bieten Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle, um beispielsweise die Sicherheit von Smart Objects in der Wertschöpfungskette zu gewährleisten oder die Vermögenswerte eines Unternehmens vor Cyber-Attacken auf die Informationssysteme zu schützen. Auch im Bereich des Supply Chain Managements sind neue Geschäftsmodelle denkbar. Technologien wie RFID ermöglichen das Auslesen der Transponder mit speziellen Lesegeräten. Sie erfordern deshalb eine entsprechende Infrastruktur von Lesegeräten. Da es sinnvoll ist, Objekte in der gesamten Lieferkette zu überwachen, besteht die Notwendigkeit für ein neues Geschäftsmodell, das auf einer Lesegerät-Infrastruktur basiert, welche die gesamte Wertschöpfungskette abdeckt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die neu entstehenden Geschäftsmodelle Unternehmen profitieren und ihre Strategien entsprechend anpassen können. Anforderungen wie Interoperabilität, Flexibilität, Sicherheit und Datenschutz sind in jedem der unterschiedlichen Bereiche unbedingt zu beachten. Durch Einsatz des Internet of Things werden die Prozesse immer flexibler, da zukünftig immer mehr unterschiedliche Geräte in die Systeme integriert werden. Zudem ist eine Interoperabilität der Geräte zwingend notwendig, damit diese zusammenarbeiten und so das komplette Potenzial des Internet of Things ausschöpfen können. Ebenso wichtig sind Sicherheit und Datenschutz. Benutzer benötigen Vertrauen in die Systeme, damit sie diese auch nutzen. Dazu gehört auch, dass die Technologie tatsächlich den Nutzern dient und nicht umgekehrt. Für die weitere Verbreitung der Technologien stellt dies somit eine wichtige Voraussetzung dar.



# 8

## Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen. Des Weiteren erfolgt ein kurzer Ausblick darauf, wie es mit dem Internet of Things weiter gehen könnte.

### 8.1 Zusammenfassung

Die Arbeit hat zunächst unterschiedliche Definitionen des Begriffs des Internet of Things mit der Erkenntnis betrachtet, dass das Internet of Things die physische Welt in die virtuelle Welt des Internets integriert, eine IT-Infrastruktur bereitstellt und den Datenaustausch zwischen den unterschiedlichen Objekten erleichtert. Dazu wurde der Begriff des Smart Objects eingeführt und die Beziehungen zwischen *Entity of Interest*, Gerät, Resource und Dienst erläutert. Um zu verstehen, wie Prozesse modelliert und dargestellt

## *8 Zusammenfassung und Ausblick*

werden, wurde die Prozessmodellierungssprache Business Process Modeling Notation vorgestellt.

Um die technologische Perspektive des Internet of Things zu betrachten, wurden die am häufigsten eingesetzten Geräte- und Verbindungstypen beschrieben. Dazu wurden die grundlegenden Technologien des Internet of Things erklärt und Klassifikationen vorgestellt, um Smart Objects und RFID-Transponder einzuordnen. Während Technologien (wie z.B. Barcodes, NFC und RFID) es erlauben, Objekte zu kennzeichnen und sie zu identifizieren, stellen Technologien wie Bluetooth und Internet Protocol die Grundlage für Kommunikation innerhalb von Netzwerken dar. Mit Hilfe unterschiedlicher Sensoren können Informationen aller Art im Umfeld von Objekten aufgezeichnet und über drahtlose Sensornetze weitergeben werden. Den Betrieb dieser Sensoren und weiterer Geräte in eingebetteten Systemen steuern Mikrocontroller und Mikroprozessoren und garantieren somit eine Datenverarbeitung in Echtzeit.

Des Weiteren wurden Anforderungen, die das Internet of Things speziell an die Prozessunterstützung und an die Technologien stellt, diskutiert. Dazu wurden die unterschiedlichen Anforderungen erläutert sowie in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen kategorisiert. Darauf aufbauend wurde diskutiert, inwieweit der aktuelle Stand des Internet of Things diesen Anforderungen gerecht wird. Bei der Prozessunterstützung bestehen die größten Umsetzungsprobleme noch im Umgang mit unzuverlässigen Daten und Geräten, verschiedenen Arten von Interaktionen sowie der Verfügbarkeit bzw. Mobilität der Geräte. Bei der Technologie gilt es vor allem im Hinblick auf die eingebettete Architektur und die Interoperabilität einiges an Entwicklungsarbeit zu leisten, um auch diesen Anforderungen so schnell wie möglich gerecht zu werden.

Schließlich wurden die mit dem Internet of Things am häufigsten in Zusammenhang gebrachten Anwendungsgebiete beschrieben. Dazu zählen, neben dem Smart Home Bereich, Anwendungsgebiete wie Smart City, Smart Industry und Smart Health. Smart Health und Smart Industry stecken noch in den Kinderschuhen. Aus diesem Grund muss in diesen Bereichen noch viel Forschung betrieben werden, um vielversprechende Lösungen möglichst bald umsetzen zu können. Anwendungsgebiete wie Smart Homes und Smart Cities hingegen bieten schon heutzutage effiziente und erschwingliche

Lösungen, die das alltägliche Leben einfacher gestalten und dadurch Ressourcen gespart werden können. Werden die bestehenden Herausforderungen gelöst, so können in Zukunft immer mehr Technologien des Internet of Things Einzug in die Häuser, Städte, Fabriken und Krankenhäuser halten.

Ein weiterer wichtiger Beitrag der Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses des Internet of Things auf Prozesse. Es wurde gezeigt, dass zum Beispiel Lieferketten durch den Einsatz von Smart Objects transparenter gestaltet werden können und dass durch kontinuierliche Überwachung das Auftreten kritischer Situationen verhindert werden kann. Dies wurde anhand eines Beispiels aus dem Supply Chain Management verdeutlicht. Daraus wurde ersichtlich, wie mit Hilfe von Smart Objects und dem Einsatz modernster Technologien, der komplette Logistikprozess überwacht werden kann. Dies ermöglicht es wiederum, dass Prozesse automatisiert und optimiert werden können. Durch ein weiteres Beispiel aus dem Bereich Smart Health wurde verdeutlicht, wie das Internet of Things zukünftig zur Fernüberwachung von Patienten eingesetzt werden kann, um damit die Lebensqualität der Betroffenen zu steigern. Abschließend wurde veranschaulicht, wie bestehende Prozessmodelle vereinfacht und übersichtlicher dargestellt werden können. Das erweiterte IoT-spezifische Modell besitzt dadurch eine verringerte Komplexität und eine bessere Übersichtlichkeit bzw. Ausdruckskraft.

## 8.2 Ausblick

Wohin geht nun die Reise des Internet of Things? – Als im Jahr 1990 die US-amerikanische National Science Foundation beschloss, das Internet für kommerzielle Zwecke nutzbar zu machen, konnten sich die Menschen Suchmaschinen genauso wenig vorstellen, wie soziale Netzwerke. Dass sich nun Objekte mit Objekten vernetzen und so ein riesiges Netzwerk entsteht, in welches Daten von Sensoren, Maschinen und Objekte einfließen und dadurch neue Daten, neue Erkenntnisse und neue Möglichkeiten entstehen, war nicht denkbar.

Häuser „wissen“, wann sie die Heizung und das Licht anschalten müssen. Ärzte wissen schon vor Vereinbarung eines Termins, welche Krankheitssymptome vorliegen. Intel-

## *8 Zusammenfassung und Ausblick*

Intelligente Parksysteme weisen Autofahrer automatisch den Weg zu freien Parkplätzen. Prozesse können in Echtzeit flexibel angepasst werden. Alles ist vernetzt, alles ist personalisiert. Das ist das Internet of Things, doch das war uns zu Beginn noch nicht klar. Inzwischen wissen wir, dass dies den aktuellen Stand der Technik beschreibt. Natürlich wird es noch einige Zeit dauern, um die Möglichkeiten, die durch das Internet of Things entstehen, vollständig auszuschöpfen.

Das Internet of Things lebt davon, dass einzelne Komponenten und damit die Endgeräte immer kleiner und billiger werden. Gleichzeitig verbrauchen sie weniger Energie und können länger arbeiten, ohne Verbindung zum Stromnetz zu haben. Dadurch werden in Zukunft immer mehr Technologien des Internet of Things zum Einsatz kommen. Wir können heute noch nicht wissen, was letztendlich alles an neuen Ideen und Nutzungsmöglichkeiten entstehen wird. Genauso wenig wissen wir, was mit den vielen Daten geschehen wird und welche Herausforderungen, Risiken und Gefahren auf uns zu kommen werden. Wir wissen lediglich, dass das Internet of Things voller neuer Möglichkeiten steckt, die weitreichende Auswirkungen auf all unsere Lebensbereiche haben können.

Ziel des Internets of Things ist es, die virtuelle Welt und die reale Welt enger miteinander zu verknüpfen. Daher ist davon auszugehen, dass die Technologie, die uns bereits sehr eingenommen hat, noch mehr einnehmen wird. Denn nicht nur in der Industrie entwickeln sich Cyber-physische Systeme. Die Menschen selbst könnten solche werden. Die rasante Entwicklung der Wearables könnte es in Zukunft ermöglichen, die Computertechnologie nicht nur am Körper zu tragen, sondern in unserem Körper.

An der Universität Berkeley werden beispielsweise Exoskelette entwickelt, die es gelähmten Menschen ermöglichen werden, wieder zu laufen. Durch eine Art äußeres Skelett um den Körper wird dieser gestützt und durch hydraulisch gesteuerte Mechanik wird der natürliche Bewegungsablauf nachgebildet [70].

Durch die Entwicklungen des Internet of Things könnten zudem hochleistungsfähige Implantate, zum Beispiel für die Augen, entwickelt werden, so dass Sehbehinderte wieder sehen können. Das alles und noch vieles mehr ist denkbar. Ob es auch tatsächlich umgesetzt wird, bleibt abzuwarten.

Karl Steinbuch hatte im Jahre 1966 mit seiner Behauptung scheinbar tatsächlich recht, dass es in wenigen Jahrzehnten kaum mehr Produkte geben wird, in welche Computer nicht integriert sind. Das Internet of Things stellt einen wesentlichen Schritt hin zu dieser Behauptung dar. Die Richtung ist eingeschlagen. Wie lange der Weg tatsächlich dauert, welche Meilensteine auf uns warten und welche Umwege es geben wird, ist unklar. Klar hingegen ist: das Raumschiff fliegt, ob mit oder ohne uns. Oder um es mit Cäsars Worten zu sagen: Die Würfel sind gefallen.

„Alea iacta est!“

---

Angeblicher Ausspruch Cäsars, 49 v. Chr.



# Literaturverzeichnis

- [1] Manyika, J., Chui, M., P., B., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., Aharon, D.: The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype. Website (2015) Online erhältlich unter [http://www.mckinsey.de/sites/mck\\_files/files/unlocking\\_the\\_potential\\_of\\_the\\_internet\\_of\\_things\\_full\\_report.pdf](http://www.mckinsey.de/sites/mck_files/files/unlocking_the_potential_of_the_internet_of_things_full_report.pdf); abgerufen am 24. Oktober 2015.
- [2] Reichert, M., Weber, B.: Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems: Challenges, Methods, Technologies. Springer, Berlin-Heidelberg (2012)
- [3] Gartner: Gartner Says 4.9 Billion Connected Things Will Be in Use in 2015. Website (2014) Online erhältlich unter <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717>; abgerufen am 19. Oktober 2015.
- [4] Object Management Group Inc.: Business Process and Notation (BPMN). Website (2011) Online erhältlich unter <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>; abgerufen am 22. September 2015.
- [5] Fink, A.: Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper. SAGE Publications (2005)
- [6] Engels, D.W., Sarma, S.E., Putta, L., Brock, D.: The Networked Physical World System. In: ICWI, IADIS (2002) 104–111
- [7] CASAGRAS: RFID and the inclusive model for the Internet of Things report. EU Project Number 216803 (2011) Online erhältlich unter [https://docbox.etsi.org/zArchive/TISPAN/Open/IoT/low%](https://docbox.etsi.org/zArchive/TISPAN/Open/IoT/low%20cost/)

## Literaturverzeichnis

- 20resolution/www.rfidglobal.eu%20CASAGRAS%20IoT%20Final%  
20Report%20low%20resolution.pdf; abgerufen am 20. September 2015.
- [8] Haller, S.: Internet of Things – An integral part of the Future Internet. White Paper (2009)
- [9] Haller, S., Karnouskos, S., Schroth, C.: The Internet of Things in an Enterprise Context. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (2009) 14–28
- [10] Weber, R.H.: Internet of Things – New security and privacy challenges. Computer Law & Security Review 26 (2010) 23–30
- [11] Tsiatsis, V., Gluhak, A., Bauge, T., Montagut, F., Bernat, J., Bauer, M., Villalonga, C., Barnaghi, P.M., Krco, S.: The SENSEI Real World Internet Architecture. In: Future Internet Assembly, IOS Press (2010) 247–256
- [12] Swan, M.: Sensor Mania! The Internet of Things, Wearable Computing, Objective Metrics, and the Quantified Self 2.0. J. Sensor and Actuator Networks 1 (2012) 217–253
- [13] Sánchez López, T., Ranasinghe, D.C., Patkai, B., Mcfarlane, D.: Taxonomy, Technology and Applications of Smart Objects. Information Systems Frontiers 13 (2011) 281–300
- [14] CASAGRAS: The Things in the Internet of Things. Poster at the (IoT 2010), Tokyo, Japan (2010) Online erhältlich unter [http://www.iot-a.eu/public/news/resources/TheThingsintheInternetofThings\\_SH.pdf](http://www.iot-a.eu/public/news/resources/TheThingsintheInternetofThings_SH.pdf); abgerufen am 21. September 2015.
- [15] Allweyer, T.: BPMN 2.0 Business Process Model and Notation: Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung. 2. auflage edn. Books on Demand, Norderstedt (2009)
- [16] Wikipedia: Business Process Model and Notation. Website (2015) Online erhältlich unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Business\\_Process\\_Model\\_and\\_Notation](https://de.wikipedia.org/wiki/Business_Process_Model_and_Notation); abgerufen am 22. September 2015.

- [17] Trickovic, I.: Business Process and Notation (BPMN) (2008) Online erhältlich unter <http://www.sdn.sap.com/irj/scn/go/portal/prtroot/docs/library/uuid/50db5a00-78bc-2b10-8ba4-dfc9b66e3789?QuickLink=index&overridelayout=true>; abgerufen am 22. September 2015.
- [18] Razzak, F.: Spamming the Internet of Things: A Possibility and its probable Solution. *Procedia Computer Science* 10 (2012) 658–665
- [19] Jian, M.: RFID System Integration and Application Examples, Radio Frequency Identification Fundamentals and Applications Bringing Research to Practice. Website (2010) Online erhältlich unter <http://www.intechopen.com/books/radio-frequency-identification-fundamentals-and-applications-bringing-research-to-practice/rfid-system-integration-and-application-examples>; abgerufen am 16. Oktober 2015.
- [20] Lampe, M., Flörkemeier, C., Haller, S.: Einführung in die RFID-Technologie. In Fleisch, E., Mattern, F., eds.: *Das Internet der Dinge*. Springer Berlin Heidelberg (2005) 69–86
- [21] Chandler, N.: What's the difference between RFID and NFC. Website (2012) Online erhältlich unter <http://electronics.howstuffworks.com/difference-between-rfid-and-nfc.htm>; abgerufen am 16. Oktober 2015.
- [22] Curran, K., Millar, A., McGarvey, C.: Near Field Communication. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)* 2 (2014) 371–382
- [23] Computerbild: Alles über Bluetooth. Website (2008) Online erhältlich unter <http://www.computerbild.de/artikel/cb-Ratgeber-Handy-Bluetooth-3176998.html>; abgerufen am 19. Oktober 2015.
- [24] Chip: Bluetooth 4.2 vorgestellt: Funk-Standard ist sicherer, schneller, stromsparender. Website (2014) Online erhältlich unter <http://www.chip.de/news/Bluetooth-4>.

## Literaturverzeichnis

2-vorgestellt-Funk-Standard-ist-sicherer-schneller-\_stromsparender\_74715643.html; abgerufen am 19. Oktober 2015.

- [25] Wikipedia: IPv4. Website (2015) Online erhältlich unter <https://de.wikipedia.org/wiki/IPv4>; abgerufen am 19. Oktober 2015.
- [26] Wikipedia: IPv6. Website (2015) Online erhältlich unter <https://de.wikipedia.org/wiki/IPv6>; abgerufen am 19. Oktober 2015.
- [27] Inc., E.: EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz. Website (2005) Online erhältlich unter [http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhfclg2\\_1\\_1\\_0-standard-20071017.pdf](http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhfclg2_1_1_0-standard-20071017.pdf); abgerufen am 21. September 2015.
- [28] IEEE: IEEE P1451.6 terms and definitions. Website (2010) Online erhältlich unter <http://grouper.ieee.org/groups/1451/6/TermsDefinitions.htm#Sensor>; abgerufen am 27. Oktober 2015.
- [29] Wikipedia: Akteur. Website (2015) Online erhältlich unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Akteur>; abgerufen am 27. Oktober 2015.
- [30] Thingsee: Thingsee One Fact sheet. Website (2015) Online erhältlich unter <http://static.thingsee.com/Thingsee-One-Fact-sheet.pdf>; abgerufen am 27. Oktober 2015.
- [31] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications (Handbook of Modern Sensors). SpringerVerlag (2003)
- [32] Meereisportal: Aktive Mikrowellensensoren. Website (2013) Online erhältlich unter <http://www.meereisportal.de/meereisbeobachtung/methoden/satelliten-fernerkundung/aktive-mikrowellensensoren-radar.html>; abgerufen am 27. Oktober 2015.
- [33] Holdowsky, J., Mahto, M., Raynor, M.E., Cotteleer, M.: Inside the Internet of Things. White Paper (2015) Deloitte University Press.

- [34] Buratti, C., Conti, A., Dardari, D., Verdone, R.: An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution. *Sensors* 9 (2009) 6869–6896
- [35] Matin, M., Islam, M.: Overview of Wireless Sensor Network. (2012) 3–24
- [36] Kalmen, R., Heller, H.: Mikrocontroller oder Mikroprozessor? Website (2013) Online erhältlich unter <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/themen/hardwareentwicklung/mikrocontrollerprozessoren/articles/393850/>; abgerufen am 29. Oktober 2015.
- [37] River, W.: New Life For Embedded Systems in the Internet of Things. White Paper (2014) Online erhältlich unter <http://www.newelectronics.co.uk/article-images/67055%5CEMS%20White%20Paper.pdf>; abgerufen am 29. Oktober 2015.
- [38] Bakhkhat, S., Ziegler, S.: Eingebettete Systeme - ein strategisches Wachstumsfeld für Deutschland: Anwendungsbeispiele, Zahlen und Trends. (2010)
- [39] Buck, C.: Internet of Things Embedded Systems: The Next Network. Website (2014) Online erhältlich unter <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/internet-of-things-embedded-systems.html>; abgerufen am 29. Oktober 2015.
- [40] Haller, S., Magerkurth, C.: The Real-time Enterprise: IoT-enabled Business Processes. (2011) Position paper at IETF IAB Workshop on Interconnecting Smart Objects with the Internet.
- [41] Meyer, S., Sperner, K., Magerkurth, C., Pasquier, J.: Towards Modeling Real-world Aware Business Processes. In: Proceedings of the Second International Workshop on Web of Things. WoT '11, New York, NY, USA, ACM (2011) 843–848
- [42] Fleisch, E., Mattern, F.: Das Internet der Dinge - Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. 1. auflage edn. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg (2005)
- [43] Strategy, G., Business Development, F., Emerging Technologies, A.: What the Internet of Things (IoT) Needs to Become a Reality (2014) White Paper.

## Literaturverzeichnis

- [44] Wikipedia: Metcalfesches Gesetz. Website (2015) Online erhältlich unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Metcalfesches\\_Gesetz](https://de.wikipedia.org/wiki/Metcalfesches_Gesetz); abgerufen am 01. Oktober 2015.
- [45] Trapickin, R.: Constrained application protocol (CoAP): Einführung und Überblick. Network Architectures and Services (NET) NET-2013-08-1 (2013) 121–128
- [46] Freeswan: FreeS/WAN, The IPSEC protocols. Website (2015) Online erhältlich unter [http://www.freeswan.org/freeswan\\_trees/freeswan-1.91/doc/ipsec.html](http://www.freeswan.org/freeswan_trees/freeswan-1.91/doc/ipsec.html); abgerufen am 01. Oktober 2015.
- [47] Intelligence, G.: Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile. Website (2014) Online erhältlich unter <https://gsmaintelligence.com/files/analysis/?file=141208-5g.pdf>; abgerufen am 01. Oktober 2015.
- [48] Netzökonom: Deutschland fällt im Breitband-Wettbewerb weiter zurück. Website (2015) Online erhältlich unter <https://netzoekonom.de/2015/01/12/deutschland-faellt-im-breitband-wettbewerb-weiter-zurueck/>; abgerufen am 01. Oktober 2015.
- [49] Harper, R.: Inside the smart home. Springer, London (2003)
- [50] Mamaktalk.com: The Big Wearable Wave is Coming in 2015 – WT CEO Christian Stammel. Website (2014) Online erhältlich unter <http://www.mamaktalk.com/2014/10/the-big-wearable-wave-is-coming-in-2015.html>; abgerufen am 24. November 2015.
- [51] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., Chlamtac, I.: Internet of things: Vision, applications and research challenges. Ad Hoc Networks 10 (2012) 1497–1516
- [52] Vermesan, O., Friess, P.: Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment. River Publishers Series in Communication. River (2014)
- [53] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, R., Meijers, E.: Smart cities Ranking of European medium-sized cities. Website (2007) Online erhältlich unter [http://www.smart-cities.eu/download/smart\\_cities\\_final\\_report.pdf](http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf); abgerufen am 3. November 2015.

- [54] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M.: Internet of Things for Smart Cities. *Internet of Things Journal*, IEEE 1 (2014) 22–32
- [55] Smartgrid.gov: What is the Smart Grid? Website (2014) Online erhältlich unter [https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/smart\\_grid.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html); abgerufen am 3. November 2015.
- [56] Vlexplus.com: Digitales Zeitalter - wohin geht die Reise mit Industrie 4.0 ? Website (2013) Online erhältlich unter <http://www.vlexplus.com/erp-software/erp-industrie-40/>; abgerufen am 24. November 2015.
- [57] Wikipedia: Cyber-physisches System. Website (2015) Online erhältlich unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Cyber-physisches\\_System](https://de.wikipedia.org/wiki/Cyber-physisches_System); abgerufen am 3. November 2015.
- [58] Decker, C., Berchtold, M., Chaves, L., Beigl, M., D., R., Riedel, T., Beuster, M., Herzog, T., D., H.: Cost-Benefit Model for Smart Items in the Supply Chain. In: *Proceedings of the Internet of Things Conference 2008*. Volume 4952 of LNCS., Springer (2008) 155–172
- [59] Ferreira, P., Martinho, R., Domingos, D.: IoT-aware business processes for logistics: limitations of current approaches. In: *INForum 2010 - II Simposio de Informatica*. (2010) 611–622
- [60] Decker, C., Riedel, T., Beigl, M., de Souza, L., Spiess, P., Müller, J., Haller, S.: Collaborative Business Items. In: *Proceedings of IE 07: 3rd International Conference on Intelligent Environments*, Ulm, Germany. (2007) 40–47
- [61] Agrawal, S., Das, M.: Internet of Things: A paradigm shift of future Internet applications. In: *Engineering (NUICONE), 2011 Nirma University International Conference on*. (2011) 1–7
- [62] Lee, H.L., Padmanabhan, V., Whang, S.: Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Manage. Sci.* 50 (2004) 1875–1886
- [63] He, M., Ren, C., Wang, Q., Shao, B., Dong, J.: The Internet of Things as an Enabler to Supply Chain Innovation. In: *e-Business Engineering (ICEBE), 2010 IEEE 7th International Conference on*. (2010) 326–331

## Literaturverzeichnis

- [64] Jedermann, R., Lang, W.: The Benefits of Embedded Intelligence - Tasks and Applications for Ubiquitous Computing in Logistics. In Floerkemeier, C., Langheinrich, M., Fleisch, E., Mattern, F., Sarma, S.E., eds.: IOT. Volume 4952 of Lecture Notes in Computer Science., Springer (2008) 105–122
- [65] de Souza, L., Spiess, P., Guinard, D., Köhler, M., Karnouskos, S., Savio, D.: SOCRADES: A Web Service Based Shop Floor Integration Infrastructure. In Floerkemeier, C., Langheinrich, M., Fleisch, E., Mattern, F., Sarma, S.E., eds.: Internet of Things 2008 Conference, Zurich, Switzerland. Volume 4952 of Lecture Notes in Computer Science., Springer (2008) 50–67
- [66] Fleisch, E.: What is the Internet of Things? When Things Add Value. White Paper (2009)
- [67] Bui, N., Zorzi, M.: Health Care Applications: A Solution Based on the Internet of Things. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies. ISABEL '11, New York, NY, USA, ACM (2011) 131:1–131:5
- [68] Wikipedia: Standard Operating Procedure. Website (2015) Online erhältlich unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Standard\\_Operating\\_Procedure](https://de.wikipedia.org/wiki/Standard_Operating_Procedure); abgerufen am 03. September 2015.
- [69] Bughin, J., Chui, M., Manyikayika, J.: Clouds, big data, and smart assets: Ten tech-enabled business trends to watch. Website (2010) Online erhältlich unter [http://www.mckinsey.com/insights/high\\_tech\\_telecoms\\_internet/clouds\\_big\\_data\\_and\\_smart\\_assets\\_ten\\_tech-enabled\\_business\\_trends\\_to\\_watch](http://www.mckinsey.com/insights/high_tech_telecoms_internet/clouds_big_data_and_smart_assets_ten_tech-enabled_business_trends_to_watch); abgerufen am 19. November 2015.
- [70] Grifantini, K.: Beinfreiheit der etwas anderen Art. Website (2010) Online erhältlich unter <http://www.heise.de/tr/artikel/Beinfreiheit-der-etwas-anderen-Art-1083678.html>; abgerufen am 24. November 2015.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Methodik der Arbeit . . . . .	7
1.2	Aufbau der Arbeit . . . . .	8
2.1	Beziehung zwischen den Entities of Interest, Geräten, Ressourcen und Services . . . . .	15
3.1	Entwicklung der Anzahl an vernetzten Geräten im Vergleich zur Weltbevölkerung . . . . .	24
3.2	RFID-Transponder Klassifikation . . . . .	26
3.3	Single-Sink und Multi-Sink Prinzip eines drahtlosen Sensor Netzwerks . .	33
5.1	Konzept eines Smart Homes . . . . .	57
5.2	Dimensionen einer Smart City mit ihren Faktoren . . . . .	59
5.3	Smart Industry als Teil des Internets of Things . . . . .	62
5.4	Überblick über die wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	65
6.1	Darstellung des Smart Health Anwendungsbeispiels in BPMN 2.0 . . . .	79
6.2	Darstellung des Anwendungsbeispiels in BPMN 2.0 . . . . .	83
6.3	Darstellung des Anwendungsbeispiels in BPMN 2.0 mit IoT-spezifischen Anforderungen . . . . .	84



# Tabellenverzeichnis

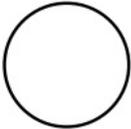
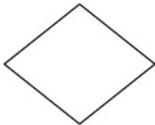
3.1	Unterschiedliche Arten von Sensoren mit Beispielen . . . . .	31
4.1	Überblick über die Anforderungen an das Internet of Things . . . . .	53
6.1	Zuordnung ausgewählter Technologien zu logistischen Funktionen . . . . .	69
A.1	Grundlegende BPMN-Modellierungselemente . . . . .	116





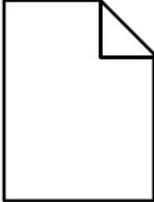
# **Grundlegende BPMN-Modellierungselemente**

## A Grundlegende BPMN-Modellierungselemente

Element	Beschreibung	Kategorie	Erklärung
	Aktivität (Activity)	Fluss-Objekt (Flow Object)	Aktivitäten können Aufgaben oder Subprozesse darstellen. Aufgaben sind Tätigkeiten die operativ ausführbar sind und Zeit verbrauchen. Befindet sich ein Pluszeichen im Aktivitätssymbol handelt es sich um einen Subprozess. Dieser dient zur Verschachtelung und zum Bilden von Prozesshierarchien.
	Ereignis (Event)	Fluss-Objekt (Flow Object)	Ein Ereignis markiert einen Zeitpunkt im Prozess und beeinflusst den Verlauf des Prozesses. Dabei bezeichnet das Starterereignis den Auslöser, ein Zwischenereignis eine Zustandsänderungen und das Endereignis das Ergebnis eines Prozesses.
	Entscheidungspunkt (Gateway)	Fluss-Objekt (Flow Object)	Die Verwendung von Entscheidungspunkten dient zur Verzweigung (Split) und zur Zusammenführung (Join, Merge) des Prozessflusses. Mit ihnen wird die Logik des Prozesses abgebildet.
	Sequenzfluss (Sequence Flow)	Verbindendes Objekt (Connecting Object)	Der Sequenzfluss definiert die Abfolge der Ausführung der verschiedenen Aktivitäten innerhalb eines Pools.

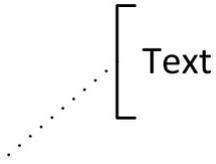
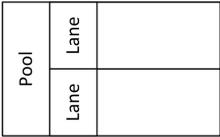
Fortsetzung auf nächster Seite

**Tabelle A.1 – Fortsetzung von vorheriger Seite**

<b>Element</b>	<b>Name</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Erklärung</b>
	Nachrichtenfluss (Message Flow)	Verbindendes Objekt (Connecting Object)	Der Nachrichtenfluss stellt die Informations- oder Objektübertragung im Prozessmodell zwischen den verschiedenen Teilnehmern (Pools) dar.
	Assoziation (Association)	Verbindendes Objekt (Connecting Object)	Eine Assoziation wird verwendet um Fluss-Objekten Artefakte zuzuordnen. Außerdem zeigen sie den In- und Output von Aktivitäten an.
	Datenobjekt (Data Object)	Artefakt (Artifact)	Datenobjekte repräsentieren Daten, Dateien oder Dokumente und stellen den In- oder Output einer Aufgabe dar. Zusätzlich können Datenobjekten Aufgaben oder Ereignisse über eine Assoziation zugeordnet werden.
	Nachricht (Message)	Artefakt (Artifact)	Eine Nachricht wird dazu verwendet um den Inhalt der Kommunikation zwischen zwei Teilnehmern darzustellen.
	Gruppierung (Group)	Artefakt (Artifact)	Gruppierungen sind rein grafische Objekte, die Lanes und Pools überschreiten dürfen, um bestimmte Stellen voneinander abzugrenzen oder hervorzuheben.

Fortsetzung auf nächster Seite

**Tabelle A.1 – Fortsetzung von vorheriger Seite**

Element	Name	Kategorie	Erklärung
	Anmerkungen (Annotation)	Artefakt (Artifact)	Mit einer Anmerkung wird eine Erläuterung oder eine Bemerkungen zu einem Modell-Element hinzugefügt. Diese sind über eine Assoziation verbunden.
	Pool/Lane	Teilnehmer	Pools und Lanes grenzen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten visuell innerhalb eines Prozesses ab. Pools stellen dabei einen grafischen Bereich dar, während Lanes Organisationseinheiten, Rollen oder Systeme darstellen.

**Tabelle A.1: Grundlegende BPMN-Modellierungselemente [4, S. 29 f.]**

Name: Patrick Hanselmann

Matrikelnummer: 733303

**Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ulm, den .....

Patrick Hanselmann