



Universität Ulm | 89069 Ulm | Germany

**Fakultät für  
Ingenieurwissenschaften  
und Informatik**  
Institut für Datenbanken  
und Informationssysteme

# Entwicklung von Anwendungsszenarien für adaptive Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0

Masterarbeit an der Universität Ulm

**Vorgelegt von:**

Murat Catalkaya  
murat.catalkaya@uni-ulm.de

**Gutachter:**

Manfred Reichert  
Rüdiger Pryss

**Betreuer:**

Tim Mohring

2017

Fassung 7. Januar 2018

© 2017 Murat Catalkaya

This work is licensed under the Creative Commons. Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/> or send a letter to Creative Commons, 543 Howard Street, 5th Floor, San Francisco, California, 94105, USA.

Satz: PDF- $\text{\LaTeX}$  2<sub>ε</sub>

## **Kurzfassung**

Die vorliegende Masterarbeit gibt einen wichtigen Überblick über die adaptiven Prozessmodelle im Zusammenhang mit der Industrie 4.0. Hierzu werden diesbezüglich nicht nur allgemeine Ziele für die Prozessmodelle sowie der vierten industriellen Revolution betrachtet, sondern auch mögliche zusammenhängende Herausforderungen und Problematiken beschrieben. Anhand eines realen Anwendungsszenarios werden darüber hinaus auch dynamische Prozessmodelle betrachtet und versucht, diese mit der „Business Process Modelling and Notation-Methode“ zu visualisieren. Anschließend werden mögliche Chancen, welche durch computergestützte Sensordaten für adaptive Prozessmodelle entstehen können, nochmals aufgezeigt und hervorgehoben.



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank an Prof. Dr. Manfred Reichert und Dr. Rüdiger Pryss für die Beurteilung sowie die Möglichkeit meine Masterarbeit am Institut für Datenbanken und Informationssysteme anfertigen zu können.

Mein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Tim Mohring, der mir während der gesamten Arbeit mit seiner fachlichen Kompetenz und Hilfestellung stets zu Rate stand.

Für die Unterstützung während des Studiums sowie insbesondere der Vorbereitung dieser Arbeit möchte ich besonders meinen Eltern und meiner Familie danken. Ohne ihre Fürsorge und ihren Beistand wären das Studium und der bevorstehende Abschluss nicht möglich gewesen.



# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                         |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                       | <b>1</b>  |
| 1.1      | Motivation . . . . .                                                    | 1         |
| 1.2      | Ziele dieser Arbeit . . . . .                                           | 2         |
| 1.3      | Aufbau der Arbeit . . . . .                                             | 3         |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>                                                       | <b>5</b>  |
| 2.1      | Industrie 4.0 . . . . .                                                 | 5         |
| 2.1.1    | Der Weg zur Industrie 4.0 . . . . .                                     | 7         |
| 2.1.2    | Die Bestandteile der Industrie 4.0 . . . . .                            | 8         |
| 2.1.3    | Ziele der Industrie 4.0 . . . . .                                       | 14        |
| 2.1.4    | Aktueller Stand der Industrie 4.0 . . . . .                             | 15        |
| 2.2      | Prozessmodelle . . . . .                                                | 19        |
| 2.2.1    | Geschäftsprozessmodelle . . . . .                                       | 22        |
| 2.2.2    | Ziele der Geschäftsprozessmodellierung . . . . .                        | 24        |
| 2.2.3    | Erforderliche Maßnahmen für eine erfolgreiche Modellierung . . . . .    | 25        |
| 2.3      | ARIS-Konzept zur Prozessmodellierung . . . . .                          | 27        |
| 2.4      | Methoden der Geschäftsprozessmodellierung . . . . .                     | 30        |
| 2.5      | Einführung in Business Process Model and Notation . . . . .             | 33        |
| 2.6      | Adaptive Prozessmodelle . . . . .                                       | 36        |
| <b>3</b> | <b>Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0</b>                      | <b>39</b> |
| 3.1      | Allgemeine Anforderungen und Besonderheiten der Industrie 4.0 . . . . . | 39        |
| 3.2      | Prozessmodelle aus realen Szenarien . . . . .                           | 44        |
| 3.3      | Prozessvisualisierung . . . . .                                         | 48        |
| 3.3.1    | Chancen zur Prozessverbesserung durch Sensordaten . . . . .             | 67        |
| <b>4</b> | <b>Related Work</b>                                                     | <b>71</b> |
| <b>5</b> | <b>Schlussfolgerung</b>                                                 | <b>77</b> |
| <b>A</b> | <b>Anhang</b>                                                           | <b>85</b> |



# 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Durch die stetig fortschreitenden technologischen Entwicklungen, den neuen Geschäftsmodellen sowie dem steigenden globalen Wettbewerbsdruck, werden viele Unternehmen vor neue Herausforderungen gestellt. Diese Situation wird zusätzlich durch den Digitalisierungs- und Vernetzungstrend in Bezug auf die vierte industrielle Revolution um einiges verschärft. Sie erfordert nicht nur eine Umstrukturierung der Unternehmensprozesse, sondern auch ein starkes Umdenken in den Firmen. Die Verfügbarkeit von immensen Datenmengen, die Kommunikation von Maschinen und Anlagen untereinander, die teils autonome Entscheidungsfindung der Maschinen sowie das Abbilden von komplexen Methoden und Abläufen, sind nur einige Beispiele, welche die Unternehmen vor neue Hürden stellen. Die Industrie 4.0 erfordert somit in den Unternehmen eine starke Flexibilität und Adaptivität in den Prozessabläufen, jedoch gibt es hinsichtlich der Visualisierung dieser wandlungsfähigen Prozessmodelle nur wenige Veröffentlichungen. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit Anwendungsszenarien für adaptive Prozessmodelle in der Industrie 4.0 betrachtet.

### **1.2 Ziele dieser Arbeit**

Für eine erfolgreiche Betrachtung der adaptiven Prozessmodelle ist es zunächst wichtig reale Prozesse sowie Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0 zu identifizieren. In diesem Zusammenhang sollen in dieser Masterarbeit konkrete Probleme sowie Chancen bei der Visualisierung der Prozessmodelle untersucht werden. Hierzu werden insbesondere zunächst die allgemein gegenwärtigen Herausforderungen in der Industrie 4.0 sowie in der Prozessvisualisierung betrachtet. Für ein besseres Verständnis der Prozessdarstellung wurde in diesem Zusammenhang aus den zahlreichen Prozessmodellierungsmethoden die Business Process Modelling and Notation ausgewählt. Auf den Problemen und Chancen aufbauend, wird beabsichtigt, mögliche Lösungsansätze für die identifizierten Problematiken und der damit abhängigen Umsetzung der adaptiven Prozessmodellierung im Kontext der Industrie 4.0 darzustellen.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Die Struktur der Arbeit ist gemäß der folgenden Gliederung unterteilt:

In Kapitel 1 wird zunächst die Motivation, die Zielformulierung sowie die zugrundeliegende Problemstellung mit einer allgemeinen Vorgehensmethodik beschrieben.

In Kapitel 2 werden die im Kontext dieser Arbeit relevanten Grundlagen dargestellt. Hierzu wird zunächst die Definition der Industrie 4.0, dessen Bestandteile, Zielsetzungen wie auch der Status-Quo in Deutschland beschrieben. Anschließend werden Prozessmodelle bzw. Geschäftsprozessmodelle betrachtet. In diesem Zusammenhang werden auch der Aufbau bzw. das Grundgerüst sowie die Ziele von Prozessmodellen näher definiert. Anschließend werden, die hierzu verwendeten Methoden und Notationen aufgezeigt. Der Schwerpunkt wird hierbei jedoch auf die Business Process Modelling and Notation gesetzt. Zum Abschluss dieses Kapitels werden adaptive Prozessmodelle, und die damit in Verbindung stehenden Änderungsarten aufgezeigt.

In Kapitel 3 werden allgemeine Anforderungen und Besonderheiten an die Industrie 4.0 dargestellt. Daran angeknüpft, werden die Eigenschaften der Prozessmodelle in der Industrie 4.0 veranschaulicht. Kernpunkt dieses Kapitels ist jedoch die Betrachtung von Prozessmodellen aus realen Szenarien. Dies betrifft insbesondere den Ablauf eines Telematik-Prozesses. Anschließend werden diese Prozessmodelle visualisiert sowie die Chancen der Sensordaten für eine Prozessverbesserung diskutiert.

Kapitel 4 gibt einen Überblick über die in diesem Kontext veröffentlichten Publikationen. Es wird dabei insbesondere auf die Unterscheidung der Publikationen mit dieser Arbeit sowie auf die konkreten Ziele der jeweiligen Veröffentlichung eingegangen.

Kapitel 5 ist zugleich das letzte Kapitel und beinhaltet eine Schlussfolgerung zur Arbeit. Damit einhergehend wird die Thematik mit einer Handlungsempfehlung abgerundet.



# 2

## Grundlagen

### 2.1 Industrie 4.0

Die „Industrie 4.0“, welche im englischsprachigen Raum auch als „Smart Factory“ (intelligente Fabrik) bekannt ist, gehört im Bereich des technischen Fortschrittes zu den wichtigsten Entwicklungen in der deutschen Wirtschaft. Das erste Mal wurde sie auf der Hannover-Messe<sup>1</sup> aufgegriffen und beschreibt ein Zukunftsprojekt der Bundesregierung zum Antrieb der Digitalisierung bzw. Informatisierung der deutschen Fertigungsindustrie. Insbesondere Unternehmen, die sich als innovativ und zukunftsweisend beschreiben, werben mit diesem Begriff. Doch welche Bedeutung verbirgt sich hinter der Bezeichnung Industrie 4.0? Das „Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)“ veröffentlichte hierzu folgende Beschreibung:

„Das Zukunftsbild Industrie 4.0 zeigt eine mögliche Zukunft der industriellen Produktion aus der Perspektive des Jahres 2025 und blickt zurück auf die „Vergangenheit“ des Jahres 2012“ [1].

Eine eindeutiger Definition liefert die „Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech)“ mit folgender Charakterisierung:

---

<sup>1</sup><http://www.hannovermesse.de/de/news/top-themen/industrie-4.0/>

„Die Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von Cyber-Physischen-Systemen (CPS) in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation“ [2].

Die acatech schaffen es in ihrer Definition alle relevanten Aspekte der Industrie 4.0 aufzugreifen und gleichermaßen diese in einem Satz zusammenzufassen. In diesem Zusammenhang tauchen noch viele weitere Begriffe auf, die im folgenden Kapitel thematisiert werden.

Darüber hinaus ist mit der Begriffsbezeichnung „Industrie 4.0“ neben der vierten industriellen Revolution auch eine Anspielung auf eine Softwareversion zu beobachten. Im Grunde zeichnet sich die Industrie 4.0 hauptsächlich unter der Voraussetzung einer hoch flexiblen Produktion, durch eine starke Individualisierbarkeit der Produkte, wie auch der Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse aus. Neben der Kopplung der Produktion mit hochwertigen Dienstleistungen, sollen Unternehmen und ganze Wertschöpfungsnetzwerke mit intelligenten Monitoring- und Entscheidungsprozessen in nahezu Echtzeit optimiert und gesteuert werden können [3]. Wichtige Elemente der Industrie 4.0 sind hierbei die integrierten Systeme wie zugleich die (teil-) autonomen Maschinen, welche ihre Entscheidungen selbstständig treffen und sich ohne eine menschliche Steuerung bewegen. Im Mittelpunkt der Industrie 4.0 stehen die Cyber-Physischen-Systeme, die mit dem „*Internet der Dinge*“ die hochkomplexe Vernetzung der Technologien gewährleisten.

Die vierte industrielle Revolution wird oftmals auch mit den Begriffen *Big Data* [4], *Cloud-Computing* [5], *Cyber-Physical-Systems* [6], *RFID-Funkchips* [7], *Ressourceneffizienz* [8], *Internet der Dinge und Dienste* [9], *Machine-to-Machine-Kommunikation* [10] und *Smart X* [11] in Verbindung gesetzt. Der Versuch die Industrie 4.0 mit diesen Begriffen zu erläutern, scheitert oftmals an der jeweiligen individuellen sowie unpräzisen Definition der Anwender und stiftet mehr Verwirrung als Klärung. In den nachfolgenden Kapiteln wird

jedoch auf einzelne Begriffe gezielt eingegangen, um sie aus Sicht dieser Ausarbeitung zu definieren und zu präzisieren.

### 2.1.1 Der Weg zur Industrie 4.0

Abbildung 2.1 zeigt die einzelnen Entwicklungsstufen, von der ersten industriellen Revolution bis hin zu den Cyber-Physical-Systems im Bereich der Industrie 4.0. Dabei ist nicht nur der steigende Komplexitätsgrad der Entwicklungen bemerkenswert, sondern auch die geringer werdenden Zeitabstände zwischen den Entwicklungsphasen.

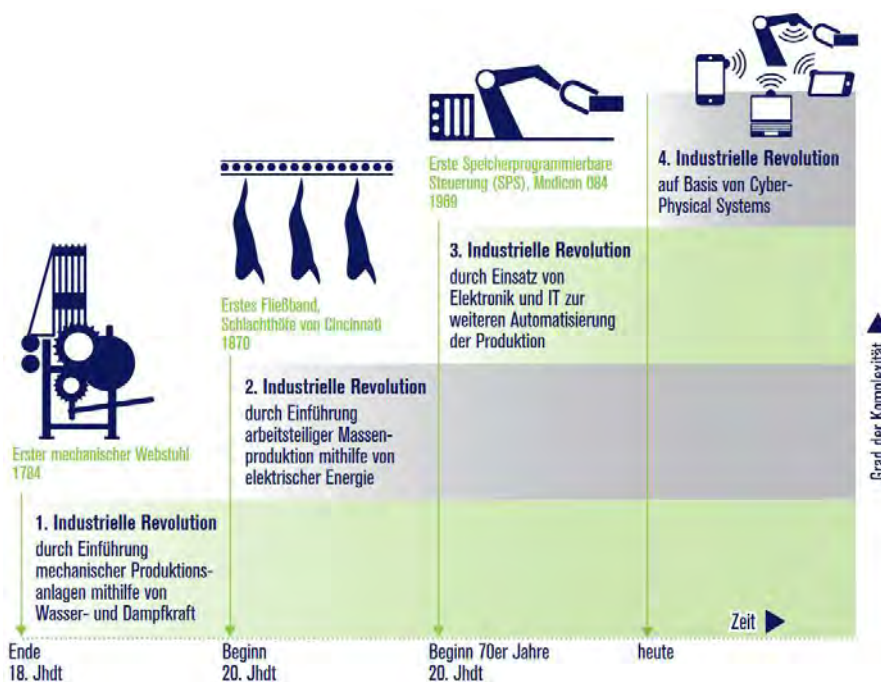


Abbildung 2.1: Entwicklungsstufen der industriellen Revolution [2]

Mitte des 18. Jahrhunderts begann mit der Erfindung der Dampfmaschine und des mechanischen Webstuhls die **erste industrielle Revolution**. Mit diesen Erfindungen einhergehend war eine Ablösung der Agrarwissenschaft wie auch eine schrittweise eingeführte Groß- und Massenfertigung zu beobachten.

Die **zweite industrielle Revolution** begann Ende des 19. Jahrhunderts. Dabei wurde die Massenanfertigung durch die Einführung der Elektrizität als Antriebskraft ausgebaut.

## 2 Grundlagen

Hierdurch konnten Hersteller, beispielsweise aus der Automobilindustrie, ihre Produkte nun am Fließband produzieren. Die ersten Motoren vereinfachten darüber hinaus den Arbeitsprozess und durch die modernen Telekommunikationsmethoden wie das Telefon und Telegramm, war eine Beschleunigung der Arbeits- und Informationsübermittlung zu erreichen [12].

Zu Beginn der 1970er Jahren startete die **dritte industrielle Revolution**, die anhand der Erweiterung der Automatisierungstechniken durch die Elektronik und IT ihren Einzug in die Fabrikhallen fand. Hierzu wurden in den 1940er Jahren zunächst große Rechenmaschinen verwendet, welche eine begrenzte Anzahl an erforderlichen Aufgaben automatisch erledigen konnten. Rund 30 Jahre später wurde diese Technologie so weit entwickelt, dass die ersten Personal-Computer für den Haus- und Bürogebrauch auf den Markt gebracht wurden.

Mit der **vierten industriellen Revolution** steht die Weltwirtschaft aktuell vor ihrer nächsten großen Veränderung. Wie anfänglich bereits erläutert, fokussiert diese Ausarbeitung die Digitalisierung früherer analoger Techniken sowie die Integration von *Cyber-Physischen-Systemen* (CPS).

### 2.1.2 Die Bestandteile der Industrie 4.0

Bezugnehmend auf die Tatsache, dass sich die vierte industrielle Revolution noch im Entwicklungsprozess befinden, ist hierbei ein aufkommen zahlreicher Definitionen zu beobachten, welche sich mitunter erheblich unterscheiden. Für ein grundlegendes Verständnis ist es daher notwendig, einen Überblick über den Zusammenhang sowie das Zusammenspiel der wichtigsten Komponenten zu erhalten. Aus diesem Grund werden im folgenden fundamentale Basiselemente betrachtet, die uns dem erwähnten Ziel näherbringen.

Zu den bedeutendsten Grundelementen zählen die **Cyber-Physischen-Systeme**, welche im Kontext der Industrie 4.0 eine wesentliche Rolle einnehmen. An dieser Stelle soll die Frage aufgeworfen werden, wie CPS definiert werden können und welche Eigenschaften sie besitzen?

Einen beachtenswerten Ansatz zur Beschreibung der CPS liefert Manfred Broy [6]. Laut seiner Darstellung basieren die CPS auf integrierte Systeme, Logistik-, Koordinations- und Managementprozesse sowie auf Internetdienste. Diese können außerdem anhand von Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken. Sie sind darüber hinaus mithilfe digitaler Netze miteinander verknüpft. Dadurch können sie weltweit Daten und Dienste von anderen CPS nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen.

Als ein primär Ziel der CPS kann hierbei die Vernetzung sämtlicher Elemente in einem Unternehmen wie Maschinen, Produkte oder Werkstücke betrachtet werden. Diese Vernetzung wird zum einen durch das „*Internet of Things*“, also der Verbindung über das Internet und zum anderen durch die Kommunikation und die gegenseitige Koordinierung der Objekte untereinander erreicht.

Ein weiteres Hauptmerkmal ist dabei der ständige Austausch der CPS mit virtuell erzeugten Abbildungen und physischen Objekten und Prozessen aus der realen Welt. Die CPS führen somit im Grunde zu einer Verschmelzung der **physischen** und **digitalen Welt**.

Neben der Integration der **digitalen Welt** in die **reale Welt**, ermöglichen die CPS auch den Einbezug der **soziokulturellen Welt** in einer neuen Art. Dies ist beispielsweise beim Lesen oder Verfassen eines Onlineblogs via Smartphone in einer zunächst noch unausgeprägten Weise ersichtlich. Abbildung 2.2 verdeutlicht den Zusammenhang der drei Komponenten: digitale Welt, reale Welt und soziokulturelle Welt. Sie bilden durch ihr Zusammenwirken das Hauptmerkmal der CPS.

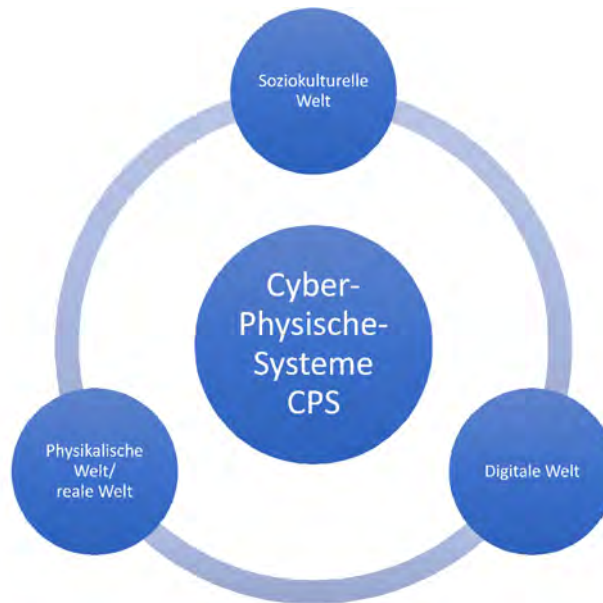


Abbildung 2.2: Zusammenarbeit der drei Sphären [6]

Ein weiterer Ansatz unterteilt die Bestandteile CPS in folgende drei Unterpunkte [13]:

1. Ubiquitous Computing
2. Internet der Dinge und Dienste
3. Cloud-Computing.

Unter **Ubiquitous Computing** ist die allgegenwärtige Informationsverarbeitung durch eingebettete Hard- und Software zu verstehen. Es verleiht allen Objekten in einem System, die mit einer entsprechenden Mikroelektronik, Sensorik, Kommunikationsmodulen und Rechenleistungen ausgestattet werden, die Möglichkeit Informationen und Daten zu verarbeiten und diese zu versenden. Diese Objekte, die mit einer Informationstechnologie bzw. einer gewissen Intelligenz versehen wurden, werden innerhalb der Fertigung als intelligente Produkte, als Produktionsmittel oder sogar als ganze Produktionsmaschinen eingesetzt.

Durch die Verknüpfung dieser Objekte mit dem **Internet der Dinge und Dienste** (IoTS) werden sie mit der erforderlichen Kommunikationsfähigkeit ausgestattet. Das Internet der Dinge und Dienste dient primär als Verbindungselement zwischen den intelligenten

physischen Objekten des Ubiquitous Computings und des Internets. Für eine erfolgreiche Kommunikation zwischen den Objekten im IoTS muss jedoch zunächst eine eindeutige Identität zugeteilt werden. Durch das Internet Protocol Version 6 (IPv6) erhalten alle Objekte eine eindeutige Adresse bzw. eine Identität zugewiesen. Hierdurch können anschließend die Produkte direkt angesprochen, erforderliche Daten erhoben, verarbeitet und als Steuerungsdaten an die Objekte zurückgesendet werden.

Die so erreichte Digitalisierung bzw. Technologisierung der Produkte, erfordert darüber hinaus eine weiterentwickelte IT-Struktur im Bereich des **Cloud-Computings**. Unter Cloud-Computing ist dabei die Bereitstellung einer IT-Infrastruktur bzw. IT-Leistung wie in etwa Serverlandschaften für erhöhte Rechenleistungen, Speicherplätze, Anwendungen sowie Dienste als Service über das Internet zu verstehen [14]. Aufgrund der nun zu Cyber-Physischen-Systemen weiterentwickelten Objekte, besteht die Möglichkeit eine Wartung, Steuerung und Kontrolle in Echtzeit durchzuführen. Mit dieser neuen Fähigkeit gehen die Ansammlung, Analyse und Auswertung von riesigen Datenmengen (Big Data und Analytics) einher. Diese neue Leistung wird anschließend mit zusätzlich benötigten Rechenleistungen auf die Infrastruktur des Cloud-Computings ausgelagert.

Neben den nun viel beschriebenen **CPS**, stellen die sogenannten **Cyber-physischen Produktionssysteme (CPPS)** einen weiteren wichtigen Bestandteil dar. Sie setzen sich aus der Anwendung und Bündelung bestehender CPS zusammen und sind in den Bereichen der Produktion oder Logistik zu finden. Die CPPS ermöglichen des Weiteren eine dezentrale reaktionsfähige, kontextadaptive Produktions- und Logistiksteuerung. Als kontextadaptive (Produktions-)Steuerung ist hierbei die autonome Anpassung an wechselnde und unvorhergesehene Ereignisse und Situationen zu verstehen. Darüber hinaus ermöglichen die CPPS eine verstärkte Nutzung der dezentral verfügbaren Sensorinformation.

Um für eine im vollen Umfang funktionsfähige Vernetzung und Kommunikation zwischen den Elementen eines CPS und dem Menschen zu sorgen, ist die Anwendung geeigneter Schnittstellen notwendig. Zum einen ist hierzu die Maschine-zu-Maschine-Kommunikationsschnittstelle (M2M-Kommunikationsschnittstelle) und zum anderen die

## 2 Grundlagen

Mensch-Maschinen-Interaktionen (MMI), wie zum Beispiel die Virtual- oder Augmented-Reality [15], zu verstehen.

Die Abbildung 2.3 visualisiert das Zusammenspiel der Schnittstellen mit den Elementen der CPS. Hierzu werden zunächst drei Ebenen betrachtet. Die erste Ebene beinhaltet dabei physisch-reale-Objekte anhand derer Daten erhoben bzw. generiert und an die zweite Ebene weitergegeben werden. Die zweite Ebene agiert hierbei als Schnittstelle, da sie als Datenspeicher bzw. Cloud für die in der Ebene 1 anfallenden Sensordaten dient. Diese werden anschließend an die Ebene 3 weitergegeben, welche Dienstsyste-  
me beinhalten, die die generierten Daten verarbeiten, auswerten und wieder an die Schnittstelle in der Ebene 2 zurücksenden. Die Schnittstelle stellt daraufhin die neu ausgewerteten Daten erneut der ersten Ebene zur Verfügung, welche diese für ihre Funktionen sowie der Generierung von neuen Daten nutzen und der Zyklus der CPS somit wieder von Neuem beginnt.



Abbildung 2.3: CPS in der Industrie 4.0 [16]

Um die Industrie 4.0 erfolgreich zu implementieren und anzuwenden, ist neben den beiden erwähnten Bestandteilen CPS und CPPS, auch eine visionäre Denkweise auf der Managementebene notwendig. Da die Industrie 4.0 einen Einfluss auf Wertschöpfungs- und Geschäftsprozesse haben kann, ist es sinnvoll die Industrie 4.0 nicht nur als technologischen Aspekt für die Produktion zu verstehen, sondern viel mehr auch als eine

Zukunftsvision für das gesamte Unternehmen. Den Betrieben bietet sich somit die Chance neue Geschäftsmodelle und –prozesse zu entwickeln und ihre Strategien auf die neuen Unternehmensvisionen anzupassen.

In der Abbildung 2.4, wird eine Zusammenfassung der verschiedenen Bestandteile der Industrie 4.0 und die aufeinander aufbauenden Stufen bzw. Komponenten aufgezeigt.

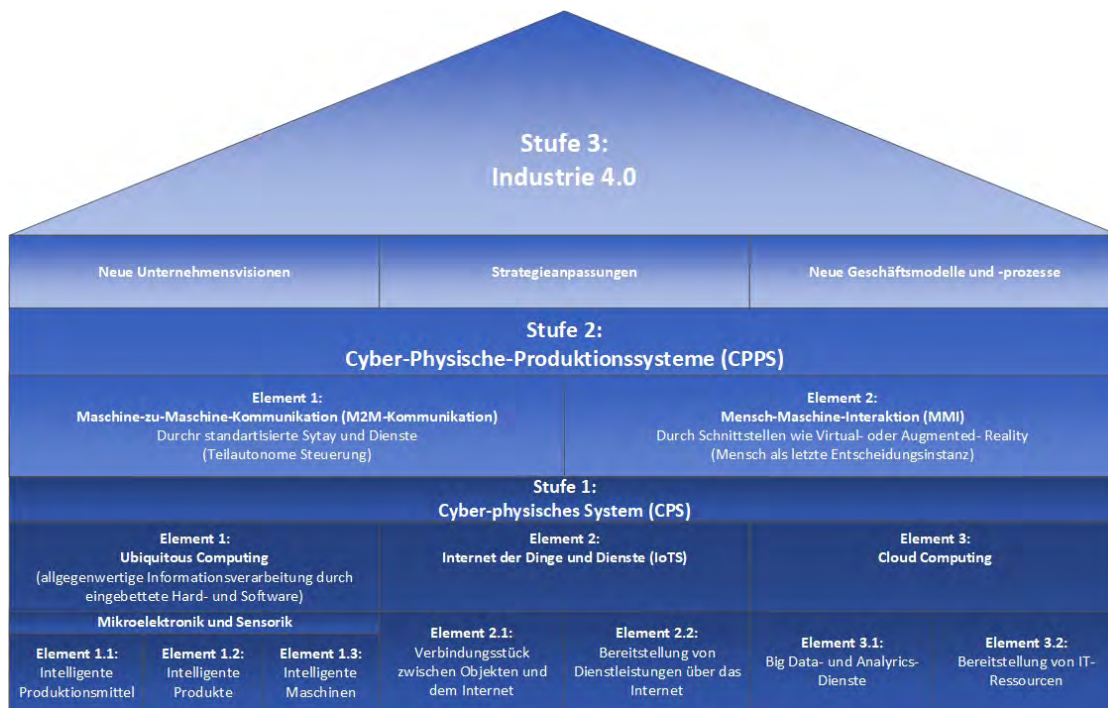


Abbildung 2.4: Komponenten der Industrie 4.0 [13]

In der Stufe 1 sind dabei alle Basiselemente der CPS und für dessen Abwicklung notwendigen Dienste und Systeme wiederzufinden. Diese sind wiederum in die drei Kernkomponenten *Ubiquitous Computing*, *Internet der Dinge und Dienste (IoT)* sowie *Cloud-Computing* aufgeteilt. Unter Ubiquitous Computing sind hierbei Intelligente-Maschinen-Produkte und -Produktionsmittel zu verstehen, welche eine allgegenwärtige Informationsverarbeitung darstellen. Das IoT dient hingegen als eine Art Schnittstelle zwischen den realen Objekten und dem Internet. Wobei die Cloud-Computing-Komponente hingegen für die Bereitstellung von IT-Ressourcen wie etwa die Datenspeicherung zu betrachten ist.

## 2 Grundlagen

Auf der ersten Stufe aufbauend, werden nun in der Stufe 2 die Anwendungen der CPS in CPPS gebündelt und in den Bereich der *Maschine-zu-Maschine-Kommunikation* (M2M-Kommunikation) wie auch der *Mensch-Maschine Interaktion* (MMI) aufgeteilt. Die M2M-Kommunikation beinhaltet hierbei eine dynamische bzw. teilautonome Steuerung, wobei die MMI die Interaktionen von Mensch und Maschine durch *Virtual bzw. Augmented-Reality* (virtuelle bzw. erweiterte Realität) beschreibt.

Die letzte Stufe 3 definiert schließlich neue Unternehmensvisionen, Strategieanpassungen sowie neue Geschäfts- und Prozessmodelle, welche auf den Stufen 1 und 2 aufbauen und für eine erfolgreiche Industrie 4.0 Umgebung bzw. Anwendung dienen.

### 2.1.3 Ziele der Industrie 4.0

Die Industrie 4.0 umfasst intelligente Produkte, Verfahren und Prozesse, welche auch als „Smart Production“ bekannt sind. Im Mittelpunkt steht dabei die intelligente Fabrik bzw. „Smart Factory“, die die rasant steigende Komplexität steuert und darüber hinaus die Effizienz in der Produktion steigert. Die unmittelbare Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen und Ressourcen zeichnen dabei die Smart Factory aus. Das Ergebnis sind somit intelligente Produkte, die nicht nur ihren Herstellungsprozess und künftigen Einsatz kennen, sondern auch aktiv den Fertigungsprozess wie auch die Dokumentation unterstützen. Die sogenannten Smart Products beantworten Frage wie:

- Wann wurde ich gefertigt?
- Welche Parameter soll ich besitzen?
- Wohin soll ich überhaupt geliefert werden?

Die Smart Factory bildet somit die Schnittstelle zur Smart Mobility, Smart Logistik sowie Smart Grid und ist ein wichtiger Bestandteil künftiger Infrastrukturen. Die uns bekannten Wertschöpfungsketten werden sich daher fortentwickeln und den Weg für völlig neue Geschäftsmodelle ebnen [17].

Die Zielsetzung der Industrie 4.0 kann demnach in folgende drei Punkte untergliedert werden:

1. Schaffung neuer Formen der intelligenten Produktionstechnik für die Generierung innovativer Produkte sowie die ressourceneffiziente und flexible Gestaltung der Unternehmen
2. Optimierung und Entwicklung bestehender oder neuer Produkte der Automatisierungstechnik
3. Schaffung neuer kollaborativer Formen der Arbeitsorganisation in der Smart Factory [18].

### 2.1.4 Aktueller Stand der Industrie 4.0

Nach den verschiedenen Grundlagen und Zielen der Industrie 4.0 ist es zudem von Bedeutung zu erfahren, wie der Status Quo der Industrie 4.0 in Deutschland aussieht. Aufgrund der grundlegenden Bedenken über den Realitätsgehalt bezüglich des erlangten Reifegrades der Unternehmen, wurde seitens der BITKOM im Jahr 2016 eine Studie [19] gestartet, die versucht einen gegenwärtigen Entwicklungsstand bzw. Anwendungsstand über die vierte industrielle Revolution in Deutschland aufzuzeigen. Ziel war es, eine empirische Grundlage für die Beurteilung des aktuellen Standes und Perspektiven der Umsetzung von Industrie 4.0 zu entwickeln.

Für die Studien wurden zunächst 203 Anwendungsfälle betrachtet, welche sich aus den konkreten Anwendungen der Industrie 4.0 in der heutigen Praxis in Deutschland ergeben. Hierzu wurden als Bezugsquelle Veranstaltungen und Veröffentlichungen des IT-Gipfels 2015 aus der von der Bundesregierung Deutschland mit initiierten „Plattform Industrie 4.0“ verwendet. Die Plattform setzt sich dabei aus den Unternehmen und ihrer Belegschaft, Gewerkschaften, Verbände, Wissenschaft und Politik zusammen. Die Anwendungsfälle wurden des Weiteren für die BITKOM-Studie zunächst in 10 Anwendungskategorien unterteilt. Demgegenüber aggregierte man die Unternehmensbranchen vorerst in acht gleich große (Branchen-) Sektoren und fügte anschließend einen neunten Sektor „sonstiges verarbeitendes Gewerbe“ hinzu (siehe Abbildung 2.5).

## 2 Grundlagen

|                  |                                                                                      | Anwendungskategorien                                 |                                                          |                                                      |                                                         |                                           |                                                   |                                                     |                        |                   |                   |     |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                  |                                                                                      | Auftragsgesteuerte Produktion innerhalb des Konzerns | Auftragsgesteuerte Produktion in einer »connected World« | Value-based Services bez. auf ausgelieferte Produkte | Value-based Services bezogen auf eigene Werke/Maschinen | Assistenzsysteme Automatisierungslösungen | Assistenzsysteme Steigerung der Energie Effizienz | Transparenz & Wandfähigkeit ausgelieferter Produkte | Wandlungsfähige Fabrik | Adaptive Logistik | Smart Engineering |     |
| Branchensektoren | Fahrzeugbau                                                                          | 1                                                    | 1                                                        | 1                                                    | 2                                                       | 7                                         | 0                                                 | 1                                                   | 1                      | 1                 | 2                 | 16  |
|                  | Maschinenbau                                                                         | 1                                                    | 1                                                        | 2                                                    | 4                                                       | 10                                        | 3                                                 | 2                                                   | 2                      | 1                 | 2                 | 28  |
|                  | Herstellung von DV-, Elektronik, Optik-Erzeugnissen und elektronischer Ausrüstung    | 3                                                    | 1                                                        | 1                                                    | 3                                                       | 8                                         | 1                                                 | 2                                                   | 3                      | 2                 | 1                 | 26  |
|                  | Metallerzeugung und Bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen                  | 1                                                    | 1                                                        | 1                                                    | 1                                                       | 4                                         | 1                                                 | 1                                                   | 1                      | 1                 | 0                 | 13  |
|                  | Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen                         | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 0                                         | 0                                                 | 1                                                   | 0                      | 1                 | 0                 | 3   |
|                  | Herstellung von Gummi-, Kunststoff-, Glaswaren und Keramik                           | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 0                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 0                      | 0                 | 0                 | 3   |
|                  | Herstellung von Nahrungsmitteln und Getränken, Tabakverarbeitung                     | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 0                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 0                      | 0                 | 0                 | 3   |
|                  | Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren, Reparatur und Installation von Maschinen | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 1                      | 1                 | 0                 | 4   |
|                  | Sonstiges verarbeitendes Gewerbe                                                     | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 0                      | 3                 | 0                 | 5   |
|                  |                                                                                      | 5                                                    | 4                                                        | 7                                                    | 12                                                      | 34                                        | 6                                                 | 7                                                   | 9                      | 10                | 5                 | 100 |

Abbildung 2.5: Prozentuales Ergebnis aus der Befragung der „Plattform Industri 4.0“ [19]

Darauffolgend wurde diese 9 x 10 Matrix auf die Mitglieder des IT-Gipfels nach dem Zufallsprinzip verteilt und um einen entsprechenden Eintrag mit einer „1“ für „zutreffend“ oder einer „0“ für „nichtzutreffend“ für den jeweilig vertretenen Bereich gebeten. Zu beachten ist, dass Anwendungsfälle der jeweiligen Teilnehmer die zu keiner Industrie 4.0 Anwendung passen, nicht eingetragen werden, jedoch Anwendungsfälle, die sich zu mehreren Anwendungskategorien eignen, mehrfach eingetragen werden dürfen. Für die Bewertung wurde darüber hinaus keinerlei Gewichtung über die Wertschöpfung oder weitere Kategorien der jeweiligen Teilnehmer vorgenommen. Nach Analyseabschluss wurden die Teilergebnisse so aggregiert, dass jeder Koeffizient der Matrix die Summe der Einträge in dem jeweiligen Marktsegment aufzeigt. Anschließend wurden die

Koeffizienten durch ihre Gesamtsumme dividiert und die prozentualen Ergebnisse auf ganzzahlige Werte gerundet. Ziel der Studie ist es somit, die Frage zu beantworten, in „welchen“ Sektoren und Bereichen „was“ bezüglich der Industrie 4.0 derzeit gemacht wird.

Das Ergebnis der Befragung ist in Abbildung 2.5 ersichtlich, welche die Analyse und Auszählung der Anwendungsfälle als Matrix mit letztendlich 90 Marktsegmenten aufzeigt.

Um ein besseres Resultat für die Studie zu erreichen, wurde mit derselben Herangehensweise eine zweite Befragung durchgeführt. Als Basis diente hierfür das „Innovation Register Industrie 4.0/IoT“ der Befragungsfirma Pierre Audoin Consultants (PAC) mit 187 Anwendungsfällen. Das Ergebnis dieser Studie ist in Abbildung 2.6 ersichtlich.

|                  |                                                                                      | Anwendungskategorien                                 |                                                          |                                                      |                                                         |                                           |                                                   |                                                     |                        |                   |                   |     |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                  |                                                                                      | Auftragsgesteuerte Produktion innerhalb des Konzerns | Auftragsgesteuerte Produktion in einer „connected World“ | Value-based Services bez. auf ausgelieferte Produkte | Value-based Services bezogen auf eigene Werke/Maschinen | Assistenzsysteme Automatisierungslösungen | Assistenzsysteme Steigerung der Energie Effizienz | Transparenz & Wandfähigkeit ausgelieferter Produkte | Wandlungsfähige Fabrik | Adaptive Logistik | Smart Engineering |     |
| Branchensektoren | Fahrzeugbau                                                                          | 1                                                    | 1                                                        | 2                                                    | 1                                                       | 7                                         | 1                                                 | 1                                                   | 2                      | 1                 | 0                 | 17  |
|                  | Maschinenbau                                                                         | 2                                                    | 1                                                        | 5                                                    | 3                                                       | 9                                         | 1                                                 | 2                                                   | 3                      | 1                 | 0                 | 28  |
|                  | Herstellung von DV-, Elektronik, Optik-Erzeugnissen und elektronischer Ausrüstung    | 1                                                    | 1                                                        | 1                                                    | 1                                                       | 6                                         | 0                                                 | 1                                                   | 2                      | 0                 | 0                 | 14  |
|                  | Metallerzeugung und Bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen                  | 1                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 4                                         | 0                                                 | 0                                                   | 1                      | 0                 | 0                 | 8   |
|                  | Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen                         | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 0                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 0                      | 0                 | 0                 | 2   |
|                  | Herstellung von Gummi-, Kunststoff-, Glaswaren und Keramik                           | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 1                      | 0                 | 0                 | 4   |
|                  | Herstellung von Nahrungsmitteln und Getränken, Tabakverarbeitung                     | 0                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 1                                         | 0                                                 | 0                                                   | 1                      | 0                 | 0                 | 4   |
|                  | Herstellung von Möbeln und sonstigen Waren, Reparatur und Installation von Maschinen | 1                                                    | 0                                                        | 0                                                    | 1                                                       | 4                                         | 1                                                 | 0                                                   | 2                      | 0                 | 0                 | 10  |
|                  | Sonstiges verarbeitendes Gewerbe                                                     | 1                                                    | 1                                                        | 2                                                    | 2                                                       | 1                                         | 0                                                 | 1                                                   | 0                      | 3                 | 0                 | 12  |
|                  |                                                                                      | 7                                                    | 5                                                        | 11                                                   | 10                                                      | 35                                        | 5                                                 | 6                                                   | 13                     | 7                 | 0                 | 100 |

Abbildung 2.6: Prozentuales Ergebnis auf Basis PAC Studie [19]

## 2 Grundlagen

Obwohl für die Befragungen unterschiedliche Quellen und Faktoren genutzt wurden, ergibt die jeweilige Auswertung vergleichbare Ergebnisse, die sich nur in wenigen Punkten unterscheiden. Aus diesem Grund können die beiden Auswertungen zusammengefasst und folgende Schlussfolgerung beobachtet werden: Das Ergebnis der Studie zeigt, dass der Maschinenbau der Branchensektor mit den meisten Anwendungsfällen mit ca. 30%, gefolgt von Herstellern von DV-/Elektronik-/Optik-Erzeugnissen mit ca. 18%, Fahrzeugbau bzw. Fahrzeug-Zulieferern mit ca. 16% und der Metallerzeugung und -bearbeitung mit ca. 11%, erzielte.

Nicht zu vernachlässigen sind in diesem Zusammenhang zudem die Anwendungskategorien, welche am häufigsten zum Einsatz kamen. Der Großteil der aktuell praktizierten Industrie 4.0-Anwendungen, fällt in den Bereich der Assistenzsysteme mit ca. 40%. Der Fokus liegt hierbei auf Automatisierungslösungen, die durch eine Lösung zur Steigerung der Energie-Effizienz ergänzt wird. Mit deutlichem Abstand folgen die Anwendungskategorien der „Value-Based Services“, die für den Bereich der Produkte und Werkzeuge betrachtet werden und zu denen auch die „Predictive/-Preventive Maintenance“ zählen. Einen geringen Einsatz im Vergleich zu den Assistenzsystemen finden zudem die Anwendungen aus den Bereichen der „Wandlungsfähigen Fabrik“ sowie der „Adaptiven Logistik“.

Zusammenfassend ist zu beobachten, dass sich viele Anwendungen noch in einer frühen Entwicklungsphase befinden. Vor allem komplexe Anwendungen mit einem hohen Vernetzungsgrad befinden sich noch im Planungs- und Entwicklungsstadium. Des Weiteren ist zu beachten, dass nur ein gewisser Teil der Industrie 4.0- Anwendungen veröffentlicht werden bzw. öffentlich zugänglich sind. Eine mögliche Begründung hierfür könnte sein, dass gerade innovative Anwendungsfälle mit neuartigen Geschäftsmodellen aus strategischen Gründen lang unter Verschluss gehalten werden. Darüber hinaus ist aus dieser Studie nicht eindeutig ersichtlich, ob eine Umsetzung der angegebenen Anwendungsfälle in den jeweiligen Bereichen auch sicher eintrifft bzw. eine Überprüfung in dieser Hinsicht stattgefunden hat. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund des gemeinsamen Interesses und das Ziel bestehende sowie mögliche Einsatzgebiete der Industrie 4.0 zu erkennen, die Befragungen jeweils wahrheitsgetreu beantwortet wurden.

## 2.2 Prozessmodelle

Um die zahlreichen und vielschichtigen Prozesse vor allem in den Unternehmen darzustellen, benötigt man visualisierbare Prozessmodelle. Ziel ist es dabei, komplizierte und vielseitig einsetzbare Prozessabläufe mit ihren zu beachtenden Restriktionen und relevanten Informationen möglichst vollständig, verständlich und einfach zu modellieren. Für die Erfüllung dieser Ziele bedient man sich daher der Prozessmodellierung, welche aus dem Bereich des Prozessmanagements bzw. „Business Process Management“ stammt und für die grafische Darstellung von Abläufen bzw. Prozessen verantwortlich ist.

Um ein besseres Verständnis über die Prozessmodell-Thematik zu erhalten, werden in dieser Ausarbeitung zunächst die Teilbegriffe „Prozess“ und „Modell“ näher erläutert. Bei einem Prozess handelt es sich im Grunde um eine Abfolge von Schritten, welche einen Start- und einen Endpunkt besitzen und hierdurch einen Ablauf darstellen. Ein Prozess ist somit laut Becker et. al, *„Eine inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Folge von Aktivitäten, die zur Bearbeitung eines prozessprägenden betriebswirtschaftlichen Objektes notwendig sind“* [20]. Als Objekt kann beispielsweise in einem Rechnungsprüfungsprozess die Bestellung oder die Rechnung angesehen werden.

Ein Modell hingegen wird laut Schütte als *„... das Ergebnis einer Konstruktion eines Modellierers, der für Modellnutzer eine Repräsentation eines Originals zu einer Zeit als relevant mithilfe einer Sprache deklariert“* [21].

Diese Definition zeigt, dass Modelle nicht nur eine direkte Abbildung eines realen Systems darstellen, sondern hauptsächlich über die Abweichung bzw. einen Umweg des Modellgestalters verdeutlicht werden können. Dies bedeutet im Grunde, dass die Prozesse zuvor in den Vorstellungen des Gestalters existieren und somit auch dessen Vorkenntnisse, Erfahrungen sowie Intentionen für die Problemlösung und Visualisierung mit einfließen [22].

Eine zusammenfassende Erläuterung liefert das „Bundesministerium des Inneren (BMI)“, welches ein Prozessmodell als eine vereinfachte Abbildung von Prozessen einer Organi-

sation versteht. Laut BMI besitzen Prozessmodelle außerdem die Fähigkeit, chronologisch-sachliche Abfolgen von Funktionen darzustellen. Sie können darüber hinaus, je nach Intention in verschiedenen Detaillierungsgraden und Umfängen modelliert werden. Wegen den meist hohen Komplexitätsgraden können jedoch hierbei nicht alle betrachteten Prozesse integriert und visualisiert werden. Aus diesem Grund gibt es die Möglichkeit unterschiedliche Prozessmodelle über mehrere Hierarchie- oder Beschreibungsebenen hinweg abzubilden. Der Detaillierungsgrad des Prozessmodells entscheidet dabei über die Anzahl der zu visualisierenden Beschreibungsebenen. Abhängig von der Zielsetzung kann auf jeder Beschreibungsebene ein unterschiedlicher Prozessmodelltyp verwendet werden. Es können demnach anhand der Prozessmodelle bestehende Abläufe visualisiert und eindeutig dokumentiert werden [23].

### **Das Metamodell für Prozessmodelle**

Um ein besseres Verständnis für Prozessmodelle bzw. Geschäftsprozessmodelle zu erlangen, ist es zunächst wichtig, das Grundgerüst für den Modellaufbau kennenzulernen. Wie zuvor schon erwähnt, handelt es sich bei einem Modell um die Beschreibung eines Systems bzw. um ein vereinfachtes Abbild des Originals. Diese Vereinfachung kann durch die Abstraktion des Originals erreicht werden, indem irrelevante Details und Elemente zunächst vernachlässigt werden. Hierzu existieren verschiedene Abstraktionsebenen, die das Maß der Abstraktion in einem Modell abbilden können.

Ein in diesem Zusammenhang oft verwendetes Abstraktionskonzept ist die horizontale Abstraktion. Hierbei werden die verschiedenen Modellierungsstufen in die Instanz-Ebene, Modell-Ebene sowie Metamodell-Ebene eingeteilt. Dieses Grundgerüst ist auch als Metamodell bzw. Metamodellhierarchie bekannt und besitzt neben der horizontalen auch eine vertikale Form sowie ein aggregiertes Abstraktionskonzept [24]. Aus Gründen der Vereinfachung wird in dieser Arbeit wie in der Abbildung 2.7 erkennbar, die horizontale Abstraktion fokussiert.

Doch was genau ist unter einem Metamodell zu verstehen? Wie zuvor schon erwähnt, besitzt die korrekte wie auch syntaktisch richtige Nutzung der Prozessmodellierungsmethoden, eine essentielle Rolle für einen erfolgreichen Prozessablauf. Dieses Ziel wird erreicht, in dem man den Notationsregeln der jeweiligen Methode folge leistet.

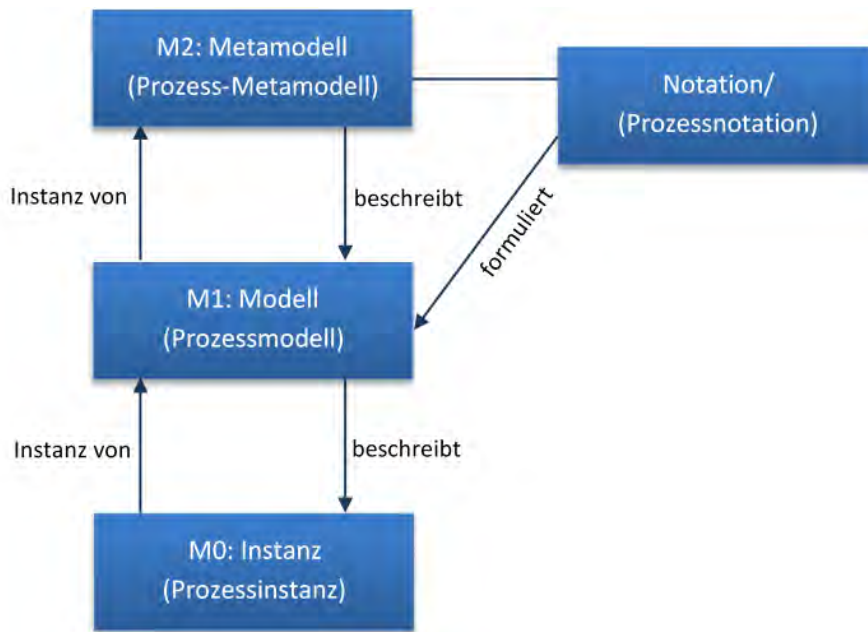


Abbildung 2.7: Abstraktionsebenen im Meta-Modell [24]

Das Metamodell stellt diese Notationsregeln bereit und ist mit den Grammatiken einer Sprache vergleichbar. Dementsprechend beschreibt das Metamodell, wie die Grammatik eine Richtlinie über die existierenden Elemente und Regeln innerhalb einer Sprache und stellt somit deren abstrakte Syntax dar. Sie bildet folglich ein Rahmenwerk, welches für das Modellverständnis sowohl für den Menschen als auch für die Maschine von großer Relevanz ist. Dies gelingt dem Metamodell, in dem es das Abbild der Realität durch einzelne Modelle vereinfacht, wobei die Modelle wiederum die Objekte der realen Welt abstrahierend darstellen.

Wie in Abbildung 2.7 ersichtlich, besteht das Metamodell aus der Instanz-Ebene, Modell-Ebene und der Metamodell-Ebene. Bestehend aus den zu modellierenden Gegebenheiten, können weitere Über-Ebenen (Metametamodell-Ebenen) existieren, auf die in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen werden.

Der Aufbau der Abstraktionsebenen ist wie folgt zu verstehen:

Die „**M0: Instanz-Ebene**“ bildet die unterste Schicht und beinhaltet die zu beschreibenden Daten und Prozesse bzw. erforderlichen Informationen aus der „realen Welt“. Dies ist mit einem Geschäftsprozess oder auch einem Workflow aus der realen Welt, wie

## 2 Grundlagen

etwa der tatsächliche (reale) Vorgang des Geld-Abhebens aus einem Bankautomaten vergleichbar. Zu beachten ist jedoch zusätzlich, dass hierbei nicht nur eine Instanz bestehen kann, sondern je nach Ausführung mehrere Instanzen mit unterschiedlichen Ausführungszuständen existieren können.

Die „**M1: Modell-Ebene**“, dient zur Beschreibung und Klassifizierung der aus der realen Welt, also aus der „Instanz-Ebene (M0)“ stammenden Informationen. Es handelt sich demnach um übergeordnete Daten (Metadaten), welche zur Beschreibung der Daten aus der Instanz-Ebene dienen. Aus diesem Grund wird die Gesamtheit der Metadaten auch als Modell bezeichnet. Ein Beispiel hierfür wäre die Beschreibung des Geldabhebevorgangs anhand einer Sprache wie UML.

Die „**M2: Metamodell-Ebene**“, beschreibt und klassifiziert die Struktur und Semantik, die anhand von Modellinformationen in der Ebene M1 zu finden sind. Aus diesem Grund wird die Gesamtheit der in Ebene M2 befindlichen Daten auch Metamodell genannt. In anderen Worten ist ein Metamodell, eine „abstrakte Sprache“ anhand derer verschiedene Informationsarten beschrieben werden können. Offen bleibt hingegen, in welcher Form diese Beschreibung erfolgen soll. Die M2-Ebene wäre in unserem Beispiel die abstrakte Sprache, welche für die korrekte Modellierung der aus M1 stammenden Informationen verantwortlich ist.

### 2.2.1 Geschäftsprozessmodelle

Prozessmodelle werden zudem häufig in der Wirtschaftswelt verwendet. Dort werden sie jedoch nicht mehr als Prozessmodell, sondern als Geschäftsprozessmodell bezeichnet. Geschäftsprozessmodelle sind somit auch als Prozessmodelle zu verstehen, legen aber ihren Fokus auf die Visualisierung von Unternehmens-, Organisations- bzw. Geschäftsprozessen. Des Weiteren ist an dieser Stelle auch ein Zusammenhang zwischen den Geschäftsprozessen und der IT zu beobachten, welche nicht nur versuchen reale Unternehmensprozesse mit ihrer Informationstechnologie zu unterstützen, sondern auch zu visualisieren.

Laut *Staud*, besteht ein Geschäftsprozess aus einer zusammenhängenden abgeschlossenen Folge von Tätigkeiten bzw. Aktivitäten, die zur Erfüllung eines Organisationsziels notwendig sind. Die Tätigkeiten werden von Aufgabenträgern in organisatorischen Einheiten mit ihrer Aufbau- und Ablauforganisation unter Nutzung benötigter Produktionsfaktoren geleistet [25].

Eine weitere Definition liefern *Davenport* und *Short*, die die Geschäftsprozesse wie folgt definieren: „Ein Geschäftsprozess ist eine Folge logisch zusammenhängender Aktivitäten, die für ein Unternehmen einen Beitrag zur Wertschöpfung leistet, einen definierten Anfang und ein definiertes Ende besitzt, wiederholt ausgeführt wird, sich in der Regel am Kunden orientiert und Eingaben in Ausgaben umwandelt“[26].

Ein Geschäftsprozess besitzt somit folgende Eigenschaften [20]:

- Abgeschlossenheit
- Zweckbestimmtheit
- messbare Ergebnisse
- aufwandsverbundene Modellierung
- Kunden im Mittelpunkt
- Ausführungsziel mit der Erfüllung der Kundenwünsche
- Ressourcen-/Informationsverwendung und Erzeugung

In einem Geschäftsprozessmodell werden demnach übergreifende Prozesse modelliert. Darüber hinaus werden die darin enthaltenen Geschäftsabläufe, Vorgänge, Aktivitäten und Funktionen abgebildet. Hierzu zählen auch deren Input und Output sowie die jeweils in Anspruch genommenen Ressourcen wie Zeit, Geld, Personal, Maschinen, IT-Strukturen etc..

Durch die Visualisierung der Unternehmensabläufe wie auch die Darstellung der verantwortlichen Positionen und Rollen ermöglicht das Geschäftsprozessmodell einen hohen Grad an Transparenz. Darüber hinaus existiert die Chance, Schwachstellen zu erkennen und zu analysieren.

### 2.2.2 Ziele der Geschäftsprozessmodellierung

Je nach Anwendungsgebiet der Geschäftsprozesse und der Unternehmensstruktur bzw. -kultur existieren unterschiedliche Ziele für die Geschäftsprozessmodellierung. Obwohl dies in erster Linie etwas verwirrend erscheint, ist es dennoch sehr sinnvoll. Jedes Unternehmen muss auf Grundlage seiner Management-, Kern- und Unterstützungsprozesse, die Ziele so definieren, dass der größtmögliche Erfolg erzielt werden kann. Im Folgenden sind einige allgemeine Ziele der Geschäftsprozessmodellierung zu finden, welche aus verschiedenen Quellen zusammengetragen wurden. Hierzu gehören unter anderem [27] [28]:

- Verbesserung des Prozessverständnisses für alle Mitarbeiter auf allen Unternehmensebenen, welche als Grundlage für eine fortdauernde Verbesserung oder einer Basisstruktur für das Business Process Reengineering dient
- Schnellere Reaktionsgeschwindigkeit wie auch Optimierung der Wertschöpfung und Kundenorientierung
- Dokumentation sowie Standardisierung bzw. Harmonisierung der Arbeitsabläufe sowie Begrifflichkeiten
- Fortschritt in der Nutzung des Mitarbeiter- sowie Ressourcenpotentials
- Simulation von „Was-wäre-wenn“-Szenarien
- Erleichterung von Integrations- oder Outsourcing-Entscheidungen
- Vorbereitung für automatisierte bzw. IT-unterstützte Geschäftsprozesse – Workflow-Management-Systeme
- Festlegung von Prozesskennzahlen wie auch Überwachung der Prozessleistungen
- Definition von Schnittstellen und Service-Level-Agreements (SLA) zwischen Auftraggeber und Dienstleister

### 2.2.3 Erforderliche Maßnahmen für eine erfolgreiche Modellierung

Um eine erfolgreiche Modellierung zu erreichen, sind einige allgemeine Maßnahmen und Bedingungen einzuhalten. Hierzu zählen folgende Punkte [29]:

- Dokumentation und Weitergabe der Erfahrung und Know-how der Modellerzeuger in Hinsicht auf die verwendeten Modellierungswerkzeuge sowie den fachlichen Abläufen in den Unternehmen
- Tatkräftige Unterstützung durch das Management aufgrund der Tatsache, dass eine Modellierung als Kernkompetenz bzw. Kernaufgabe zu verstehen ist
- starke Zusammenarbeit zwischen den Modellerzeugern sowie den zu modellierenden Einheiten
- Implementierung sowie Nutzung von Modellierungsstandards im Hinblick der Kostenersparnis sowie einer einheitlichen Sprache, Darstellung und Verständnis.

In diesem Zusammenhang gilt es des Weiteren den BPM-Lebenszyklus [30] wie in Abbildung 2.8 zu beachten. Dieser beinhaltet die verschiedenen Phasen des Business Process Managements beginnend von der Prozessidentifikation über die Prozessaufdeckung (Istzustands-Modellierung), Prozessanalyse, Prozessoptimierung (Sollzustands-Modellierung), Prozessausführung bis hin zur Prozessüberwachung. Anschließend wird der Zyklus mit der Identifikation von Prozessen bzw. Abbildung des Istzustands wieder neu gestartet

Während es in der Phase der „*Prozessidentifikation*“ um die Erkennung von Geschäftsprozessen und deren Mangel geht, wird bereits in der „*Prozessaufdeckung*“ der Istzustand des aktuell betrachteten Prozesses abgebildet. Hierbei werden somit zum ersten Mal ein Prozess sowie dessen Ablauf und Instanzen modelliert. Anschließend wird in der Phase „*Prozessanalyse*“ dessen Schwierigkeiten sowie Einfluss auf den gesamten Unternehmenserfolg untersucht und hierzu eine Liste erstellt. In der Phase „*Prozessoptimierung*“ werden die zuvor gefundenen Mängel optimiert und der Prozess zu seinem Sollzustand weiterentwickelt. Die Phase „*Prozessimplementierung*“ beschäftigt sich mit der Integration der verbesserten Prozesse in ein Business Process Management System,

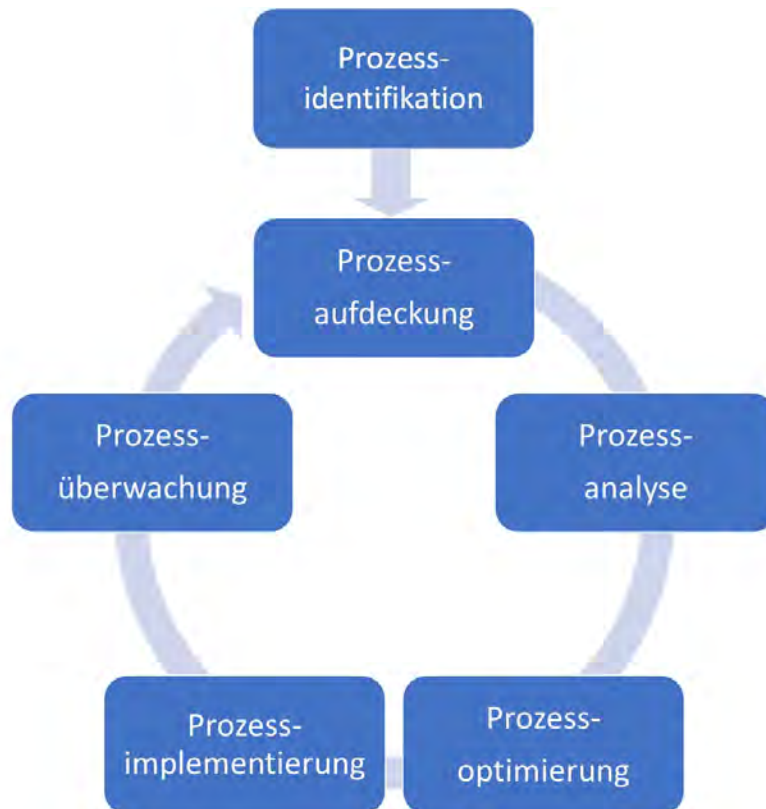


Abbildung 2.8: BPM Lebenszyklus [30]

welcher somit die Grundlage für die Nutzung eines automatisierten Prozessmodells bietet. Als letzter Schritt wird in der Phase der „*Prozessüberwachung*“ die Leistung des Prozesses anhand von Key Performance Indicators (KPI), wie etwa die Anzahl an erfolgreich abgewickelten Prozessen, gemessen und untersucht. Der gesamte Zyklus beginnt anschließend erneut, in dem nun die Mängel des neu angelegten Prozesses untersucht und optimiert werden. Der Fokus in dieser Arbeit liegt jedoch im Bereich der Prozessmodellierung, die sich den gegebenen Umgebungsbedingungen anpassen können.

## 2.3 ARIS-Konzept zur Prozessmodellierung

Um einen ersten Eindruck für die Modellierung eines Geschäftsprozesses zu erhalten, wird zunächst das in diesem Bereich am meisten verbreitete und von *August-Wilhelm Scheer* gegründete „ARIS-Konzept (Architektur integrierter Informationssysteme)“ betrachtet. Das ARIS-Konzept stellt gemäß *Scheer* einen allgemeinen Bezugsrahmen für die Geschäftsprozessmodellierung dar. Es dient demnach als Rahmenwerkzeug zur Beschreibung von Unternehmen und betriebswirtschaftlichen Anwendungssystemen. Das Hauptmerkmal hierbei, ist die Bereitstellung ebenen- und sichtenspezifischer Modellierungs- und Implementierungsmethoden. Dies ermöglicht demnach eine Reduzierung der Komplexität der Modellierung von Prozessen sowie ihrer Implementierung. Die verschiedenen Modellierungsebenen bzw. Sichten- und Schichtenkonzepte können zusammengefasst in Abbildung 2.9 betrachtet werden, wobei darüber hinaus in den nachfolgenden Unterkapiteln hierauf näher eingegangen wird.

### Die Sichten- und Schichtenkonzepte des ARIS-Hauses

Um die Prozessmodellierung etwas einfacher zu gestalten und diese ganzheitlich abzubilden, wurde das ARIS-Haus zunächst in fünf Sichten aufgeteilt. Dies ist damit zu begründen, dass die Planung von Informationssystemen sehr komplex ausfallen kann. Informationssysteme bestehen zumeist aus vielen verschiedenen Elementen, die voneinander abhängig sein können bzw. sich gegenseitig beeinflussen und für den Nutzer nur teilweise sichtbar sind. Um den Grad der Komplexität zu reduzieren, werden daher im ARIS-Haus mehrere Sichten unterschieden. Zu diesen Sichten gehören die Organisationssicht, Datensicht, Steuerungssicht, Funktionssicht und Leistungssicht. Die Tabelle 2.1 dient zur kurzen Beschreibung der verschiedenen Sichten [32].

Das ARIS-Haus empfiehlt demnach neben der integrierten Ansicht der Geschäftsprozesse auch eine Betrachtungsweise, die durch die Sichten spezifiziert wurde. Es werden demzufolge nicht alle Informationen eines Informationssystems dargestellt, sondern nur jene, die für spezifische Fragestellungen interessant sind.

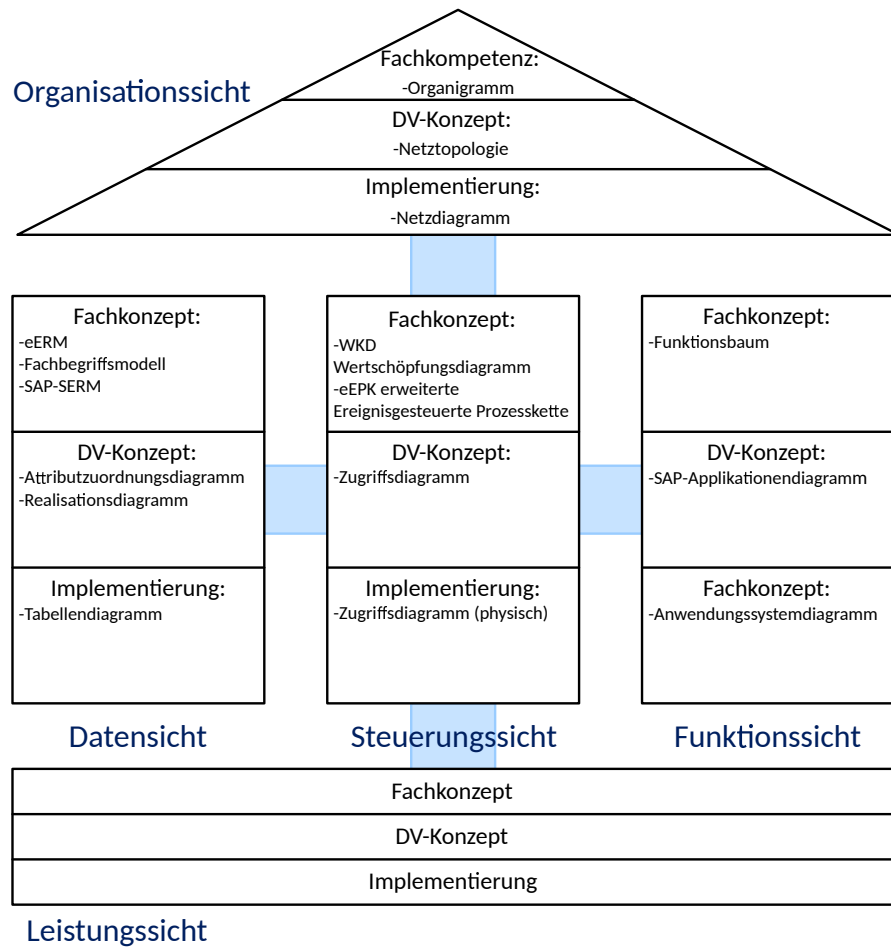


Abbildung 2.9: ARIS-Haus [31]

Neben dem Sichten-Konzept unterscheidet man im ARIS-Haus auch die verschiedenen Schichten bzw. Beschreibungsebenen. Hierzu zählen folgende Schichten:

- Fachkonzept
- DV-Konzept (Datenverarbeitungs-Konzept)
- Implementierung.

Die verschiedenen Beschreibungsebenen werden nach ihrer Nähe zur Betriebswirtschaft erläutert. Der Ursprung liegt hierbei in den betriebswirtschaftlichen Problemstellungen, welche mit dem Fachkonzept beschrieben werden und von langfristiger Natur sind. In der Schicht des DV-Konzepts werden die Begrifflichkeiten des Fachkonzepts in die Bereiche

### 2.3 ARIS-Konzept zur Prozessmodellierung

| Sichten            | Beschreibung                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Organisationssicht | Sie modelliert den Organisationsaufbau mit allen Organisationseinheiten sowie ihren Beziehungen (Organigramm).                                                                               |
| Datensicht         | Sie betrachtet alle betriebswirtschaftlich relevanten Informationsobjekte und deren Beziehungen untereinander – somit die Gesamtheit der Ereignisse, die Daten generieren.                   |
| Steuerungssicht    | Sie hilft bei der Verknüpfung der anderen Sichten, sodass Arbeitsprozesse in einer semi-formalen Modellierungssprache grafisch dargestellt werden können (Ereignisgesteuerte Prozessketten). |
| Funktionssicht     | Sie beschreibt alle betriebswirtschaftlich bedeutsamen Aktionen (Funktionen), ihre inhaltliche Beschreibung sowie ihre hierarchischen Beziehungen untereinander.                             |
| Leistungssicht     | Sie schildert sämtliche materiellen und immateriellen Produkte, die sowohl Ursprung als auch Ergebnis des betrieblichen Leistungsprozesses sein können.                                      |

Tabelle 2.1: Beschreibung der fünf Sichten des ARIS-Hauses

der DV-Umsetzung übertragen. Anhand der Implementierung wird abschließend die Realisierung des DV-Konzepts auf bestimmte Soft- und Hardwarekomponenten beschrieben [25].

### 2.4 Methoden der Geschäftsprozessmodellierung

Wie aus dem ARIS-Haus schon ersichtlich, gibt es viele verschiedene Modellierungsmethoden für die Visualisierung der Prozesse. Der Entschluss bezüglich der richtigen Modellierungsmethode spielt für die Unternehmen eine sehr entscheidende Rolle. Dies ist nicht nur damit zu begründen, dass die Auswahl unternehmensspezifisch und fallbezogen getroffen wird, sondern auch ein im Unternehmensverlauf eventuell notwendiger Wechsel, hohe Kosten verursachen könnte. Zu den bekanntesten Methoden zählen hierbei die Wertschöpfungskettendiagramme (WKD), Ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) bzw. die erweiterten Ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK), die Unified Modeling Language (UML) und die Modellierungssprache Business Process Model and Notation (BPMN). Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Das **Wertschöpfungskettendiagramm** [33] hilft in erster Linie, Funktionen im Unternehmen bzw. Geschäftsprozesse sehr einfach und intuitiv darzustellen. Es ermöglicht darüber hinaus, hierarchische Zusammenhänge wie auch die Verkettung entsprechender Reihenfolgen abzubilden. Bei einer ansteigenden Anzahl an Teilprozessen, insbesondere die Anzahl der Beziehungen zueinander oder zu den Organisationseinheiten, Anwendungssystemen, Zielen, Datenobjekten, Leistungen, Risiken oder Messgrößen, kann eine Übersichtlichkeit der Prozessabbildung nicht mehr gewährleistet werden.

Die **Ereignisgesteuerte Prozesskette** [22] wurde zu (Re-)Dokumentation und semiformalen Beschreibung von Geschäftsprozessen unter der Leitung von *W.A. Scheer* entwickelt. Aufgrund der Konzipierung im Rahmen des ARIS-Projektes bildet sie einen wesentlichen Bestandteil des ARIS-Konzepts und stellen dabei zeitlich-logische Abhängigkeiten von Ereignissen und Funktionen dar. Ausgelöst werden die jeweiligen Funktionen durch die Ereignisse, die wiederum den Eintritt eines bestimmten Zustands definieren. Die EPKs beginnen und enden immer mit einem Ereigniselement und wechseln sich mit den Funktionselementen ab. Weil die EPKs als semantisches Prozessmodell der Steuerungssicht zuzuordnen sind, ist auf Grund der Verknüpfung der Teilschichten die Notation sehr komplex strukturiert. Aus diesem Grund unterscheidet man zwischen der „einfachen“ EPK und der „erweiterten“ EPK. Ersteres enthält hierbei die Grundelemente zur Darstellung eines Prozessablaufes wie Funktionen, Ereignisse und Verknüpfungsoperatoren.

Das **erweiterte EPK** hingegen, beinhaltet weitere Elemente aus der Verknüpfung der Teilsichten wie die auszuführenden Organisationseinheiten, erforderlichen Input- und Output-Daten sowie die benutzten Anwendungssysteme.

Die **Unified Modeling Language** [34] ist eine Modellierungssprache, welche zur Spezifikation, Konstruktion und Dokumentation von Software-Teilen und anderen Systemen verwendet wird. Derzeit wird sie vonseiten der Object Management Group (OMG) weiterentwickelt und ihre Diagrammtypen im Rahmen der Softwareentwicklung heute als Quasistandard betrachtet. Sie ist jedoch nicht nur für die Darstellung von Softwaresystemen verwendbar, sondern findet auch in der Geschäftsprozessmodellierung wachsenden Zulauf. Die bekanntesten Diagrammtypen sind hierbei das Anwendungsfalldiagramm auch bekannt als *Use Case Diagramm*, *Aktivitätsdiagramm*, *Klassendiagramm*, *Sequenzdiagramm*, *Kollaborationsdiagramm*, *Zustandsdiagramm*, *Komponentendiagramm* und das *Verteilungsdiagramm*.

Die **Business Process Model and Notation** [35] wird als Standard für graphische und XML-basierte Geschäftsprozessmodellierung betrachtet. Sie wird wie die UML von der Object Management Group veröffentlicht und von zahlreichen Anbietern, zudem Beratern unterstützt. Mit der aktuellen Version BPMN 2.0 ist die Visualisierung von Geschäftsprozessen anhand von *Prozessdiagrammen*, *Konversationsdiagrammen* und *Choreographie-Diagrammen* möglich. Für eine sinnvolle und effektive Darstellung der Prozesselemente sowie aufgrund der Verwendung dieser Modellierungsnotation in der vorliegenden Arbeit, wird im nächsten Unterkapitel etwas genauer auf die Bestandteile der BPMN eingegangen.

Zuvor gibt es jedoch in der Abbildung 2.10 eine kurze Übersicht über die zentralen Prozesselemente, die in den angegebenen Modellierungsnotationen verwendet werden.

## 2 Grundlagen

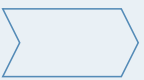
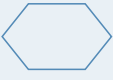
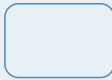
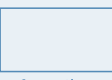
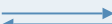
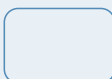
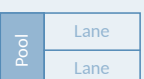
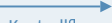
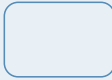
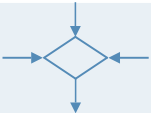
| Methode                  | Ereignis/<br>Zustand                                                                                                                                                                                                                                                                       | Funktion/<br>Prozess                                                                           | Organisation                                                                                                   | Daten                                                                                                         | Verzweigung/<br>Konnektor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Kontroll-, Daten-,<br>Nachrichtenfluss                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WKD                      | <br>Startprozess                                                                                                                                                                                          | <br>Prozess   |                                                                                                                |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <br>Kontrollfluss                                                                                                                                                                                                                  |
| eEPK                     | <br>Ereignis                                                                                                                                                                                              | <br>Funktion  | <br>Organisations-<br>einheit | <br>Informations-<br>objekt |  XOR<br> V oder<br> ^ und                                                                                          | <br>Kontrollfluss<br><br>Datenfluss                                                                                                             |
| BPMN                     |  Start-,<br> Zwischen-,<br> Endereignis | <br>Aktivität | <br>Pool Lane<br>Lane         | <br>Dokument                |  und<br> xor<br> oder<br> Event | <br>Kontrollfluss<br><br>Nachrichtenfluss<br><br>Assoziation |
| UML Activity<br>Diagramm |  Start<br> Ende                                                                                                          | <br>Aktivität |                                                                                                                |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <br>Kontrollfluss                                                                                                                                                                                                                  |

Abbildung 2.10: Zentrale Elemente der Prozessmodellierung

## 2.5 Einführung in Business Process Model and Notation

Wie zuvor erwähnt, stellt die BPMN primär Geschäftsprozesse graphisch dar. Sie unterscheidet sich im Vergleich zu den zuvor aufgeführten Notationen zunächst darin, dass sie wie die UML als Industriestandard für die Geschäftsprozessmodellierung betrachtet wird. Darüber hinaus ermöglicht die aktuell veröffentlichte Version BPMN 2.0 neben der hohen Ausdrucksfähigkeit, eine hohe Prozessmodell-Qualität. Letzteres ist auf die Syntax, Semantik sowie den pragmatischen Qualitätsanforderungen zurückzuführen. Damit einhergehend werden Aspekte wie Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und Vergleichbarkeit erhöht. Hierzu ist eine detaillierte Übersicht in Anhang A zu finden. Es folgen nun einige Grundelemente der Prozessmodellierung mit BPMN 2.0, um diese etwas besser kennenzulernen.

### Basiselemente der BPMN

Wie bereits aufgeführt, gibt es drei Diagrammtypen mit denen sich Geschäftsprozesse mithilfe von BPMN darstellen lassen. In dieser Arbeit wird der Fokus jedoch auf die Collaborationsdiagramme gelegt, die sich im Wesentlichen in vier Hauptbestandteile gliedern lassen. Diese sind die Teilnehmer (Pools und Lanes), Flussobjekte (Events, Gateways, Activities), verbindende Objekte (Nachrichtenfluss, Sequenzfluss und Assoziationen) sowie Artefakte (Datenobjekte, Text Annotationen, etc.), welche im Folgenden vorgestellt werden.

**Pools** sind im Allgemeinen Behälter (Container), die einzelne Prozesse von Prozessbeteiligten wie Organisationen, Organisationseinheiten oder Rollen darstellen. Bei der Verwendung eines Pools ist darauf zu achten, dass eine Unterscheidung zwischen White-Box-Pools und den Black-Box-Pools existiert. Bei den White-Box-Pools handelt es sich um Process-Pools, bei denen sämtliche Prozesselemente angezeigt werden, wohingegen die Black-Box-Pools bzw. Collapsed-Pools sämtliche Aktivitäten eines Prozesses verstecken und nur als eckiger Kasten mit der Beschriftung der jeweiligen Organisationseinheit oder Rolle zu finden sind. Eine **Lane** stellt die Unterteilung eines Pools dar und erstreckt sich dabei über dessen komplette Länge. Sie repräsentiert häufig einen Benutzer, eine Benutzerrolle oder ein System. Zudem sollte Erwähnung finden, dass

## 2 Grundlagen

einzelne Pools nicht mit jedem verbindenden Objekt verbunden werden, sondern nur durch sogenannte Nachrichtenflüsse (Message Flow) in Beziehung gesetzt werden können.

**Flussobjekte** bestehen aus den Aktivitäten, Ereignissen und Verzweigungen auch bekannt als Gateways. **Aktivitäten** beschreiben einen Arbeitsschritt im jeweiligen Geschäftsprozess. Sie werden als abgerundete Rechtecke dargestellt und sind das einzige BPMN-Element, welche einem Performer bzw. einer ausführenden Person zugeordnet werden können. Hierunter ist die Definierung einer für die Ausführung der jeweiligen Aktivität verantwortlichen Arbeitskraft zu verstehen. Jede Aktivität wird darüber hinaus entweder als eine Aufgabe (Task) oder als ein Teilprozess (Subprocess) abgebildet. Eine Aufgabe beschreibt dabei eine elementare Arbeitseinheit, wohingegen der Teilprozess sich dadurch unterscheidet, dass er ein „+“-Zeichen besitzt und anhand dessen ein zugeklappter Teilprozess angedeutet wird. In BPMN existieren des Weiteren insgesamt acht Aufgaben-Typen sowie Aktivitäten in Form von Teilprozessen, Ereignis-Teilprozesse und Aufruf-Aktivitäten auf die in dieser Ausarbeitung nicht im Detail eingegangen wird.

**Ereignisse** sind Elemente, die einen Prozess auslösen oder auch beenden können. Durch die drei Zustandstypen Start-, Zwischen- und Endzustand – kann der jeweilige Status, in dem sich ein Ereignis gerade befindet, definiert werden. Neben den Ereigniszuständen sind auch verschiedene Ereignistypen zu unterscheiden. Hierzu zählen: Nachrichten-, Timer-, Regel-, Abbruch-Ereignisse sowie viele mehr. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass es bezüglich der Wirkungsweise von Ereignissen zwei Kategorien gibt. Diese sind die Catching- (einfangen) sowie die Throwing-Ereignisse (wegwerfen). Catching-Ereignisse werden in der Regel durch ein weißes Symbol innerhalb des Kreises dargestellt, wohingegen Throwing-Ereignisse mit einem schwarzen Symbol abgebildet werden. Diese Vorgehensweise findet vor allem bei der Versendung sowie dem Erhalt von Nachrichten bzw. dem Nachrichten-Ereignis ihren Einsatz. Für ein besseres Verständnis wird in der Abbildung 2.11 ein Beispielprozess eines möglichen Bewerbungsablaufs dargestellt. Das Zwischenereignis „Bewerbung versenden“ stellt dabei ein Throwing-Nachrichten-Ereignis dar und das Ereignis „Einladung zum Interview erhalten“ ein Catching-Nachrichten-Ereignis. Somit sind die Nachrichten-Ereignisse mit

den schwarzen Umschlägen als auslösende Ereignisse und die Nachrichten-Ereignisse mit den weißen Umschlägen als eintretende Ereignisse zu verstehen.

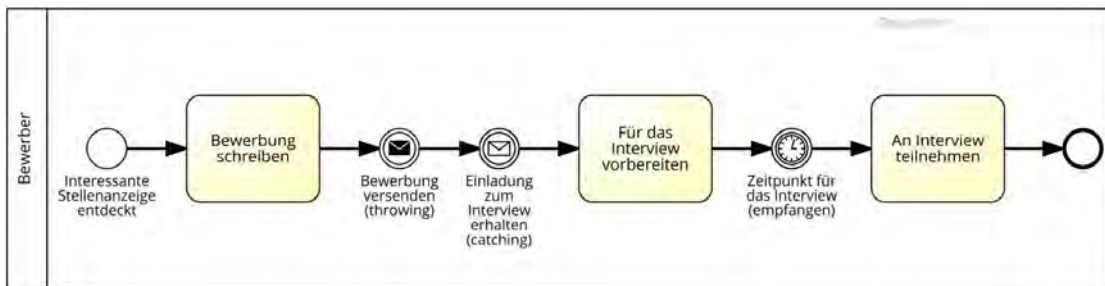


Abbildung 2.11: Beispielprozess für Catching- und Throwing-Ereignisse [36]

**Gateways** verfolgen bei der Prozessmodellierung die Aufgabe der Prozessspaltung/Prozessverzweigung und der Prozesszusammenführung. Sie werden durch eine Raute dargestellt und besitzen dabei folgende Basiselemente: Exclusive (XOR), Parallel (AND), Inclusive (OR) sowie Event-based Gateways. Neben den Basiselementen ist auch das Komplexe Gateway zu erwähnen, welches für die Verzweigungen und Zusammenführungen bei komplexen Entscheidungssituationen eingesetzt wird. Für die Darstellung des verzweigenden- sowie zusammenführenden Gateways (Splits and Joins) sind neben den unterschiedlichen Verhaltensweisen keine relevanten Unterschiede zu verzeichnen.

### Verbindende Objekte

Die verbindenden Objekte stellen Bindeglieder verschiedener BPMN-Elemente dar. Sie lassen sich in die folgenden drei Hauptarten gliedern: **Sequenzfluss**, **Nachrichtenfluss** sowie **Assoziation**. Während der Sequenzfluss die Ausführungsreihenfolge der Flusselemente in einem Prozess beschreibt, zeigt der Nachrichtenfluss den Ablauf der Kommunikation an. Assoziationen hingegen werden dazu verwendet, um Datenobjekte mit den Flussobjekten in der Prozessdarstellung zu verbinden. Des Weiteren wird darauf verwiesen, dass sich Sequenzflüsse auch als bedingte Flüsse bzw. Standardflüsse darstellen lassen und dass nur Nachrichtenflüsse als Bindungselement zwischen den Pools verwendet werden dürfen. Eine graphische Ansammlung sowie eine kurze Beschreibung der hier erwähnten BPMN-Elemente befindet sich im Anhang A. Hierzu wurde das von der „Berliner BPMN Offensive“ [37] zur Verfügung gestellte BPMN 2.0 Poster verwendet.

### 2.6 Adaptive Prozessmodelle

In diesem Kapitel wird auf die Bestrebung eingegangen, Geschäftsprozesse so zu modellieren, dass auf Veränderungen eingegangen bzw. Änderungen adaptiert werden können. Im Allgemeinen existiert die Möglichkeit jedes Modell an veränderte Bedingungen anzupassen. Jedoch liegt die Herausforderung einerseits darin, diese Veränderungen noch während der Ausführung des Prozesses zu integrieren und Fehler wie einen Prozessabbruch zu vermeiden, sowie andererseits das Modell so zu entwerfen, dass der Aufwand einer nachträglichen Anpassung so gering wie möglich gehalten wird. Doch was bringt eine sogenannte Adaptivität? Eine Adaptivität ermöglicht eine gewisse Flexibilität wie auch eine Prozessoptimierung für den Prozessablauf. In der Regel folgen Prozesse einem festen Prozessablauf bzw. einem bestimmten Workflow. Dies bietet zum einen die Möglichkeit der besseren Überprüfbarkeit und zum anderen eine gewisse Sicherheit im Prozessablauf. Jedoch können nicht alle Prozesse nach einem festen Ablauf abgewickelt werden. Ein Beispiel für die Notwendigkeit einer dynamischen Prozessmodellierung ist in etwa bei der Notaufnahme anzutreffen. Obwohl einige Schritte verallgemeinert werden können, muss jedoch jeder Patient nach seinen Bedürfnissen speziell behandelt werden. Dies betrifft insbesondere Risikopatienten, die nicht nur mit einer Krankheit, sondern gleichzeitig mit mehreren Krankheiten zu kämpfen haben und aus diesem Grund nicht routinemäßig nach einem gewissen Schema F bzw. Prozess behandelt werden können. Aus diesem Grund ist es wichtig, auch auf Prozesse und Prozessmodelle einzugehen, die eine gewisse Änderung im Ablauf berücksichtigen. Ein in diesem Zusammenhang oft verwendeter Begriff, ist die „Ad-hoc-Änderung“. Bei der Ad-hoc-Änderung handelt es sich grundsätzlich um eine Änderung im Prozessablauf noch während der Laufzeit. Mögliche Änderungen während der Ausführung des aktuellen Prozesses sind in der Abbildung 2.12 ersichtlich.

Daraus erkennbar, kann es vorkommen, dass während der Prozessausführung Aktivitäten etwa übersprungen, verschoben oder neu eingefügt werden müssen. Dies betrifft insbesondere die Adaptionen im Prozessablauf bzw. in deren Instanzen. Eines der hierbei verfolgten Ziele ist die gleichzeitige Modellierung und Ausführung des Workflows sowie die Migration von Ad-hoc-Prozessen bzw. Umstellung und Änderung, für einen

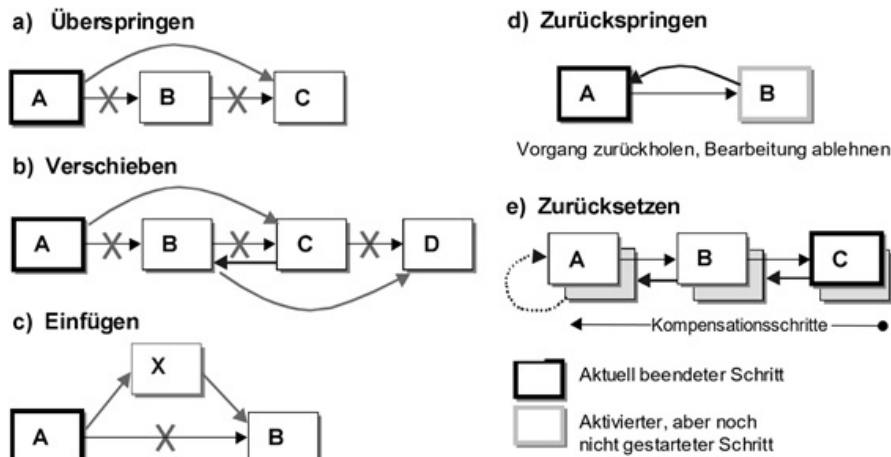


Abbildung 2.12: Mögliche Varianten der Ad-hoc-Änderungen [38]

strukturierten Prozessablauf. Neben der Ad-hoc-Änderung kann es sein, dass nicht nur einzelne Prozessinstanzen, sondern auch die Prozesstypen adaptiert werden. Dies fällt in den Aufgabenbereich der Schemaevolution.

Unter Schemaevolution ist unter anderem ein Workflow-Schema zu verstehen, welches bestimmt, welche Aktivitäten in welcher Reihenfolge ausgeführt werden. Ein Schema ist hierbei eine Art Abstraktion des realen Geschäftsprozesses. Durch die Bestimmung des Ablaufs ist in der Schemaevolution schon geregelt, welche Workflow-Instanzen parallel ausgeführt oder alternative Ausführungspfade genommen werden. Somit sind auch bereits zu Modellierungszeit alle zur Laufzeit möglichen Ausführungsvarianten im Workflow-Schema bestimmt. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass bei einer Workflow-Schema-Änderung über eine gewisse Zeit Workflow-Instanzen existieren, die noch nach dem gewohnten Schema verlaufen. Wohingegen einige Workflow-Instanzen, die erst nach der Schemaänderung gestartet wurden, nach dem neuen Schema verlaufen. Die Koexistenz der alten und zugleich der neuen Schemata ist jedoch etwa aufgrund von gesetzlicher Rahmenbedingungen oder aufgrund von gravierenden Mängeln im alten Schema nicht ausreichend bzw. vorteilhaft. Ziel ist es also Änderungen nicht nur für noch neue Instanzen zu übernehmen, sondern auch für die bisherige bzw. gerade in der Ausführung befindlichen Instanzen, sofern dies aus Gründen der Realisierbarkeit möglich ist. Wird also eine Schemaänderung auf bereits laufende und somit auf alle betroffenen Instanzen angewendet, spricht man von einer Schemaevolution bzw. einer Workflow-

## 2 Grundlagen

Schemaevolution. In der Abbildung 2.13 wurde ein medizinischer Behandlungsprozess abgebildet, dessen Prozessschema durch das Einfügen der Aktivität „Labortest“ und das Löschen der Aktivität „Patientenaufklärung“ verändert wurde. Wie zu sehen, wirkt sich die Modifizierung des Schemas in der Prozesstyp-Ebene auf die Prozessinstanz-Ebene aus. Wie in Instanz 1 zu erkennen ist, kann hierbei eine Änderung problemlos durchgeführt werden, da sich die Ausführung des Workflows noch in einem frühen Stadium befindet bzw. die Veränderung noch nicht aktivierte Schritte betreffen. Schwieriger wird es schon in den Instanzen 2, 3 und 4, welche im Verlauf ihrer Ausführung bereits modifiziert wurden und sogar wie in Instanz 4 noch während ihrer Ausführung sowie erst jungen Modifikation erneut modifiziert werden.

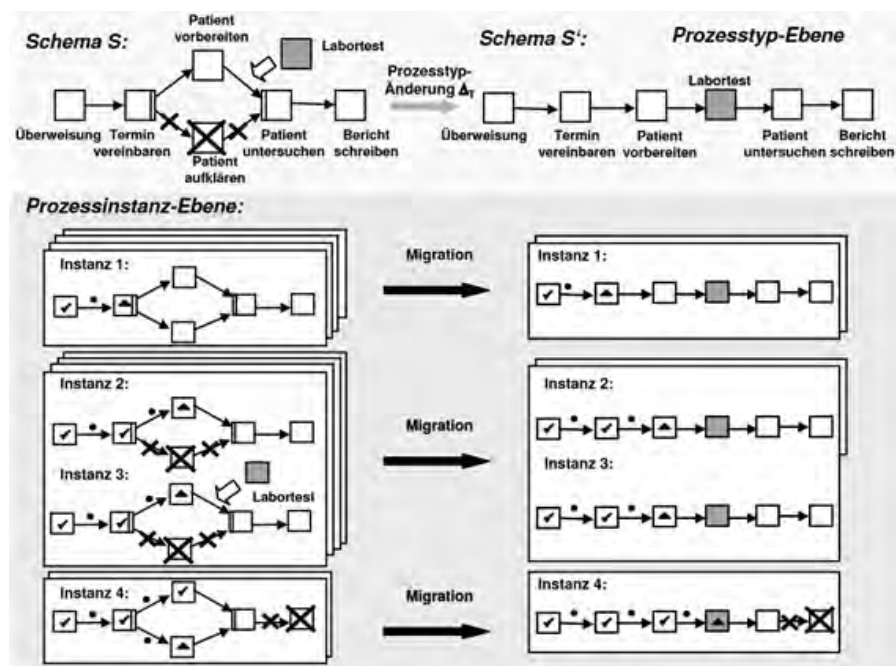


Abbildung 2.13: Prozessschema-Evolution mit Migration [39]

Doch welche Rolle spielt die Adaption von Prozessmodellen in der Industrie 4.0? Gerade im Kontext der Industrie 4.0 ist das Ziel, Prozesse so zu errichten, dass ein hoher Grad an Automation, gleichzeitig jedoch eine starke Flexibilität erreicht werden kann. In den folgenden Kapiteln wird aus diesem Grund diese Thematik nochmals fokussiert und für Prozessmodelle in der Industrie 4.0 diskutiert.

# 3

## **Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0**

In diesem Abschnitt werden Prozessmodelle aus der Industrie 4.0 betrachtet und auf deren Besonderheiten untersucht. Hierzu wird im speziellen neben den allgemeinen Prozessmodellanforderungen an die Industrie 4.0 ebenfalls auf ein reales Szenario eingegangen, welches unter anderem die Probleme und Herausforderungen in diesem Bereich thematisiert.

### **3.1 Allgemeine Anforderungen und Besonderheiten der Industrie 4.0**

Nach der Einführung in die Industrie 4.0 und die hierzu verwendeten Modellierungsmethoden wird auf die Frage eingegangen, welche Elemente bzw. Anforderungen an die Industrie 4.0 für eine erfolgreiche Darstellung der Prozessmodelle notwendig sind. Wie zuvor schon erwähnt, steht die vierte industrielle Revolution vor großen Herausforderungen. Hierzu werden folgende Ereignisse gezählt:

- kurze Produkt- und Innovationslebenszyklen
- kundenspezifische Produkte
- harter globaler Wettbewerb
- steigende Kosten
- steigende Wettbewerbsintensität.

### 3 Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0

In diesem Zusammenhang dürfen im Bereich der Digitalisierung, die zuvor oft erwähnten Elemente wie Vernetzung, Transparenz, Konnektivität, Autonomie, Datenqualität, dezentrale Steuerung wie auch die Informationsweitergabe in Echtzeit nicht vernachlässigt werden.

Neben den hier aufgezählten Herausforderungen, welche gleichzeitig auch die Basis für die notwendigen Anforderungen einer erfolgreichen Industrie 4.0-Umgebung sowie Prozessmodellierung bilden, gibt es weitere wichtige Voraussetzungen wie die Prozessgestaltung, die Prozessleistung, das Prozessverständnis sowie die Adaptivität.

Die ganzheitliche Prozessdarstellung spielt für die **Prozessgestaltung** eine wichtige Rolle. Eine beispielsweise vereinfachte Darstellung des Materialflusses ist für eine Prozessabbildung ungenügend. Die hierbei aktiven Informationsflüsse oder die eingesetzten Ressourcen, zählen ebenfalls zu den relevanten Elementen einer erfolgreichen Visualisierung und werden somit nicht ausgespart.

Bezüglich des **Prozessverständnisses** ist zu beachten, dass sie zunächst von der persönlichen Fähigkeit des Betrachters sowie vom Umfang und Komplexität des betrachteten Systems abhängig ist. Eine gute Darstellung kann demnach das Prozessverständnis positiv beeinflussen und fördern. Bezugnehmend auf die Literatur der Autorengruppe um *Alonso G.* und *Dadam P.* mit dem Unterkapitel: „*What Makes Process Models Understandable?*“ von *Mendling et al.*, können in Tabelle 3.1 sechs Kriterien für eine Beurteilung des Prozessverständnisses abgeleitet werden.

Die **Prozessleistung** kann prinzipiell anhand der drei Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität bewertet werden. Diese Kennzahlen können darüber hinaus auch in Form verschiedener Kenngrößen ins Verhältnis gesetzt werden, um konkrete Kennziffern ableiten zu können. Sie helfen somit Prozesse objektiver zu beurteilen. Eine Unterscheidung hinsichtlich der Kennzahlen kann man zum einen für den Unternehmensbezug und zum anderen für den Prozessbezug auffinden. Beide Elemente besitzen aussagekräftige Kennziffern wie den Umsatz, die Termintreue, die Personalkosten, die Lieferzeit und die Lieferbereitschaft oder die Bearbeitungs-, Arbeitszeit sowie der Produktionsmenge, Fördermenge und die Materialflussskosten.

### 3.1 Allgemeine Anforderungen und Besonderheiten der Industrie 4.0

| Kriterien           | Beschreibung                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eindeutigkeit       | Die Eindeutigkeit beschreibt die korrekte Bedeutung und Unterscheidung des jeweiligen Elements von anderen Elementen durch etwa dessen Erscheinungsbild oder für die in der Semantik und Notation verwendeten Symbole.  |
| Einfachheit         | Durch die Beschränkung auf wesentliche Elemente können Prozesse schneller und leichter verstanden werden. Eine Einfachheit wird ebenso durch die Zuordnung von festen Attributen auf die jeweiligen Bausteine erreicht. |
| Struktur            | Die Struktur beschreibt ein klar definiertes Vorgehen für die Anwendung einer Methode. Sie ist bspw. auch für die Anordnung und Syntax einzelner Inhalte mitverantwortlich.                                             |
| Verknüpfungsgrad    | Der Verknüpfungsgrad nimmt Bezug auf die Verknüpfung statischer Vorgänge und dynamischer Zustandsänderungen eines Prozesses.                                                                                            |
| Detailierungsniveau | Das Detailierungsniveau ermöglicht den Prozess in Abhängigkeit seiner Zielsetzung in unterschiedlichen Abstraktionsstufen mit einer Methode darzustellen und zu skalieren.                                              |
| Sichten             | Die Sichten beschreiben die verschiedenen Ausschnitte eines Systems, um diese wiederum bezüglich spezifischer Sachverhalte zu untersuchen                                                                               |

Tabelle 3.1: Kriterien für die Beurteilung des Prozessverständnisses

Die **Adaptivität** der Prozesse, präziser formuliert der Prozessmodelle, wurden in den zuvor aufgeführten Kapiteln besprochen, jedoch spielt sie im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 eine besonders wichtige Rolle. Neben der Informationsmitteilung in Echtzeit ist eine agile, autonome sowie dezentrale Prozessanpassung der Maschinen ausschlaggebend. Dieses Ziel wird erreicht, indem eine Anpassung weitestgehend mithilfe von Sensoren möglichst früh erkannt und dies in die Prozesse zeitnah aufgenommen und integriert wird. Durch eine frühzeitige Prozessanpassung kann nicht nur schnell auf Veränderungen reagiert werden, sondern eventuell auftretende Fehler korrigiert und der Prozessablauf vereinfacht werden. Insbesondere Veränderungen sowie individuell angepasste Arbeitsschritte zeichnen die Prozesse der Industrie 4.0 aus. Dementsprechend ist es wichtig zu erwähnen, dass erst durch die Adaptivität oder auch Prozesssysteme, die eine Adaptivität anhand von Änderungen der Prozesse noch während der Lauf-

### *3 Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0*

zeit erlauben wie ADEPT bzw. AristaFlow [40], eine erfolgreiche Abwicklung sowie Weiterentwicklung der Prozesse erreicht werden kann.

In Hinblick auf die allgemeinen Anforderungen einer möglichst erfolgreichen Prozessmodellierung in der Industrie 4.0 sollten folgende Punkte ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Wie schon zuvor angesprochen, können Prozessmodelle existieren, die aufgrund ihres Detaillierungsgrades eine hoch komplexe Struktur bilden. Jedoch sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass ein Prozess möglichst einfach, gut strukturiert und für den Betrachter verständlich gehalten werden sollte. Dies kann beispielsweise neben dem Verzicht auf unnötige Aktivitäten oder Kontrollflusselemente, durch eine Blockstruktur des Prozessmodells erreicht werden. Dies ist damit zu begründen, dass zu jedem ausgehenden Gateway, ein eingehendes Gateway mit derselben Eigenschaft modelliert werden sollte.

Für den Fall, dass Flusselemente mit Aktivitäten verbunden werden, die sich aus Gestaltungsgründen an entfernten oder entgegengesetzten Orten im Pool befinden, können einige Aktivitäten im selben Prozess wiederholt und somit weite Flussdistanzen verhindert werden. Dadurch wird erreicht, dass beispielsweise ein Sequenzfluss, der sich auf seinem Weg zum Bestimmungsort befindet, nicht mit anderen Elementen überschneidet. Gibt es des Weiteren in einem Prozess mehrere Terminierungsmöglichkeiten wie etwa aufgrund von Ausnahmesituationen, ist zu beachten, dass diese nicht direkt mit dem Terminierungs-Event dargestellt werden sollten. Vielmehr sollte das Ziel sein möglichst nur ein End-Event pro Prozess zu benutzen.

In vielen Prozessen ist zusätzlich zu beobachten, dass ein bestimmter Prozessschritt wiederholt bzw. ein Sequenzfluss auf eine schon zuvor durchgeführte Aktivität zurückgeführt werden kann. Die Darstellung solcher Wiederholungen, auch Schleifen genannt, werden in dieser Arbeit aufgrund einer übersichtlicheren Darstellung und einem leichteren Prozessverständnis für Außenstehende vermieden.

Bei einem hohen Komplexitätsgrad einer Prozessmodellierung passiert es oft, dass sogenannte „Deadlocks“ bzw. „Livelocks“ entstehen können. Ein Deadlock (Verklemmung) kann entstehen, sofern eine Aktivität oder ein Prozesspfad mit mehreren Aktivitäten, ergebnislos auf den Eintritt eines bestimmten Ereignisses warten. Tritt dementsprechend

### *3.1 Allgemeine Anforderungen und Besonderheiten der Industrie 4.0*

ein geforderter Ereigniszustand nicht ein, können diese Aktivitäten bzw. der Prozesspfad nicht ausgeführt werden und verharren somit dauerhaft in einem Wartezustand. Ein Livelock kann hingegen entstehen, falls eine Aktivität oder ein Prozesspfad immer wieder erneut ausgeführt wird und somit nicht zum Prozessabschluss gelangt. Die angegebenen Zustände treten zumeist bei einer fehlerhaften oder ungenügender Gatewayverwendung oder Prozessdarstellung auf und sollten für einen reibungslosen Prozessablauf verhindert werden. Insbesondere treten diese bei sehr komplexen Prozessmodellen auf, da hierbei die Modellierung sehr unübersichtlich werden kann. Die Einhaltung der zuvor genannten Punkte dient zum einen der Reduzierung der Komplexität und zum anderen ermöglichen sie eine computergesteuerte Unterstützung bezüglich der „korrekten“ Modellierung von Prozessmodellen. Letzteres wird zum Beispiel durch das am Institut für Datenbanken und Informationssysteme der Uni Ulm mitentwickelte Tool „AristaFlow BPM Suit“ [40] umgesetzt. Sie ist jedoch kein Teil dieser Arbeit.

Zu den Besonderheiten einer Industrie 4.0 Modellierung, sowie insbesondere für die zuvor angesprochene computergesteuerte Unterstützung der Modellierung, zählen ebenfalls die für den Prozessablauf notwendigen Sensoren sowie Sensordaten. Je nach Art und Aufgabe des Sensors werden für den Prozessablauf notwendige Daten erfasst und zusammengestellt. Sie ermöglichen darüber hinaus eine schnelle und effektive Informationsmitteilung sowie in manchen Fällen zusätzlich auch eine Überprüfung der jeweiligen Elemente im Prozessablauf. Anschließend können die generierten Sensordaten gesammelt, gespeichert und für weitere Zwecke analysiert und bearbeitet werden. Die erfassten Sensordaten bilden somit eine Basis für die anstehenden Prozessmodellierungen bzw. Prozessänderungen. Sie helfen in etwa bei der Entscheidungsfindung und ermöglichen es wiederkehrende Aufgabenschritte zu automatisieren. In der Industrie 4.0 werden die Sensordaten des Weiteren nicht nur für die Automation der Prozessschritte verwendet, sondern auch als Grundlage autonomer Entscheidungen seitens der Maschinen. Die Herausforderung liegt nun darin, diese genannten Besonderheiten insbesondere die autonomen Entscheidungen der Maschinen, welche zum Teil vom Regelprozess abweichen möglichst sorgfältig in das Prozessmodell einzugliedern.

## 3.2 Prozessmodelle aus realen Szenarien

In den folgenden Abschnitten dieser Ausarbeitung wird nun gezielt auf ein bestimmtes Prozessmodell und dessen Besonderheiten eingegangen. Demzufolge wird an dieser Stelle ein **Telematik-Prozess** betrachtet, welcher nachfolgend genauer erläutert wird. Hierzu wurde das Masterprojekt von *F. Prestel* mit der Bezeichnung „Prozessspezifikation für das Flottentelematiksystem der Hochschule Ulm“ [41] in Kooperation mit der *Funkwerk eurotelematik GmbH*, als Grundlage genommen.

Zunächst ist es wichtig zu wissen, was unter einer Telematik bzw. einem Telematik-Prozess zu verstehen ist. Im Grunde dient ein Telematik-System der Ortung eines Fahrzeugs. Zu den weiteren Einsatzmöglichkeiten zählen die Auftragsabwicklung sowie die Überwachung des logistischen Be- und Entladungsprozesses eines Lkws. Ein Telematik-Prozess ist somit in die Logistik einzuordnen und fällt insbesondere in den Arbeits- und Aufgabenbereich eines Logistikdienstleisters.

Der Vorteil des Telematik-Systems liegt gegenüber den „alten“ Abwicklungsformen wie der telefonischen Abwicklung oder der manuellen Papierabwicklung, vor allem darin, dass ein rascher Informations- und Datenaustausch zwischen dem Disponenten und dem Fahrer bzw. dem Fahrzeug erzielt werden kann. Hierdurch entsteht die Möglichkeit, Aufträge schneller zu aktualisieren oder den Status eines Fahrzeugs sowie dessen Standort besser abrufen zu können. In diesem Zusammenhang ist das Ziel der Logistikdienstleister vor allem die lückenlose Dokumentation zugleich jedoch die Nachvollziehbarkeit eines Auftrages. Einen weiteren Vorteil bietet dabei die gefahrlose Kommunikation, die durch den Entfall der Telefonnutzung erreicht werden kann. Die ständige Erreichbarkeit durch das Telematik-System sowie die regelmäßigen Informationsupdates erhöhen nicht nur die Verkehrssicherheit, sie bieten auch eine Zeitersparnis für alle beteiligten Parteien.

Die Kernelemente des Telematik-Prozesses werden hierbei von zwei Hauptkomponenten gebildet. Dies ist zum einen eine auf das Computersystem installierte Server-Software (Client-Server-System), welche vom Disponenten genutzt wird und zum anderen ein Endgerät im Fahrerhaus des Lkws, welches vom jeweiligen Fahrer bedient wird. Wichtig

zu erwähnen ist hierbei auch, dass der Server mit einer speziell für den Kunden entwickelten Telematik-Software ausgestattet ist, welches zur Touren- und Auftragsplanung, sowie zur Steuerung des Telematik-Systems genutzt werden kann. Das Endgerät in der Fahrerkabine hingegen, ist mit einem GSM-System für die Kommunikation mit dem Server, einem GPS-System für die Ortung des Fahrzeugs und einem Handscanner für die Auslesung von Barcodes ausgerüstet. Durch die ständige Kommunikation der beiden Hauptkomponenten kann der Disponent beispielsweise beinahe in Echtzeit erkennen, wann und wo welche Güter zu welchem Kunden geliefert oder abgeholt werden sollen.

Der Schwerpunkt des Prozessablaufs liegt im aktuell betrachteten Fall jedoch auf der Tourenabwicklung. Somit wird auf die Punkte wie die Tourenplanung, die Optimierung oder die Zusammenstellung nicht näher eingegangen.

Einen Prozessbeginn erreichen wir infolgedessen mit der Erstellung bzw. Fertigstellung der ersten Tourenversion seitens des Disponenten. Hierzu ist es jedoch zusätzlich wichtig zu erwähnen, dass es im praktischen Betrieb sehr wohl zu einer kontinuierlichen Tourenplanung kommen kann. Dies bedeutet, dass sich die Tourdaten während der aktiven Abwicklung jederzeit ändern bzw. ergänzt werden können. Der Begriff „erste Tourenversion“ beschreibt somit den Datenstand, welcher zur Auslösung einer Tour zur Verfügung steht.

Bevor es jedoch soweit kommen kann, ist zunächst ein Tourenauftrag von Nöten. Dieser Tourenauftrag besteht aus einer oder mehreren Sendungen, welche wiederum aus beliebig vielen Packelementen bestehen können. Der reale bzw. konkrete Tourenablauf ist aus diesem Zusammenhang nur sehr schwer abzuleiten. Für ein besseres Verständnis sind hierzu noch spezifischere Informationen wie in der Tabelle 3.2 notwendig.

Im Hinblick auf die erfolgreiche Abwicklung einer Tour sind die bereits in der Tabelle 3.2 erwähnten Informationselemente erforderlich. Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei die Touren-ID, anhand der eine eindeutige Identifikation der Packelemente möglich ist. Neben der Touren-ID sind die zu einer Tour gehörigen Sendungen sehr bedeutend. Die hierzu notwendigen Informationen wie der Name, die voraussichtliche Lieferdauer und die zurückzulegende Strecke sind zwar nicht entscheidend, dienen dem Fahrer jedoch als nützliche Hilfestellung. Aufgrund der Tatsache, dass eine Sendung aus einer oder

| Informationen über die einzelnen Tourenelemente |                                                                                               |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tour                                            | Name<br>Touren-ID<br>Strecke<br>Dauer<br>Sendungen und Haltestellen                           |
| Sendung                                         | Empfänger<br>Versender<br>Adresse<br>Zugehörige Packelemente                                  |
| Packelemente                                    | Bezeichnung<br>Barcode<br>Gewicht<br>Beladepunkt<br>Entladepunkt<br>Abmaße<br>Lieferzeitpunkt |

Tabelle 3.2: Informationen hinsichtlich der Tourelemente

mehreren Packelementen bestehen kann, muss zudem definiert sein, welches Paketstück welcher Sendung zuzuordnen ist. Dabei wird eine Sendung physisch zwischen zwei Haltestellen, die wiederum aus mehreren Haltepunkten bestehen können, bewegt. Eine hieran folgende Verladung erfolgt häufig beim Kunden des Logistikdienstleisters vor Ort, woraufhin anschließend die Sendung beim Empfänger abgeliefert wird. Zu diesem Zweck ist es unabdingbar, dass die Adressen der Haltestellen bzw. der Haltepunkte bekannt sind.

Für die Lieferung der einzelnen Paketstücke sind der Sendung zunächst zwei Haltestellen zugeordnet. Diese sind grundsätzlich zum einen die Haltestelle des Versenders und zum anderen die des Empfängers. Eine Haltestelle kann hierbei jedoch auch aus mehreren Halteplätzen bestehen. Dies ist damit zu begründen, dass beispielsweise der Kunde ein großes Unternehmensgelände besitzt, in welchem mehrere Stationen angefahren werden sollen. Des Weiteren sind Sendungen darüber hinaus auch mit der Information ausgestattet, an welchem Tourstopp die Artikel beladen und wo sie entladen werden. Jedoch ist nicht bekannt an welchem Halteplatz dies erfolgen sollte. Die Bekanntgabe dieser Information ist zunächst nicht zwingend notwendig. Eine eindeutige

### *3.2 Prozessmodelle aus realen Szenarien*

Identifikation hingegen kann durch den Barcode erreicht werden. Zudem kann allerdings eine zusätzliche Bezeichnung der Paketstücke für den Fahrer von Vorteil sein. Darüber hinaus besteht bei einer bekannten Lieferzeit die Möglichkeit einer Priorisierung oder einer Warnmeldung seitens des Telematik-Systems. Dies ist dann sinnvoll, wenn der angeforderte Lieferzeitpunkt nicht eingehalten werden kann. Erwähnenswert hierbei ist die optimale Auslastung des Laderaums. Diese kann mit Hilfe von Informationen wie Gewicht und Größe der Paketstücke automatisch berechnet und erreicht werden.

Für einen erfolgreichen Prozessablauf ist darüber hinaus zudem wichtig zu erwähnen, dass alle Ladeeinheiten einen Barcode besitzen sollten. Dies betrifft somit nicht nur die Paketelemente, die sich im Laderaum des Lkws befinden, sondern auch diejenigen, die noch auf ihre Abholung beim Kunden vor Ort warten.

### 3.3 Prozessvisualisierung

In der Abbildung 3.1 ist der generelle Hauptprozess des Telematik-Prozesses dargestellt. Er bildet sich dabei aus sieben Haupt- und zahlreichen Unterprozessen.

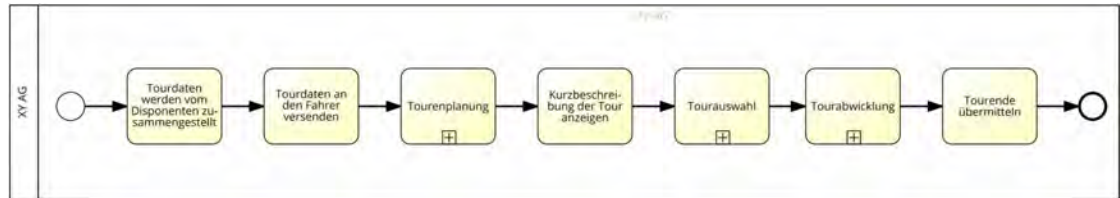


Abbildung 3.1: Hauptprozess des Telematik-Prozesses

Der Hauptprozess beginnt zunächst mit der Tourübermittlung. Hierzu gehört im ersten Schritt, die **Zusammenstellung der Tourdaten** seitens des Disponenten. Diese erste Prozessaufgabe stellt im Allgemeinen eine Zusammenfassung der durch den Disponenten auszuführenden Tätigkeiten dar, noch bevor die Tourdaten übermittelt werden können. Zum Tätigkeitsbereich des Disponenten gehört folglich die Zusammenstellung und Planung der Tour. Am Ende dieses Schritts ist die erste Tourversion, welche zuvor schon beschrieben wurde, bereit zur Übermittlung. Anschließend werden im nächsten Prozessschritt „**Tourdaten an den Fahrer versenden**“ die Tourdaten vom Disponenten anhand einer stationären Telematiksoftware an den Fahrer gesendet. Dies geschieht, in dem die Tourdaten vom Server des Disponenten zum Mobilteil des Fahrers übermittelt werden. Falls die Daten erfolgreich übermittelt wurden, erscheint beim Disponenten keine weitere Benachrichtigung, wohingegen bei einer systemseitigen Störung, wie etwa einer fehlenden Funkverbindung, der Disponent über einer Fehlermeldung informiert wird.

Der nächste Schritt im Hauptprozess ist die **Tourenplanung**. Wie aus Abbildung 3.2 ersichtlich, handelt es sich hierbei um einen aufklappbaren Unterprozess, der mit einem kleinen Plussymbol an der Unterseite des Aktivitätskästchens zu erkennen ist. In der Tourenplanung wird zunächst untersucht, ob eine Überprüfung über eine Folgetour notwendig scheint.

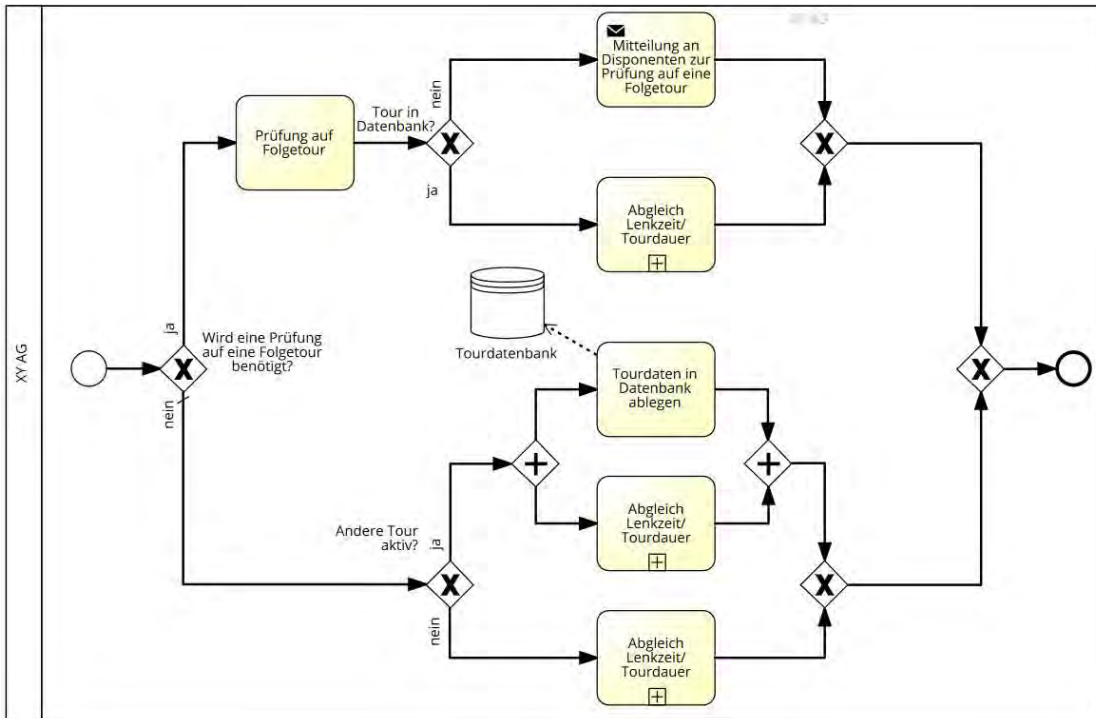


Abbildung 3.2: Tourenplanung

Wie aus Abbildung 3.2 erkennbar, ergeben sich zunächst zwei Pfade für die Überprüfung. Für den Fall, dass keine Überprüfung auf eine Folgetour notwendig ist, wird untersucht, ob darüber hinaus gerade eine andere Tour in Bearbeitung ist. Dieser Schritt sollte vom Telematik-System des Disponenten automatisch durchgeführt werden. Tritt der Fall ein, dass eine andere Tour bereits aktiv in Bearbeitung ist, sollten die neu versendeten Tourdaten in eine Datenbank abgelegt werden. Somit wird erreicht, dass der Fahrer während seiner Tour nicht unterbrochen bzw. gestört wird. Darüber hinaus ermöglicht dies auch eine Art Puffer für die nachfolgenden Touren. Im Hinblick auf den physischen Standort der Datenbank ergibt sich hierbei die Möglichkeit, diese entweder stationär auf dem Server des Disponenten zu errichten oder in den Mobilteil des Fahrers zu integrieren.

Die zentrale Zuweisung auf einen Server des Disponenten ermöglicht dabei eine dynamische Zuweisung der Touren auf mehrere verschiedene Fahrzeuge. Dadurch wird eine Minimierung des Informationsflusses ermöglicht, da die Daten erst dann versendet

### *3 Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0*

werden, wenn eine Möglichkeit besteht, die gegebene Tour auch tatsächlich auszuführen. Der Vorteil der Datenbankintegration in den Mobilteil des Fahrers hingegen besteht darin, dass der Fahrer unabhängig von Störungen in der Informationsübermittlung arbeiten kann. Dies bedeutet generell, dass bei einer Unterbrechung der Kommunikationsverbindung der Fahrer aufgrund der lokalen Speicherung mit der nächsten Tour ohne weitere Hindernisse fortfahren kann. Die richtige Integrationsart der Datenbank hängt jedoch von den jeweiligen Geschäftsprozessen des Unternehmens ab. Für große Unternehmen mit vielen Fahrern, erscheint die erste Variante als besonders attraktiv, wobei für kleine regionale Unternehmen mit einem Fahrer gegebenenfalls einem Lkw die mobile Variante sinnvoll erscheinen kann. In dem aktuell beschriebenen Telematik-Prozess wird von einer Datenbankintegration im Endgerät des Fahrers ausgegangen.

Der Lenkzeitabgleich bzw. die Überprüfung der Tourdauer tritt grundsätzlich ungeachtet dessen ein, ob eine Tour aktiv ist oder nicht. Der Vergleich der verfügbaren Lenkzeit und der geplanten Abwicklungsdauer ist für eine rechtzeitige Lieferung von großer Bedeutung. Die Bestimmung der dafür notwendigen Informationen können hierbei anhand des digitalen Tachografen abgerufen werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Informationen über die zurückgelegten Kilometer, die Anzahl der Halteplätze wie auch die Anzahl der Paketstücke oder der aktuellen Streckendaten zu erhalten. Eine Anbindung des Tachografen ermöglicht demnach eine vorteilhafte Integration der Lenkzeitbestimmung – wie etwa gesetzlich vorgeschriebene Pausen innerhalb des Tourverlaufs.

Darüber hinaus erscheint es besonders nützlich, eine gewisse Zeitunterschreitung zu erlauben. Dies ist damit zu begründen, dass etwa bei einer längeren Tour von mehr als 5-6 Stunden eine negative Zeitabweichung von ca. 10 Minuten vorkommen kann, diese jedoch eher irrelevant ist. Somit ist es sinnvoll einen prozentualen Toleranzbereich festzulegen. Je nach Ergebnis des Lenkzeitabgleichs ergibt sich somit die Möglichkeit mit dem nächsten Schritt der „Kurzbeschreibung der Tour“ direkt fortzufahren, oder den Folgeprozess bzw. Unterprozess in der Abbildung 3.3, bei einer nicht ausreichenden Lenkzeit, durchzuführen.

Im Lenkzeitabgleich wird zunächst die Tourdauer mit der zur Verfügung stehenden restlichen Lenkzeit verglichen. Ist die Lenkzeit ausreichend, kann der Prozess hier beendet

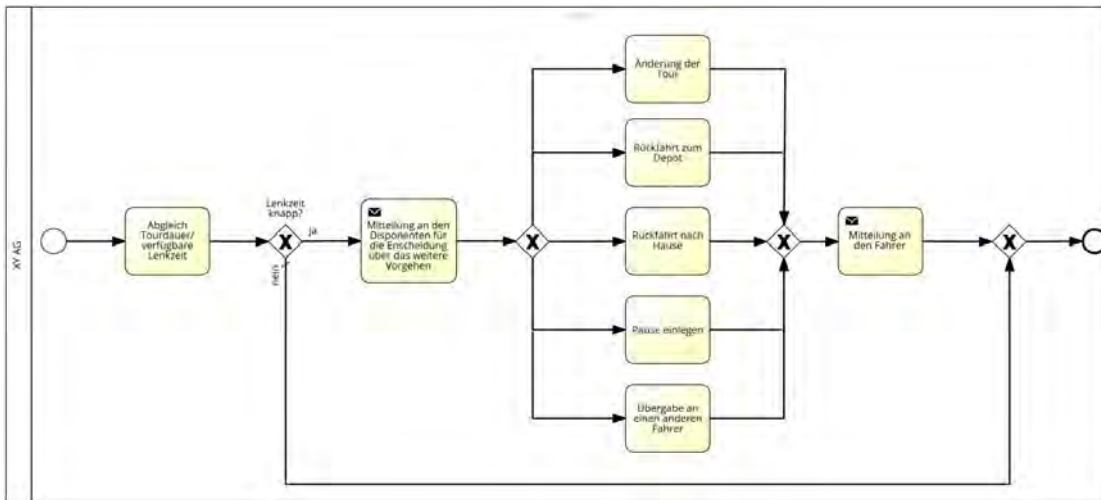


Abbildung 3.3: Lenkzeitabgleich

und direkt zum nächsten Schritt übergegangen werden. Ist jedoch die Lenkzeit nicht mehr ausreichend und als knapp zu verzeichnen, wird diese Information an den Disponenten weitergeleitet. Eine Weiterleitung ist damit begründet, da der Fahrer an dieser Stelle nicht eigenmächtig über weitere Schritte entscheiden kann. Aufgrund des hierfür notwendigen zeitlichen sowie strategischen Aufwandes muss dieser Schritt vom Disponenten übernommen werden. Hierzu erscheint auf dem Display des Disponenten eine sogenannte Pop-up-Meldung, welche einen schnellen Überblick über die gegenwärtige Situation des Fahrers mit den folgenden Informationen zur Verfügung stellt:

- Tour-ID
- geplante Tourendauer
- verfügbare Lenkzeit
- aktueller Standort des Fahrzeugs
- wichtige Informationen wie:
  - zeitkritische Sendungen/Haltestellen
  - gegenwärtiger Beladungsgrad

Auf Basis der nun übermittelten Informationen, muss der Disponent eine Entscheidung über die Fortsetzung oder den Abbruch der Tour treffen. Die Entscheidung kann wie

### *3 Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0*

mithilfe der Abbildung 3.3 ersichtlich, aus mehreren Faktoren bestehen. Für den Fall, dass die Differenz zwischen der verfügbaren Lenkzeit und der Tourdauer nicht zu groß ist, kann eine Änderung der Tour bzw. Umdisponierung von einigen wenigen Haltestellen im Regelfall die zeitliche Diskrepanz wieder ausgleichen. Eine Touraktualisierung hingegen muss hierzu nicht zwangsläufig unmittelbar durchgeführt werden, die Möglichkeit einer Touraktualisierung nach einer Zuweisung ist ebenfalls denkbar. Im Hinblick auf zeitkritische Sendungen, wie etwa Expresspaketstücke kann die Tour zunächst trotzdem vom Fahrer begonnen und anschließend von weiteren Fahrern übernommen werden.

Tritt jedoch der Fall ein, dass die Tour abgebrochen wird und der Fahrer eine Anweisung erhält, zurück nach Hause oder zum Depot zu fahren, muss die Datenbank des mobilen Endgerätes aktualisiert werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass eine Fahrt nach Hause nur dann sinnvoll erscheint, wenn es sich nicht um eine zeitkritische Warenlieferung handelt. Reicht die Lenkzeit für eine Rückfahrt ins Depot hingegen aus, wird dort die Tour mit dem Lkw von einem anderen Fahrer übernommen. Andernfalls kann ein Fahrerwechsel auch an einem zuvor vereinbarten Punkt stattfinden oder eine Pause an einem geeigneten Autohof eingelegt werden.

Für die Touraktualisierung (siehe Abbildung 3.4) werden zunächst die Daten der abgebrochenen Tour an den Disponenten zurückgesendet. Darauffolgend kann der Disponent eine erneute Planung der Tour beziehungsweise eine Aktualisierung oder Touränderung durchführen.

Je nach den bereits erläuterten Möglichkeiten kann es sein, dass die Tour während der Aktualisierung noch aktiv ist oder nicht. Innerhalb einer aktiven Tour, erhält der Fahrer eine Meldung über die Änderung seiner Datenbank. Andernfalls ist keine Mitteilung an den Fahrer nötig, da er erst zu Beginn der Tour bzw. Folgetour die hierzu erforderlichen Informationen erhält.

Daran angeschlossen kann der Unterprozess des Lenkzeitabgleichs abgeschlossen und der Prozess der Tourenplanung mit der Prüfung auf eine Folgetour, erneut begonnen werden. Dieser Wiederholungsschritt konnte jedoch aus Gründen der vereinfachten Prozessvisualisierung nicht direkt in der Tourenplanung abgebildet werden.

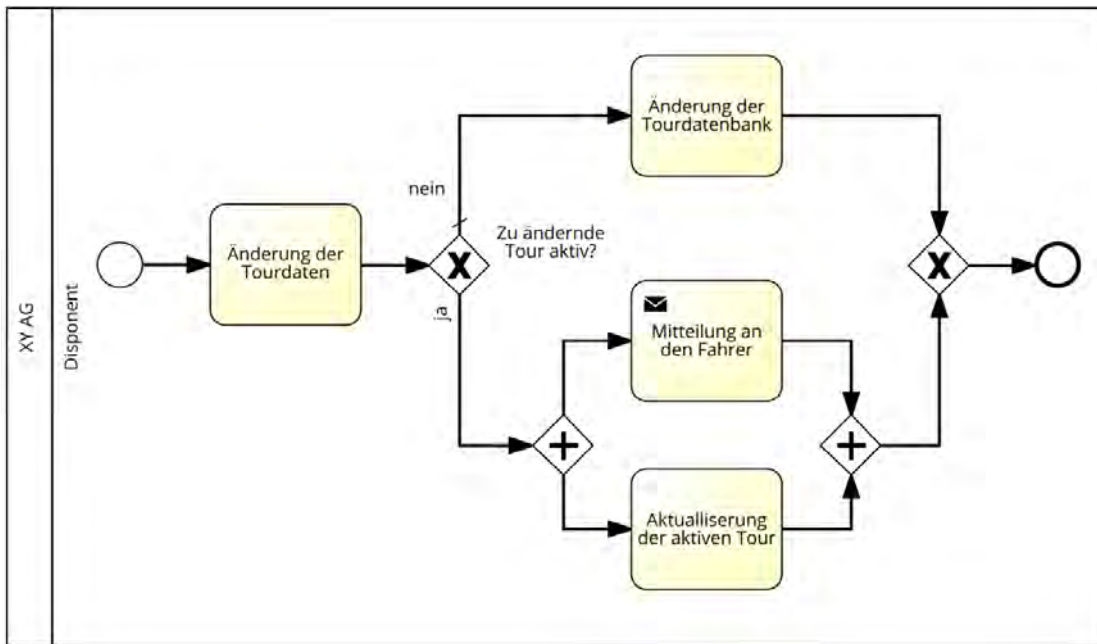


Abbildung 3.4: Touraktualisierung

Bei der Prüfung auf eine Folgetour wird die Realisierbarkeit einer anschließenden Tour untersucht. Hierzu wird zunächst überprüft, ob eine Folgetour bereits im Mobilteil des Fahrers aufgenommen wurde. Ist dies bereits geschehen und ist somit in der Datenbank des Mobilteils enthalten, kann das Verfahren des Lenkzeitabgleichs auch an dieser Stelle durchgeführt werden. Sind keine Informationen über eine Folgetour vorhanden, muss dies dem Disponenten berichtet und eine Überprüfung der Folgetour angefordert werden.

Tritt des Weiteren die Situation ein, dass die gegenwärtige Tour trotz einer Lenkzeitüberschreitung durchgeführt werden soll, muss diese Information ebenfalls an das Mobilgerät des Fahrers kommuniziert werden. Anschließend kann der Prozess der Tourplanung beendet und zum nächsten Schritt der Tourinformation nämlich, der Kurzbeschreibung der Tour, übergegangen werden.

In der Kurzbeschreibung der Tour ergibt sich erstmals die Möglichkeit der aktiven Beteiligung seitens des Fahrers. Anhand der zuvor durchgeführten Prozessschritte wird an dieser Stelle dem Fahrer auf seinem mobilen Endgerät eine Tour vorgeschlagen. Dies kann vor Tourbeginn stattfinden oder nach Vollendung seines gegenwärtigen Auf-

trags. Die Kurzbeschreibung dient in erster Linie jedoch der Informationsvermittlung über die wichtigsten Punkte bzw. Einsatzgebiete für die neue Tour. Die hierfür erforderlichen Aspekte wie in etwa wichtigen Informationsdaten sind dementsprechend je nach Geschäftsprozess eines Unternehmens unterschiedlich aufgebaut.

In der Kurzbeschreibung wird neben den Einsatzgebieten auch die Art und Anzahl der Haltestellen angezeigt. Hierzu werden im Detail die Anzahl der Beladestellen und Entladestellen mitgeteilt. Mit dem Ziel eine zu hohe Informationsmitteilung zu vermeiden, wird auf einige Detailangaben wie die Kunden- bzw. Empfängeramen oder deren Anschrift, zunächst verzichtet. Dies schließt jedoch nicht aus, dass die genannten Informationen, wie etwa die Ortsangaben der Haltepunkte für den Fahrer von Bedeutung sind. Sie sind nur für den aktuellen Zeitpunkt bzw. den gerade befindlichen Tourstatus von untergeordnetem Interesse. Informationen wie etwa die geschätzte Tourdauer, die Gesamtstrecke und die Ladeflächenauslastung sind jedoch als sehr bedeutend zu betrachten. Diese ermöglichen dem Fahrer einen guten Überblick über die aktuelle Tour zu erhalten.

Der nächste Schritt im Hauptprozess ist die Tourauswahl. Die Tourauswahl beginnt mit dem Prozesspunkt des „Tour Empfangens“ wie in Abbildung 3.5 ersichtlich. An dieser Stelle bestätigt der Lkw-Fahrer den Empfang seiner Tour mit einer Bestätigung auf seinem mobilen Endgerät. Dies hilft in erster Linie dem Disponenten, welcher hierdurch wiederum eine Statusmeldung über den Erhalt der Daten auf seinem Bildschirm erhält. Obwohl dieser Schritt zunächst trivial erscheinen mag, ist er aufgrund von Funklöchern bzw. Kommunikationsschwierigkeiten relativ bedeutend. Eine Fehlermeldung in diesem Schritt hätte eventuell zur Folge, dass sich hierdurch der gesamte Prozess verzögert.

Wurde der Empfang der Tour bestätigt, steht der Fahrer vor der Entscheidung, die angegebene Tour entweder anzunehmen oder abzulehnen. Hier sollte je nach der aktuellen Situation des Tourablaufs genau untersucht werden, ob eine Annahme bzw. Ablehnung der Tour sinnvoll erscheint oder nicht. Dies ist damit zu begründen, dass ein Fahrer an dieser Stelle durch seine Entscheidungen auf den Tourablauf konkret einwirken kann. Der Fahrer ist dementsprechend in der Lage, die Tourenreihenfolge selber mitzubestimmen bzw. mitzugestalten. Im Falle einer wiederholten Tourbearbeitung

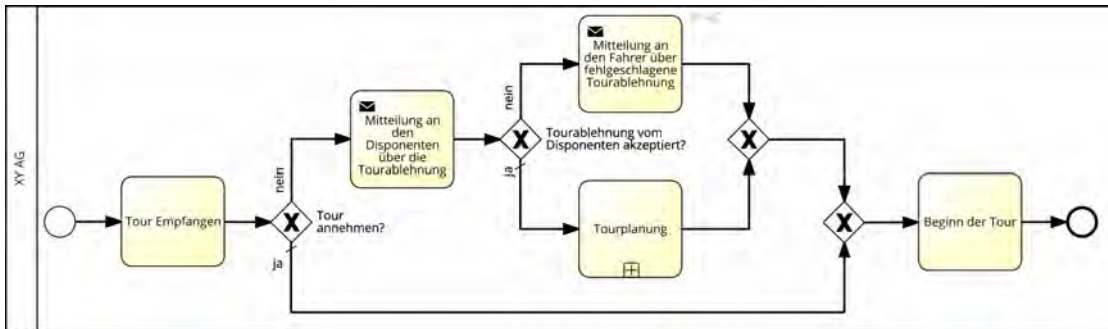


Abbildung 3.5: Touorauswahl

durch den gleichen Fahrer bzw. die Tour regelmäßig in seinen aufgetragenen Fahrbezirk fällt, erscheint eine Aufgabenübertragung an dieser Stelle besonders sinnvoll. Durch die bereits gesammelten Erfahrungen in Hinsicht auf beispielsweise zu enge Straßen, Baustellen oder andere Verkehrsbehinderungen, kann hierdurch eine bessere Leistung abgerufen werden.

Der Normalfall dieses Prozessschritts läuft in der Regel so ab, dass der Fahrer die angebotene Tour annimmt und man somit zur nächsten Prozessaufgabe, dem Tourbeginn übergeht. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass der Fahrer die Tour ablehnt. An dieser Stelle muss der Disponent über die Tourablehnung unverzüglich informiert werden.

Mit der Information über die Tourablehnung vonseiten des Fahrers erhält der Disponent die Möglichkeit diese Entscheidung nochmals zu überprüfen bzw. zu korrigieren. Für eine sinnvolle Entscheidung ist es für den Disponenten bedeutend, weitere Informationen wie etwa den Ablehnungsgrund zu erfahren. Für einen schnellen und reibungslosen Kommunikationsablauf ist an dieser Stelle wie zuvor schon erwähnt, darauf zu achten, dass der Daten- und Informationsaustausch via Kurznachrichtendienste abgelehnt und stattdessen vielmehr auf eine telefonische Rücksprache anhand einer Freisprecheinrichtung oder einem Headset Wert gelegt wird.

Fällt die Entscheidung so aus, dass die Tourablehnung durch den Disponenten nicht angenommen wird, muss der Fahrer darüber möglichst zeitnah informiert werden. Hierzu erscheint auf dem Endgerät des Fahrers ein Statusbericht über die Ablehnung sowie ein Hinweis auf den Beginn der ursprünglich geplanten Tour. Diese Statusmeldung muss

anschließend wiederum vom Fahrer anhand einer manuellen Eingabe bestätigt werden. Darauffolgend kann die eigentliche Tourfahrt beginnen.

In Hinblick auf die Akzeptanz der Tourablehnung seitens des Disponenten wird automatisch die Verfügbarkeit einer Folgetour überprüft und gegebenenfalls eine neue Tour angeboten. Dies bedeutet im Grunde die Wiederholung des Prozessschritts der Tourplanung mit dem Ziel bei einer erfolgreichen Annahme die Tour zu beginnen.

Wie zuvor beschrieben, ist somit die Aktivität „Beginn der Tour“ entweder durch die direkte Annahme der Tour zu erreichen, oder im Laufe der Überprüfung auf eine Folgetour mit einer Wiederholung der Tourplanung zu erzielen.

Kann mit der Tour nun begonnen werden, geht es weiter mit dem nächsten Hauptprozessschritt der **Tourabwicklung**. Wie aus Abbildung 3.6 ersichtlich, gelangt man sogleich zu einem Unterprozess, in welchem Haltepunkte vom Fahrer ausgewählt bzw. entfernt werden können.

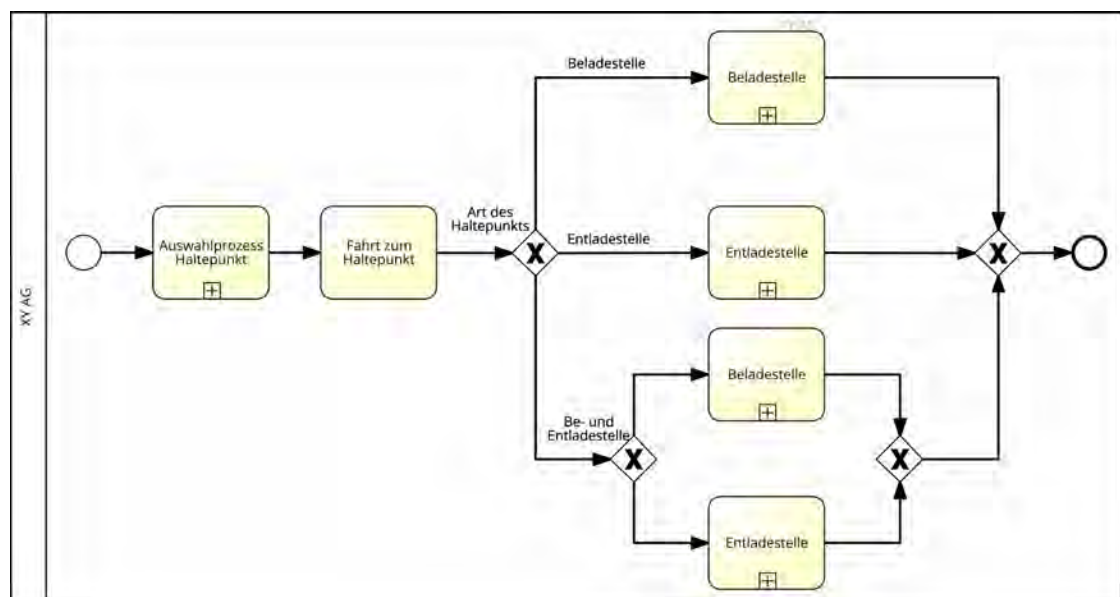


Abbildung 3.6: Tourabwicklung

Der Fahrer erhält hierbei wie in Abbildung 3.7 zusehen zunächst eine Auflistung über die verbleibenden bzw. noch anzufahrenden Haltepunkte. Dementsprechend zählen hierzu alle Fahrziele, welche zu dem gegenwärtigen Zeitpunkt angefahren werden können. Für

den Transport der Waren sind jedoch zunächst einige mögliche Einschränkungen zu beachten. Diese können in etwa bei der Anfahrt der Haltepunkte entstehen. Waren können zwar in einer Tour zuerst vom Kunden abgeholt und diese anschließend zu einem Empfänger transportiert werden. Jedoch sollte eine Entladestelle für die Warenübergabe nicht zur Auswahl stehen, solange sich die entsprechende Ware nicht auf dem Lkw befindet. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass das maximal zulässige Gesamtgewicht der Fahrzeuge sowie die Grenzen der Ladeflächen nicht überschritten werden. Aus diesem Grund ist zu berücksichtigen, dass gerade die Haltepunkte ausgeblendet werden, welche zur Entstehung der genannten Problematiken führen können.

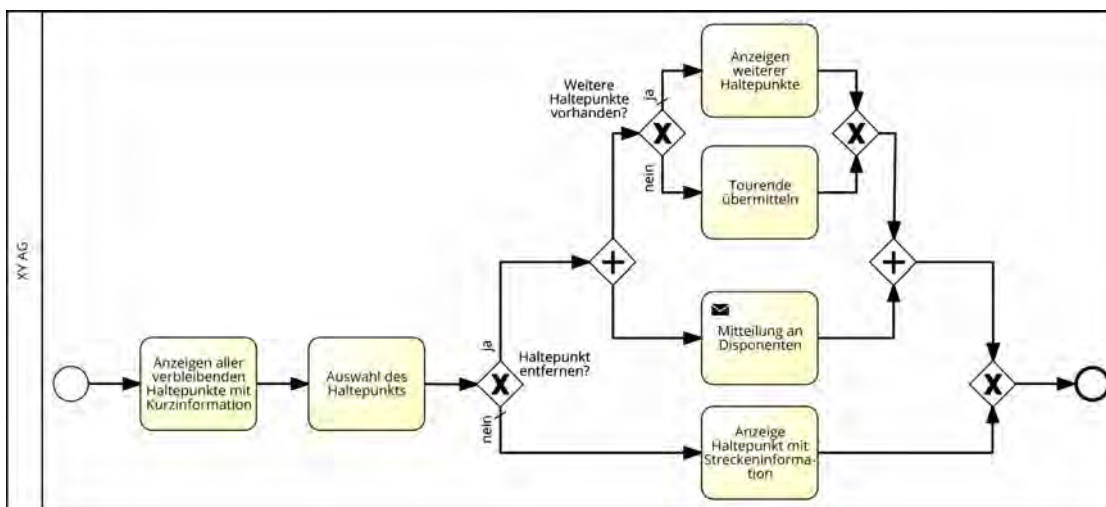


Abbildung 3.7: Auswahlprozess Haltepunkt

Zu den verbleibenden Haltepunktinformationen erhält der Fahrer zusätzlich Auskünfte über dessen Adresse sowie die hierzu benötigte Fahrzeit und Fahrstrecke. Außerdem wird auf eine mögliche Expresslieferung, welche vorrangig zu bearbeiten ist sowie einen eventuell einzuhaltenden Ladetermin hingewiesen.

Bezugnehmend auf den zuvor erhaltenen Informationen ist der Fahrer nun in der Lage die Haltepunkte selber auszuwählen bzw. die Tourenreihenfolge selber mitzubestimmen. Dies ist wie im Prozessschritt der Tourauswahl, in welchem der Fahrer entscheiden kann, die Tour abzulehnen oder anzunehmen nur sinnvoll, wenn hierzu das benötigte Wissen bzw. die Erfahrung und Routine vorhanden ist. Andernfalls sollte auch an dieser

Stelle die Entscheidungsmöglichkeit des Fahrers vermieden und die Tour durch den Disponenten oder einem automatischen System schon vorweg vollständig geplant und gestaltet werden.

Nach diesem Prozessschritt steht der Fahrer vor der Entscheidung einen möglichen Haltepunkt zu entfernen oder im Prozessablauf fortzufahren. Das Entfernen eines Haltepunkts ist dann sinnvoll, wenn etwa systemseitig ein falscher Haltepunkt eingetragen wurde. Ein weiterer Grund wäre etwa, wenn eine Paketsendung in der Beladestelle eines Kunden nicht rechtzeitig vorbereitet wird und somit die Lieferung an der Endladestelle nicht möglich wäre. In der regulären Ablaufprozedur wird der Haltepunkt nicht entfernt, sodass der Fahrer diesbezüglich relevante Streckeninformationen für eine erfolgreiche Anfahrt des jeweiligen Haltepunkts erhält. Für den Fall, dass jedoch der Haltepunkt tatsächlich entfernt wird, muss der Disponent diesbezüglich parallel informiert werden, um die Tour auf weitere bzw. alternative Haltepunkte zu überprüfen. Sind letztendlich auf dem Mobilteil des Fahrers keine weiteren Haltepunkte aufgelistet, kann an dieser Stelle, zusätzlich ein Tourende an den Disponenten übermittelt werden. Um den Unterprozess „Torauswahl“ erfolgreich zu beenden, kann dieser so oft wiederholt werden, bis kein Haltepunkt mehr entfernt wird, oder ein Tourende übermittelt werden kann. Nach der anschließenden Hinfahrt zum ausgewählten Halteplatz gilt es nun die unterschiedlichen Haltepunktarten zu berücksichtigen. Hierzu sind beim Transport von Waren wie auch in Abbildung 3.6 ersichtlich, folgende drei Halteplatzarten zu unterscheiden:

- Entladestelle
- Beladestelle
- Be- und Entladestelle.

Auch wenn diese Unterscheidung zunächst relativ trivial erscheint, verbergen sich zum Teil unterschiedliche Prozessabläufe dahinter. Auf einem Halteplatz eines Kunden X kann zunächst Ware beladen und später bei einem weiteren Kunden Y entladen werden. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit, Waren zunächst bei einem Kunden Z abzugeben und anschließend neue Waren von demselben Kunden wieder aufzuladen. Die Auswahl der erforderlichen Halteplatzart sollte mithilfe der Tourdaten über die Haltestellen auto-

matisch erfolgen. Dies kann etwa durch ein systemseitiges Signal beim Erreichen des Zielortes erzielt werden.

Für den etwaigen Fall, dass es sich um eine **Entladestelle** handelt, muss bei der Ankunft der Tourstatus aktualisiert werden. Dies kann anhand einer manuellen Eingabe bzw. Bestätigung des Fahrers auf dem Mobilgerät oder systemseitig anhand einer automatischen Datenerfassung der GPS-Informationen erreicht werden. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Datenerfassung anhand von GPS-Ortungssensoren geschieht. Die Sensordaten über den Ort des Halteplatzes ermöglichen somit eine automatische Entscheidungsfindung über die Art der Ladestelle. An dieser Stelle bestünde die Möglichkeit je nach Information der Sensordaten den jeweiligen Prozess der Entladestelle, Beladestelle oder der Be- und Entladestelle anzustoßen. Diese Entscheidung wird jedoch in diesem betrachteten Telematik-Prozess vonseiten des Fahrers übernommen bzw. durch die von Disponenten zuvor in das System hinterlegten Daten erreicht.

Der Fahrer meldet sich nach seiner Ankunft zur Entladung beim jeweiligen Kunden. Dieser Prozess wird in Abbildung 3.8 verdeutlicht. Hierbei erfährt er des Weiteren eine geschätzte Standzeit, bis der Entladungsvorgang aufgrund von Bearbeitungsgründen der Entladestelle begonnen werden kann. Je nach Unternehmen kann diese Information jedoch entfallen und der Fahrer muss die etwaige Auslieferungszeit eigenständig schätzen. Für den Fall, dass es zu einer längeren Wartezeit kommt, kann sich der Fahrer an dieser Stelle entweder für eine Pause entscheiden, oder sogar die Bearbeitung etwa aufgrund einer zu langen Wartezeit, abbrechen. Hierzu ist es jedoch wichtig zu erwähnen, dass im Falle eines Abbruchs der Tour möglicherweise eine völlig neue Haltestelle angefahren und die Tour daher von Disponenten aktualisiert werden muss. Dies kann wiederum zu Komplikationen führen, falls der Lkw bereits seine maximale Auslastung erreicht hat und zum Beladen zuerst die im Vorfeld beladene Waren an einem außerplanmäßigen Ort entladen muss. Andernfalls geht es mit dem Prozessschritt des Wartens und anschließend mit der eigentlichen Entladung weiter.

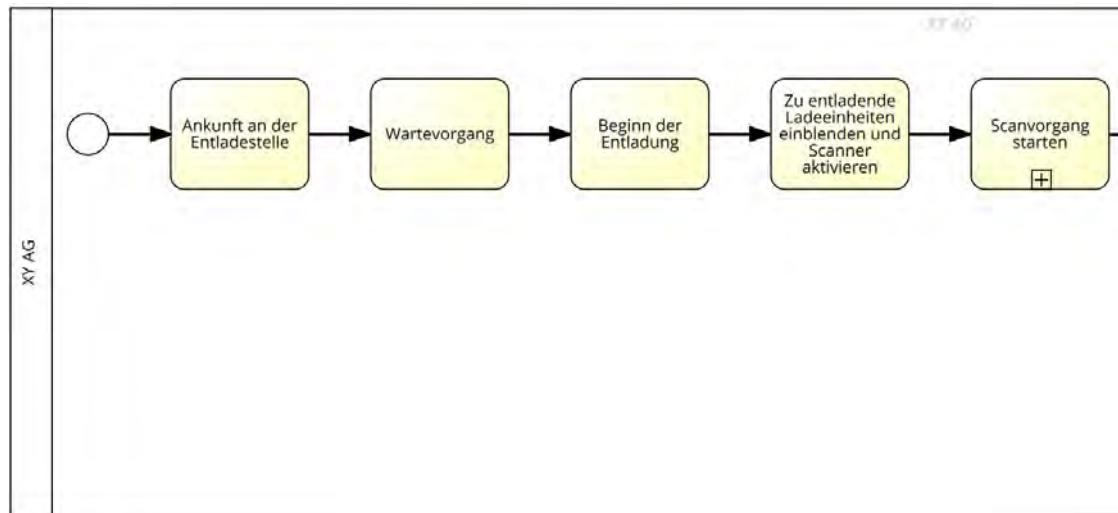


Abbildung 3.8: Entladestelle Teil 1

Wie in den schon zuvor behandelten Absätzen erwähnt, ist ein integrierter Scanner am Mobilgerät für eine fehlerfreie Entladung und Überwachung erforderlich. Durch eine manuelle Eingabe des Fahrers, der hierdurch die Wartezeit beendet und somit gleichzeitig auch den Entladevorgang startet, erscheinen automatisch auf dem Mobilgerät die zu entladenden Waren und Pakete. Des Weiteren wird parallel auch der Scanner aktiviert, welcher zum Erfassen der auf den Ladeeinheiten befindlichen Barcodes dient.

Im nächsten Schritt kann mit dem Unterprozess „**Scanvorgang**“ wie in Abbildung 3.9 begonnen werden. Dies bedeutet, dass der Fahrer die zu entladenden Ladeeinheiten scannt, die Richtigkeit bzw. Unversehrtheit bestätigt und zur Entladung vorbereitet. Ein Vermerk über den Scanzeitpunkt wäre an dieser Stelle sinnvoll, da es während des Gefahrenübergangs zu einer Beschädigung der bereits abgescannten Ware kommen kann. Dies würde zwangsläufig zu einer Verweigerung der Warenannahme durch den Kunden führen.

Für den Fall, dass der Barcode aufgrund einer Verschmutzung oder Beschädigung des Etiketts bzw. einem unerklärlichen Grund nicht eingelesen werden kann, besteht die Möglichkeit den Scan zu wiederholen. Falls trotz mehrmaligen Versuchen das Einscannen des Barcodes scheitert, besitzt der Mitarbeiter außerdem die Möglichkeit, die Barcodenummer manuell einzugeben. Stimmen die Barcodenummern mit den in

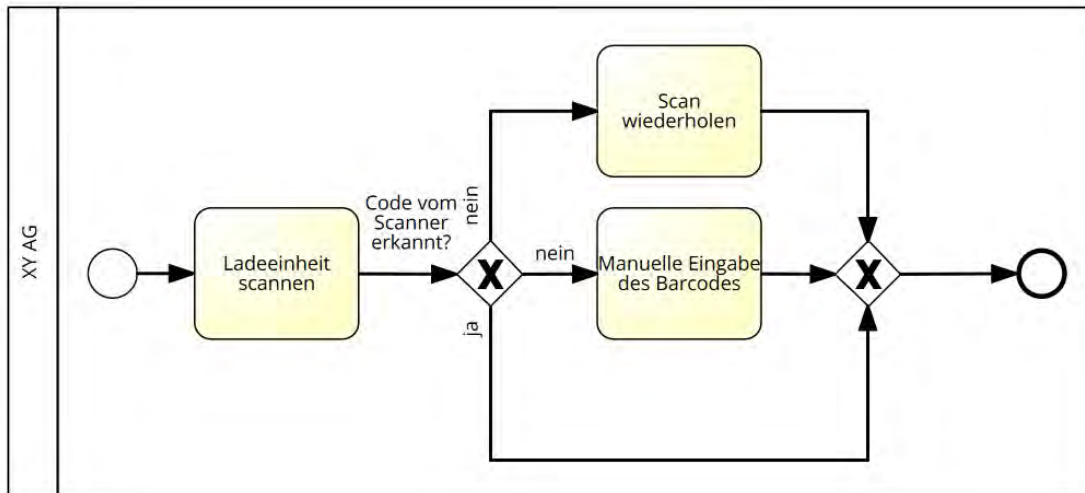


Abbildung 3.9: Scanvorgang

der Software hinterlegten Zahlen überein, wird die Ladeeinheit automatisch bestätigt und es kann mit der nächsten Aufgabe im Entladeprozess fortgefahren werden. Wichtig zu erwähnen ist hierbei jedoch, dass die Sensoren bzw. Sensordaten eine besondere Rolle besitzen. Wie aus dem Prozess zu erkennen ist, werden anhand der Sensoren des Scanners Daten erfasst und bearbeitet. Sie besitzen somit die Möglichkeit, Daten zu erkennen, sie auf deren Richtigkeit zu überprüfen, Lösungsvorschläge anzuzeigen sowie die gegebenen Umstände an den jeweiligen Prozess zu adaptieren. An dieser Stelle des Prozesses wurde eine manuelle Auswahlmöglichkeit vonseiten des Fahrers ausgewählt, in dem ihm die Entscheidung über eine manuelle Eingabe oder ein erneutes Scannen überlassen wurde. Jedoch bestünde im Allgemeinen auch die Möglichkeit, dass die Sensoren die Situation selber erfassen, erkennen und eine autonome Entscheidung mit Lösungsansätzen liefern. Dieser Fall wird jedoch in dem gegenwärtigen Prozess nicht betrachtet.

Auch nach einem erfolgreichen Scanvorgang kann es passieren, dass die Nummer der Ladeeinheit nicht in der Ladeliste enthalten ist (siehe Abbildung 3.10). Dies kann jedoch daran liegen, dass die Ladeeinheit nicht an dieser Stelle, sondern an einem anderen Halteplatz bzw. einem späteren Zeitpunkt entladen werden soll. Für diesen Fall erscheint an der Benutzeroberfläche des Endgeräts ein Hinweis über die falsche Warenbearbeitung,

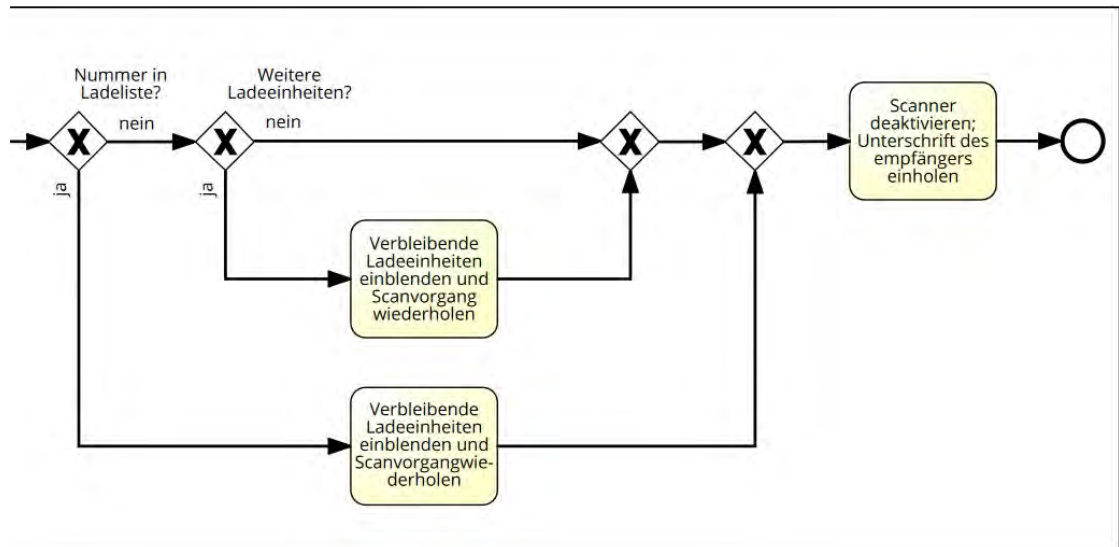


Abbildung 3.10: Entladestelle Teil 2

welche zudem vom Mitarbeiter manuell quittiert werden muss. Ansonsten werden dem Mitarbeiter die verbleibenden Ladeeinheiten angezeigt und der Scanvorgang wiederholt. Sind keine weiteren Waren zur Bearbeitung vorhanden, kann der Scanner deaktiviert, die Unterschrift des Empfängers eingeholt und der Entladevorgang an dieser Stelle beendet werden.

Wie zuvor schon erwähnt, gilt es neben der Entladestelle auch die **Beladestelle** wie in Abbildung 3.11 zu berücksichtigen. Anhand der Namensgebung der Beladestelle ist erkennbar, dass es sich hierbei um einen Beladungsvorgang bzw. um die Verladung von Waren und Gütern in den Transporter handelt.

Erwähnenswert ist dabei, dass einige Prozessschritte, die im Ablauf des Entladevorgangs ausgeführt wurden, auch im Beladevorgang wiederzufinden sind. Dies betrifft vor allem die ersten Prozessschritte bis zum XOR-Gateway mit der Fragestellung, ob weitere Ladeeinheiten vorhanden sind. Dementsprechend bestätigt der Mitarbeiter zunächst seine Ankunft an der Beladestelle, meldet sich zur Beladung beim Kunden an und durchläuft den Warteprozess, welcher ebenfalls bei einer zu langen Zeitspanne abgebrochen und gegebenenfalls zu einem Anfahren des Halteplatzes zu einem späteren Zeitpunkt führen kann. Des Weiteren kann auch der Beladungsvorgang begonnen, die zu beladende Ladeeinheiten auf dem Gerät angezeigt, wie auch der Scanner aktiviert

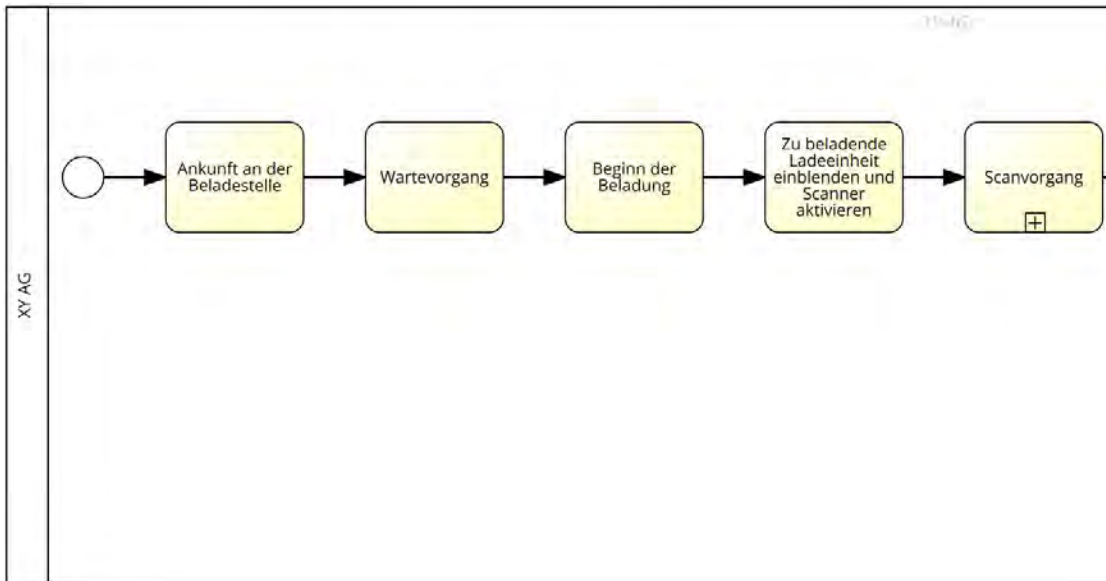


Abbildung 3.11: Beladestelle Teil 1

werden. Der Ablauf des Scanvorgangs wird ebenfalls wie im Entladungsvorgang ausgeführt. Darüber hinaus wird die Übereinstimmung der zu verladenden Waren mit der Ladeliste überprüft sowie eine Bestätigung über weitere Ladeeinheiten eingeholt.

Im Vergleich zum Entladungsvorgang unterscheidet sich jedoch der Beladungsvorgang im Grunde dadurch, dass ein anderer Prozess eintritt, falls kein Abgleich mit der Ladeliste möglich ist. Dies geschieht in etwa, wenn die Barcodenummer der zu verladenden Ladeinheit nicht mit der Identifikationsnummer aus der Ladeliste übereinstimmt. Grund dafür könnte sein, dass die hierzu in Bearbeitung befindliche Ware gar nicht verladen werden soll oder der Kunde eine neue Ladeinheit zusätzlich zu den vorhandenen Waren verschicken möchte.

Wie in Abbildung 3.12 ersichtlich, wird die Möglichkeit berücksichtigt, dass der Kunde spontan zusätzliche Waren verschicken möchte. Wäre dieser Wunsch zeitnah an den Disponenten gemeldet worden, wäre eine rasche Systemaktualisierung auf dem Endgerät des Fahrers möglich. Jedoch kann diese Aufgabe auch vom Mitarbeiter vor Ort mit seiner mobilen Ausrüstung ausgeführt werden. Aufgrund seiner Qualifikationen muss der Mitarbeiter zunächst in der Lage sein, eine Entscheidung über eine etwaige Zuladung der neuen Ware in Hinblick auf die Kapazitätsauslastung des Lkws zu treffen.

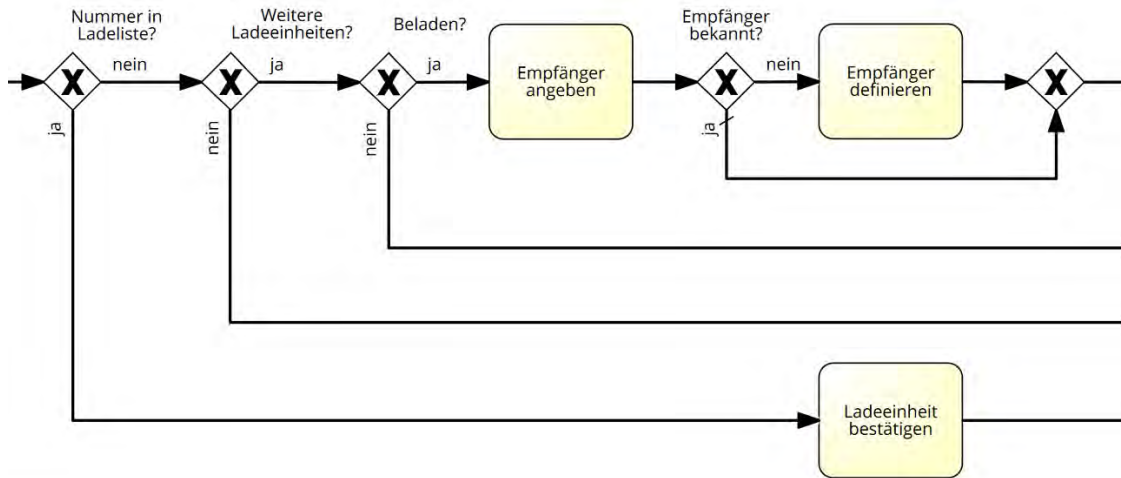


Abbildung 3.12: Beladestelle Teil 2

Dies bedeutet, dass der Fahrer zusätzlich die Zuladungen berücksichtigen muss, die an den Folgehalteplätzen beladen werden sollen. Aus diesem Grund ist dieser Vorgang durchaus kritisch zu betrachten und für die jeweiligen Gegebenheiten genau zu überprüfen.

Für eine leichtere Entscheidungsfindung kann der Mitarbeiter das zusätzliche Gewicht sowie die Lademeter in sein Endgerät eingeben. Hier kann nun systemseitig überprüft werden, ob eine zusätzliche Ladeeinheit unter Berücksichtigung der kompletten Tour transportiert werden kann. Für den Fall, dass die Verladung einer zusätzlichen Ware aus Kapazitätsgründen nicht möglich ist, wird dessen Beladung nicht angenommen und dies vom Fahrer manuell bestätigt. Anschließend wiederholt der Mitarbeiter den Überprüfungsprozess für weitere Ladeeinheiten. Es besteht gegebenenfalls die Möglichkeit, dass neben der regulär zu befördernden Ware einige Ladeeinheiten existieren, welche den Gewichts- und Längenmaßanforderungen nicht widersprechen.

Ist kein Widerspruch der neuen Zuladung mit den Maßen sowie Gewichtszulassungen zu erkennen, ist eine Angabe des Empfängers erforderlich. Falls es sich um eine Ergänzung für einen ohnehin schon bekannten Empfänger handelt, können die Angaben aus der

Liste der noch anzufahrenden Haltestellen gewählt werden. Ansonsten muss ein neuer Empfänger definiert und dessen Angaben eingeholt werden.

Hierbei ist ebenfalls zu erwähnen, dass ein neuer Empfänger eine zusätzliche Haltestelle impliziert. Dies bedeutet, dass neben Kapazitätsanforderungen auch die verbleibende Lenkzeit bzw. der zeitliche Aspekt der Tour berücksichtigt werden sollte. Eine Ergänzung einer neuen Haltestelle sollte aus diesem Grund eigentlich vermieden werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, den Auftrag auf einen Folgetag zu verschieben oder dies mit den Disponenten telefonisch abzuklären.

Nach erfolgreichem Abschluss der notwendigen Prozessschritte (siehe Abbildung 3.13), sowie einer korrekten Verladung der Ladeeinheiten erhält der Mitarbeiter eine systemseitige Bestätigung. Des Weiteren hat der Speditionsmitarbeiter die Möglichkeit, weitere Elemente der Sendung zu bearbeiten oder seine Tätigkeit an diesem Halteplatz zu beenden. Nachfolgend kann der Scanner deaktiviert und dem Fahrer nach eigenem Ermessen die Möglichkeit gegeben werden, eine Entscheidung über die Anfahrt weiterer Beladeplätze des Kundens zu realisieren. Für diesen Fall wird der Beladervorgang nochmals begonnen, bis keine weiteren Beladestellen mehr vorhanden sind. Andernfalls wird im Prozess fortgefahren und systemseitig überprüft, ob weitere Haltestellen für eine Beladung, Entladung bzw. Be- und Entladung vorhanden sind.

Neben den zwei kennegelernten Halteplatzarten, existiert wie erwähnt die Möglichkeit am selben Halteplatz Waren zu entladen sowie neue zu beladen. Der Ablauf einer **Be- und Entladestelle** setzt sich im Grunde aus den zuvor erläuterten Be- und Entladetasks zusammen. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle versucht, nur auf die Unterschiede zu den bereits genannten Ladestellen einzugehen bzw. wiederholende Prozesse nur oberflächlich zu beschreiben.

Der Prozess des Be- und Entladevorgangs beginnt ebenfalls wie die Abläufe zuvor mit der Ankunftsbestätigung des Fahrers am Zielort sowie der anschließenden Anmeldung beim Kunden. Darauf folgend hat der Fahrer wie erwähnt die Möglichkeit mit dem Wartevorgang zu beginnen oder die Bearbeitung der Haltestelle abubrechen und auf einen späteren Zeitpunkt zu verschieben.

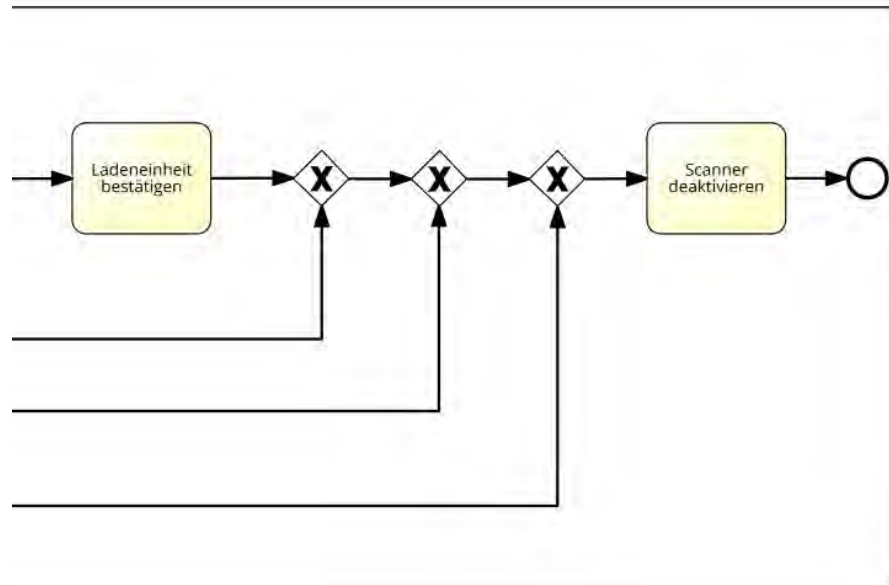


Abbildung 3.13: Beladestelle Teil 3

Eine Veränderung im Prozessablauf ist an dieser Stelle durch die Entscheidung des Fahrers über seine Ladungsart zu erkennen. Bevor der Prozess des Be- und Entladungsvorgangs begonnen werden kann, muss der Mitarbeiter die notwendige Ladungsart an das System mitteilen. Anschließend kann der richtige Teilprozess gestartet und die hierzu erforderlichen Maßnahmen wie gehabt eingeleitet werden.

Entscheidet sich der Mitarbeiter für eine Entladestelle, erscheinen die zu entladenden Waren auf einer Ladeliste, der Scanvorgang wird gestartet und bei erfolgreicher Bearbeitung die Unterschrift des Empfängers eingeholt sowie der Entladevorgang ausgeführt.

Bei einer Beladestelle hingegen werden die erforderlichen Ladeeinheiten zuerst auf dem Mobilgerät aufgelistet, die aufgeführten Artikel bearbeitet bzw. gegebenenfalls neue Artikel hinzugefügt und aufgeladen. Anschließend wird der Scanner deaktiviert und der Prozess an dem jeweiligen Halteplatz beendet.

Ist demzufolge der aktuelle Be- oder Entladevorgang an einem Haltepunkt abgeschlossen, wird der Fahrer erneut über die mögliche Bearbeitung eines weiteren Halteplatzes abgefragt. Dies steht in engem Zusammenhang mit der Möglichkeit des Fahrers eine weitere Kundenhaltestelle bei verfügbarer Lenkzeit und Ladekapazität zur Entladung der

Ladeeinheiten anzufahren. Dieser Prozessschritt kann sich solange wiederholen, bis alle Aufträge erfüllt worden sind.

Nach der erfolgreichen Tourabwicklung bzw. der Fertigstellung aller Be- und Entladevorgänge kann der letzte Prozessschritt im Hauptprozess ausgeführt werden. Hierzu kann der Fahrer durch sein Mobilgerät die erfolgreich abgeschlossene Tour anhand einer Bestätigungsnachricht an den Disponenten mitteilen und der gesamte Telematik-Prozess somit beendet werden.

Eine mögliche Verknüpfung des Telematik-Prozesses mit einem Prozess aus der Industrie 4.0 ist gleich an mehreren Punkten sichtbar. Diese Verknüpfungen sowie Anwendungsvorschläge werden in der Schlussfolgerung erneut aufgegriffen und diskutiert.

#### 3.3.1 Chancen zur Prozessverbesserung durch Sensordaten

In dem zuvor betrachteten Kapitel wurde ein Standard Modell eines Speditionsbetriebs im Distributions- und Güterverkehrs dargestellt. Aus diesem Grund werden nun einige Chancen über einzelne optimierbaren Prozessschritte diskutiert.

Eine mögliche Verbesserung könnte in diesem Zusammenhang im Prozessschritt „**Tourabwicklung**“ bei der Auswahl der Halteplatzart erreicht werden. Wie zuvor angesprochen, wird die Art des Haltepunktes bzw. des Ladevorgangs vorab im System, genauer gesagt im Mobilteil des Fahrers hinterlegt. Bei Ankunft an der Haltestelle wird dem Fahrer anschließend die hinterlegte Art des Ladevorgangs angezeigt. Bei dem regulären Prozess entscheidet der Fahrer je nach angezeigter Halteplatzart welchen Ladeprozess er anstoßen soll. Jedoch ist hierbei ratsam, mit den Sensordaten der GPS-Ortung zusammenzuarbeiten und so den jeweiligen Prozess direkt anzustoßen. Somit würde zum einen der Arbeitsschritt über die Entscheidungsfindung zur Halteplatzart des Fahrers erleichtert und zum anderen der Prozess an gegebene Umstände schneller angepasst werden können. Eine mögliche Visualisierung ist in Abbildung 3.14 erstellt worden.

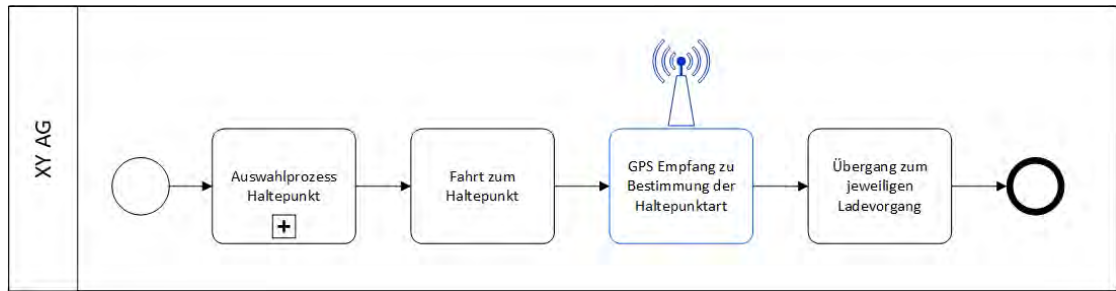


Abbildung 3.14: Vorschlag über eine verbesserte Tourabwicklung

Die Sensordaten der GPS-Ortung hätten darüber hinaus noch einen weiteren Vorteil. Dies ist etwa dann der Fall, wenn zum Beispiel zwei Haltepunktarten sich nebeneinander befinden und somit der Ladevorgang in einem Schritt abgewickelt werden kann. Die Sensoren der GPS-Ortung könnten dies frühzeitig erkennen und somit die zwei Haltepunkte zu einem zusammenfassen bzw. einen aus dem System löschen. Dadurch kann der Prozess automatisch angepasst und Zeit und Arbeit eingespart werden.

Ein weiterer optimierbarer Punkt ist der in den Ladevorgängen enthaltene Scanvorgang. Der aktuell beschriebene Prozess sieht es vor, dass die Ware eingescannt und für den nächsten Schritt vorbereitet wird. Sollte der Fall eines nicht eindeutig lesbaren Barcodes eintreten, muss der Fahrer entweder solange scannen, bis der Scan erfolgreich durchgeführt werden kann oder er entscheidet die Barcodenummer manuell einzutragen. Eine Verbesserung der Situation ist beispielsweise durch Sensoren möglich, die über eine Scanwiederholung oder manuelle Eingabe autonom entscheiden. Dies gibt den Sensoren somit die Möglichkeit den ursprünglichen Prozess an die gegebene Situation neu anzupassen, die Entscheidungsfindung zu erleichtern sowie dadurch Zeit zu sparen. Eine mögliche Darstellung des Prozessablaufs könnte wie in Abbildung 3.15 aussehen.

Des Weiteren könnte im Unterprozess der „Torauswahl“ in Bezug auf die erneute „Tourplanung“ eine Optimierung durchgeführt werden. Für den Fall, dass die aktuell vorgeschlagene Tour von Seiten des Fahrers abgelehnt wird, muss der Disponent eine neue Tourplanung durchführen. Dieses Problem könnte systemseitig gelöst werden, in dem das System die Tourablehnung zunächst überprüft und bei einer etwaigen Akzeptanz gleichzeitig die Tourenänderung an den Prozessablauf anpasst (siehe Abbildung 3.16). Dieser Schritt könnte durch die Zusammenarbeit von mehreren Sensoren durchgeführt

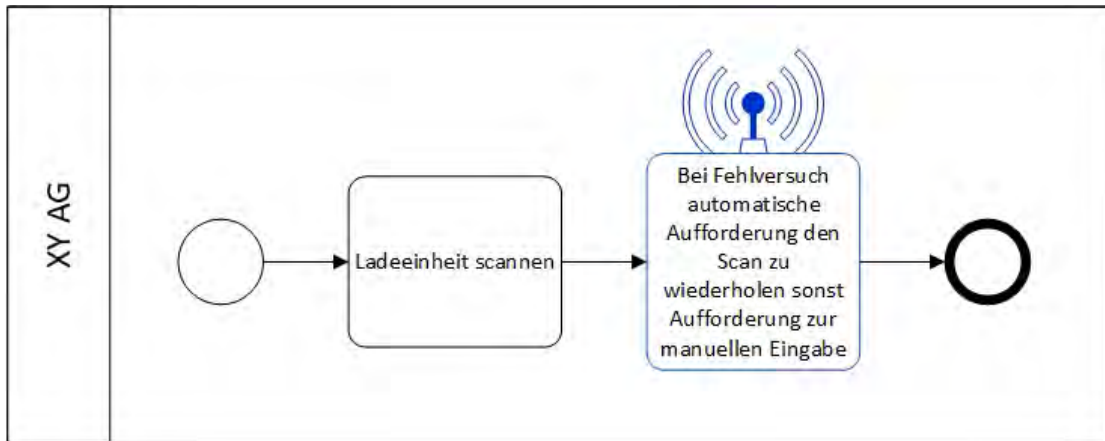


Abbildung 3.15: Vorschlag für die Anpassung des Scanvorgangs

werden. Zunächst ist es wichtig festzustellen, was den Fahrer zu einer Ablehnung der Tour bewegen könnte. Eine mögliche Begründung in diesem Zusammenhang könnte sein, dass die Lenkzeit des Fahrers knapp bemessen ist, der Lkw wegen einer Besonderheit nicht mehr ladefähig ist (überladen) oder das Ziel wegen Witterungsgründen nicht erreicht werden kann. Eine mögliche Zusammenarbeit der Sensoren, die die Lenkzeiten betrachten sowie die Ladefähigkeit überprüfen oder Informationen über den Witterungszustand der Strecke sammeln, könnten dabei helfen, den Prozess an diese Änderungen frühzeitig anzupassen. Somit könnte eine Ablehnung des Fahrers vermieden und der Aufwand für den Disponenten reduziert werden.

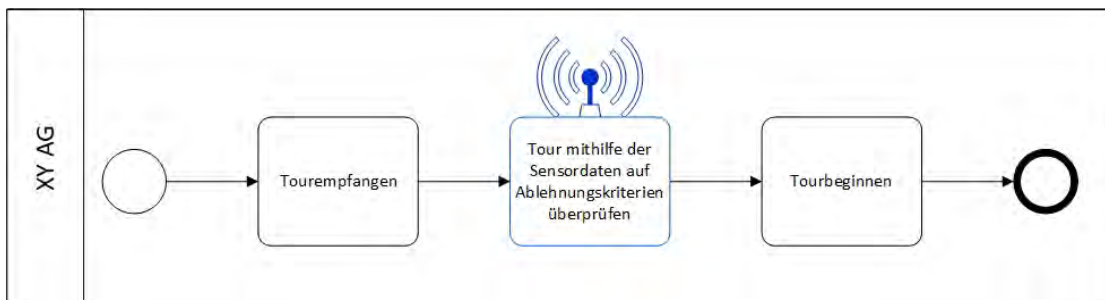


Abbildung 3.16: Überprüfung von Ablehnungskriterien mithilfe von Sensordaten



# 4

## Related Work

Hinsichtlich der vierten industriellen Revolution existieren viele Veröffentlichungen, die versuchen, dessen Chancen und Risiken für die Unternehmen zu beschreiben. Es gibt jedoch einige Ansätze, welche die Prozessmodelle im Kontext der Industrie 4.0 betrachten. Diese werden im folgenden Abschnitt vorgestellt und näher erläutert.

Die Autoren *Shiyong Wang et al.* zeigen in ihrem Forschungsbericht „*Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*“ [42], einen kurzen Ausblick in die Welt der smarten Produktionsanlagen. Im Kern geht es jedoch um die vertikale Integration für die Implementierung einer flexiblen und neustrukturierten Fabrik der Zukunft. Hierzu wird versucht ein Grundgerüst für die drei Integrationsarten End-To-End-Integration, horizontale Integration und vertikale Integration – der intelligenten Fabriken zu konstruieren, sowie den operationalen Mechanismen, welche die technischen Komponenten organisieren, nachzugehen. Der für diese Ausarbeitung relevante Aspekt zieht hierbei jedoch den Vergleich wie auch die Darstellung der traditionellen Produktionslinie mit dem Produktionssystem der intelligenten Fabrik. *Shiyoung Wang* und sein Team beschreiben hierbei die smarten Produktionssysteme als ein geschlossenes System, welches somit im Vergleich zur herkömmlichen Produktionsstraße, die einen Input- und Output-Bereich aufweisen, einen Kreislauf darstellt. In dem erwähnten Forschungsbericht wird jedoch auf die Prozessdarstellung anhand von Modellierungsmethoden verzichtet. Des Weiteren ist keine konkrete Prozessvisualisierung für die beschriebenen Abläufe zu finden.

Einen anderen Ansatzpunkt bieten die beiden Autoren *Roland Petrasch* und *Roman Hentschke* in ihrer Publikation „*Process Modeling for Industry 4.0 Applications*“ [43]. Die beiden Autoren präsentieren Grundelemente für eine neue Modellierungssprache und beschreiben eine Methode, die die Anwendungen in der Industrie 4.0 vereinfacht

#### 4 Related Work

darstellen soll. Hierzu bedienen sie sich einer Kombination aus den in diesem Zusammenhang schon oft bewährten Modellierungssprachen BPMN und UML. Das Ergebnis dieser Arbeit ist die *Industry 4.0 Process modeling Language (I4PML)*, welche gerade für die Bereiche Internet of Things (IoT) und Cloud-Computing neue Symbole und Visualisierungs-Ansätze in sich trägt. In Abbildung 4.1 ist eine Beispieldarstellung für die Datenakquise bei der operationalen Anwendung von Förderbändern vorzufinden. Im aufgezeigten Beispiel wird die Relevanz des Business Process Managements fokussiert, welche kritischen Daten und Prozessen, Vertriebskomponenten, komplexen Arbeitsflüssen sowie unterschiedlichen Nutzergruppen aufzeigt. Das Ziel dieser Ausarbeitung ist jedoch nicht die Definition einer neuen Modellierungssprache, sondern vielmehr die Vorbereitung eines Ansatzes für die Visualisierung von Prozessen in der Industrie 4.0 und mögliche Szenarien hierzu abzubilden.

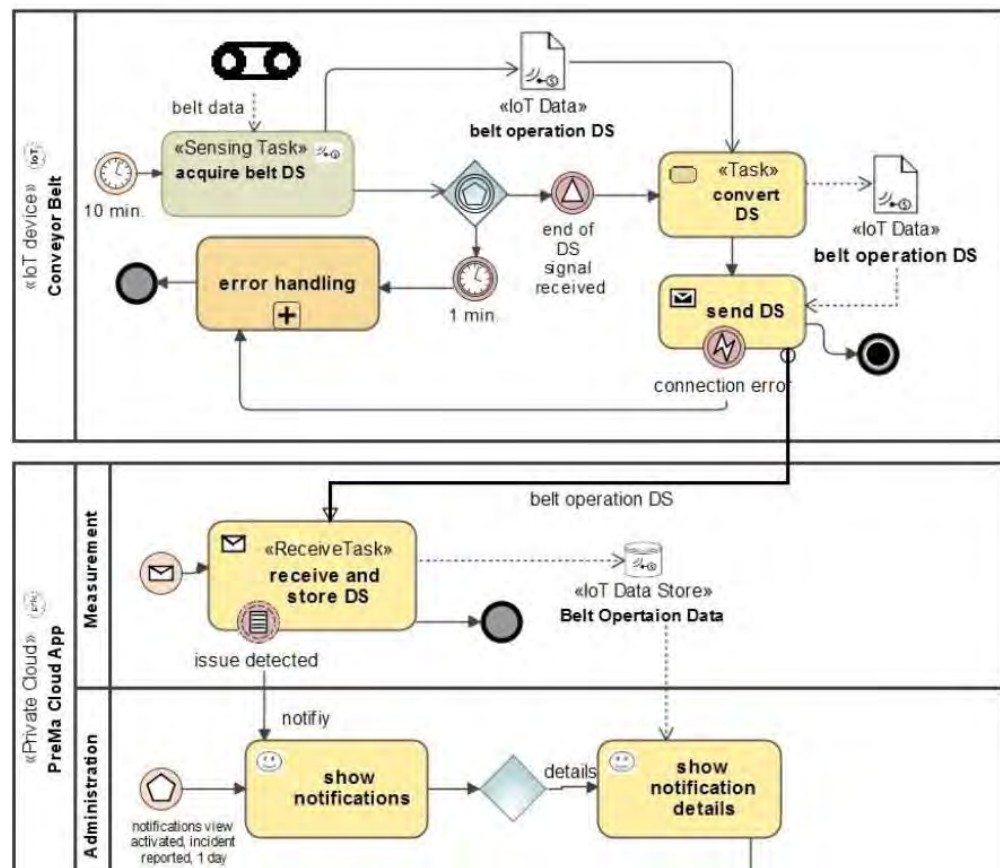


Abbildung 4.1: Prozessmodell für die Datenakquise von Förderbändern anhand I4PML

In ihrer Publikation „BPMN for Knowledge Acquisition and Anomaly Handling in CPS for Smart Factories“ [44], gelingt es der Autorengruppe um *Dmitri Panfilenko*, eine in Echtzeit durchführbare Datenakquise sowie eine Ausnahmebehandlungsarchitektur für Wartungsszenarien von Cyber-Physischen-Produktionssystemen zu beschreiben. Der Wartungsprozess wird hierzu anhand der Modellierungssprache BPMN dargestellt, wobei das Hauptaugenmerk auf der automatischen Schrifterkennung sowie Schreibgestik anhand eines intelligenten Stiftes des sogenannten Smart Pen, liegt. Im Kern der Veröffentlichung geht es um die Datensammlung von Störereignissen anhand dieses intelligenten Stiftes. Die beobachteten und gemeldeten Ereignisse werden anschließend anhand des vernetzten Stiftes automatisch in einem BPMN-Prozess visualisiert und an eine sogenannte Semantic MediaWiki (SMW)-Plattform zur Archivierung und Verfügbarkeit für weitere Datenanalysen, weitergeleitet. Als Anwendungsszenario wird in diesem Zusammenhang ein Störereignis bei der Wartung einer Gasturbine verwendet und diese später als BPMN-Prozess visualisiert. Für unseren Ansatz liefert der aufgezeigte Prozess seitens *Panfilenko et al.* jedoch zu geringe Informationen über die Anwendung des Smart Pens. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Bildung einer Ausnahmebehandlungsarchitektur, welche in Abbildung 4.2 durch ein mögliches Szenario für die Ausnahmebehandlung im Wartungsvorgang einer Gasturbine visualisiert wird.

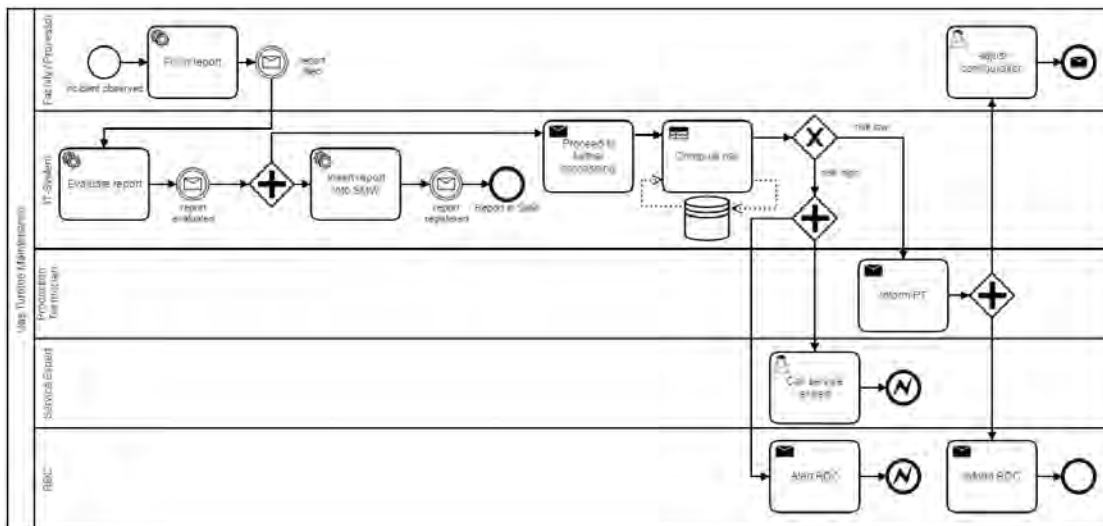


Abbildung 4.2: Ausnahmebehandlungsszenario bei der Wartung einer Gasturbine

#### 4 Related Work

Das Paper mit dem Titel „*Empowerment of Patients with Hypertension through BPM, IoT and Remote Sensing*“ [45] von *Daniel Ruiz-Fernández et al.*, beinhaltet die Nutzung eines BPM-Modells, welches anhand einer Gruppe von Technologien, Techniken sowie IT-Richtlinien das Ziel verfolgt, auf diese Weise chronischen Krankheiten wie etwa den Bluthochdruck zu bekämpfen. Hierzu wurde zunächst der klinische Behandlungsprozess des Bluthochdrucks analysiert sowie dessen Schwächen und prozessbezogenen Verbesserungsmöglichkeiten aufgedeckt. Anschließend wurde eine Architektur entwickelt, welche es schafft, Umgebungssensoren, Gesundheitsmessgeräte sowie ein diesbezüglich zusammenhängendes Informationssystem zu unterstützen. Ziel ist es somit, die Lücke zu schließen, in welchem die Therapietreue sowie die Fähigkeit der selbstständigen Therapieumsetzung der Patienten nicht untersucht werden konnte. Diese Lücke kann nun anhand der Kombination der Messgeräte sowie der Sensoren bzw. Sensordaten und einer Ferndiagnostik geschlossen werden. *Daniel Ruiz-Fernández* und sein Team zeigen in ihrer Ausarbeitung eine Möglichkeit, wie man Sensordaten für die Optimierung von Behandlungsvorgängen und damit einhergehende Behandlungsprozesse nutzen kann. Bezugnehmend auf diese Ausarbeitung spielen die Sensordaten zwar eine unterstützende Rolle, jedoch geht es primär um die Anpassungsfähigkeit der Prozessmodelle und die hierdurch erzielbaren Zeit- Kosten- und Aufwandsersparnisse.

Eine in diesem Zusammenhang weitere zu beachtende Publikation betrifft die Veröffentlichung des Autors *Andreas Wombacher* mit dem Titel „*How Physical Objects And Business Workflows Can Be Correlated*“ [46]. *Wombacher* fokussiert sich hierbei auf die Korrelation zwischen Workflowzuständen und Sensordaten, die durch physikalische Arbeitsabläufe entstehen können. Hierzu wird ein Beispielvorgang betrachtet, welches den Be- und Entladevorgang von Paketen mithilfe eines sensorunterstützten Förderbands beschreibt (siehe Abbildung 4.3). Des Weiteren werden die Zusammenhänge der Zustandsauswirkungen bzw. Zustandsänderungen von Arbeitsabläufen auf bestehenden Serviceinfrastrukturen untersucht. Ziel dieser Veröffentlichung ist es jedoch nicht, syntaktische bzw. semantische Integrationsprobleme zu betrachten, sondern eine systematische Untersuchung über mögliche Korrelationen von Sensordaten sowie den Workflowzuständen darzustellen.

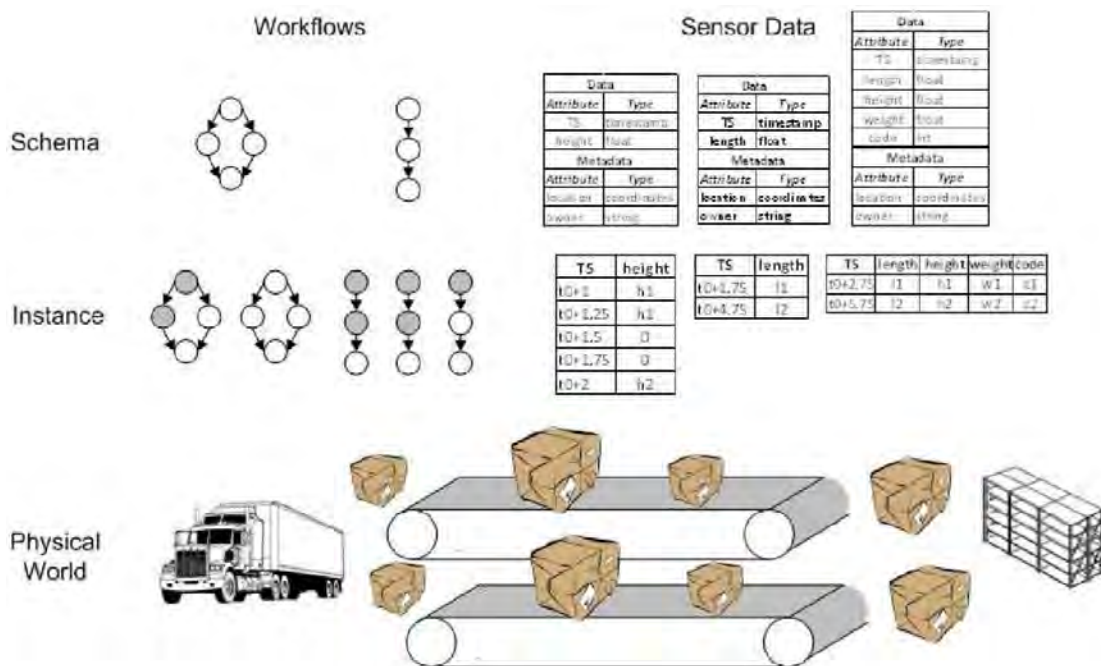


Abbildung 4.3: Visualisierung der korrelierenden Komponenten

Die Ergebnisse der Untersuchung waren starke sowie schwache Zusammenhänge zwischen den Sensordaten und den Workflowzuständen. Es stellte sich heraus, dass die starken Zusammenhänge bei der die Sensordaten für die Ablaufkoordination genutzt wurden, zu einer möglichen Reduzierung des manuellen Arbeitseinsatzes insbesondere für die Koordinierung der Arbeitsabläufe führen könnten. Jedoch ist hervorzuheben, dass die Workflow-Ausführung viel mehr von einer beständigen Infrastruktur sowie verlässlichen Sensordaten und Workflow-Systemen abhängig ist. Die schwache Korrelation hingegen wurde des Weiteren in diesem Zusammenhang nicht näher untersucht, obwohl einige Gemeinsamkeiten in Bezug auf die Datenintegration beobachtet wurden. Im Gegensatz zu dieser Ausarbeitung, wird in der Veröffentlichung *Wombachers*, nicht auf mögliche Änderungen am Prozess eindeutig eingegangen. Sie werden viel mehr als neue Herausforderungen für zukünftige Forschungsberichte gesehen.



# 5

## Schlussfolgerung

In dieser Masterarbeit wurde zunächst die Bedeutung der Industrie 4.0 und der damit in Verbindung stehenden Prozessmodelle beschreiben. Darüber hinaus wurden deren Ziele sowie wichtige Komponenten aufgezeigt. Hierzu folgend wurden deren Zusammenhang sowie Zusammenarbeit in der Arbeitswelt als Geschäftsprozess aufgeführt. Kernelement war jedoch hierbei, die Anpassbarkeit bzw. Adaptivität der Prozessmodelle anhand etwaiger Sensordaten sowie weiteren Komponenten aufzuzeigen. Hierzu wurden Prozessmodelle aus realen Szenarien bzw. Prozessmodellen, insbesondere ein Telematik-Prozess untersucht und dessen Prozesse visualisiert. Mögliche Chancen für eine bessere Prozessmodellierung anhand von Sensordaten wurden in einem darauffolgenden Kapitel aufgezeigt sowie weitere Publikationen mit dieser Thematik diskutiert.

Hervorzuheben ist jedoch, dass der reale Prozess gezeigt hat, dass Industrie 4.0 Prozesse nicht nur zahlreiche Probleme mit sich bringen, sondern auch große Chancen bereitstellen können. Vor allem die Sensoren und deren generierte Daten bieten die Möglichkeit Änderungen an Prozessinstanzen oder an Prozessmodellen rechnergestützt durchzuführen. Hierbei sind verschiedene Unterpunkte zu beachten, wie das Erkennen von Situationen, in denen eine Änderung nötig ist, sowie die Durchführung der Änderung. Hierfür erscheint es wichtig, dass Unternehmen ein noch präziseres Bewusstsein dafür entwickeln, in wie fern sie bestimmte Basismethoden -prozesse sowie -technologien im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 bereits einsetzen. Das Ziel sollte hierbei sein, Lösungen zu finden, die diese Thematik unterstützen und diese dann einsetzen. Dies hätte zur Folge, dass die Arbeit erleichtert, Zeit eingespart und Fehler vermieden werden könnten. Zukünftige Arbeiten können hierzu insbesondere Themen adressieren, in

## *5 Schlussfolgerung*

denen eine Situationserkennung für Adaptionen benötigen wird. Des Weiteren ist es auch bedeutend die Adaptionen zu bestimmen, die zur Problemlösung beitragen und diese anschließend erfolgreich durchzuführen.

# Literaturverzeichnis

- [1] BMBF Referat: Zukunftsbild „Industrie 4.0“. [https://www.bmbf.de/pub/Zukunftsbild\\_Industrie\\_4.0.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Zukunftsbild_Industrie_4.0.pdf) (Oktober 2014) Abgerufen am: 14.08.2017.
- [2] acatech: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. [https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen\\_Industrie4\\_0.pdf](https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf) (2013) Abgerufen am: 17.08.2017.
- [3] BMBF: Industrie 4.0. <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html> (2017) Abgerufen am: 14.08.2017.
- [4] BITKOM: Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2012/Leitfaden/Leitfaden-Big-Data-im-Praxiseinsatz-Szenarien-Beispiele-Effekte/BITKOM-LF-big-data-2012-online1.pdf> (2012) Abgerufen am: 12.08.2017.
- [5] BITKOM: Cloud Computing – Evolution in der Technik, Revolution im Business: BITKOM-Leitfaden. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2009/Leitfaden/Leitfaden-Cloud-Computing/090921-BITKOM-Leitfaden-CloudComputing-Web.pdf> (2009) Abgerufen am 15.08.2017.
- [6] Broy, M.: Cyber-Physical Systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. acatech DISKUTIERT. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2010)
- [7] IHK: IHK- Industrie 4.0 Glossar: RFID-Technologie. <https://ihk-industrie40.de/glossar/> (2017) Abgerufen am: 16.07.2017.
- [8] VDI Zentrum für Ressourceneffizienz: Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0: Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. [http:](http://)

## Literaturverzeichnis

- [//www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie\\_Ressourceneffizienz\\_durch\\_Industrie\\_4.0.pdf](http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf)  
(2017) Abgerufen am: 17.08.2017.
- [9] Hompel, M.T.: Internet der Dinge. VDI-Buch. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007)
- [10] BMWi: Nationaler IT Gipfel Essen 2012 Machine-to-Machine-Kommunikation – eine Chance für die deutsche Industrie: AG2 M2M Initiative Deutschland. [http://post-und-telekommunikation.de/PuT/1Fundus/Dokumente/7.\\_Nationaler\\_IT-Gipfel\\_2012\\_Essen/24\\_it-gipfel-2012-machine-to-machine-kommunikation.pdf](http://post-und-telekommunikation.de/PuT/1Fundus/Dokumente/7._Nationaler_IT-Gipfel_2012_Essen/24_it-gipfel-2012-machine-to-machine-kommunikation.pdf) (2012)  
Abgerufen am: 07.08.2017.
- [11] Auer, J., Heng, S.: Smart Grids: Energiewende erfordert intelligente Elektrizitätsnetze. [https://www.dbresearch.com/PROD/DBR\\_INTERNET\\_EN-PROD/PROD0000000000273605.pdf](https://www.dbresearch.com/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD0000000000273605.pdf) (2011) Abgerufen am 23.11.2017.
- [12] Rick, T.W.: Von Industrie 1.0 bis 4.0 – Industrie im Wandel der Zeit. <http://industrie-wegweiser.de/von-industrie-1-0-bis-4-0-industrie-im-wandel-der-zeit/>  
(2014) Abgerufen am: 29.07.2017.
- [13] Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0: Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2016)
- [14] novadex: Definition Cloud Computing – Was ist Cloud Computing? (2017) Abgerufen am: 18.12.2017.
- [15] Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., Jung, B.: Virtual und Augmented Reality (VR / AR). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (2013)
- [16] Drath, R.: Industrie 4.0. <http://www.openautomation.de/detailseite/industrie-40-eine-einfuehrung.html> (2014)
- [17] Heng, S.: Industrie 4.0: Upgrade des Industriestandorts Deutschland steht bevor. [www.dbresearch.de](http://www.dbresearch.de) (Februar 2014) Abgerufen am: 17.08.2017.

- [18] Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. [www.acatech.de/.../Acatech/.../Industrie\\_4.0/druck\\_einzelseiten\\_290912\\_Bericht.pdf](http://www.acatech.de/.../Acatech/.../Industrie_4.0/druck_einzelseiten_290912_Bericht.pdf) (2012) Abgerufen am: 17.08.2017.
- [19] BITKOM: Industrie 4.0 – Status und Perspektiven: Studie. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2016/Leitfaden/Industrie-40-Status-und-Perspektiven/160421-LF-Industrie-40-Status-und-Perspektiven.pdf> (2016) Abgerufen am: 15.08.2017.
- [20] Becker, M., Kugeler, J., Rosemann, M.: Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg and s.l. (2003)
- [21] Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung: Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Neue Betriebswirtschaftliche Forschung. Springer-Verlag (2013)
- [22] Funk, B.: Geschäftsprozessintegration mit SAP: Fallstudien zur Steuerung von Wertschöpfungsprozessen entlang der Supply Chain. Softcover edn. Springer, Berlin [u.a.] (2013)
- [23] Bundesministerium des Inneren: Handbuch für Organisationsuntersuchungen und Personalbedarfsermittlung: 6.2.4 Prozessmodelle. [http://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6\\_MethodenTechniken/62\\_Dokumentationstechniken/624\\_Prozessmodelle/prozessmodelle-node.html](http://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/6_MethodenTechniken/62_Dokumentationstechniken/624_Prozessmodelle/prozessmodelle-node.html) (2012) Abgerufen am: 23.08.2017.
- [24] Weske, M.: Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. Computer Science. Springer, Berlin (2012)
- [25] Staud, J.L.: Geschäftsprozesse: Das ARIS-Konzept. [http://www.staud.info/gproz/gp\\_f\\_10.htm](http://www.staud.info/gproz/gp_f_10.htm) (2010) Abgerufen am: 25.09.2017.

- [26] Davenport, T.H., Short, J.E.: The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign. Center for Information Systems Research, Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management (1990) Abgerufen am: 26.07.2017.
- [27] PPMB Schmidt GmbH: Themenflyer zur Prozessmodellierung. [http://www.ppmb.de/pdf/themenflyer\\_sammelmappe\\_prozessmodellierung.pdf](http://www.ppmb.de/pdf/themenflyer_sammelmappe_prozessmodellierung.pdf) (2004) Abgerufen am: 02.08.2017.
- [28] Fischermanns, G.: Praxishandbuch Prozessmanagement: Das Standardwerk auf Basis des BPM Framework ibo-Prozessfenster®. 11., bearbeitete auflage edn. Volume Band 9 of Ibo-Schriftenreihe. Verlag Dr. Götz Schmidt, Gießen (2013)
- [29] Schwickert, A.C.: Geschäftsprozessmodellierung mit ARIS. <https://wiwi.uni-giessen.de/dl/det/Schwickert/40543/arbeitspapiere-wi-012011-geschaeftsprozessmodellierung-mit-aris---reader-zur-wbt-serie/> (2017) Abgerufen am: 03.09.2017.
- [30] Reichert, M.: Vorlesung Business Process Management: Chapter 1: Introduction: Business Process Lifecycle (2016) Abgerufen am: 24.12.2017.
- [31] Gadatsch, A.: Grundkurs Geschäftsprozess-Management: Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker. 7., akt. aufl. 2012 edn. Imprint Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden (2012)
- [32] Wirtschafts-Lehre: ARIS. <http://www.wirtschafts-lehre.de/aris.html> (2017) Abgerufen am: 08.08.2017.
- [33] HTW Berlin: Modelltypen: Business Architecture. <http://wi.f4.htw-berlin.de/users/stanierowski/aris/articles/modelltypen.html> (14.09.2016) Abgerufen am: 14.08.2017.
- [34] Lehmann, F.R.: Integrierte Prozessmodellierung mit ARIS. 1. aufl. edn. dpunkt Verl., Heidelberg (2008)
- [35] Object Management Group: Business Process Model & Notation™ (BPMN™): BPMN Resource Page. <http://www.omg.org/bpmn/> (2017) Abgerufen am: 31.12.2017.

- [36] Kocian, C.: Geschäftsprozessmodellierung mit BPMN 2.0: Business Process Model and Notation im Methodenvergleich (2011) Abgerufen am: 09.12.2017.
- [37] Berliner BPM Offensive: BPMN Poster. <http://www.bpmb.de/index.php/BPMNPoster> (2017) Abgerufen am: 12.10.2017.
- [38] Reichert, M.: Dynamische Ablaufänderungen in Workflow-Management-Systemen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades Dr. rer. nat. der Fakultät für Informatik der Universität Ulm. Disertation, Universität Ulm, Ulm (2000) Abgerufen am: 18.12.2017.
- [39] Rinderle, S.: Schema Evolution in Prozess-Management-Systemen. PhD thesis, Universität Ulm (2017) Abgerufen am: 18.12.2017.
- [40] AristaFlow GmbH: AristaFlow BPM Suit. <http://www.aristaflow.com/de/bpm-suite/ueberblick.html> (2017) Abgerufen am: 10.12.2017.
- [41] Prestel, F.: Prozessspezifikation für das Flottentelematiksystem der Hochschule Ulm. Master-projekt, Hochschule Ulm, Ulm (03.08.2009)
- [42] Wang, S.: Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook (2016) Abgerufen am: 20.09.2017.
- [43] Petrasch, R., Hentschke, R.: Process Modeling for Industry 4.0 Applications: Towards an Industry 4.0 Process Modeling Language and Method. IEEE, Piscataway, NJ (2016)
- [44] Panfilenko, D.: BPMN for Knowledge Acquisition and Anomaly Handling in CPS for Smart Factories. IEEE, Piscataway, NJ (2016)
- [45] Ruiz-Fernández, D.: Empowerment of Patients with Hypertension through BPM, IoT and Remote Sensing (2017)
- [46] Wombacher, A.: How Physical Objects and Business Workflows Can Be Correlated. In: Services Computing (SCC), 2011 IEEE International Conference on, IEEE (2011) 226–233





## **Anhang**



# Abbildungsverzeichnis

|      |                                                                           |    |
|------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Entwicklungsstufen der industriellen Revolution [2]                       | 7  |
| 2.2  | Zusammenarbeit der drei Sphären [6]                                       | 10 |
| 2.3  | CPS in der Industrie 4.0 [16]                                             | 12 |
| 2.4  | Komponenten der Industrie 4.0 [13]                                        | 13 |
| 2.5  | Prozentuales Ergebnis aus der Befragung der „Plattform Industri 4.0“ [19] | 16 |
| 2.6  | Prozentuales Ergebnis auf Basis PAC Studie [19]                           | 17 |
| 2.7  | Abstraktionsebenen im Meta-Modell [24]                                    | 21 |
| 2.8  | BPM Lebenszyklus [30]                                                     | 26 |
| 2.9  | ARIS-Haus [31]                                                            | 28 |
| 2.10 | Zentrale Elemente der Prozessmodellierung                                 | 32 |
| 2.11 | Beispielprozess für Catching- und Throwing-Ereignisse [36]                | 35 |
| 2.12 | Mögliche Varianten der Ad-hoc-Änderungen [38]                             | 37 |
| 2.13 | Prozessschema-Evolution mit Migration [39]                                | 38 |
| 3.1  | Hauptprozess des Telematik-Prozesses                                      | 48 |
| 3.2  | Tourenplanung                                                             | 49 |
| 3.3  | Lenkzeitabgleich                                                          | 51 |
| 3.4  | Touraktualisierung                                                        | 53 |
| 3.5  | Tourauswahl                                                               | 55 |
| 3.6  | Tourabwicklung                                                            | 56 |
| 3.7  | Auswahlprozess Haltepunkt                                                 | 57 |
| 3.8  | Entladestelle Teil 1                                                      | 60 |
| 3.9  | Scanvorgang                                                               | 61 |
| 3.10 | Entladestelle Teil 2                                                      | 62 |
| 3.11 | Beladestelle Teil 1                                                       | 63 |
| 3.12 | Beladestelle Teil 2                                                       | 64 |
| 3.13 | Beladestelle Teil 3                                                       | 66 |
| 3.14 | Vorschlag über eine verbesserte Tourabwicklung                            | 68 |
| 3.15 | Vorschlag für die Anpassung des Scanvorgangs                              | 69 |

## *Abbildungsverzeichnis*

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.16 Überprüfung von Ablehnungskriterien mithilfe von Sensordaten . . . . . | 69 |
| 4.1 Prozessmodell für die Datenakquise von Förderbändern anhand I4PML .     | 72 |
| 4.2 Ausnahmebehandlungsszenario bei der Wartung einer Gasturbine . . . .    | 73 |
| 4.3 Visualisierung der korrelierenden Komponenten . . . . .                 | 75 |
| A.1 Business Process Modelling and Notation Elemente [37] . . . . .         | 86 |

# Tabellenverzeichnis

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Beschreibung der fünf Sichten des ARIS-Hauses . . . . .           | 29 |
| 3.1 | Kriterien für die Beurteilung des Prozessverständnisses . . . . . | 41 |
| 3.2 | Informationen hinsichtlich der Tourelemente . . . . .             | 46 |

Name: Murat Catalkaya

Matrikelnummer: 669214

### **Erklärung**

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

Ulm, den .....

Murat Catalkaya