



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

Produktivitätssteigerung, Bestands- und Kostensenkung sowie  
Flexibilisierung in einer Tafelblechadjustage für Edelstahl durch  
Maßnahmen der Digitalisierung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihm  
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Dipl.-Ing. Univ. Dennis Weihrauch  
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,  
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

Matthias Karner  
1127551 (066/482)  
Bergensammgasse 14  
1130 Wien

Wien, im September 2016

---

Matthias Karner



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im September 2016

---

Matthias Karner



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um meine Dankbarkeit für all jene zum Ausdruck zu bringen, die mich im Laufe meines Studiums an der Technischen Universität Wien unterstützt haben.

In diesem Sinne möchte ich dem gesamten Team von BÖHLER Bleche meinen verbindlichsten Dank aussprechen. Während des Praxisteils wurde ich von vielen Mitarbeitern seitens BÖHLER Bleche unterstützt. Hierzu möchte ich namentlich Ing. Gottfried Engelbogen, Ing. Martin Friesenbichler, Dipl.-Ing. (FH) Michael Lackner, Karl Lechner, Ing. Bernhard Marcher und Michael Raunigg herzlichst danken. Im Speziellen seien Herr Dipl.-Ing. Horst Saiger sowie die beiden Geschäftsführer Herr Mag. Andreas Mirtl und Herr Dipl.-Ing. Helmut Ponemayr erwähnt. Herzlichen Dank für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit gemeinsam mit Ihrem Unternehmen durchführen zu dürfen. Es war eine Bereicherung für mich, mit Ihnen zusammengearbeitet zu haben.

Im Speziellen möchte ich mich auch bei meinen Betreuern bedanken. Seitens der Universität wurde ich von Herrn Dipl.-Ing. Univ. Dennis Weihrauch unterstützt, dem ich an dieser Stelle herzlichst für seinen Rat und seine tatkräftige Unterstützung danken möchte. Seitens BÖHLER wurde ich von Herrn Dipl.-Ing. Matthias Illmeier betreut. Auch dir, lieber Matthias, möchte ich an dieser Stelle herzlichst für deine Unterstützung danken.

Des Weiteren möchte ich mich herzlichst bei meiner Familie bedanken, die mich immer unterstützt hat. Namentlich möchte ich mich bei meiner Mutter, Erika Karner und meinem Vater, Ing. Andreas Karner, für ihre Unterstützung während meines gesamten Weges bedanken. Danke, dass ihr immer für mich da seid, ich bin sehr froh, so eine tolle Familie zu haben.

Meiner Partnerin Denise Hüttenbrenner, BSc (WU) möchte ich auch von ganzem Herzen danken – dafür, dass du mich während meines gesamten Studiums unterstützt hast und immer für mich da bist.

Abschließend soll auch das Team von Professoren und Vortragenden der Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften erwähnt werden, die mich dazu ermutigt haben, immer mein Bestes zu geben und mein Potential voll auszuschöpfen – meine Zeit an der Technischen Universität Wien wurde durch Ihre Vorträge bereichert. Besonders hervorheben möchte ich hierbei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Kurzfassung

Schlagwörter wie *Digitalisierung*, *Informationssysteme*, *das Internet der Dinge*, *eingebettete Rechnersysteme* oder auch *moderne Sensorik* scheinen seit den letzten Jahren omnipräsent geworden zu sein – nicht nur im Consumer Bereich, sondern auch in der Industrie, wobei der Terminus „Industrie 4.0“ diese Themen einschließt. Von diesem Begriff wird in der Praxis, aber auch in der Wissenschaft, sehr häufig Gebrauch gemacht – doch was bedeutet „Industrie 4.0“ konkret, welche Technologien umfasst diese vierte industrielle Revolution und wie können Industrieunternehmen einen Nutzen daraus ziehen? Diese Fragen werden in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen und an Hand eines Praxisprojektes mit der Firma BÖHLER Bleche genauer beleuchtet – mit Hilfe von Methoden der Digitalisierung sollen folgende Zielzustände für das Unternehmen erreicht werden:

- Erhöhung der Produktivität und Flexibilität
- Bestandsminimierung
- Kostensenkung

Als ersten Schritt wird der aktuelle Stand in der Literatur hinsichtlich Industrie 4.0 und Digitalisierung zusammengefasst. Danach wird die IST-Situation des Unternehmens abgebildet, da geeignete Konzepte nur dann entwickelt werden können, wenn die derzeitige Situation des Unternehmens verstanden wird. Daher werden zahlreiche Vor-Ort-Analysen durchgeführt – im Speziellen die Methoden der Wertstromanalyse und der Informationsflussanalyse. Ausgehend von dieser Modellierung des IST-Zustandes können Optimierungspotentiale identifiziert werden, die in einem nächsten Schritt qualitativ und quantitativ bewertet werden. Die vielversprechendsten Potentiale werden dann zu zwei Konzepten der Digitalisierung umgewandelt – das Konzept der Maschinendatenerfassung sowie das Konzept des Trackings von Materialflüssen. Auch werden dem Unternehmen Auswertungshilfen zur Verfügung gestellt, die entstehende Datenmassen in kumulierter Weise visualisieren und so Entscheidungen seitens BÖHLER Bleche vereinfachen. Abschließend erfolgt eine wirtschaftliche Bewertung der Konzepte, sowie die Bildung einer Handlungsempfehlung zur effizienten Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass Konzepte der Industrie 4.0 die zuvor definierten Zielgrößen für das Unternehmen BÖHLER Bleche positiv beeinflussen – so können, beispielsweise, die Produktivität und die Flexibilität gesteigert und eine Kostensenkung von über EUR 34.000,00 pro Monat erreicht werden.

**Schlüsselwörter:** Digitalisierung, Industrie 4.0, Wertstromanalyse, Informationsflussanalyse, Optimierung, stahlverarbeitende Industrie;



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Abstract

Keywords such as *digitalisation*, *information systems*, the *Internet of Things*, *embedded systems* as well as *modern sensor systems* have become ubiquitous topics over the past years – not only when it comes to the consumer sector but also when talking about the industry sector. In the latter sector the terminology „*Industrie 4.0*“ is used when talking about the aforementioned keywords. This term is often used in the field and in academia – however, questions arise such as what does *Industrie 4.0* really mean; which technologies are part of the fourth industrial revolution and in what ways can a company operating in the industry sector make use of it? These questions will be picked up in this academic paper and light will be shed on it by looking at an in-field project which is carried out with the company BÖHLER Bleche – with the help of some methods of digitalisation the following goals should be reached for the company:

- Increased productivity and flexibility
- Decrease of stocks
- Decrease of costs

As a first step, the existing literature with regards to *Industrie 4.0* and digitalisation is reviewed. Afterwards, the current situation of the company will be analysed as feasible concepts can only be developed if the company and its structures are understood. Thus, on-location analyses are carried out by using methods such as the value stream mapping method and an information stream method. The analysis of the current situation is used as a basis for identifying different potentials for improvement which are evaluated quantitatively and qualitatively. The most promising potentials are then translated into two different concepts of digitalisation. What is more, the company is provided with some guidelines that help them better evaluate value streams and thus make decisions easier. As a last step, a recommended course of action is developed in order to carry out the concepts in the most efficient manner. The paper shows that concepts of *Industrie 4.0* positively influence the aforementioned goals of the company – the productivity and flexibility, for example, can be increased with the help of the developed concepts and costs can be decreased by EUR 34,000 per month.

**Keywords:** digitalisation, Industrie 4.0, Value Stream Mapping, Information Stream Mapping, optimization, steel industry;

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1	Vorstellung von BÖHLER Bleche GmbH & Co KG	3
2	Ziele der Arbeit	3
3	Konkretisierung der Aufgabenstellung	4
4	Wissenschaftstheoretische Grundpositionen	5
<b>II</b>	<b>Theorieteil</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Theoretische Begriffsabgrenzung</b>	<b>8</b>
5.1	Automatisierungspyramide . . . . .	8
5.2	Ein- und Mehrmandantensystem . . . . .	9
5.3	FIFO . . . . .	10
5.4	Go and See Planung . . . . .	10
5.5	Horizontale und vertikale Integration . . . . .	10
5.6	Industrie 4.0 . . . . .	11
5.7	Instandhaltung / Maintenance . . . . .	11
5.8	KAIZEN . . . . .	12
5.9	Laufkarte . . . . .	12
5.10	Muda . . . . .	12
5.11	Push- und Pull-Prinzip . . . . .	12
5.12	Swim-Lane Diagramm . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Aktueller Stand in der Industrie bezüglich Digitalisierung</b>	<b>14</b>
6.1	Entwicklungen zur Industrie 4.0 . . . . .	14
6.2	Industrie 4.0 – theoretische Begriffsabgrenzung . . . . .	17

6.3	Forschungsbereiche der Industrie 4.0 . . . . .	19
6.3.1	Cyber-Physical-Systemes . . . . .	19
6.3.2	Internet of Things . . . . .	24
6.3.3	Smart Maintenance . . . . .	26
6.3.4	Conclusio . . . . .	28
6.4	Technologieparadigmen der Industrie 4.0 . . . . .	28
6.5	Vorhandene Basistechnologien und Ansätze im Kontext der Industrie 4.0 .	30
6.5.1	Quick Response – QR-Code . . . . .	30
6.5.2	Radio-Frequency Identification – RFID und NFC . . . . .	31
6.5.3	Digitale Referenzierung und Materialtracking . . . . .	34
6.5.4	Mensch-Maschine-Schnittstellen und -Kommunikation . . . . .	37
6.5.5	Gamification . . . . .	39
6.5.6	Standardisierte Protokolle . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Theoretische Methodenbeschreibung</b>	<b>44</b>
7.1	Wertstromanalyse . . . . .	44
7.1.1	Produktfamilienbildung . . . . .	46
7.1.2	Kundenbedarfsanalyse . . . . .	46
7.1.3	Wertstromaufnahme . . . . .	47
7.1.4	Verbesserungspotentiale . . . . .	51
7.1.5	Conclusio . . . . .	51
7.2	Informationsflussanalyse . . . . .	52
7.2.1	Auswahl eines geeigneten Modells . . . . .	52
7.2.2	Bewertungsmöglichkeiten . . . . .	53
7.3	5-Why Analyse . . . . .	55
<b>III</b>	<b>Praxisteil</b>	<b>57</b>

<b>8</b>	<b>Analyse der IST-Situation</b>	<b>57</b>
8.1	Wertstromanalyse . . . . .	57
8.1.1	ABC-Analyse und Produktfamilienbildung . . . . .	57
8.1.2	Kundenbedarfsanalyse . . . . .	61
8.1.3	Wertstromaufnahme . . . . .	64
8.1.4	Wertstromaufnahme der Produktfamilie S6 . . . . .	65
8.1.5	Wertstromaufnahme der Produktfamilie T3 . . . . .	68
8.1.6	Kundentakt – Diskussion . . . . .	70
8.1.7	Verbesserungspotentiale . . . . .	74
8.2	Informationsflussanalyse . . . . .	77
8.2.1	Informationsflussanalyse – Auftragsabwicklung . . . . .	78
8.2.2	Informationsflussanalyse – Fertigungsablauf . . . . .	80
8.2.3	Verbesserungspotentiale . . . . .	82
8.3	Handlungsfelder . . . . .	82
<b>9</b>	<b>Ausarbeitung der SOLL-Situation</b>	<b>89</b>
9.1	Anlagenspezifische Maßnahmen der Digitalisierung . . . . .	90
9.1.1	Ideenbeschreibung MDE Richtmaschinen . . . . .	91
9.1.2	Ideenbeschreibung Schere 1 . . . . .	93
9.1.3	Zusammenfassung der Ideen – MDE . . . . .	94
9.1.4	Warenausgangslager . . . . .	96
9.2	Unternehmensweite Maßnahmen der Digitalisierung . . . . .	97
9.3	Überprüfung der Hypothesen . . . . .	100
9.3.1	Hypothese 1 . . . . .	100
9.3.2	Hypothese 2 . . . . .	103
9.3.3	Hypothese 3 . . . . .	105
9.4	Abgeleitetes Konzept . . . . .	106
9.4.1	Maschinendatenerfassung . . . . .	106
9.4.2	Datentechnisches Konzept der MDE . . . . .	108

9.4.3	Digitales Materialtracking . . . . .	110
9.4.4	Datentechnisches Konzept des digitalen Materialtrackings . . . . .	114
9.4.5	Auswertungshilfen . . . . .	116
9.4.6	Synergieeffekte und Conclusio . . . . .	124
<b>10</b>	<b>Ergebnisse – Handlungsempfehlung</b>	<b>126</b>
10.1	SOLL-Konzeptzusammenfassung . . . . .	126
10.1.1	Hardwareempfehlungen . . . . .	127
10.2	Handlungsempfehlung zur Konzeptumsetzung . . . . .	130
10.2.1	Maschinendatenerfassung . . . . .	130
10.2.2	Materialtracking . . . . .	131
10.3	Kosten-Nutzen-Betrachtung . . . . .	132
10.3.1	Investitionskosten . . . . .	132
10.3.2	Einsparungspotentiale . . . . .	133
10.3.3	Amortisationsrechnung . . . . .	134
10.3.4	Investitionssicherheit . . . . .	136
10.4	SOLL-IST-Vergleich . . . . .	136
<b>IV</b>	<b>Resümee, abschließende Betrachtung und Ausblick</b>	<b>138</b>
<b>V</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>141</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>141</b>
<b>12</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>146</b>
<b>13</b>	<b>Formelverzeichnis</b>	<b>148</b>
<b>14</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>148</b>
<b>15</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>149</b>

<b>VI</b>	<b>Appendix</b>	<b>152</b>
<b>A</b>	<b>Kundenbedarfe der Vorjahre</b>	<b>152</b>
A.1	Kundenbedarf 2015 . . . . .	152
A.2	Kundenbedarf 2014 . . . . .	152
A.3	Kundenbedarf 2013 . . . . .	153
<b>B</b>	<b>Wertstromanalyse – Prozessbeschreibungen</b>	<b>156</b>
B.1	Prozessbeschreibungen Wertstromaufnahme S6 . . . . .	156
B.2	Prozessbeschreibungen Wertstromaufnahme T3 . . . . .	161
<b>C</b>	<b>Bestandsbewertungstabelle</b>	<b>166</b>
<b>D</b>	<b>Ausgewählte Hardware</b>	<b>168</b>
D.1	Hardware zur Überprüfung der Hypothesen . . . . .	168
D.1.1	Schwingungslogger – Extech VB300 . . . . .	168
D.1.2	GPS-Tracker – Qstarz BT-Q1000eX 10Hz . . . . .	168
D.2	Hardware zur Konzeptumsetzung . . . . .	168
D.2.1	Schwingungssensorsystem . . . . .	168
D.2.2	NFC-System . . . . .	169

Es sei darauf hingewiesen, dass, um den Lesefluss nicht durch genderspezifische Formulierungen zu stören, sämtliche personenbezogenen Bezeichnungen geschlechtsneutral zu verstehen sind. Die vorliegende Arbeit verwendet dazu das generische Maskulinum (z.B. Mitarbeiter), wobei dies keinerlei Auskunft über das Geschlecht geben und keine implizite Diskriminierung des weiblichen Geschlechts darstellen soll. Dahingehend mögen sich Frauen und Männer gleichermaßen angesprochen fühlen.

## Teil I

# Einleitung

Die Kernaufgabe dieser Arbeit ist es, die Grundlage für ein Investitionsprojekt des Unternehmens BÖHLER Bleche GmbH & Co KG zu legen. Im Zuge dessen sollen Methoden diskutiert und konkretisiert werden, die zu einer Verringerung der Durchlaufzeiten und Bestände führen, sowie die Flexibilität in der Produktion erhöhen. Dabei werden im Speziellen Maßnahmen der Digitalisierung verwendet, die ihrerseits einen inhärenten Faktor von Industrie 4.0 darstellen.

Dazu untergliedert sich die vorliegende Arbeit in sechs Teile. Der Hauptteil wird dabei vom Theorie- und Praxisteil gebildet. Im ersteren werden die theoretischen Grundlagen gebildet, indem aus der Literatur Methoden abgeleitet und diskutiert werden. Im darauf folgenden Praxisteil werden die theoretisch erarbeiteten Konzepte praktisch umgesetzt und für die Analyse der vorhandenen Strukturen von BÖHLER Bleche verwendet, sowie zur Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen eingesetzt.

Im aktuellen Teil werden, nach einer kurzen Vorstellung des Unternehmens, zunächst die Ziele und die Aufgabenstellung der Arbeit konkretisiert und anschließend wissenschaftstheoretische Grundpositionen dargestellt. In Abbildung 1.1 ist die Strukturierung der vorliegenden Arbeit visualisiert.

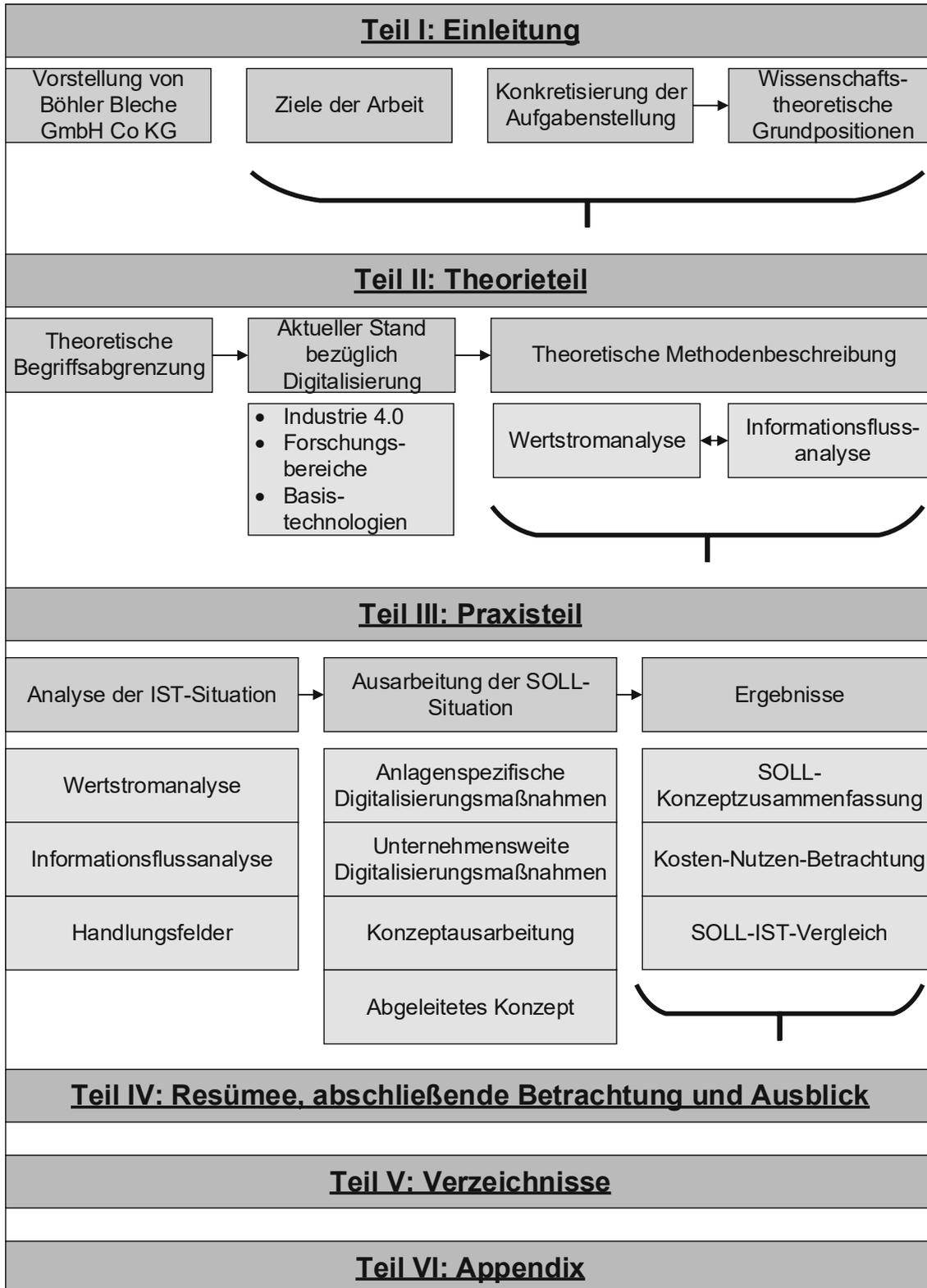


Abbildung 1.1: Strukturierung der Arbeit

# 1 Vorstellung von BÖHLER Bleche GmbH & Co KG

BÖHLER Bleche zählt zu den weltweit führenden Herstellern von kreuzgewalzten Edelstahlblechen. Das Unternehmen ist eine Tochtergesellschaft des voestalpine Konzerns und wird dort in der Special Steel Division eingeordnet. Die Produktpalette des 1991 in der heutigen Form gegründeten Unternehmens, reicht von Schnellarbeitsstählen und Werkzeugstählen, über pulvermetallurgische Stähle, Luftfahrtwerkstoffe bis hin zu Sonderwerkstoffen und Pressblechen. Dabei werden die Produkte sowohl als Halbzeuge, wie auch als Belchzuschnitte vertrieben. Die jährliche Produktion beläuft sich, im ca. 500 Mitarbeiter starken Betrieb, auf rund 24.000 Tonnen, wobei die Exportquote 98% ausmacht. Daraus resultiert ein Jahresumsatz von ca. 140 M€.<sup>1</sup> Der Produktionsstandort von BÖHLER Bleche unterteilt sich in zwei örtlich getrennte Bereiche. In Hönigsberg befindet sich das Warmwalzwerk, wo der eigentliche Walzvorgang stattfindet, und in Mürtzschlag befinden sich Hauptgebäude, Adjustage und Versand. Die Standorte sind historisch gewachsen und durch zahlreiche vorangegangene Optimierungen und Investitionen geprägt. Die vorliegende Arbeit ist auf die Analyse und Optimierung des Standortes Mürtzschlag ausgerichtet, wengleich die erarbeiteten Konzepte adaptiert auch für den Standort in Hönigsberg eingesetzt werden können.

## 2 Ziele der Arbeit

Die im Laufe der Arbeit erstellten Konzepte und Maßnahmen dienen dazu, die folgenden Ziele zu erreichen:

1. Gewinnung eines Überblicks über den aktuellen Stand der Industrie hinsichtlich Digitalisierung
2. Minimierung der Umlaufbestände und Reduzierung der Durchlaufzeit
3. Produktivitätssteigerung
4. Flexibilisierung
5. Kostensenkung

Im Vorfeld der Durchführung der vorliegenden Arbeit wurde mit BÖHLER Bleche eine Diskussionsgrundlage gebildet, anhand derer zunächst die hier dargestellten Ziele abgeleitet wurden. Aus den erwähnten Zielen lassen sich direkt Tätigkeiten ableiten, die in einem Exposé zusammengefasst wurden.

<sup>1</sup>vgl. <http://www.bohler-bleche.com>

Um das erste Ziel zu erreichen, wird eine Literaturrecherche durchgeführt, die sich auf die Verwendung von Primärliteratur und dem Einsatz von Sekundärliteratur stützt. Da Industrie 4.0 derzeit ein in vielen Bereichen diskutiertes Thema ist und Digitalisierung ein wichtiges Teilkonzept der Industrie 4.0 bildet, wird der Fokus der Literaturrecherche auf diesen Bereich gelegt.

Die Ziele zwei bis fünf stehen in einem Konflikt miteinander und können grundsätzlich mit dem, in der Literatur oft verwendeten, Konzept des Zeit-Qualität-Kosten Spannungsfeldes verglichen werden. Die unabhängige Optimierung aller Ziele ist nicht möglich, da teilweise Konflikte aber auch Synergieeffekte zwischen den Zielgrößen bestehen. Deshalb müssen die Ziele zwei bis fünf in einer holistischen Sichtweise betrachtet und optimiert werden.

Um die Zielsetzungen weiter zu detaillieren und bessere Transparenz über die Aufgabeninhalte der vorliegenden Arbeit zu erhalten, wurden folgende Nicht-Ziele definiert:

1. Anlagentechnische Optimierung
2. Änderung von Arbeitsplänen

### 3 Konkretisierung der Aufgabenstellung

Zunächst sind aus einer umfangreichen Literaturrecherche theoretische Grundlagen zu bilden und Methoden zu extrahieren, auf denen in weiterer Folge der Praxisteil aufbauen soll.

Im nächsten Schritt, dem Praxisteil der Arbeit, werden zunächst die unternehmensspezifischen Gegebenheiten von BÖHLER Bleche analysiert, um den IST-Zustand darzustellen und Optimierungspotentiale aufzudecken. Dafür wird zu Beginn eine Wertstromanalyse durchgeführt, die die Material- und Informationsflüsse innerhalb des Wertschöpfungsprozesses transparent visualisiert. Aus dieser ersten Analyse werden neben der Visualisierung auch Daten bezüglich der Bestände, sowie Durchlaufzeiten, abgeleitet und Handlungsbedarfe identifiziert. Dafür ist eine detaillierte Betrachtung aller Prozessschritte notwendig. Um die Prozessschritte selbst untersuchen zu können, werden implizit vor allem Lean-Methoden verwendet. Des Weiteren wird eine Informationsflussanalyse durchgeführt, die die innerbetriebliche Kommunikation transparent darstellen soll. Dabei wird speziell auf den Auftragsablauf bzw. auf die Informationsflüsse während der Fertigung, unter Berücksichtigung ihrer inhärenten Wechselwirkungen, eingegangen. Abschließend werden die Ergebnisse der Analysen anhand von Kenngrößen zusammengefasst. Nach der Analyse des Ausgangszustandes und der Aufnahme der IST-Daten, wird eine SOLL-Situation

ausgearbeitet. Aus der Literatur werden dazu Maßnahmen identifiziert und adaptiert, um Optimierungsmaßnahmen durchführen zu können. Dabei werden konkrete Probleme und Verbesserungspotentiale, die in der IST-Analyse aufgedeckt wurden, adressiert. Während der Ausarbeitung der SOLL-Situation werden die, in „Ziele der Arbeit“ dargestellten, Zielgrößen bestmöglich berücksichtigt und optimiert – sowohl hinsichtlich qualitativer und auch quantitativer Gesichtspunkte.

Abschließend wird aus den erarbeiteten Konzepten des Theorie- und Praxisteils eine Handlungsempfehlung für BÖHLER Bleche erstellt.

## 4 Wissenschaftstheoretische Grundpositionen

Die Ontologie beschreibt metaphysische Annahmen und beschäftigt sich mit der Logik des Seins, sowie der Realität. Die vorliegende Arbeit verwendet als ontologische Grundposition einen mechanistisch-reduktiven Ansatz, der nicht-probabilistische Kausalitätsbeziehungen postuliert. Damit wird inhärent antizipiert, dass jeder Vorgang einen Zweck und eine Ursache besitzt. Im Reduktionismus wird davon ausgegangen, dass eine Rückführung von Theorien und Gesetzmäßigkeiten auf kausal-deterministische Ereignisse möglich ist. Dazu wird David Hume's Definition von Kausalität verwendet, die von folgenden Annahmen ausgeht:<sup>2</sup>

1. Die Ursache X geht der Wirkung Y chronologisch voraus.
2. Wenn die Ursache X auftritt, dann wird auch die Wirkung Y auftreten.
3. Die Ursache X und die Wirkung Y treten innerhalb eines zeitlich begrenzten Intervalls auf.

Des Weiteren wird festgelegt, dass die Realität durch Modelle dargestellt werden kann. Dadurch wird die Komplexität der vorhandenen Informationen reduziert und in einer vereinfachten Form zugänglich und determinierbar gestaltet.

Die Epistemologie ist die theoretische Basis, die beschreibt, wie man zu Wissen und Verständnis gelangt. Sie knüpft direkt an die Ontologie an und geht von der Verwendung logischer Argumentationsregeln aus, die auf Propositionen und Startpositionen beruhen. Als epistemologische Vorgehensweise wird ein deduktiver Ansatz gewählt, wobei der Schluss vom Allgemeinen auf das Spezielle vollzogen wird – theoretische Grundannahmen werden spezialisiert und auf ein konkretisiertes Problem angewandt.

---

<sup>2</sup>vgl. Norreklit, 2000, S. 70

Die Methodologie steht in Verbindung mit einem System aus Methoden und konkretisiert die Prinzipien, die beschreiben, wie die Methoden angewendet werden. In der vorliegenden Arbeit wird ein System aus empirisch verifizierten Methoden verwendet. Es werden sowohl qualitative als auch quantitative Methoden eingesetzt, die ihrerseits aus der Literatur abgeleitet werden. Dabei stützt sich die Literaturrecherche auf Primär- und Sekundärliteratur. Das verwendete methodologische System ist in Abbildung 4.1 visualisiert und stellt die Methodenblöcke und deren Interrelationen dar.

Der Abschnitt „Analyse der IST-Situation“ beschäftigt sich mit dem Modellieren des aktuellen Zustandes des Wertschöpfungsprozesses von BÖHLER Bleche. Dazu werden zunächst geeignete Produktgruppen ausgewählt, die den Wertschöpfungsprozess bestmöglich abbilden (ABC-Analyse). Des Weiteren werden die Bearbeitungsreihenfolgen eruiert, wodurch eine schnelle Durchführung der Analyse gewährleistet werden kann. Parallel zur Wertstromanalyse wird eine Informationsflussanalyse durchgeführt, die auf Daten aus dem SAP-System aufbaut und den Integrationsgrad der innerbetrieblichen Informationssysteme aufzeigen soll. Beide Analysen laufen zu einem Knotenpunkt zusammen, woraus der IST-Zustand zusammengefasst und visualisiert wird, um einen Überblick über die Ausgangssituation zu erhalten – es erfolgt eine qualitative und quantitative Bewertung identifizierter Handlungsfelder. Im Theorieteil der Arbeit wird eine Literaturrecherche durchgeführt, aus der einerseits Definitionen bestimmt werden und andererseits Methoden abgeleitet werden. Letztere betreffen sowohl die IST-Analyse, als auch die darauf anschließende Ausarbeitung des SOLL-Zustandes. Somit stellt der Theorieteil die Schnittstelle zwischen dem IST- und dem SOLL-Zustand dar.

Im Abschnitt „SOLL-Zustand“ werden die Daten aus dem IST-Zustand aufgegriffen und aus der Literatur identifizierte und adaptierte Methoden verwendet, um einen konkreten Zielzustand zu erarbeiten. Die sich daraus ergebenden Konzeptideen werden bewertet und konkretisiert, woraus ein SOLL-Zustand entsteht. Dieser wird im Abschnitt „Ergebnisse“ zusammengefasst und dem „IST-Zustand“ anhand von kostentechnischen Betrachtungen gegenübergestellt. Abschließend wird eine Handlungsempfehlung abgeleitet, die aufzeigt, wie BÖHLER Bleche den SOLL-Zustand am effizientesten erreichen kann.

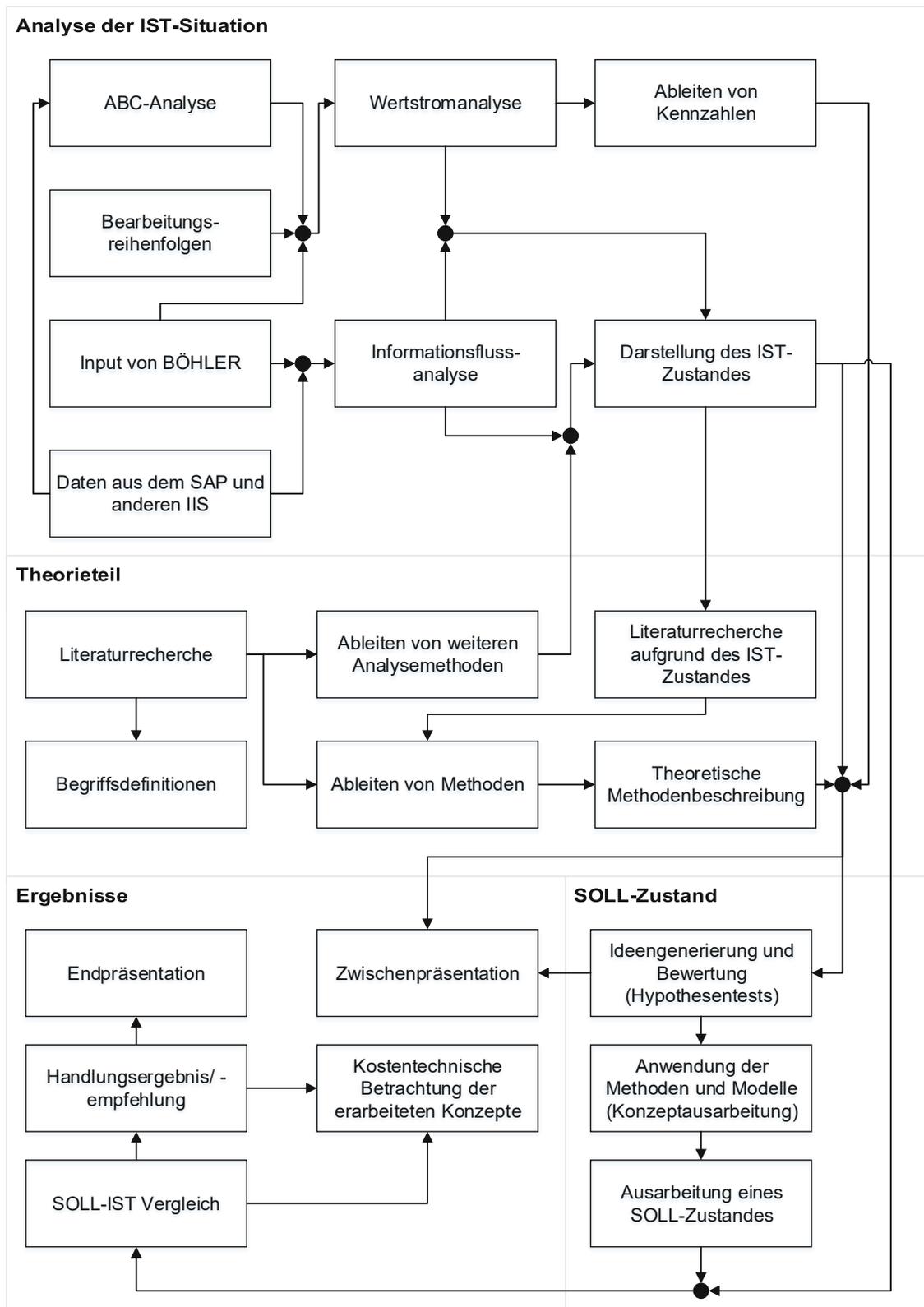


Abbildung 4.1: Methodologische Interrelationen der Arbeit

## Teil II

# Theorieteil

Nach der Definition der verwendeten Begrifflichkeiten werden die aktuellen Entwicklungen hinsichtlich Digitalisierung und Industrie 4.0 diskutiert und der aktuelle Stand in Forschung und Praxis modelliert. Abschließend werden die aus der Literatur identifizierten Methoden definiert und besprochen, um die theoretische Basis für den Praxisteil zu bilden.

## 5 Theoretische Begriffsabgrenzung

### 5.1 Automatisierungspyramide

Die Automatisierungspyramide,<sup>3</sup> dargestellt in Abbildung 5.1, ist ein Konzept zur Visualisierung von industriellen Informationssystemen.

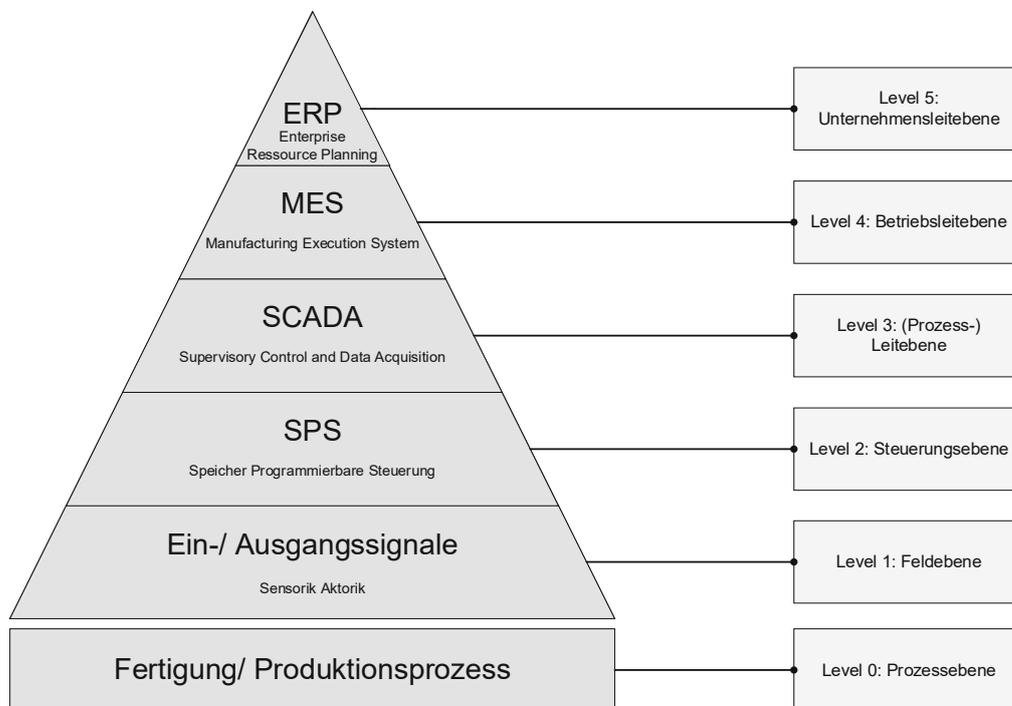


Abbildung 5.1: Automatisierungspyramide

<sup>3</sup>vgl. DIN 62264:2012-01

Die Automatisierungspyramide besteht aus insgesamt sechs Ebenen, die in der Abbildung als Level bezeichnet werden, da man in diesem Kontext oft auch vom Automatisierungslevel spricht. Die Spitze der Pyramide, bzw. Level 5, wird repräsentiert durch die Unternehmensleitebene. Das Informationssystem des höchsten Levels ist das Enterprise Resource Planning. Level 4 wird durch das Manufacturing Execution System repräsentiert, das in der hierarchischen Unternehmensstruktur als Betriebsleitebene eingeordnet werden kann. Die Prozessleitebene (Level 3) wird informationstechnisch durch das SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) repräsentiert. Auf Level 2 befindet sich die Steuerungsebene, die ihrerseits durch SPS-Systeme dargestellt wird. Auf der untersten Ebene der Hauptpyramide (Level 1) befindet sich die Feldebene, die datentechnisch durch Eingangs- und Ausgangssignale repräsentiert wird. Unter dieser Pyramide befindet sich schließlich der eigentliche Fertigungs- bzw. Produktionsprozess (Level 0).

Das Konzept der Automatisierungspyramide visualisiert auf einfache Art und Weise die hierarchische Strukturierung eines produzierenden Unternehmens. Dabei verknüpft es die jeweilige Hierarchieebene mit Softwaresystemen bzw. Daten.

## 5.2 Ein- und Mehrmandantensystem

Im Kontext von Informationssystemen dient der Begriff Mandant der Beschreibung von Datenbanken und deren Verwaltungssystemen. Dabei bilden Mandanten organisatorisch, betriebswirtschaftlich und datentechnisch abgeschlossene Einheiten ab, die einer Abbildung gleichartiger oder ähnlicher IT-Strukturen entsprechen.<sup>4</sup>

Die Spezifikationen eines Mandanten zeichnen sich durch ein eigenes betriebswirtschaftliches Datenumfeld aus. Zudem besitzt ein Mandant eigene Stamm-, Bewegungs- aber auch Benutzerdaten – die mandantenabhängigen Daten. Wenngleich sich die Daten (hinsichtlich ihres Inhalts) von Mandant zu Mandant unterscheiden, so ähneln sie sich hinsichtlich ihrer Struktur. Des Weiteren gibt es aber auch mandantenunabhängige Daten, die für alle Mandanten gleich sind, wobei für diese Datenart auch der Begriff Repository verwendet wird.

Aus diesen Definitionen heraus wird klar, was Ein- und Mehrmandantensysteme voneinander unterscheidet. Erstere zeichnen sich dadurch aus, dass sie, wie der Begriff zu erkennen gibt, nur aus einem Mandanten bestehen. Somit fällt die Unterscheidung zwischen mandantenabhängigen und -unabhängigen Daten weg, wodurch sich in komplexen Systemen, mit zahlreichen Nutzern, der administrative Aufwand deutlich erhöht. Mehrmandantensysteme hingegen (z.B. SAP im voestalpine Konzern) bilden eine IT- oder Da-

<sup>4</sup>z.B. die IT-Systeme eines Konzerns mit mehreren Tochterfirmen

tenbankstruktur aus mehreren Subsystemen ab, die eigene Datensätze besitzen, dabei aber auf ein gemeinsames Datenreservoir zugreifen können. Dadurch wird eine zentralisierte Administration der Systeme ermöglicht.<sup>5</sup>

### 5.3 FIFO

FIFO (First In First Out) bezeichnet ein Reihenfolge der Abarbeitung von Aufträgen oder spezifiziert eine Form der Lagerung von Halbzeugen, Teilen und Artikeln. Das Charakteristikum von FIFO ist, dass Güter einen Prozess in der selben Reihenfolge verlassen, in dem sie auch angekommen sind. Dadurch wird gewährleistet, dass sich gewisse Güter nicht über einen langen Zeitraum an einem Arbeitsbereich, oder in einem Lager anhäufen. Somit können die Bestände auf einem konstant niedrigem Niveau gehalten werden und das Liegenbleiben gewisser Güter, oder gar ganzer Lose, kann vermieden werden.

### 5.4 Go and See Planung

Go and See Planung ist eine Form der operativen Produktionsplanung, die auf ad hoc Entscheidungen basiert. Dabei trifft der zuständige Meister, Teamleiter oder koordinierende Gruppenleiter produktionsrelevante Entscheidungen vor Ort und unter Berücksichtigung der vorhandenen Gegebenheiten. Diese Entscheidungen sind meist von subjektiven Einschätzungen geprägt, ermöglichen aber bei komplexen Systemen eine gewisse Flexibilität. Grundsätzlich ist die Go and See Planung dennoch als negativ zu bewerten, da oft eine holistische Sichtweise auf das Produktionssystem fehlt und die Entscheidungen zu subjektiven, punktuellen Verbesserungen führen, jedoch gesamtbetrieblich oft keine Optima darstellen.

Der Begriff stammt aus dem Bereich des Qualitätsmanagements – im Speziellen wird er im Wertstromdesign verwendet. In Wertstromdiagrammen wird die Go and See Planung durch ein Brillensymbol visualisiert.

### 5.5 Horizontale und vertikale Integration

Kagermann et al. definieren die beiden Integrationsarten folgendermaßen:<sup>6</sup>

**Horizontale Integration** bezeichnet die Integration verschiedener IT-Systeme, unterschiedlicher Prozessschritte, entlang derselben Hierarchieebene. Das beinhaltet einerseits die innerbetriebliche IT-Integration, der für den Material- und Informationsfluss notwendigen

<sup>5</sup>Wachter & Zaelke, 2014, S. 5f.

<sup>6</sup>vgl. Kagermann *et al.*, 2013, S. 24 und S. 35f.

Informationssysteme und andererseits die Verknüpfung auch über Unternehmensgrenzen hinweg.

**Vertikale Integration** bezeichnet die Integration verschiedener IT-Systeme, über die einzelnen Hierarchiestufen hinweg. Das bedeutet z.B. die Verknüpfung von ERP und MES Systemen. Im Optimum bedeutet vertikale Integration eine holistische Integration entlang der vertikalen Dimension der Automatisierungspyramide.<sup>7</sup>

## 5.6 Industrie 4.0

Industrie 4.0<sup>8</sup> bezeichnet einerseits die vierte industrielle Revolution und ist andererseits die Markenbezeichnung eines deutschen Forschungsprojektes, das die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands (und des gesamten deutschsprachigen Raumes), unter Berücksichtigung der aktuellen Megatrends, sichern soll. I4.0 hat sich in den letzten Jahren zu einem eigenen Forschungszweig entwickelt, auf dessen Grundpositionen zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten aufbauen.

In der vorliegenden Arbeit wird auf diese Literaturlbasis, sowie auf die historische Entwicklung von Industrie 4.0, in detaillierter Form im Abschnitt „Aktueller Stand in der Industrie bezüglich Digitalisierung“ eingegangen.

## 5.7 Instandhaltung / Maintenance

Das Deutsche Institut für Normung (DIN) definierte Instandhaltung folgendermaßen:<sup>9</sup>

*Die industrielle Instandhaltung ist verantwortlich für die Planung, Organisation, Durchführung und Überwachung sämtlicher technischer und administrativer Abläufe zur Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung von Maschinen und Anlagen.*

Die Instandhaltung forciert evolutionäre Verbesserungsmaßnahmen und dient der präventiven Abwehr störender Einflüsse, sowie der Wiedererreichung der vollen Leistungsfähigkeit von Maschinen und Anlagen. Des Weiteren trägt die Instandhaltung die Verantwortung für den Erhalt und die Optimierung (Minimierung von Produktions- und Instandhaltungskosten) der Investitionsgüter und dient der Sicherstellung von Arbeitssicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Anlagen.<sup>10</sup>

<sup>7</sup>vgl. Abbildung 5.1

<sup>8</sup>hier und im Folgendem zum Teil auch als I4.0 gekennzeichnet

<sup>9</sup>DIN 31051:2012-09

<sup>10</sup>acatech, 2015, S. 12 und S. 29

## 5.8 KAIZEN

Der Begriff KAIZEN stammt aus dem Japanischen und ist eine Zusammensetzung aus KAI (Veränderung) und ZEN (Gut), was zusammengesetzt soviel bedeutet wie „Veränderung zum Guten“. Der Ausdruck wurde vom japanischen Qualitätswesen geprägt und ist heute ein Flügelwort für kontinuierliche Verbesserung im Rahmen eines permanenten PDCA-Kreislaufes. Im deutschsprachigen Raum ist auch die Bezeichnung KVP (kontinuierlicher Verbesserungsprozess) zu finden, die als Synonym zu KAIZEN zu verstehen ist.

## 5.9 Laufkarte

Der Begriff Laufkarte ist ein interner Begriff bei BÖHLER Bleche und bezeichnet einen A4 Zettel mit auftragsrelevanten Daten, der zur Steuerung der Prozesse und zur Beschreibung der jeweiligen Tätigkeiten verwendet wird. Des Weiteren sind die Laufkarten Qualitätsdokumente. Neben diesen A4 Zetteln befindet sich auch auf jedem Fertigungslos bzw. Auftrag eine kleine Blechtafel, die der Zuordnung der Laufkarte zu den Produkten dient und selbst auch bestimmte Daten (wie z.B. die Auftragsnummer) beinhaltet.

## 5.10 Muda

Muda ist das japanische Wort für Verschwendung und wurde von Taiichi Ōno geprägt, der im Rahmen der Entwicklung des Toyota Production Systems die sieben Arten der Verschwendung definierte:<sup>11</sup> Transport, Bestände, Bewegung, Wartezeiten, Überproduktion, falsche Technologie (oder Prozesse) und Ausschuss (bzw. Mehrarbeit).

## 5.11 Push- und Pull-Prinzip

Das **Push-Prinzip** bezeichnet ein Steuerungskonzept zur Produktionssteuerung, bei dem der Impuls zur Fertigung von einer zentralen Planungsstelle ausgelöst wird. Das Produkt wird dann durch den Produktionsbereich „geschoben“. Dabei sind Material- und Informationsfluss parallel und werden in die selbe Richtung geführt. Das Push-Prinzip ist charakterisiert durch lange Reaktionszeiten und hohe Bestände, die prinzipbedingte Nachteile darstellen.

Das **Pull-Prinzip** beschreibt ein Steuerungskonzept zur Produktionssteuerung, bei dem der Impuls zur Fertigung ausgehend vom Vertrieb bzw. vom Kunden ausgelöst wird. Das

<sup>11</sup>vgl. Ōno, 1988

Produkt wird dann durch den Produktionsbereich „gezogen“. Dabei sind Material- und Informationsfluss antiparallel und werden in die entgegengesetzte Richtung geführt. Durch das Pull-Prinzip erreicht man eine Synchronisation der Kundenbedarfe und der Fertigung, wodurch verschwendungsfrei produziert werden kann, indem Überproduktion vermieden wird.

## 5.12 Swim-Lane Diagramm

Ein Swim-Lane Diagramm dient der komprimierten Darstellung von Prozessflüssen. Dabei werden die Prozesse und ihre Relationen zueinander dargestellt und anhand von Bereichen, den Swim-Lanes, unterteilt. Des Weiteren können entscheidungsbedingte Verzweigungen visualisiert werden. In Abbildung 5.2 ist ein exemplarisches Swim-Lane Diagramm dargestellt.

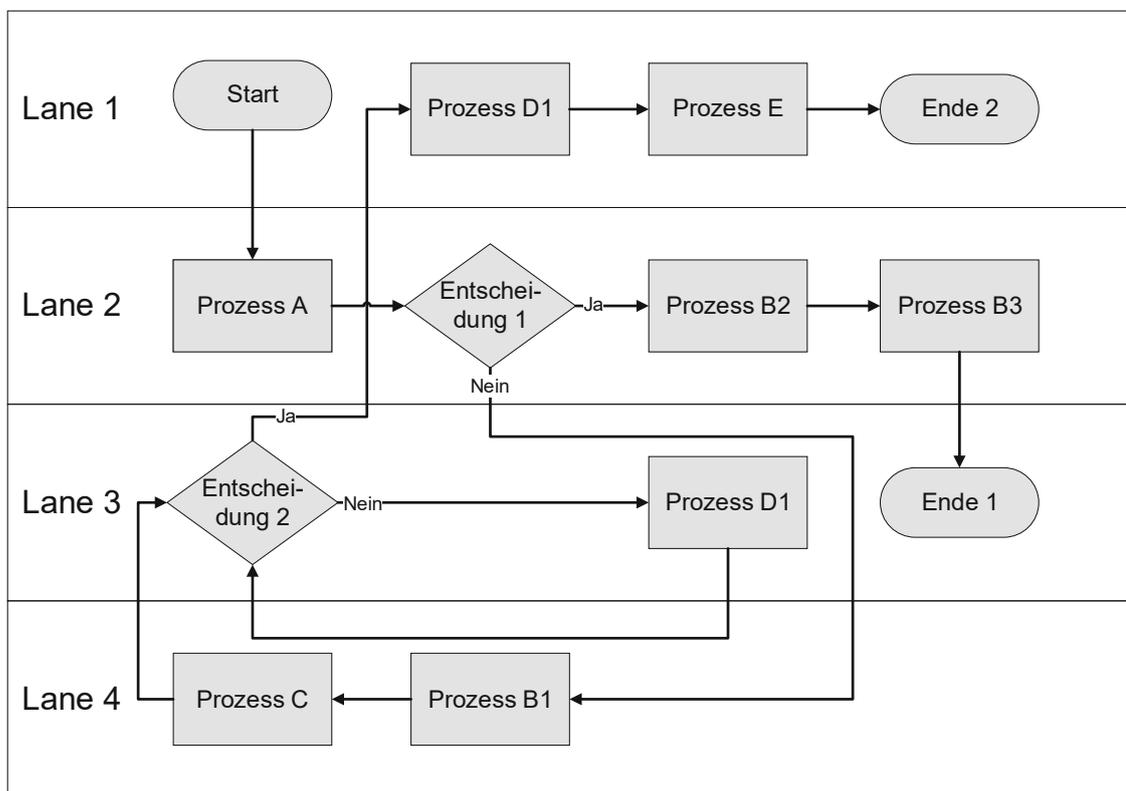


Abbildung 5.2: Swim-Lane Diagramm Beispiel

## 6 Aktueller Stand in der Industrie bezüglich Digitalisierung

Um den aktuellen Stand hinsichtlich Digitalisierung aufgreifen und diskutieren zu können, wird im vorliegenden Abschnitt speziell das Thema Industrie 4.0 beleuchtet, das derzeit einen omnipräsenten Status in der Industrie erreicht hat. Die diskutierten Modelle werden anschließend im Praxisteil der vorliegenden Arbeit zur Ausarbeitung einer SOLL-Situation verwendet, wobei die jeweiligen Konzepte, je nach Ausprägung des IST-Zustandes, adaptiert werden.

### 6.1 Entwicklungen zur Industrie 4.0

Wie ist es zu den aktuellen Entwicklungen bezüglich Industrie 4.0 gekommen? Um diese Frage beantworten zu können, müssen zunächst die Entwicklungen der Industrie seit der ersten industriellen Revolution betrachtet werden.

Die erste industrielle Revolution, zeitlich in der Mitte des 18. Jahrhunderts datiert, war charakterisiert durch das Auftauchen von Arbeits- und Kraftmaschinen. Getrieben durch den technologischen Fortschritt, ermöglichten Dampfmaschinen die Produktion von höheren Margen und führten zu einem wirtschaftlichen und sozialen Aufschwung. Die Bevölkerungszahlen explodierten förmlich und es kam zu einer Urbanisierung der Bevölkerung. Daran anschließend kam es Ende des 19. Jahrhunderts zur zweiten industriellen Revolution, die auf dem tayloristischen Prinzip der Arbeitsteilung und der erstmaligen Verwendung von elektrischer Energie in der Industrie basierte. Dadurch wurde die Massenproduktion von Gütern ermöglicht und es entstand die heutige Konsumgesellschaft. In dieser Zeit entwickelte Henry Ford das Prinzip der Fließbandfertigung weiter. Es kam zu einem weiteren Bevölkerungswachstum und es entstanden auch neue, durch die Revolution bedingte, soziale und politische Ausrichtungen, wie Gewerkschaften und Sozialdemokratie. Die dritte industrielle Revolution, die zeitlich etwa in den Sechzigern des vergangenen Jahrhunderts eingeordnet werden kann, wurde durch die steigende Leistungsfähigkeit von Elektrotechnik und Elektronik, sowie dem Aufkommen von Informationstechnologien ausgelöst. Diese Neuerungen ermöglichten die Automatisierung der Produktion und auch variantenreichere Serienproduktionen wurden durch Steuerungssysteme ermöglicht.<sup>12</sup>

Im Zuge der dritten industriellen Revolution und der mit ihr einhergehenden Automatisierung, sank der Anteil der Wertschöpfung am Bruttoinlandsprodukt. Viele Ökonomen

<sup>12</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 5ff.

waren der Auffassung, dass entwickelte Volkswirtschaften immer stärker zu Dienstleistungsgesellschaften werden und die Industrie einen ähnlichen Weg gehen würde, wie einst die Landwirtschaft. Diese Entwicklung kann man speziell in den USA, Frankreich, aber auch in Großbritannien beobachten. Eine Ausnahme stellt Deutschland mit einem Industrieanteil von rund 25 % dar. Während der Finanzkrise 2007/08 konnte jedoch beobachtet werden, dass eben dieser höhere Industrieanteil Deutschland eine schnellere Erholung aus den Krisenstrukturen ermöglichte.<sup>13,14</sup>

Nach der Krise wurde die Entwicklungstendenz, von einem Abbau der Industrie hin zu einer Erhöhung des Dienstleistungsanteils am BIP, überdacht. Aktuelle Studien kommen zu dem Schluss, dass auch hoch entwickelte Volkswirtschaften einen gewissen Industrieanteil benötigen, um langfristig erfolgreich zu sein. Begründet wird dies durch die Faktoren Produktivität, Innovation und Export, die speziell vom Industriesektor vorangetrieben werden und für eine erfolgreiche Volkswirtschaft äußerst bedeutsam sind.<sup>15</sup>

Derzeit omnipräsente Themen (Megatrends) sind Energie- und Materialwende, Recycling, sowie begrenzte Personalressourcen. Dazu kommen Faktoren, die die steigende Komplexität aufgrund einer Erhöhung der Kundenanforderungen hinsichtlich Produktvielfalt, Lieferfähigkeit und Verfügbarkeit betreffen. Die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist der Befähiger (Enabler) für all diese „Wenden“ in den Produktionsfaktoren. Des Weiteren stellt das Aufkommen von innovativen, leistungsstarken und miniaturisierten Rechnersystemen (in der Kombination mit der Allgegenwärtigkeit von Kommunikationssystemen) einen sehr bedeutenden technologischen Entwicklungsschritt dar. Das Internet der Dinge und Dienste, wie es bereits seit längerem im Consumer Bereich für Heimsteuerungssysteme angewandt wird, ist eine dieser zuvor genannten Entwicklungen, die auch große Potentiale für die Industrie versprechen. Leistungsfähige Kleincomputer können den meisten Objekten eine Form der künstlichen Intelligenz sowie Kommunikationsfähigkeit verleihen. Dadurch entstehen die sogenannten Smart Systems bzw. Smart Devices oder Cyber Physical Systems (CPS).<sup>16,17</sup> Dieser aktuelle technologische und kundenseitige Wandel, in Kombination mit den industriellen Veränderungen der letzten Jahrhunderte, ermöglichte schließlich die vierte industrielle Revolution – oder Industrie 4.0.

Die Veränderungen der letzten Jahrhunderte und ihre bedeutenden Entwicklungsschritte sind in Abbildung 6.1<sup>18</sup> visualisiert und zusammengefasst. Industrie 4.0 ist kein vorran-

<sup>13</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 8ff.

<sup>14</sup>Kagermann *et al.*, 2013, S. 71f.

<sup>15</sup>vgl. McKinsey, 2012

<sup>16</sup>vgl. 6.3.1 Cyber-Physical-Systemes

<sup>17</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 11ff.

<sup>18</sup>Kagermann *et al.*, 2013, S. 17f.

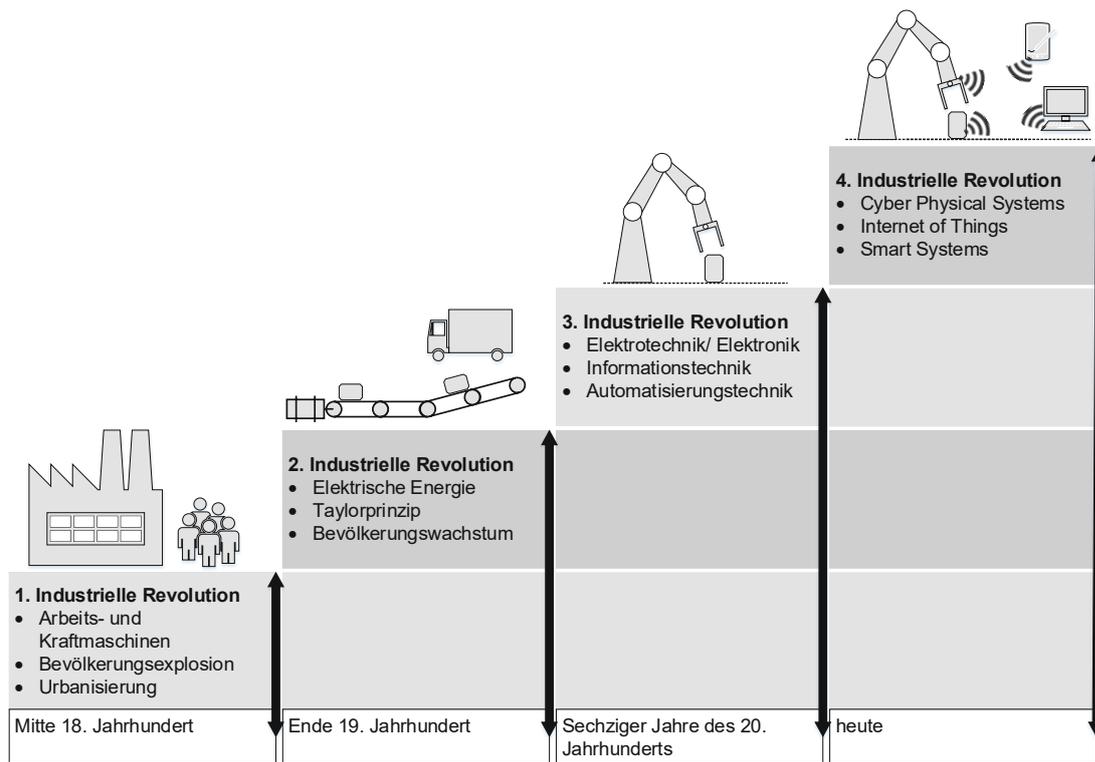


Abbildung 6.1: Industrielle Revolutionen der vergangenen Jahrhunderte

gig technologiebasiertes Thema, deren resultierende Anwendungsbeispiele hohe technische Komplexität und Investitionskosten bedingen. Die Basistechnologien, wie Auto-ID, eingebettete Systeme, breitbandige Netzwerke, Soft-SPS und auch OPC-UA sind bereits seit Jahren verfügbar. Bauernhansl et al. definieren in diesem Sinne Anwendungen der Industrie 4.0 folgendermaßen:<sup>19</sup>

*Der inhaltliche Kern von Industrie 4.0-Anwendungen ist die Ausschöpfung der Optimierungspotenziale, die sich heute und in Zukunft aus einer durchgängigen Informationsverarbeitung für die Produktion ergeben.*

Daraus lässt sich ableiten, dass der Kern von Industrie 4.0 durch eine durchgängige Vernetzung (horizontale und vertikale Integration<sup>20</sup>) von, zum Großteil bereits bekannten, Systemen dargestellt wird. Zu diesem Schluss kommen auch die Autoren der aktuellen Acatech-Studie zum Thema Smart Maintenance.<sup>21</sup>

<sup>19</sup>Bauernhansl et al., 2014, S. 59

<sup>20</sup>vgl. 5.5 Horizontale und vertikale Integration

<sup>21</sup>acatech, 2015, S. 18

## 6.2 Industrie 4.0 – theoretische Begriffsabgrenzung

Wir wissen nun, dass sich die Industrie 4.0 aus den sozialen Veränderungen der letzten Jahrhunderte entwickelt hat und moderne, technologische Konzepte aufgreift. Dabei ist Industrie 4.0 weder ein vorrangig technologiebasiertes Thema, noch eine radikale Revolution. Vielmehr sind die Veränderungen als evolutionärer Prozess anzusehen. Zu diesem Schluss kommen zahlreiche, aktuelle wissenschaftliche Arbeiten.<sup>22,23</sup>

In der Literatur finden sich zahlreiche Definitionen von Industrie 4.0 – so auch das im vorigen Abschnitt dargestellte Zitat von Bauernhansl et al. Eine anschauliches Rahmenwerk zur Definition von I4.0 kommt von Berlin, der die inhärenten Konzepte von Industrie 4.0 anhand von drei Säulen kategorisiert:<sup>24</sup>

1. **Intelligente Produkte** kennen ihre eigenen Eigenschaften und wissen z.B. auch wie sie gefertigt werden. Dabei ist es das langfristige Ziel, dass jeder Gegenstand ein virtuelles Modell über sich selbst besitzt, das in der Lage ist, alle äußeren Einflüsse und deren Auswirkungen darzustellen und gegebenenfalls an andere IT-Systeme weiterzugeben.<sup>25</sup>
2. **Intelligente Produktionssysteme:** Die Basis einer smarten Produktion stellen Cyber-Physical-Systems dar. Diese intelligenten Maschinen und Anlagen besitzen sowohl Kognitions-, als auch Kommunikationsfähigkeiten.<sup>26</sup>
3. **Intelligente Netzwerke:** Für Industrie 4.0 ist die Verbindung bzw. Kopplung der Daten aus unterschiedlichen Systemen eine essentielle Voraussetzung, um flexibel auf Änderungen im Produktionsprozess reagieren zu können. Dazu sind die intelligenten Produktionssysteme untereinander, sowie mit den intelligenten Produkten über IKT-Systeme verknüpft ⇒ smarte Netzwerke entstehen.

Diese Definition der Säulen von Berlin wird um weitere Rahmenfaktoren erweitert – die Organisation / Prozesse und den sozialen Rahmen. Beide Punkte stellen wichtige Teile der vierten industriellen Revolution dar, wenngleich sie in vielen der Definitionen in der Literatur vergessen werden:

4. **Organisation / Prozesse:** Durch die Konzepte der Industrie 4.0 muss sich die jeweilige Betriebsstruktur auf die dezentralen Systeme anpassen können und die Unmenge an Daten in geeigneter Form zugänglich machen. In diesem Zusammenhang

<sup>22</sup>u.a. acatech, 2015, S. 31

<sup>23</sup>vgl. Kagermann *et al.*, 2013, S. 23

<sup>24</sup>vgl. Berlin, 2015, S. 3ff.

<sup>25</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 57f.

<sup>26</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 37

ist das Management von Wissen ein sehr bedeutsamer Faktor. Des Weiteren sollen die Daten, die auf der untersten Ebene generiert werden, in vertikaler Richtung der Automatisierungspyramide weitergereicht werden. Dazu ist eine Kumulierung der Daten bzw. eine Aufbereitung der enthaltenen Informationen notwendig – so kann auch die Unternehmensleitebene in Echtzeit auf relevante Daten bzw. Kennzahlen zugreifen, die in den unteren Ebenen generiert werden. Die Organisation bedeutet aber auch die betriebliche Organisation der Produktionssysteme untereinander, also wie die einzelnen Prozesse aufeinander abgestimmt sind und miteinander interagieren.<sup>27,28</sup>

5. **Sozialer Rahmen:** Neben der Organisation sind auch soziale Rahmenbedingungen im Kontext von Industrie 4.0 von zentraler Bedeutung. In der Literatur besteht Konsens darüber, dass durch die Konzepte der vierten industriellen Revolution der Mensch nicht ersetzt werden soll. Im Gegensatz zum CIM Ansatz der 80er Jahre, soll Industrie 4.0 nicht zu menschenleeren Fabriken führen. Das Gegenteil ist der Fall, denn durch die Verwendung von CPS sollen die Tätigkeiten der Werker vereinfacht werden und deren Fokus wieder auf die ureigenen menschlichen Kompetenzen (Kreativität, Abstraktionsvermögen) gelegt werden – der Mensch wird zum qualifizierten Entscheider. Somit sind auch die menschlich-sozialen Rahmenbedingungen von zentraler Bedeutung für den Erfolg der vierten industriellen Revolution.<sup>29</sup>

Das Konstrukt baut auf einem Fundament aus technologiebasierten Elementen auf, die durch Automatisierung, Standardisierung, Einbettung, Digitalisierung und Vernetzung gekennzeichnet sind. Dabei stellt die Automatisierung den Ausgangspunkt (aus der dritten industriellen Revolution) dar und ermöglicht im Paradigma von Industrie 4.0 eine umfassende Datenerfassung. Standardisierung wird repräsentiert durch einheitliche Kommunikationsstandards und Schnittstellen zur Datenverarbeitung. Das Element Einbettung bezeichnet die sogenannten „embedded Systems“, die Kleincomputer darstellen und der Verschmelzung von Hard- und Software dienen. Das technologische Paradigma Digitalisierung ist die virtuelle Abbildung physischer Akteure und Warenflüsse und die Vernetzung bezeichnet, im Kontext von Industrie 4.0, die holistische Integration aller Teilsysteme, innerhalb eines industriellen Betriebes.<sup>30</sup>

Dieses, in den vorigen Absätzen erstellte, Konstrukt aus Säulen, Rahmen und dem Fundament von Industrie 4.0 ist in Abbildung 6.2 dargestellt und fasst die erarbeitete, theore-

<sup>27</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 572

<sup>28</sup>vgl. Bolick *et al.*, 2013

<sup>29</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 525ff.

<sup>30</sup>vgl. Berlin, 2015, S. 3

tische Begriffsabgrenzung visuell zusammen.

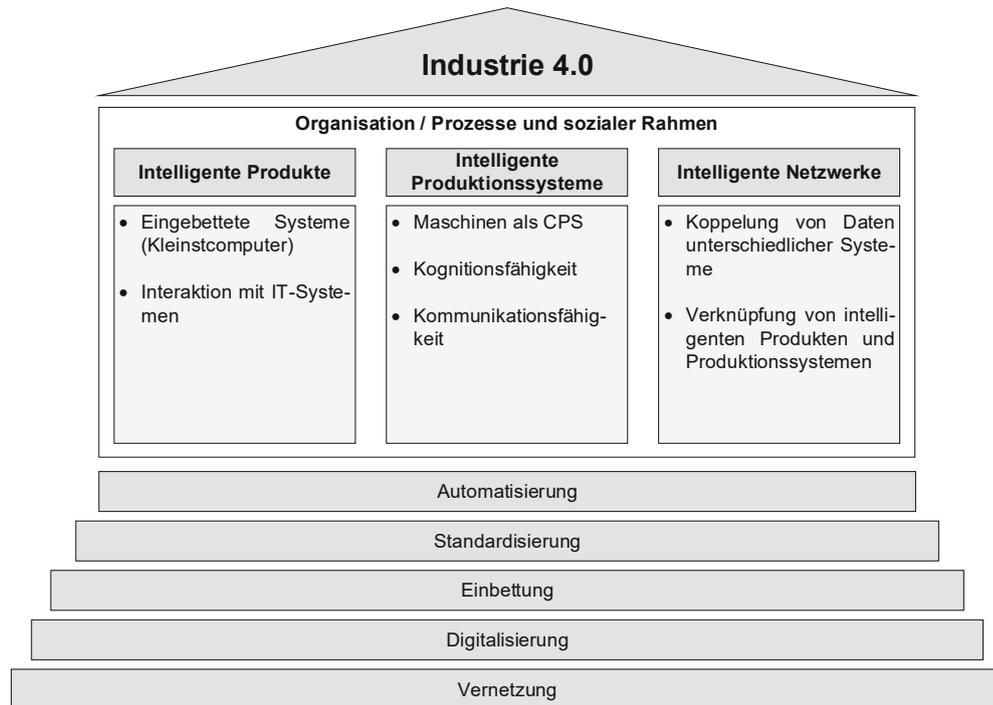


Abbildung 6.2: Visualisierung – Industrie 4.0

### 6.3 Forschungsbereiche der Industrie 4.0

Wie man aus den vorigen Abschnitten erkennen kann, hat sich Industrie 4.0 in den letzten Jahren zu einem vielschichtigen Forschungsfeld entwickelt, das auch die Themen Automatisierung, Vernetzung und Digitalisierung in einer inhärenten Form beinhaltet. Im vorliegenden Abschnitt werden Konzepte, dieser aktuellen Forschungsthemen, kurz zusammengefasst und diskutiert.

#### 6.3.1 Cyber-Physical-Systemes

CPS (cyber-physische Systeme oder auch Cyber Physical Systems) sind physische Systeme, die den Medienbruch zwischen realer und virtueller Welt aufheben. Der Begriff CPS wird nicht nur im Rahmen der Industrie verwendet, sondern dient allgemein der Bezeichnung von physischen Systemen, mit einer Form von künstlicher Intelligenz und Kommunikationsfähigkeit. Geisberger und Broy behandeln in ihrer Arbeit z.B. auch die Themen Smart Mobility und Smart Grid im Kontext von CPS.<sup>31</sup> Dennoch stellen CPS das Kernelement von Industrie 4.0 dar, ermöglichen erst das Konzept der intelligenten

<sup>31</sup>vgl. Geisberger & Broy, 2012

(smarten) Fabrik und lassen sich dabei in die Säule der intelligenten Produktionssysteme einordnen. Im industriellen Rahmen spricht man oft auch von sogenannten CPPS (Cyber Physical Production Systems).<sup>32</sup>

Geisberger und Broy definieren in der Acatech-Studie von 2012, CPS sehr allgemein als intelligente, physische Systeme, mit folgenden Spezifikationen:<sup>33,34</sup>

- CPS sind eingebettete Systeme zur Verschmelzung der physikalischen und virtuellen Welt, wobei integrierte Sensoren physikalische Daten erfassen und Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken.
- Sie bilden ein System aus Systemen, das Daten auswertet, speichert und für eine aktive oder reaktive Interaktion mit der realen Welt verwendet.
- CPS haben einen gewissen Grad an Kontextsensitivität und passen sich selbstständig auf eine sich ständig verändernde Umwelt an.
- Cyber-Physical-Systems organisieren sich dezentral und kooperieren miteinander, wobei sie Entscheidungen anhand aller verfügbaren Einflussgrößen selbstständig treffen und diese auch aufeinander abstimmen.
- CPS verfügen über eine Reihe an multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Geisberger und Broy verwenden diese Definition zur Darstellung der Entwicklungswege dieser Systeme und zum Aufzeigen ihrer benötigten Fähigkeiten. Die daraus gebildeten Dimensionen sind in Abbildung 6.3 visualisiert.<sup>35</sup>

**1. Dimension, Verschmelzung von physikalischer und virtueller Welt:** Die laufende Miniaturisierung und die stark steigende Rechnerleistung ermöglichen erst die Erstellung von CPS, wobei die Schwierigkeit nicht in der Entwicklung neuer Basistechnologien liegt, sondern in deren Kombination. Die notwendigen Fähigkeiten für die Verschmelzung sind:

- parallele Erfassung mittels Sensoren, Fusionierung und Verarbeitung physikalischer Daten der Umgebung (lokal, global und in Echtzeit)  $\Leftrightarrow$  physische Situationserkennung

<sup>32</sup>vgl. Almada-Lobo, 2016, S. 17

<sup>33</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 60ff.

<sup>34</sup>vgl. auch Vogel-Heuser *et al.*, 2012

<sup>35</sup>vgl. Geisberger & Broy, 2012, S. 96

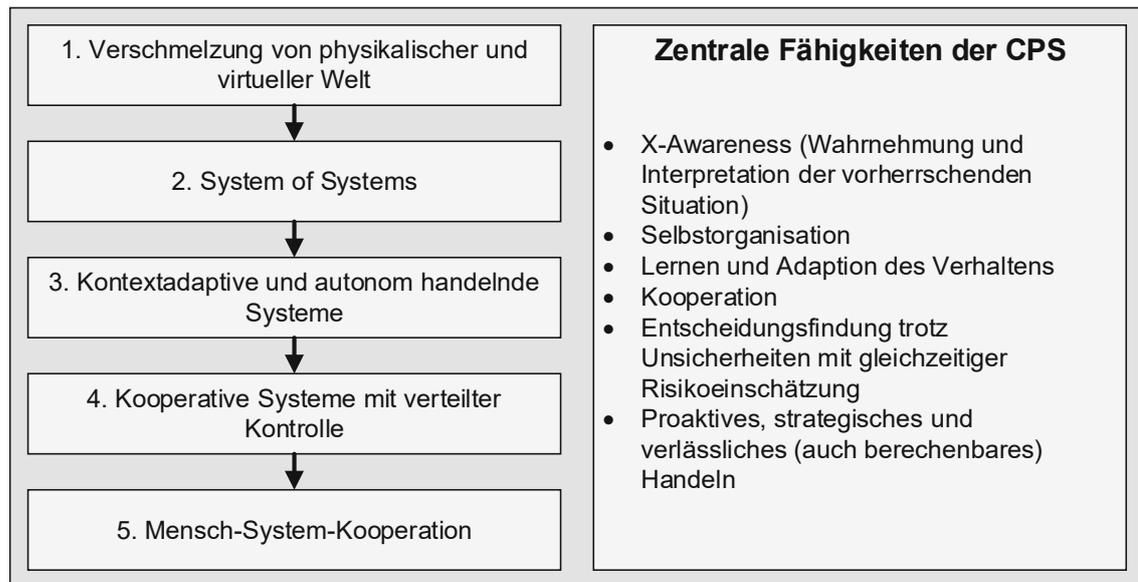


Abbildung 6.3: CPS Charakteristika

- Lageninterpretation auf Basis der erfassten Informationen, im Hinblick auf Ziele durch Erfassung, Interpretation, sowie die Erstellung von Ableitungen und Prognosen
- Einbindung und Regelung von Komponenten und Interaktion mit ihnen, sowie global verteilte und vernetzte Steuerung und Regelung in Echtzeit<sup>36</sup>

**2. Dimension, System of Systems:** Die zweite Dimension wird durch System of Systems repräsentiert. Dieses Paradigma beschreibt den Aufbau eines temporären Verbundes von Teilsystemen, die je nach Bedarf gebildet werden. Die notwendigen Fähigkeiten der CPS sind:

- Interpretation der Umgebung und gezielte Auswahl, Einbindung, Abstimmung und Nutzung von Diensten
- Selbstorganisation durch dezentrale Kontrolle und Bewertung der zur Verfügung stehenden Dienste auch hinsichtlich ihrer Qualität und ihrer Verlässlichkeit (z.B. das Nicht-Einbinden von Diensten mit mangelhafter Qualität)<sup>37,38</sup>

**3. Dimension, Kontextadaptive und autonom handelnde Systeme:** Die Kontextsensitivität beschreibt die Fähigkeit von CPS sich auf die Umgebungsbedingungen und die

<sup>36</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 60f.

<sup>37</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 61f.

<sup>38</sup>vgl. auch Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 235ff.

Anwendungserfordernisse anzupassen und daraus ein für alle Beteiligten wertvolles Systemverhalten abzuleiten. Dabei umfasst diese Fähigkeit nicht nur die Kommunikationsfähigkeit der Systeme, sondern bindet auch alle Sensoren (zur Erfassung der Umgebungsbedingungen) und Aktoren (zur Beeinflussung der Umgebungsbedingungen) ein. Dadurch kann sich das CPS auch an unvorhergesehene Bedingungen anpassen, was stark zur Flexibilisierung des Gesamtsystems beitragen kann.

- Durchgängige Kontexterfassung durch kontinuierliches Erheben von Situationsdaten (in Echtzeit)
- Anpassung und Aktualisierung der Interaktionen mit anderen Systemen, Objekten und auch Nutzern
- Festlegung von Zielen unter Berücksichtigung der vorhandenen Alternativen und den jeweiligen Risiken<sup>39</sup>

**4. Dimension, Kooperative Systeme mit verteilter Kontrolle:** Aus den vorigen Ausführungen wird klar, dass die Cyber-Physical-Systems keiner zentralen Kontrolle unterliegen können, wobei sie dennoch zentral administrierbar bleiben müssen. Um ein ziel führendes Verhalten zu ermöglichen ist die Interaktion und Kooperation von ganz oder teilweise autonom handelnden Akteuren notwendig. Die notwendigen Fähigkeiten bauen auf jenen der dritten Dimension auf und spezifizieren diese weiter:

- Verteilte, kooperative Wahrnehmung und Bewertung der jeweiligen Situation, sowie der durchzuführenden Schritte, wobei Entscheidungen zwischen den Teilsystemen „verhandelt“ werden.
- Einschätzung der eigenen Qualität der Dienste, sowie kooperatives Lernen<sup>40</sup>

**5. Dimension, Mensch-System-Kooperation:** Menschen werden in den cyber physischen Systemen als aktive, oder passive Akteure eingebunden. Dabei sind die Schnittstellen sehr bedeutsam – CPS interagieren mit ihren Benutzern über multimodale Sensorik und können sogar in die Lage versetzt werden Gestik, Mimik und andere Interaktionsarten zu erkennen und auszuwerten. In diesem Sinne werden CPS zu gesellschaftlichen Veränderungen führen und die Omnipräsenz ihrer Dienste wird die gegenwärtigen Strukturen revolutionieren. Geisberger und Broy führen in ihrer Arbeit beispielsweise CPS im Kontext von Smart Mobility an, die nachhaltige Veränderungen im Verkehrssektor, speziell in Ballungsräumen, bewirken werden.

<sup>39</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 62ff.

<sup>40</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 64f.

- Die Nutzer werden durch CPS in einer für sie intuitiven Weise unterstützt. CPS ermöglichen den Nutzern eine erweiterte Wahrnehmung, mehr Handlungsmöglichkeiten und unterstützen sie durch Wissensmanagementsysteme.<sup>41</sup>

Die Acatech-Studie von 2015, bestätigt die Definition von Geisberger und Broy und sieht CPS als Systeme, die ein gewisses Maß an Kommunikations- und Kognitionsfähigkeit mit sich bringen und mit ihrer Umgebung interagieren können (je nach Art und Größe des jeweiligen Systems).<sup>42</sup>

Aus den diskutierten Arbeiten stellt sich heraus, dass sich CPS als physische Systeme, mit einem ständig steigenden Grad an künstlicher Intelligenz, definieren lassen und eine Verschmelzung von virtueller und realer Welt ermöglichen, wobei zahlreiche Basistechnologien bereits vorhanden sind. Ein Beispiel dieser Basistechnologien sind leistungsstarke Kleinstcomputer. In der Mitte der Sechziger prophezeite Moore ein exponentielles Ansteigen der Rechnerleistung, gemäß des Moore'schen Gesetzes.<sup>43</sup> Diese Entwicklungen sind auch tatsächlich eingetreten und so verfügen moderne Mehrkernprozessoren über höchste Rechenleistung und ermöglichen echtzeitbasierte Datenmanipulationen und -auswertungen. Aber auch die aktuelle Sensor- und Aktortechnologien stellen eine wichtige Basistechnologie der CPS dar. Auf dem Markt sind Sensoren in den unterschiedlichsten Ausführungen vorhanden. Die Palette reicht von einfachen Messfühlern (zur Aufnahme einfacher physikalischer, oder chemischer Eigenschaften), bis hin zu komplexen Umweltsensoren basierend auf 3D-Videoerkennung. Zusätzlicher Forschungsbedarf besteht in der Sensortechnologie, speziell hinsichtlich ihrer Präzision und Geschwindigkeit.<sup>44,45</sup> Betrachtet man den Bereich der Kommunikationstechnologie, stellen drahtlose Kommunikationsinfrastrukturen eine bedeutende Basistechnologie dar – einerseits WLAN und Bluetooth und andererseits Mobilfunktechnologien, wie LTE (4G), oder auch das noch in Entwicklung befindliche 5G mit dem Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 100 Gigabit pro Sekunde möglich sind. Ein omnipräsenter Begriff im Kontext von Kommunikationstechnologie ist das Internet der Dinge, das im folgenden Abschnitt (als weiterer Forschungsbereich von Industrie 4.0) detailliert behandelt wird.

Die Kombination dieser Basistechnologien ermöglicht bereits die Konstruktion von cyberphysischen Systemen gemäß den ersten Dimensionen (bis hin zu Systemen aus Systemen, 2. Dimension) ⇒ die Verschmelzung zwischen physikalischer und virtueller Welt kann beginnen.

---

<sup>41</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 65ff.

<sup>42</sup>acatech, 2015, S. 11

<sup>43</sup>konkret bezieht sich das Moore'sche Gesetz auf die Verdoppelung der Integrationsdichte (Anzahl der Transistoren pro Flächeneinheit) alle 12 bis 24 Monate; Moore, 1965, S. 114ff.

<sup>44</sup>vgl. Geisberger & Broy, 2012, 138f.

<sup>45</sup>Damm *et al.*, 2010

**Zukunftspotentiale der CPS in der Industrie:** Für Anlagenbetreiber eröffnen CPS ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. Durch die eingebetteten Systeme, der cyber-physischen Systeme und deren Kommunikationsfähigkeit, werden Anlagen zentral administrierbar und die Funktionalitäten können punktgenau zur Verfügung gestellt werden. Anlagenbetreiber bilden aber auch eine treibende Kraft hinsichtlich der Entwicklung von CPS, indem sie gemeinsam mit ihren Lieferanten an der Interoperabilität der Systeme arbeiten.<sup>46</sup>

### 6.3.2 Internet of Things

Das Internet der Dinge (IoT) bezeichnet die Verbindung von physischen Produkten oder Teilsystemen mit dem Internet. Dadurch wird das Konzept der Cyber-Physical-Systems erst ermöglicht.<sup>47</sup> Diesen Trend der Vernetzung kann man seit einiger Zeit speziell im Consumer Bereich beobachten. So kann man die Heizung vom Smartphone aus steuern und webbasierte Überwachungskameras schicken Mails bei Auffälligkeiten.<sup>48</sup>

Aber auch im industriellen Sektor wird das Konzept der allumfassenden Vernetzung immer populärer. Um zunächst eine einheitliche Definition des Internet of Things zu erhalten, wird folgende, in der Literatur häufig verwendete Definition des IoT, verwendet:<sup>49,50</sup>

*Das Internet der Dinge ist ein dynamisches, globales Netzwerk, das die Fähigkeit besitzt, sich selbst zu konfigurieren. Es basiert auf standardisierten und kompatiblen Kommunikationsprotokollen, wodurch physische und virtuelle „Dinge“ eine Identität erhalten. Ihre physischen Attribute werden als virtuelle Persönlichkeiten in einem intelligenten Interface innerhalb eines nahtlosen, integrierten Informationsnetzwerks dargestellt.*

Der Erfolg vom Internet der Dinge beruht, laut Da Xu et al., auf standardisierten Protokollen, die einen umfassenden Datenaustausch ermöglichen und dabei für Interoperabilität, Kompatibilität sowie für Zuverlässigkeit sorgen.<sup>51</sup> Dabei identifizieren die Autoren folgende Schlüsseltechnologien, die als Befähiger des IoT betrachtet werden können:

- **Identifikations- und Trackingtechnologien:** Prinzipiell werden diese Technologien von RFID-Tags, Barcodes bzw. QR-Codes<sup>52</sup> und Sensoren repräsentiert. Diese

<sup>46</sup>vgl. Geisberger & Broy, 2012, S. 58f.

<sup>47</sup>Jazdi, 2014, S. 1

<sup>48</sup>vgl. Bullinger & ten Hompel, 2007, S. 41

<sup>49</sup>vgl. Da Xu et al., 2014, S. 2233

<sup>50</sup>vgl. auch Van Kranenburg, 2008

<sup>51</sup>Da Xu et al., 2014, S. 2234

<sup>52</sup>vgl. Abschnitt 6.5.2 und Abschnitt 6.5.1

Technologien stellen die Schnittstelle zwischen den physischen Objekten und dem Internet dar. Die erstgenannten Radio-Frequency Identification Tags werden bereits seit längerem erfolgreich in der Industrie eingesetzt.<sup>53,54,55</sup>

- **Kommunikationstechnologien:** Das Internet der Dinge besteht aus zahlreichen verschiedenen Kommunikationsprotokollen wie z.B. WLAN, Bluetooth, WSN, durch die die smart Systems interagieren können. Auch das neue IPv6-Protokoll stellt einen Schlüsselenabler dar, da dadurch praktisch jedes physische Objekt auf der Erdkruste eine eigene, netzwerkbasierte Identität erhalten kann. Mit dem neuen IP-Protokoll können 600 Billionen Adressen pro Quadratmillimeter unserer Erdoberfläche erstellt werden.
- **Netzwerke:** Derzeit gibt es neben WLAN auch verschiedene, andere Netzwerke wie WAN (Wide Area Network), PAN (Personal Area Network), WSN (Wireless Sensor Network), WSN (Wireless Sensor Actuator Network) und AHN (Ad Hoc Network).<sup>56</sup>

Durch diese Basistechnologien wird das Konzept des IoT im Praxiseinsatz ermöglicht – aber welche Potentiale hat das Internet der Dinge im Kontext von Industrie 4.0? Für die Industrie ergeben sich zahlreiche, innovative Potentiale, die im Folgendem kurz zusammengefasst sind:<sup>57</sup>

- **Nutzung der Maschinendaten für einen störungsfreien Betrieb:** Eine Verwendungsmöglichkeit des IoT für die vorbeugende Instandhaltung ist das Messen von Daten. Aus den Veränderungen von Temperatur, Schwingungen usw. kann das Ausfallverhalten prognostiziert werden.<sup>58</sup>
- **Echtzeitreaktion auf Produktionsdaten** in der Geschäftsebene und bidirektionale Interaktion zwischen Produktions- und Geschäftsebene.
- **Produktionssteuerung nach Geschäftsbedürfnissen:** Dabei wird die Informationsausbreitung nicht nur unidirektional (weg von der Maschine), sondern bidirektional betrachtet.
- Steuerung der Produktion durch **M2M (Maschine zu Maschine) Kommunikation**

<sup>53</sup>vgl. Sun, 2012, S. 106ff.

<sup>54</sup>vgl. Da Xu *et al.*, 2014, S. 2237

<sup>55</sup>siehe auch Abschnitt 6.5.3

<sup>56</sup>vgl. Geisberger & Broy, 2012, S. 139

<sup>57</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 545ff.

<sup>58</sup>vgl. auch 6.3.3 Smart Maintenance

Zusammenfassend kann man aus den Erkenntnissen des vorliegenden Abschnitts schließen, dass das Internet der Dinge, in Kombination mit moderner Sensorik, ein Kernkonzept der vierten industriellen Revolution darstellt. Durch das Internet der Dinge werden die CPS untereinander zu intelligenten Fertigungsnetzwerken zusammengeschlossen, die sich, je nach Grad der künstlichen Intelligenz, selbst organisieren und optimieren können.

### 6.3.3 Smart Maintenance

Smart Maintenance ist eines der aktuellsten Themenfelder von Industrie 4.0. Bis vor kurzem galt dem Bereich der Instandhaltung,<sup>59</sup> im Kontext von I4.0, nur wenig Aufmerksamkeit, doch gegenwärtige Forschungsprojekte behandeln auch das Thema Maintenance. Eine aktuelle Studie zu diesem Thema wurde von Acatech<sup>60</sup> durchgeführt – sie wird im Folgenden detaillierter besprochen.

Im Kontext von Industrie 4.0 werden vormals mechanische Systeme um eingebettete Rechen- und Kommunikationsfähigkeiten erweitert und diese untereinander vernetzt.<sup>61</sup> Daraus resultieren neue Anforderungen an die Instandhaltung, die sich dadurch auch um den Erhalt der Kommunikationssysteme und der digitalen Bauelemente kümmern muss. Die Instandhaltung kann aber auch stark von den Veränderungen der Industrie 4.0 profitieren. Die Vielzahl an Sensoren und Aktoren führt zu einer breiten, analysierbaren Datenbasis, mit deren Hilfe sich Instandhaltungsmaßnahmen optimieren lassen. Instandhaltung kann in diesem Kontext als ein wichtiger Enabler für den Übergang zur I4.0 angesehen werden, da sie eine kontinuierliche Verbesserung der inhärenten Systeme von Industrie 4.0 ermöglicht. Aktuell ist aber nicht die geringe Datenmenge ein Problem zur Generierung von vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen. Vielmehr wird eine effiziente Instandhaltung (viele Unternehmen betrachten die Instandhaltung nur als „Feuerwehr“) durch eine unzureichende Auswertung der Daten verhindert. Des Weiteren sind viele Maßnahmen und Best-Practise-Methoden nur in den Köpfen einiger, spezieller Mitarbeiter gespeichert. Um auch die Instandhaltung in das Zeitalter der vierten industriellen Revolution zu heben, sind somit Daten- und Wissensmanagementansätze notwendig – denn *„Wissen ist Macht“*. Zusammenfassend werden in der acatech Studie folgende Schlüsselfaktoren identifiziert:<sup>62</sup>

- Verfügbarkeit von Wissen in Form von Daten
- Qualifizierung zukünftiger Mitarbeiter

<sup>59</sup>Definition siehe 5.7 Instandhaltung / Maintenance

<sup>60</sup>acatech, 2015

<sup>61</sup>Kagermann *et al.*, 2013, S. 37f.

<sup>62</sup>acatech, 2015, S. 17ff.

- Durchführen von Use-Cases zur Praxistauglichkeit

Die Instandhaltung muss sich zu einem proaktiven System weiterentwickeln, dass durch präventive Maßnahmen Störfälle verhindert. Durch die holistische Datenerfassung im Rahmen von I4.0 können diese Instandhaltungsmaßnahmen auch wirtschaftlich bewertet werden, was aktuell noch nicht möglich ist. Die Instandhaltung wird bis dato als reiner Kostentreiber angesehen und ihr inhärentes Potential wird schlichtweg übersehen. Industrie 4.0 hat die Zielsetzung, die wirtschaftliche Fertigung der Losgröße 1 zu ermöglichen. Dies erfordert hohe Anforderungen an die Verfügbarkeiten der Maschinen und Anlagen, wodurch auch hierfür Smart Maintenance einen wichtigen Ansatz darstellt. Daraus kann man schließlich schlussfolgern, dass Smart Maintenance zu einem evolutionären Element der Industrie 4.0 wird.<sup>63</sup>

Auch Kagermann et al. beschäftigen sich in ihrem Werk mit dem Thema des intelligenten Instandhaltungsmanagements. In einem Use-Case beschreiben die Autoren, dass durch die Verwendung von antizipierten Instandhaltungsmaßnahmen die Kosten für ungeplante Stillstände deutlich minimiert werden können. Ermöglicht wird dies durch die Verwendung einer kostengünstigen, nachrüstbaren Sensorik, die Daten bezüglich des Maschinenzustandes in Echtzeit erfasst und mittels Algorithmen auswertet. Dadurch werden Prognosen bezüglich des Maschinenzustandes ermöglicht und diese vorbeugende Instandhaltung kann die Anzahl an ungeplanten Stillständen deutlich reduzieren. Des Weiteren können die Echtzeitdaten auch zur Optimierung der Auftragsabwicklung verwendet werden, indem entweder maximale Geschwindigkeiten (bei Flaschenhalsaufträgen) oder optimierte Geschwindigkeiten (minimaler Verschleiß) im Normalbetrieb ermöglicht werden.<sup>64</sup>

Diese Forschungsergebnisse wirken sehr generisch und wenig anwendungsorientiert, jedoch kann man sie durch die verschiedensten Technologieparadigmen auch praktisch umsetzen. Ist die Hardware in den CPPS vorhanden (in Form von Sensoren und Aktoren), dann ist die Auswertung der Daten und Zurverfügungstellung für die Instandhaltung „nur mehr“ eine Frage der informationsverarbeitenden Systeme.

Smart Maintenance wird erst durch die Paradigmen der Industrie 4.0 ermöglicht, jedoch kann der Einsatz von intelligenter Instandhaltung zur kontinuierlichen Verbesserung der Systeme und der nachhaltigen Verwendung von Ressourcen beitragen. Somit ermöglicht Smart Maintenance einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess gemäß der Lean Prinzipien.

---

<sup>63</sup>acatech, 2015, S. 30f.

<sup>64</sup>Kagermann *et al.*, 2013, S. 107

### 6.3.4 Conclusio

Anhand der besprochenen Forschungsbereiche der Industrie 4.0 wird klar, dass der technologische Fortschritt innovative Möglichkeiten eröffnet. Zum Teil werden die beschriebenen Konzepte auch schon praktisch eingesetzt. In den nächsten Jahren gilt es aber vor allem, die verschiedenen technologischen Möglichkeiten sinnvoll zu verknüpfen und dadurch die Potentiale bestmöglich auszuschöpfen, um die Industrie in einem evolutionären Prozess zu revolutionieren.

## 6.4 Technologieparadigmen der Industrie 4.0

Das Ziel von Industrie 4.0 ist es, Medienbrüche zwischen realer und virtueller Welt zu vermeiden und einen durchgängigen Datenaustausch zwischen allen physischen und softwarebasierten Elementen zu schaffen. Dazu steht eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung, wie auch die Vielzahl an Forschungsfeldern im Kontext von Industrie 4.0 verdeutlicht. Um die Möglichkeiten zu strukturieren, werden Technologieparadigmen erstellt, die einerseits einen gewissen generischen Charakter aufweisen müssen (um die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Anwendungsfälle zu gewährleisten), aber andererseits dennoch die Kernelemente herausstreichen. Bauernhansl et al. verwenden dazu eine Untergliederung in das intelligente Produkt, die intelligente Maschine und in den assistierten Bediener.<sup>65</sup>

Diese Kategorisierung ähnelt den Säulen der Industrie 4.0. Das intelligente Produkt taucht als eigenes Technologieparadigma auf und die intelligente Maschine lässt sich gemeinsam mit dem assistierten Bediener in die Säule der intelligenten Produktionssysteme einordnen. Jedes der Technologieparadigmen weist jedoch einen gewissen Bezug zu der Säule der intelligenten Netzwerke auf.<sup>66,67</sup> Des Weiteren werden die beiden Faktoren Organisation / Prozesse und sozialer Rahmen implizit von den Technologieparadigmen berücksichtigt.

**Das intelligente Produkt:** Der Begriff wird verwendet, um Produkte zu beschreiben, die zu einer Verringerung des Medienbruchs zwischen realer und virtueller Welt führen. Bei Produkten mit geringer Komplexität ist es oft nicht sinnvoll, es mit einer eigenen Intelligenz auszustatten, sondern auf die nächstgrößere Transporteinheit einzugehen (z.B. Fertigungslos mit eingebetteten Systemen zur Bereitstellung von Informationen). Um einem Produkt Intelligenz zu verleihen, sind verschiedene Technologien denkbar:

<sup>65</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S.59ff.

<sup>66</sup>vgl. 6.2 Industrie 4.0 – theoretische Begriffsabgrenzung

<sup>67</sup>vgl. Berlin, 2015

- Miniaturisierte, eingebettete Systeme mit einem eigenen Prozessor und Schnittstellen zur Kommunikation
- RFID-Transponder, Barcodes, Matrix-Codes bzw. QR-Codes (verschieben der Rechenleistung vom Produkt selbst, hin zu übergeordneten Systemen und deren Servern)<sup>68</sup>

**Die intelligente Maschine:** Die intelligente Maschine hat, je nach Phase ihres Lebenszyklus (von ihrer Herstellung bis zur Inbetriebnahme und darüber hinaus), eine andere Fokussierung. Bis hin zur Inbetriebnahme liegt der Fokus auf der Mechatronisierung der einzelnen Komponenten der Maschine und der Modularisierung der Komponenten. Des Weiteren ist die Implementierung von Kommunikationsstandards und geeigneter Schnittstellen kennzeichnend für intelligente Maschinen im Kontext von Industrie 4.0. Die Zielsetzungen während des Anlagenbetriebs sind vielseitiger:

- Transparenz und Qualitätsoptimierung
- Unterstützen der Instandhaltung
- Optimierung von Toleranzlagen
- Maximierung der Gesamtauslastung

Um diese stark unterschiedlichen Ziele zu erreichen, sind verschiedene Stufen an künstlicher Intelligenz erforderlich. Diese Stufen reichen von einfacher Kommunikationsfähigkeit über Adaptivität und Autonomie sowie Kontextsensitivität und Kognition, bis hin zu sich selbst optimierenden Produktionssystemen.<sup>69,70</sup>

**Der assistierte Bediener:** Um die Unmenge an generierten Daten aufzubereiten und für den Menschen zugänglich zu machen, sind Assistenzsysteme notwendig. Als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine kommen z.B. Tablets (Bluetooth, USB, WLAN, 3G) in Frage.<sup>71</sup> Aber auch andere Schnittstellen wie Augmented-Reality-Brillen oder multimediale Barcodescanner sind denkbar. Die Assistenzsysteme müssen auch hinsichtlich ihrer softwaretechnischen Anwendungsoberflächen auf die Gegebenheiten angepasst werden und die Unmenge an Daten in einer geeigneten und kumulierten Weise visualisieren.

<sup>68</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 60

<sup>69</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 61f.

<sup>70</sup>Geisberger & Broy, 2012, S. 60

<sup>71</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 62

## 6.5 Vorhandene Basistechnologien und Ansätze im Kontext der Industrie 4.0

Wir wissen nun welche Forschungs- und Technologieparadigmen die vierte industrielle Revolution begleiten. Teilweise sind die Forschungsergebnisse noch auf sehr abstraktem Niveau (bedingt durch die Neuheit des Themas) und beschäftigen sich stärker mit der Bildung von Definitionen und der Begriffsabgrenzung, als mit praktischen Anwendungsbeispielen. Um dennoch einen Überblick über bereits vorhandene Basistechnologien zu erhalten, wird im vorliegendem Abschnitt der aktuelle Stand der Technik, im Kontext von Industrie 4.0 beleuchtet. Dazu werden zum Teil erfolgreiche Use-Cases aus der Literatur besprochen und aktuelle Technologien vorgestellt.<sup>72</sup>

Die Anwendungsbeispiele reichen von Systemen aus der Intralogistik („Urbane Produktion“) über Systeme zur Produktionsplanung und dem Eskalationsmanagement bis hin zu verteilten Anlagesteuerungskonzepten und Materialtracking.

### 6.5.1 Quick Response – QR-Code

Die Bezeichnung QR steht für Quick Response und bedeutet soviel wie „schnelle Antwort“. Unter der Bezeichnung QR-Code sind eine Reihe an Matrixkodierungen zusammengefasst, die Informationen anhand einer Abbildung (ähnlich zu einem Barcode) darstellen. Die Informationen bzw. Daten können durch ein visuelles Lesegerät ausgelesen werden. Im Gegensatz zu Barcodes bieten die Quick Response Codes den Vorteil einer höheren Informationsdichte durch die zweite verwendete Dimension. Die Informationsdichte kann noch weiter erhöht werden, indem eine dreidimensionale Kodierung verwendet wird. Dabei wird die dritte Dimension durch eine Unterscheidung der Farbe ermöglicht. In Abbildung 6.4 sind der Satz „Das ist ein Beispiel.“ und ein längerer Textabschnitt in einer zweidimensionalen Kodierung dargestellt. Wie in der Abbildung ersichtlich, dienen Markierungen an den Rändern des Codes der eindeutigen Positionierung. Somit ist die Orientierung (Winkelstellung zwischen Lesegerät und Code) während des Lesevorganges nicht relevant. In der Mitte der Darstellung bilden schwarze Pixel den eigentlichen Code. Dieser kann auch durch Sicherungen erweitert werden, wodurch die Informationen auch bei einer teilweisen Beschädigung des Codes noch lesbar bleiben. Um den QR-Code herum befindet sich die sogenannte „Quietzone“ – darin dürfen keine anderen Abbildungen dargestellt sein. Sie ist im Normalfall weiß, oder mit der Hintergrundfarbe des Codes identisch.

<sup>72</sup>Diese Technologien lassen sich dabei dem Fundament von Industrie 4.0 zuordnen (vgl. Abbildung 6.2)

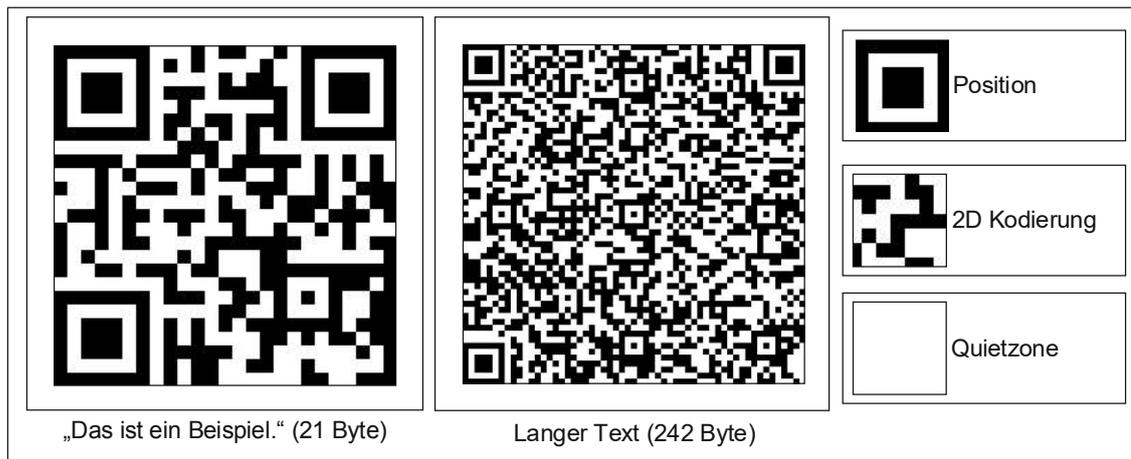


Abbildung 6.4: zweidimensionaler QR-Code

Die Datenmenge, die in einem zweidimensionalen Code dargestellt werden kann, ist begrenzt und des Weiteren gilt – je höher die Datenmenge, desto schwieriger ist der Code auszulesen. Bei gleichen äußeren Abmessungen verringert sich die Größe der schwarzen Pixel, die den eigentlichen Code repräsentieren, wie auch in Abbildung 6.4 zu erkennen ist. Die in den Bildunterschriften dargestellten Speichermengen der jeweiligen QR-Codes basieren dabei auf einer Umrechnung gemäß ASCII. Würde man den längeren Text in einen Barcode umwandeln, so wäre dieser länger als ein Meter.<sup>73</sup>

Wenngleich QR-Codes aktuell omnipräsenten Status (vor allem im Consumer Bereich) erreicht haben, so ist die Entwicklung keineswegs neu – das Konzept wurde Anfang der Neunziger von einem japanischen Unternehmen entwickelt. Aber erst moderne Technologien, wie das Smartphone, führten zur aktuellen Präsenz dieses visuellen Speichermediums.<sup>74</sup>

### 6.5.2 Radio-Frequency Identification – RFID und NFC

RFID – die Radiofrequenzidentifikation hat ihre Wurzeln bereits in den 40er Jahren des vorigen Jahrhunderts und wurde seither kontinuierlich weiterentwickelt. Aber erst seit Anfang des aktuellen Jahrhunderts sind preiswerte Realisierungen für einen Massenmarkt umsetzbar. Grundsätzlich besteht jedes RFID-System aus den drei Elementen RFID-Transponder oder Tag, RFID-Lesegerät und einem Informationssystem.<sup>75</sup> Die RFID-Systeme untergliedert man in zwei Kategorien, gemäß des Aufbaus der Transponder in passive und aktive RFID-Transponder.

<sup>73</sup>bei einer Modulbreite von 0,3mm (Breite eines dünnen Striches) und einem Verhältnis von 1:3 (Breitenverhältnis zwischen schmalen und breitem Element)

<sup>74</sup>vgl. Shakiba *et al.*, 2015, S. 74

<sup>75</sup>vgl. Tamm & Tribowski, 2010, S. 13

Die erstgenannten passiven RFID-Tags zeichnen sich dadurch aus, dass sie keine eigene Energieversorgung besitzen. Erst durch das Lesegerät wird der Tag aktiviert und über das elektromagnetische Feld mit Energie versorgt, worauf der Transponder seine Daten an das Lesegerät übermittelt, von wo aus sie in das Informationssystem eingespeist werden. Die aktiven Tags besitzen hingegen eine eigene Energiequelle in Form einer Batterie. Dadurch weisen sie einerseits höhere Kosten auf und auch die Lebensdauer ist begrenzt. Der Vorteil von aktiven Tags ist jedoch eine höhere Lesereichweite. In anderen Punkten, von der Energieversorgung abgesehen, unterscheiden sich die beiden Kategorien auch bezüglich ihres physikalischen Aufbaues (speziell die Antennen unterscheiden sich deutlich). Hinsichtlich des Datenaustausches gibt es unzählige verschiedene Frequenzspektren, mit denen die RFID-Transponder arbeiten. Grundsätzlich werden vier Frequenzbereiche unterschieden, die jeweils unterschiedlichen Anwendungsfällen zugeordnet werden können – die Übertragungreichweite ist bei RFID-Transpondern mit höherer Frequenz größer, was sich auf die eingesetzte Technologie zurückführen lässt.<sup>76,77</sup>

- Der **Niederfrequenzbereich** (LF) liegt zwischen 125 und 135 kHz.
- Im **Hochfrequenzbereich** (HF) sind die vier Frequenzen 6,78 MHz, 13,56 MHz, 27,125 MHz und 40,68 MHz freigegeben.
- Der **Ultra-Hochfrequenzbereich** (UHF) liegt im Bereich zwischen 300 MHz und 3 GHz, wobei für RFID-Anwendungen die Bereiche 433,920 MHz, 865 MHz und 2,45 GHz reserviert sind. Darüber hinaus ist die Frequenz 915 MHz in den USA reserviert.
- Der **Super-Hochfrequenzbereich** (SHF) kennzeichnet alle Frequenzen über 3 GHz, wobei für RFID die Bereiche 5,8 GHz und 24,125 GHz reserviert sind.

Neben der Kategorisierung gemäß der Art des Tags (passiv, aktiv) und dem Frequenzbereich unterscheiden sich die Transponder auch hinsichtlich ihrer Speicherkapazität – diese reicht von einigen wenigen Bits bis hin zu mehreren Kilobyte, wobei als Speichermedium zum Großteil nicht-flüchtige Speicher<sup>78</sup> (speziell bei den passiven Tags) eingesetzt werden. Eines haben jedoch alle RFID-Tags gemein – sie ermöglichen den Nutzern das Zuordnen einer eindeutigen Identität.<sup>79</sup> Somit können sie potentiell die Barcodes ablösen

<sup>76</sup>Tamm & Tribowski, 2010, S. 18f

<sup>77</sup>Aus physikalischer Sicht stellt dieser Zusammenhang jedoch einen Widerspruch dar. Bei steigender Frequenz einer Welle sinkt die Wellenlänge, was eine geringere Reichweite implizieren würde. Die Signalstärken sind bei den höherfrequenten Transpondern aber ausgeprägter, wodurch diese höheren Reichweiten begründet werden können.

<sup>78</sup>z.B. EEPROM und FRAM

<sup>79</sup>Zum Teil sind die IDs bereits auf den RFID-Tags vorgeschrieben, können aber auch erst von den Nutzern festgelegt werden.

– der große Vorteil ist, dass gegenüber anderen Identifizierungsarten für das Auslesen von RFID-Tags kein Sichtkontakt benötigt wird, da die Kommunikation über die genannten Frequenzbänder abläuft. Des Weiteren sind die Speicherkapazitäten deutlich höher als bei visuellen Identifikationsformen (1D-, bzw. 2D-Codes). Dies unterstreicht auch Zare Mehrjerdi, der in seiner multiplen Fallstudie (zehn konkrete RFID-Anwendungen in unterschiedlichen Industrien weltweit) die wichtigsten Vorteile von RFID zusammenfasst. Dabei werden im Speziellen die Punkte Transparenz und Automation hervorgehoben. In Case 7 wird ein Vergleich zwischen RFID und Barcode angestellt, der deutlich zugunsten der RFID-Technologie ausfällt. Im Gegensatz zu Barcodes bieten RFID Tags einen deutlich höheren Speicherplatz und können bei Bedarf auch neu programmiert werden. Jedoch weist die RFID-Technologie deutlich höhere Kosten auf. Sowohl die Lesegeräte, als auch die Tags selbst sind teurer als z.B. die Verwendung von Barcodes. Wenn viele Tags nahe beieinander liegen, kann es zudem (je nach Art des verwendeten Lesegerätes) vorkommen, dass nur die Informationen des Tags mit der höchsten Signalstärke ausgelesen werden.<sup>80</sup> Trotz dieser Nachteile überwiegen im Use-Case die Vorteile der RFID-Technologie.<sup>81</sup>

Eine relative neue Entwicklung im Bereich der RFID sind die Near Field Communication Tags (NFC) die im Frequenzbereich von 13,56 MHz arbeiten und keine eigene Energiequelle besitzen – sie sind somit passive, hochfrequente RFID-Tags. NFC-Tags finden bereits Anwendung in zahlreichen Produkten, wie Bank- und Kreditkarten, Autoschlüsseln und Smartphones. Letztere besitzen zum Teil auch integrierte NFC-Lesegeräte. Neben diesen Anwendungen im Consumer Bereich steigt auch zunehmend die Verwendung in der Industrie – speziell im Bereich der Logistik.

Es gibt eine große Produktpalette an NFC-Transpondern am Markt, wobei sie nach verschiedenen Typen<sup>82</sup> kategorisiert sind. Die NFC-Transponder werden vorwiegend im NDEF (NFC Data Exchange Format) formatiert und beschrieben. Der große Vorteil von NFC bzw. von NFC-Tags sind die geringen Kosten der Transponder. Die Tags sind zum Teil deutlich kleiner als fünf Zentimeter in deren Durchmesser und flexibel (vergleichbar mit einem Aufkleber). Darüber hinaus liegen ihre Kosten teilweise unter 0,60 USD – Chinesische Produzenten bieten die Tags zum Teil sogar um 0,05 USD auf Alibaba an.<sup>83</sup> Ein weiterer Vorteil von NFC-Tags ist, dass auch herkömmliche Smartphones (aufgrund der Standardisierungen) die Daten der Tags auslesen können und somit keine zusätzlichen Lesegeräte benötigt werden. NFC wird auch in der Literatur diskutiert – so kommen die

<sup>80</sup>Es gibt aber Lesegeräte auf dem Markt, die das gleichzeitige Einlesen mehrerer Tags ermöglichen. Dabei können irrelevante Informationen durch einen Filter ausgeblendet werden.

<sup>81</sup>vgl. Zare Mehrjerdi, 2011, S. 251 u. 256

<sup>82</sup>Type-1, Type-2, Type-3, Type-4 und Mifare Standard

<sup>83</sup><http://www.alibaba.com>

Autoren Opperman und Hancke zu der Conclusio, dass Near Field Communication einen Schlüsselfaktor für das Internet der Dinge bildet und dabei eine kosteneffiziente Verknüpfung zwischen realer und virtueller Welt bildet.<sup>84</sup>

Für Smartphones gibt es zudem bereits eine Fülle an Applikationen, die NFC verwenden – so kann man Zustände oder Tätigkeiten definieren, die nach dem Einlesen eines NFC-Transponders ausgeführt werden. Zum Beispiel sendet das Smartphone eine bestimmte E-Mail, verändert gewisse Einstellungen oder ruft eine Internetadresse auf. Dabei wird das „Programmieren“ dieser Funktionalitäten durch die jeweiligen Applikationen unterstützt – somit wird NFC für eine breite Gruppe an Anwendern zugänglich. Aber auch für die Industrie bietet diese Einfachheit in der Implementierung große Potentiale. So kann die in vielen Studien angesprochene Vernetzung zwischen virtueller und realer Welt einfach und kostengünstig durchgeführt werden – auch im industriellen Bereich.

### 6.5.3 Digitale Referenzierung und Materialtracking

Viele produzierende Unternehmen haben im Laufe der vergangenen Jahrzehnte die schlanke Produktion („Lean Production“) eingeführt. Steuerungskonzepte wie KANBAN, die geringe technologische Bedürfnisse haben, sind zu wichtigen Systemen geworden. Wenn gleich sich diese Konzepte durch ihre Einfachheit auszeichnen, so stoßen sie auch schnell an ihre Grenzen, wenn es um Transparenz komplexerer Informationsflüsse geht. Konzepte, die sich aus dem Paradigma der Industrie 4.0 heraus entwickeln, besitzen das Potential, auch diese Grenzen zu durchbrechen. Ein zentraler Faktor der Industrie 4.0, der sowohl in den Säulen, als auch in den Technologieparadigmen widerspiegelt wird, ist das intelligente Produkt. Intelligente Produkte haben eine eigene Identität und verfügen über Informationen über Aufenthaltsort, Zustand und Qualität. Basistechnologien sind bereits seit Jahren erfolgreich im Einsatz – so z.B. die RFID-Transponder, mit deren Hilfe jedes physische Objekt zu einem smarten Objekt transformiert werden kann. Wenn gleich diese Intelligenz auf externer Rechenleistung und extern gespeicherten Serverdaten beruht,<sup>85</sup> so wird jedem Objekt mittels RFID eine eigene, einmalige Identität zugewiesen. Ein wichtiger Punkt, der mit der Intelligenz der Produkte einhergeht, ist die Möglichkeit von Materialtracking – das Nachverfolgen des Ortes eines Produktes während des gesamten Wertschöpfungsprozesses. Dadurch wird der Materialfluss transparenter, flexibler und besser steuerbar, da Kapazitäten an die jeweilige Situation angepasst werden können und ein vorausschauendes Handeln ermöglicht wird. Die Autoren Günthner et al. arbeiten in ihrem Werk heraus, dass Materialflusssteuerungssysteme gewisse Echtzeitanforderungen

<sup>84</sup>vgl. Opperman & Hancke, 2011, S. 6

<sup>85</sup>vgl. Günthner *et al.*, 2010, S. 55

besitzen müssen, um die eben beschriebenen Vorteile zu erreichen.<sup>86</sup> Dazu ist es wichtig, die auf die Identität des mit RFID (oder auch QR-Codes) ausgestatteten Objektes hinterlegten Informationen laufend und echtzeitnah zu aktualisieren. So z.B. bei einer Manipulation – wird ein Objekt von Ort A nach Ort B gebracht, so muss am Ankunftsort B die Ortsinformation aktualisiert werden. Dazu müssen die Logistiksysteme (Kräne, Stapler, usw.) mit geeigneten Lesegeräten ausgestattet sein. Nur durch diese Interaktion von eindeutiger Identifizierung eines Objektes und echtzeitnaher Aktualisierung von Informationen, kann Materialtracking umgesetzt werden. In der Literatur gibt es viele Studien, die sich mit der Thematik Materialtracking auseinandersetzen, wobei ein deutlicher Fokus auf die Basistechnologie der RFID-Tags gelegt wird. Um über die Standpunkte und Ergebnisse aktueller Forschungsergebnisse im Kontext industrieller Anwendungen zu reflektieren, werden in den folgenden Absätzen einige wissenschaftliche Untersuchungen diskutiert.

Morelli et al. behandeln in ihrem Use-Case die Einführung von RFID in der Produktion von pulvermetallurgisch hergestellten Präzisionsbohrern. Die Autoren kommen zu der Conclusio, dass Materialtracking (unter Verwendung der RFID-Technologie) ein großes Potential zur Produktivitätssteigerung in der Industrie hat und dabei zur Erhöhung der Transparenz beiträgt.<sup>87</sup> Zu ähnlichen Ergebnissen kommen die Autoren Jin et al. in ihrer aktuellen Studie zum Thema Logistiktracking. Dabei sehen sie Materialtracking als ein äußerst bedeutsames Konzept im Kontext der aktuellen Veränderungen, die in der Industrie vorstatten gehen.<sup>88</sup> Mit der Thematik der Intralogistik setzen sich auch die Autoren Bauernhansl et al. auseinander, die in ihrer Arbeit ein Anwendungsbeispiel anführen, in dem ein intelligenter Werkstückträger verwendet wird, um Informationstransparenz zu schaffen und eine vollständige Taktung auch bei variantenreicher Produktion zu ermöglichen. Dabei erfolgt der Übergang schrittweise – zunächst werden QR-Codes eingeführt, die von den Mitarbeitern manuell eingelesen werden müssen. Zu einem späteren Zeitpunkt jedoch soll der Informationsaustausch automatisiert ablaufen. Dadurch wird gewährleistet, dass der technologische Wechsel nicht zu sprunghaft ist und somit von den Mitarbeitern besser akzeptiert wird.<sup>89</sup>

Hinsichtlich der QR-Codes sei erwähnt, dass sie, auch unter Verwendung einer dreidimensionalen Kodierung, deutlich geringere Speicherkapazitäten als RFID-Tags besitzen. Zudem sind sie empfindlich gegenüber Staub und Schmutz, wodurch der Code nicht mehr lesbar wird. Neben der Notwendigkeit eines direkten Sichtkontaktes zum Auslesen der Informationen kommen auch lange Lesezeiten hinzu. QR-Codes zeichnen sich jedoch durch

<sup>86</sup>vgl. Günthner *et al.*, 2010, S. 47ff.

<sup>87</sup>Morelli *et al.* 2013, S. 5f.

<sup>88</sup>vgl. Jin *et al.*, 2016, S. 275f.

<sup>89</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 63ff.

ihre geringen Kosten aus, die sich im wesentlichen nicht von den Kosten einer Referenzierung mit Barcodes unterscheiden. Trotz der höheren Kosten von RFID überwiegen die Vorteile – die Autoren Shakiba et al. kommen zum Schluss, dass sich RFID auch aufgrund der Flexibilität speziell in Industrien mit langen Produktionsketten und Produkten mit höheren Kosten eignet.<sup>90</sup> So verwenden z.B. Zhong et al. in ihrer renommierten Arbeit RFID zur Substitution von manueller, Papier-basierter Datensammlung. Dazu verknüpfen die Autoren die RFID-Daten mit dem Logistiksystem und binden sie in das MES ein. Daraus ergibt sich eine Qualitätsverbesserung der Daten (Papier-basierte Datensammlung ist fehleranfällig) und die Daten können in Echtzeit abgerufen werden, was zu mehr Transparenz des Produktionssystems führt.<sup>91</sup>

Betrachtet man die Near Field Communication, so werden auch diese, von Smartphones auslesbaren RFID-Tags, bereits im industriellen Umfeld eingesetzt. Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von Langer und Roland, die ein System zur digitalen Komponentenreferenzierung in einem Wartungssystem entwickeln. Dabei handelt es sich um kein Materialtrackingsystem im engeren Sinne, da die referenzierten Komponenten eine statische Ortsinformation besitzen – jedoch verdeutlicht das Fallbeispiel die industrielle Anwendbarkeit von NFC zur digitalen Referenzierung von physischen Gegenständen.<sup>92</sup>

Weitere, die Logistik betreffende Punkte, sind Teilemanagement und Ersatzteillogistik – sie stellen aufwendig zu administrierende Tätigkeiten dar, die weitestgehend ohne digitale Unterstützung durchgeführt werden. In diesem Kontext führen die Autoren Bauernhansl et al. iBin an – ein intelligenter Lagerbehälter, ausgestattet mit Kamera, WLAN und einem eigenen Prozessor, der selbstständig dafür sorgt, dass er immer gefüllt ist. Dabei werden ad hoc und vollkommen digital Bestellaufträge ausgelöst und eine Schätzung des Füllstandes steht zu jedem Zeitpunkt in Echtzeit zur Verfügung.<sup>93</sup> Auch Kagermann et al. führen ein Anwendungsbeispiel hinsichtlich selbstorganisierender, adaptiver Logistik an. Das von den Autoren vorgestellte System dient dazu, Material- und Teilebewegungen transparent und nachvollziehbar zu gestalten. CPS erfassen die momentanen Aufenthaltsorte von Objekten und ermöglichen eine gewisse Traceability. Mittels einer papier- und staplerlosen Logistik und unter Verwendung von autonom agierenden Transportsystemen werden statische KANBAN Systeme um dynamische Methoden ergänzt. Des Weiteren wird eine Selbstregulierung der Logistikprozesse erreicht und die Mitarbeiter mittels multimedialer Systeme in ihren operativen Tätigkeiten unterstützt. Die Systeme können in bestehenden Produktionsanlagen nachgerüstet werden, da die notwendigen Technologien bereits vorhanden sind: ad hoc vernetzbare Sensoren, Traceability und Echtzeitsystemab-

<sup>90</sup>vgl. Shakiba *et al.*, 2015, S. 76

<sup>91</sup>vgl. Zhong *et al.*, 2013, S. 291f.

<sup>92</sup>Langer & Roland, 2010, S. 233f.

<sup>93</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 207ff.

bild, sowie Schnittstellen zwischen den einzelnen Teilsystemen.<sup>94</sup>

Die genannten Studien haben eines gemein – sie kommen alle zum Schluss, dass Materialtracking, sei es mit RFID oder anderen Lösungen, zu mehr Transparenz des Produktionssystems führt. Diese Transparenzerhöhung führt zu einer besseren Nachvollziehbarkeit der innerbetrieblichen Wertströme und in weiterer Folge zu einer besseren Steuerbarkeit der Produktion.

#### 6.5.4 Mensch-Maschine-Schnittstellen und -Kommunikation

Sieht man sich Schlagworte bezüglich der Industrie 4.0 wie IoT, Big Data, Cloud Computing, oder CPS, an, erweckt es den Anschein, dass Menschen in Zukunft aus der Produktion verdrängt werden. Doch das ist ein Irrtum, denn der Mensch wird auch im Kontext der Industrie 4.0 eine zentrale Bedeutung haben, wenngleich sich auch seine Tätigkeitsfelder ändern werden. So werden inhärent menschliche Fähigkeiten wie Kognitions- und Abstraktionsvermögen eine zentrale Bedeutung bekommen und der Mensch wird im Rahmen der vierten industriellen Revolution zum qualifizierten Entscheider. Um aber das Treffen von geeigneten Entscheidungen zu ermöglichen, muss man die Unmenge an generierten Daten aufbereiten und in geeigneter Form zur Verfügung stellen – je nach Ort und Tätigkeit des jeweiligen Mitarbeiters.<sup>95</sup>

Bauernhansl et al. behandeln in ihrer Arbeit ein Beispiel mit drei Protagonisten: Produktionsleiter, Teamleiter und Werker. Dem Produktionsleiter wird in seinem Büro eine Oberfläche (Informationscockpit) mit all seinen Maschinen und Anlagen dargestellt. Diese beinhalten detaillierte Informationen über die Maschinenzustände und die jeweiligen Aufträge. Ist der Produktionsleiter unterwegs erhält er bei Änderungen direkt eine Benachrichtigung und auch die Aktualisierung von Informationen auf einem mobilem Tablet oder Smartphone ist denkbar. Der Teamleiter sieht über die IT-Systeme die je Arbeitsplatz freigegebenen Aufträge und deren Bearbeitungszustand. Des Weiteren werden die Aufträge der nächsten Wochen dargestellt, was eine personelle Vorausplanung ermöglichen soll. Dem Werker werden schließlich alle Informationen (via Bildschirm oder Tablet) dargestellt, die für die Erfüllung der Aufgaben notwendig sind. Dazu werden die Aufträge und deren Reihenfolge visualisiert.<sup>96</sup> Des Weiteren werden dem Werker Störungen der Maschine und deren Auswirkungen auf die geplante Schichtleistung dargestellt. Bei längeren Stehzeiten wird automatisch eine Instandhaltungsmeldung an den zuständigen Bereich geschickt, die Details zum aktuellen Problem beinhaltet.<sup>97</sup>

<sup>94</sup>vgl. Kagermann *et al.*, 2013, S. 109

<sup>95</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 78f. und S. 286f.

<sup>96</sup>In der Regel sollten nicht mehr als 10 Aufträge zeitgleich angezeigt werden.

<sup>97</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S.460f.

Anhand des Beispiels wird klar, in welcher Form die Daten aus dem „Big Data“ Reservoir geladen und aufbereitet werden müssen. Wichtig ist, dass die Zugänglichkeit der Daten je Hierarchiestufe unterschieden werden muss. Aus einer technologischen Betrachtung des Beispiels folgt, dass die befähigenden Technologien vorwiegend multimedialer Art sind:

- **Smartphones und Tablets:** Beide Systeme haben im Consumer Bereich bereits omnipräsenten Status erreicht und eignen sich für einen schnellen und transparenten Informationsaustausch. Des Weiteren ermöglichen Technologien wie NFC die Kommunikation von NFC-fähigen Smartphones mit referenzierten Gegenständen – mittels NFC-Tags kann jedem physischen Gegenstand eine eindeutige, digitale Identität zugewiesen werden. Durch geeignete Applikationen am Smartphone können aus den NFC-Tags ausgelesene Informationen verarbeitet und über Kommunikationsschnittstellen wie z.B. WLAN oder GSM an zentrale Datenbanken weitergeleitet werden.<sup>98</sup>
- **3D-Prozessdatenvisualisierung:** Matlab, Excel aber auch CAD und Simulationssoftware verwenden seit langem 3D Visualisierungen. In der Prozessdatenvisualisierung hat sich dieser Trend noch nicht durchgesetzt. Der große Vorteil von 3D gegenüber 2D ist, dass mehr Informationen auf kleinem Raum dargestellt werden können. Dadurch können Fehler schneller erkannt werden. Studien zeigen, dass noch bessere Ergebnisse bzw. weniger Fehler bei einem dynamischem (drehbaren) 3D Modell erreicht werden können.<sup>99,100</sup>
- **Touch Interaktion und Gestensteuerung:** Auch die Gestensteuerung ist ein Phänomen aus dem Consumer Bereich – z.B. Multi-Touch Displays bieten aber auch Potentiale für die Industrie. Durch das Erkennen von Gesten wird eine interaktive Steuerung ermöglicht.
- **Augmented Reality:** Augmented Reality ist grundsätzlich eine „alte“ Idee, die jedoch aufgrund großer und teurer Hardwarekomponenten nie effizient eingesetzt wurde. Mit den derzeitigen technischen Entwicklungen ist der Einsatz von AR wieder denkbar. Nicht nur Datenbrillen und -handschuhe, sondern auch Smartphones und Tablets (mit Kamera) können eine Form der AR darstellen, da sie die Fähigkeit besitzen, die reale Umgebung mit virtuellen Informationen anzureichern. Speziell bei der Wartung und Instandhaltung können Augmented Reality Systeme zu einer deutlichen Zeitersparnis führen (z.B. für die Fernwartung). Entwicklungen wie

<sup>98</sup>vgl. z.B. Langer & Roland, 2010, S. 234

<sup>99</sup>vgl. Wandke *et al.*, 2009, S. 59

<sup>100</sup>vgl. auch Pantförder *et al.*, 2009, S. 870f.

Google Glass und Vuzix Smart Glass machen auch das alte Konzept der Datenbrille praktisch umsetzbar – ohne Einschränkungen hinsichtlich der Bewegungsfreiheit der Mitarbeiter.

- **Social Networks / Informationssysteme:** Lösungen in der Unterhaltungsindustrie wie Facebook könnten auch für industrielle Umgebungen adaptiert werden. Dabei könnten Maschinen, Anlagen, Mitarbeiter und ganze Produktionssysteme ihren „Status“ in einem unternehmensweiten Netzwerk „posten“. Auf dieser Plattform können dem Bedienpersonal Anweisung bezüglich Wartung, Instandhaltung und anderem Handlungsbedarf gegeben werden, ohne der Notwendigkeit einer Anwesenheit vor Ort. Derartige Konzepte stellen auch eine Form des Wissensmanagement dar, da sie es den Unternehmen ermöglichen, Wissen aktuell zu halten und transparent zugänglich zu gestalten.<sup>101,102</sup>

### 6.5.5 Gamification

Unter Gamification wird die Einbindung von videospielbasierten Elementen in eine nicht-spielerische Umgebung verstanden. In diesem Kontext spricht man auch von sogenannten „serious games“.<sup>103</sup> Gamification stammt ursprünglich aus dem Consumer-Bereich, wo seit geraumer Zeit eine steigende Intelligenz der Produkte und damit einhergehend ein großes Bedürfnis nach geeigneten Mensch-Produkt Schnittstellen zu beobachten ist.

**Definition:** Gaming und Games sind, im Gegensatz zu klassischen Spielen und Spielzeugen, durch ein explizites Regelwerk charakterisiert. Des Weiteren weisen Games einen Grad an Wettbewerb auf, der von den im Videospiel dargestellten Protagonisten aufgenommen wird, um bestimmte Ziele oder Outcomes zu erreichen. Juul, sowie Salen und Zimmerman gehen, wegen der aktuellen Omnipräsenz von computergestützten Systemen, davon aus, dass sich Gaming und Games zu transmedialen Kategorien entwickelt haben.<sup>104,105</sup>

Es gibt erst wenige Studien zum Thema Gamification. Die Thematik wird für viele Forschungsfelder aber immer interessanter, da speziell die Mensch-Computer bzw. Mensch-Maschine Interaktionen dadurch revolutioniert und die Eingabemechanismen deutlich

<sup>101</sup>vgl. acatech, 2015, S. 19

<sup>102</sup>vgl. auch Geisberger & Broy, 2012, S. 65ff.

<sup>103</sup>Deterding *et al.*, 2011, S. 9

<sup>104</sup>vgl. Juul, 2005

<sup>105</sup>vgl. Salen & Zimmerman, 2004

verbessert werden können.<sup>106</sup> Aktuelle Beispiele, die Videospiele aus dem ursprünglichen Kontext herausnehmen, sind die sogenannten ortsbasierten Spiele, die die reale Welt mit der virtuellen Spielwelt vernetzen. Ein prominentes Beispiel dafür ist Geocaching.<sup>107</sup> Beim Geocaching nimmt der Spieler die Position eines Schatzsuchers ein und versucht, von anderen Teilnehmern der Community hinterlegte Gegenstände mittels GPS-Tracking zu finden. Dabei kann der Spieler via App seine aktuelle Position orten und auch die Standorte der jeweiligen Gegenstände sind in der App verzeichnet. Somit findet eine Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt statt. Ähnliches findet auch beim derzeit allgegenwärtigen Pokémon Go<sup>108</sup> statt, wo die reale Umgebung durch Gameelemente am Smartphone erweitert wird. Aber auch Motivations-Apps, die die Nutzer zu sportlichen Tätigkeiten motivieren sollen (z.B. Runtastic<sup>109</sup>), verwenden ähnliche Konzepte und nutzen eine Verlinkung von realer und virtueller Welt. In der Literatur besteht Einigkeit darüber, dass sich Games durch ihre Omnipräsenz, Adaption und Institutionalisierung der letzten drei Jahrzehnte zu einem kulturellen Medium entwickelt haben und ihre Präsenz in unserem Alltag schrittweise immer weiter ausbauen werden.

**Nutzen von Gamification für die Industrie:** Videospiele werden primär für Unterhaltungszwecke entwickelt, motivieren die Benutzer und wecken Engagement. Diese inhärenten Vorteile können adaptiert und in Nicht-Game Umgebungen verwendet werden, um einerseits Produkte und Services interessanter und unterhaltsamer zu gestalten und andererseits Gaming-Elemente in der produzierenden Industrie einzusetzen.<sup>110</sup> Gamification ist speziell in stark technisierten Bereichen mit monotonen Arbeitsvorgängen vielversprechend, da der Mitarbeiter „zumindest“ im Spiel Entscheidungsautonomie erhält, was motivationsfördernd wirkt.<sup>111</sup>

Bevor mit der Integration der Tätigkeiten und der Game-Elemente begonnen werden kann, müssen zunächst die Kernfaktoren eines Games identifiziert werden. Die “Zehn Zutaten von großartigen Games” sind laut Reeves et al.:<sup>112</sup>

1. Repräsentation mit Avataren (virtuelle Spielfiguren)
2. Dreidimensionale Umgebung
3. Erzählender Kontext

<sup>106</sup>Huotari & Hamari, 2011

<sup>107</sup><https://www.geocaching.com/>

<sup>108</sup><http://www.pokemon.com/de/pokemon-videospiele/pokemon-go/>

<sup>109</sup><https://www.runtastic.com/de>

<sup>110</sup>Deterding *et al.*, 2011, S. 10

<sup>111</sup>Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 319f.

<sup>112</sup>vgl. Reeves & Read, 2009

4. Feedback
5. Reputation, Ränge und Level
6. Marktplätze und virtuelle Ökonomien
7. Wettbewerb unter festgelegten Regeln
8. Teams
9. Kommunikationssysteme
10. Zeitdruck ( $\Rightarrow$  Spannung)

Keines der hier genannten Attribute stellt ein Alleinstellungsmerkmal eines Videospiele dar, in ihrer Gesamtheit jedoch bilden sie ein Konstrukt, das viele Menschen fesselt und fasziniert. Des Weiteren kann man erkennen, dass viele der gelisteten Aspekte auch auf dem Arbeitsplatz vorkommen. Nun gilt es, die Game-Elemente gezielt in Arbeitsroutinen zu integrieren um die anfangs besprochenen, motivationsfördernden Vorteile zu gewinnen. Diese Integration stellt eine Art Enrichment des Arbeitsablaufs dar, da die Tätigkeiten interessanter, spannender und auch spaßiger gestaltet werden. Hierzu sei ein kurzer Use-Case angeführt, der derzeit auf der TU München in Form eines Projektes durchgeführt wird.<sup>113</sup>

Der Use-Case handelt von einer Anwendung der Gamification auf ein manuelles Kommissioniersystem. In einem ersten Schritt wählen die Mitarbeiter einen Avatar aus, dem gewisse Attribute, wie Kraft, Geschwindigkeit und Genauigkeit zugewiesen werden (Gaming-Elemente aus Rollenspielen). Diese Attribute werden vom Softwaresystem für eine Punktekalkulation verwendet. Die Software referenziert das jeweilige Attribut mit Kennzahlen des realen Kommissionierprozesses wie Artikelgewicht, Kommissionierzeit und Fehlerrate und errechnet daraus Punkte. Die Mitarbeiter nehmen mit ihrem Avatar, an einer virtuellen Kommissionierliga teil, in der es darum geht, die Höchstpunktezahl (je Team) zu erreichen. Am Beginn wird ein Tutorial-Level gespielt, wodurch das Game neben einer erhöhten Arbeitsmotivation auch für die Ausbildung verwendet werden kann – sei es das Anlernen neuer Arbeitskräfte oder das Lernen neuer Kommissionier Routen. Während des Spieles kann der Mitarbeiter durch besondere Leistungen Trophäen sammeln, die er zur Attributverbesserung seines Avatars verwenden kann. Dadurch wird es ihm ermöglicht, noch schneller Punkte zu sammeln, wodurch eine langfristige Motivation gewährleistet

<sup>113</sup>[http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set\\_ID=927](http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=927); Abfrage am 30.01.2016

ist. Nach jedem Kommissionierauftrag erhält der Mitarbeiter Feedback zu seinen Tätigkeiten, wodurch er sofort und unkompliziert über seine persönliche Performance reflektieren kann. Im beschriebenen Use-Case haben die Mitarbeiter multimediale Barcodescanner, die gleichzeitig als Benutzerschnittstelle für das Game verwendet werden. Des Weiteren gibt es in jedem Arbeitsbereich einen Computerterminal, den die Mitarbeiter in den Pausen zur Individualisierung und Personalisierung ihrer Avatare nutzen können. Auch der Spielfortschritt wird auf den Terminals angezeigt und Aufträge werden visualisiert. Ein wichtiges Erfolgskriterium dieses Konzeptes ist ein enges Aneinanderknüpfen des Fortschritts im Spiel und der realen Performance der Mitarbeiter. Das System der multimedialen Barcodescanner kann auch zur Visualisierung von ortsbasierten Informationen adaptiert werden und dadurch zu einem Tracking der Produkte innerhalb des Lagers verwendet werden.<sup>114</sup>

In diesem Use-Case sind alle zuvor genannten, zehn Kernfaktoren enthalten. Durch die spielerische Anreicherung des sonst monotonen Arbeitsvorganges wird eine langfristige Arbeitsmotivation erreicht. Dies führt, wie zahlreiche Studien beweisen, zu einer höheren Performance und zu einer Reduktion der Fehlerrate und letztendlich auch zu glücklicheren Mitarbeitern.<sup>115,116</sup>

### 6.5.6 Standardisierte Protokolle

Standardisierung wird als eine der größten Herausforderungen von Industrie 4.0 identifiziert, wobei die Standardisierungsanforderungen äußerst vielseitig sind – speziell im Bereich des Internet of Things.<sup>117,118</sup>

Speziell Standardisierungen in der horizontalen und vertikalen Kommunikation sind von essentieller Bedeutung, wozu Interoperabilität zwischen den beteiligten Subsystemen notwendig ist. Ein Quasi-Standard wie z.B. OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture = M2M-Kommunikationsprotokoll) ist dafür ein Anfang. Dabei sind dessen Elemente in allen Ebenen der Automatisierungspyramide anzutreffen. Anhand ihrer Identität können Clients unterschiedliche Views auf die Informationen erhalten. Die SPS hat z.B. 1.000.000 Variablen, wovon die Visualisierung nur 5.000 erhält und das MES System lediglich auf 50 Zugriff hat. Somit ist durch OPC-UA eine sichere vertikale und horizontale Kommunikation vom Sensor bis zum IT-System bereits heute umsetzbar.<sup>119</sup>

<sup>114</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 320

<sup>115</sup>u.a. Pagell, 2004, S.472

<sup>116</sup>vgl. auch Westlund & Lothgren, 2001, S. 391

<sup>117</sup>vgl. u. a. Da Xu *et al.*, 2014, S. 2234

<sup>118</sup>vgl. auch Kagermann *et al.*, 2013, S. 53ff.

<sup>119</sup>vgl. Bauernhansl *et al.*, 2014, S. 326ff.

Aber auch für die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine werden einheitliche, plattformübergreifende Standards benötigt. Im Consumer Bereich werden so genannte Cross-Compiler-Platforms verwendet, um Applikationen zu entwickeln, die mit unterschiedlichen Betriebssystemen kompatibel sind. Dabei wird ein gemeinsamer Quellcode (in einer höheren Programmiersprache) je nach Betriebssystem in unterschiedliche Maschinencodes umgesetzt. Derartige Konzepte sind auch auf den industriellen Sektor übertragbar – sie können z.B. für das Erstellen von Applikationen für Computer und auch Tablets, sowie Smartphones verwendet werden.

## 7 Theoretische Methodenbeschreibung

In diesem Abschnitt werden jene Methoden definiert, die anschließend in Teil III im Rahmen der IST-Analyse verwendet werden.

### 7.1 Wertstromanalyse

Das Wertstrom-Mapping, im englischsprachigem Raum auch als Value Stream Mapping (VSM) bezeichnet, ist eine Methode, die es sich zum Ziel setzt, eine verschwendungsfreie Produktion zu ermöglichen, sowie einen synchronen Produktionsfluss zu erschaffen. Dabei postuliert VSM eine stark kundenorientierte Philosophie und versucht, den Wertschöpfungsprozess in strukturierter Weise zu modellieren und zu optimieren. Im aktuellen Abschnitt wird der erste Teil des Konzeptes, die Wertstromanalyse, anhand Primär- und Sekundärliteratur definiert und diskutiert.

In den letzten Jahrzehnten hat die Wertstromanalyse eine breite Anwendung in der Industrie gefunden, da sie ein einfaches, aber effektives Analysewerkzeug darstellt.<sup>120</sup> Ursprünglich geht die Methode auf die interne Produktionsberatung von Toyota zurück und wurde zur Visualisierung der von Ōno identifizierten Verlustquellen (die sieben Arten von Muda<sup>121</sup>) verwendet. Womack und Jones<sup>122</sup> versuchten, die von Toyota entwickelten Konzepte in ein generischeres Analysetool umzuwandeln. Auch die Autoren Pavnaskar et al., sowie Rother und Shook haben einen großen Anteil zur Entstehung der Wertstromanalyse in ihrer heutigen Form beigetragen, indem sie VSM als ein funktionales Optimierungswerkzeug im Kontext der Lean-Produktion, identifizierten.<sup>123,124</sup> Zahlreiche gelungene Fallstudien und Praxisanwendungen unterstreichen zusätzlich das Erfolgspotential von VSM. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Fallstudie ist die Arbeit von Serrano Lasa et al., die in ihrem Literaturrückblick auch über andere Methoden, die zur Visualisierung von Wertstromprozessen verwendet werden können, reflektieren.<sup>125</sup> Trotz der Vielzahl an Alternativen wird VSM als das qualitativste Visualisierungstool für Produktionsprozesse identifiziert, da es einem geeigneten Zusammenspiel aus generischem, aber auch charakterisierendem Ansatz entspricht. Methoden wie Business Process Reengineering (BPR) sind zu generisch und können spezifische Wertströme nur schlecht visualisieren. Nach der Durchführung einer Fallstudie, in Kooperation mit einem Kunststoffhersteller, kommen die Autoren Serrano Lasa et al. zu der Conclusio, dass VSM ein geeignetes Werkzeug

<sup>120</sup>Gram, 2011, S. 39

<sup>121</sup>vgl. 5.10 Muda

<sup>122</sup>Womack & Jones, 1996

<sup>123</sup>Pavnaskar et al., 2003

<sup>124</sup>Rother & Shook, 2003

<sup>125</sup>Serrano Lasa et al., 2008, S. 42f.

für die Analyse und das Re-Design von Produktionsprozessen darstellt.<sup>126</sup> Auch Erlach führt in seinem Werk einige erfolgreiche Fallbeispiele bezüglich VSM an.<sup>127</sup> Aktuelle Studien befassen sich mit und der laufenden Optimierung von Value Stream Mapping, wie auch die Autoren Kurlang et al., die in ihrem Konferenzbeitrag VSM mit Methods-Time-Measurement verknüpfen.<sup>128</sup>

Die Methodik von VSM ist grundsätzlich in zwei wesentliche Bestandteile untergliedert. Der erste Teil wird von der Wertstromanalyse repräsentiert, an den direkt die Erarbeitung einer Vision anschließt, die oft als Wertstrom-Design bezeichnet wird und versucht, das analysierte System zu optimieren.<sup>129</sup> VSM ist besonders für eine schnelle Aufnahme und Visualisierung eines Ausgangszustandes geeignet.

Die Methode kann auf eine Reihe an Werkzeugen und Tools zurückgreifen, die eine zeitnahe Erfassung des Ausgangszustandes ermöglichen, aber dennoch den Wertschöpfungsprozess in einem hohen Detaillierungsgrad visualisieren. Gegenüber anderen Methoden weist VSM folgende Vorteile auf:<sup>130</sup>

- Es wird die Betrachtung von mehreren Prozessen in einer holistischen Sichtweise ermöglicht, da man den gesamten Wertstrom vom Lieferant bis zum Kunden betrachtet und diesen mit Informationsflüssen verknüpft. Des Weiteren ermöglicht die Wertstromanalyse eine Visualisierung aller wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Prozesse in einer transparenten Form.
- Neben dem Erkennen von Verschwendung unterstützt die Wertstromanalyse auch das Identifizieren von möglichen Ursachen und der Bildung von Kausalitätsbeziehungen.
- Die Zielsetzungen der Methode besitzen eine Dualität und ermöglichen sowohl die Bildung einer standardisierten Diskussionsgrundlage, als auch die Implementierung von Lean-Konzepten.

Hinsichtlich der Vorgehensweise bei der Durchführung einer Wertstromanalyse gibt es in der Literatur verschiedenste Ansätze. Während Rother und Shook den Analyseprozess in fünf Teilanalysen untergliedern, verwendet Erlach eine in vier Teilschritte kategorisierte Methodik. In der vorliegenden Arbeit wird letztere Kategorisierungsmethodik verwendet, da sie einen stärkeren Praxisbezug aufweist.<sup>131</sup>

<sup>126</sup>Serrano Lasa *et al.*, 2008, S. 50

<sup>127</sup>Erlach, 2010, S. 307ff.

<sup>128</sup>Kurlang *et al.*, 2014

<sup>129</sup>Gram, 2011, S. 40

<sup>130</sup>vgl. Rother & Shook, 2003

<sup>131</sup>Erlach, 2010, S. 36ff.

1. Produktfamilienbildung
2. Kundenbedarfsanalyse
3. Wertstromaufnahme (Erstellen des Wertstromdiagramms des Ausgangszustandes)
4. Verbesserungspotentiale

### 7.1.1 Produktfamilienbildung

Im ersten Schritt werden Produkte mit ähnlichen Spezifikationen und Bearbeitungsschritten bzw. Bearbeitungsreihenfolgen zu Produktfamilien zusammengefasst. Grundsätzlich muss für jede Produktfamilie eine eigene Wertstromanalyse durchgeführt werden. Für eine Erstanalyse ist es jedoch hinreichend, eine repräsentative Produktgruppe mit einem möglichst hohen Mengenanteil auszuwählen und die Wertstromanalyse für diese durchzuführen. Für den Auswahlprozess und die Kategorisierung wird die sogenannte Produktfamilienmatrix<sup>132</sup> empfohlen. Dabei werden zunächst alle Produkte und die von ihnen durchlaufenen Prozessschritte erfasst. Nach dem Prinzip der Ähnlichkeit werden anschließend jene Produkte zusammengefasst, die die Wertschöpfungskette in einer ähnlichen Form durchlaufen. Dadurch kann die Komplexität auch bei stark variantenreicher Produktion minimiert werden. Nach der Bildung der Produktfamilien wird je Produktfamilie ein Repräsentant ausgewählt, der die Behandlung von konkretisierten Einzelfragen bezüglich Zeiten oder anderen produktbezogenen Parametern ermöglicht.

### 7.1.2 Kundenbedarfsanalyse

Wie einleitend bereits erwähnt, steht der Kunde im Fokus der Wertstromanalyse und es ist eine primäre Zielsetzung, den gesamten Wertschöpfungsprozess an die Kundenbedürfnisse anzupassen. Dazu ist die Berechnung des Kundentaktes notwendig. Dieser basiert auf den jährlichen Bedarfen der Kunden, wobei als Datenbasis Verkaufszahlen aus den Vorperioden verwendet werden sollten.

Der Kundentakt berechnet sich aus einer Multiplikation der Fabriktag pro Jahr und der Arbeitszeit pro Tag dividiert durch die Jahresabsatzmenge:<sup>133</sup>

$$KT = \frac{\text{Fabriktag}_{\text{Jahr}} \cdot \text{Arbeitszeit}_{\text{Fabriktag}}}{\text{Jahresstückzahl}} = \frac{\text{Arbeitszeit}_{\text{Fabriktag}}}{\text{Tagesbedarf}} \quad (7.1)$$

<sup>132</sup>vgl. Tabelle 8.2 des Praxisteils

<sup>133</sup>Erlach, 2010, S. 48

Die Kenntnis des Kundentaktes unterstützt dabei, einen geeigneten Produktionstakt zu erarbeiten und die Prozesse auf den Kunden abzustimmen. Würde jeder wertschöpfende Prozess genau im Rhythmus des Kundentaktes arbeiten, wäre die Produktion genau entsprechend der Marktanforderungen ausgerichtet – bei Betrachtung des Jahresdurchschnittes. Da Bedarfsschwankungen auftreten und dennoch Flexibilität gewährleistet sein muss, ist die Bildung von geeigneten Puffern notwendig.

### 7.1.3 Wertstromaufnahme

Die Wertstromaufnahme bezeichnet die IST-Aufnahme des Wertstromes. Sie findet immer vor Ort statt und kann mit einfachsten Hilfsmitteln (Papier, Bleistift, Radiergummi und einer Stoppuhr) durchgeführt werden. Für die Aufnahme des Wertstromes sind zwei Durchgänge erforderlich, wobei beim ersten die Produktionsprozesse und deren Materialflüsse untersucht werden. Dabei wird der Wertstrom ausgehend vom Versand rekursiv durchschritten, was die Sicht des Kunden widerspiegelt. Beim zweiten Durchgang werden die Geschäftsprozesse analysiert und die damit verbundenen Informationsflüsse aufgenommen.

Während der Wertstromaufnahme sind folgende vier Leitfragen zu beachten, die während der Analyse bezüglich jedes Prozessschrittes beantwortet werden sollen:<sup>134</sup>

1. Was sind die Aufgaben und Tätigkeiten? Die Beantwortung dieser Frage dient dem Erstellen einer Prozessbeschreibung. Dabei empfiehlt es sich, immer einen gesamten Arbeitszyklus zu beobachten und den Prozess so lange zu studieren, bis man einen konkreten Eindruck über die Funktionsweise des Produktionsprozesses erhält.
2. Woher weiß der Mitarbeiter, was er zu tun hat? Diese Frage dient der Ermittlung von innerbetrieblichen Steuerflüssen (digital oder manuell). Oft ist es förderlich, sich Kopien von Produktionsunterlagen wie z.B. Laufkarten anzufertigen.
3. Wie groß sind Arbeitsvorrat bzw. Bestand? Durch die Beantwortung dieser Frage erhält man einen Einblick über die zwischen einzelnen Arbeitsprozessen gelagerten Teile und Artikel und kann so die Bestände ermitteln.
4. Woher kommt das Material und die Arbeitsaufträge? Diese Frage führt bei einem rekursiven Durchschreiten des Wertstromes zur vorgelagerten Arbeitsstation.

<sup>134</sup>Erlach, 2010, 55f.

Das Wertstromdiagramm bildet den Kern der Wertstromaufnahme. Dabei werden Daten über Material- und Informationsfluss, Aktivitäten und Arbeitsabläufe aufgenommen, aber auch Bestände dokumentiert. Daraus entsteht eine hohe Informationsdichte im Diagramm, die jedoch aufgrund der starken Strukturierung überschaubar bleibt. In der Literatur gibt es dazu unterschiedliche Modellbildungsansätze. Klevers, sowie Rother und Shook kategorisieren das Diagramm mittels eines strukturierenden Ansatzes gemäß den Positionen innerhalb des Diagramms in fünf Bestandteile.<sup>135,136</sup> Erlach hingegen verwendet eine anwendungsorientierte Strukturierung der Bestandteile des Diagramms.<sup>137</sup> In der vorliegenden Arbeit werden beide Ansätze in einem holistischen Kontext betrachtet, um einerseits auf die konkrete Positionierung der Teile einzugehen und andererseits eine anwendungsorientierte Kategorisierung zu erhalten. Dazu wird das Wertstromdiagramm in folgende Punkte unterteilt:

1. Kunde (wurde bereits im vorigen Abschnitt erläutert)
2. PPS-System
3. Produktionsprozesse
4. Materialfluss / Bestände und Lieferanten
5. Informationsflüsse und Geschäftsprozesse
6. Zeitachse

**PPS-System:** Das Produktionsplanungs- und Steuerungs-System ist der eigentliche Kopf jedes Betriebes und ist im Diagramm auch entsprechend positioniert. Das System regelt alle betriebsrelevanten Informationsflüsse, die interne und externe Geschäftsprozesse darstellen. Es kommuniziert somit einerseits mit dem Zulieferer und dem Kunden und steuert andererseits die innerbetriebliche Wertschöpfungskette. Das PPS wird dabei von Informationssystemen unterstützt (im Beispiel<sup>138</sup> werden diese IIS durch SAP und Excel repräsentiert).

**Produktionsprozesse:** Den Kern des Diagramms bildet der Bereich der Produktionsprozesse. Dieser, im mittleren Teil des Diagramms befindliche Abschnitt stellt den eigentlichen Wertschöpfungsprozess des Betriebes dar und visualisiert diesen durch eine

<sup>135</sup>Klevers, 2007, S. 30ff.

<sup>136</sup>Rother & Shook, 2003, S.13ff.

<sup>137</sup>vgl. Erlach, 2010, S. 57ff.

<sup>138</sup>vgl. Abbildung 7.1

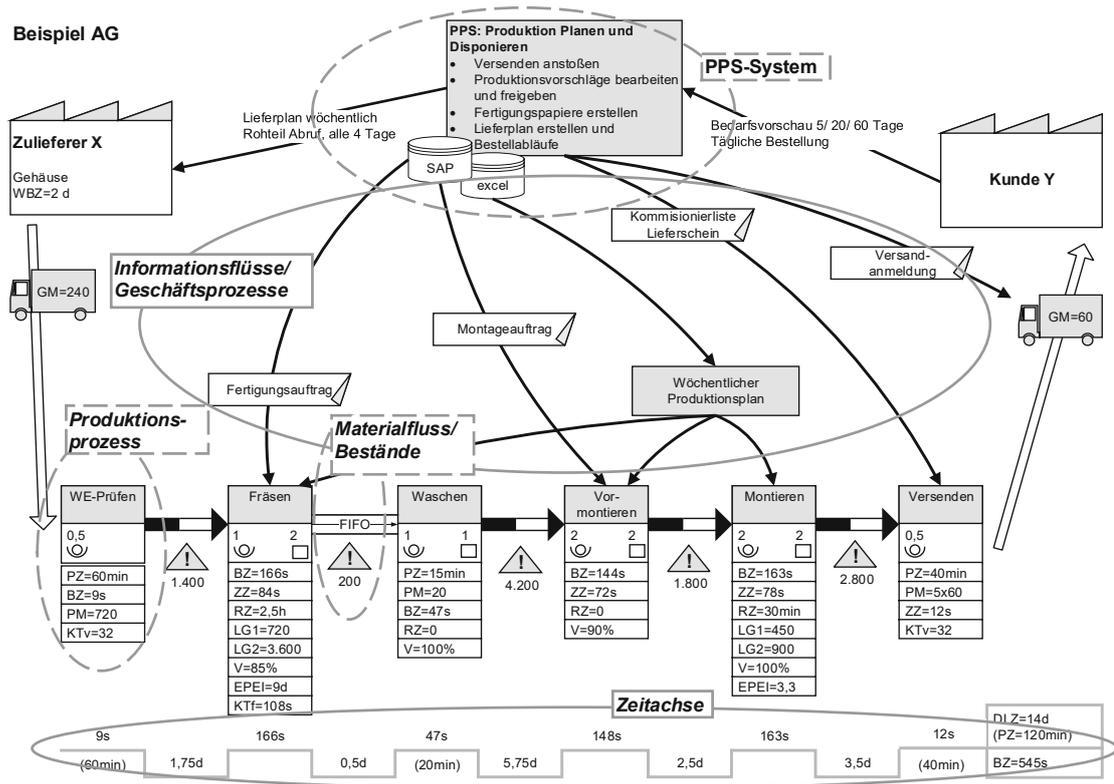


Abbildung 7.1: Beispiel eines Wertstromdiagramms

strukturierte Darstellung der einzelnen Arbeitsvorgänge und deren Verkettung zueinander. Die Arbeitsvorgänge werden durch Prozesskästen repräsentiert, die eine Reihe an Informationen beinhalten:

- Die **Anzahl der Mitarbeiter pro Schicht** wird durch ein Symbol innerhalb des Prozesskastens dargestellt.
- Die **Anzahl der Maschinen je Prozess** wird durch ein Rechtecksymbol innerhalb des Prozesskastens visualisiert.
- Die **Losgröße (LG)**
- Der **Kundentakt (KT)** kann an gewissen Prozessen abweichen (andere Schichtenanzahl). Im Beispiel sind das Kundentakt Versand ( $KT_v$ ) und Kundentakt Fräsen ( $KT_f$ ).
- Die **Bearbeitungszeit (BZ)** gibt an, wie lange ein Teil im Produktionsprozess bearbeitet wird.
- Die **Prozesszeit (PZ)** gibt an, wie lange sich Teile im jeweiligen Produktionsprozess befinden.

- Die **Rüstzeit (RZ)** beschreibt die Zeit, während der das Betriebsmittel aufgrund von Umrüstvorgängen nicht zur Bearbeitung zur Verfügung steht.
- Die **Zykluszeit (ZZ)** gibt an nach welcher Zeit die Bearbeitungen innerhalb eines Prozesses abgeschlossen sind. Gibt es nur ein Betriebsmittel im entsprechenden Produktionsprozess, entspricht die Zykluszeit der Bearbeitungszeit.
- Die Maschinenzuverlässigkeit bzw. die **Verfügbarkeit (V)** ist eine Kennzahl zur prozentualen Darstellung der Verfügbarkeit der jeweiligen Maschine.
- Die **Durchlaufzeit (DLZ)** errechnet sich aus den Beständen.

$$DLZ = \sum \frac{(\text{Bestandsmenge} + \text{Umlaufbestand}) \cdot \text{Gutausbeute}}{\text{Tagesbedarf} \cdot \text{Anzahl}_{\text{Gleichteile}}} \quad (7.2)$$

Die Anzahl der Kennzahlen ist je Produktionsprozess unterschiedlich. So enthalten manche Prozesse mehr oder weniger Maschinen mit unterschiedlichen Losgrößen oder Verfügbarkeiten.

**Materialfluss / Bestände und Lieferanten:** Die einzelnen Prozesskästen der Produktionsprozesse sind miteinander durch weitere Symbole, die den Materialfluss visualisieren, logistisch verkettet. Die Symbolik stellt dabei sowohl die Manipulationsart (Push, Pull, oder FIFO), als auch die Bestände zwischen den einzelnen Produktionsprozessen dar. Dadurch wird der Materialfluss vom Lieferanten über die innerbetriebliche Wertschöpfungskette bis hin zum Kunden transparent visualisiert.

Die Zulieferer verbinden den Produktionsbereich des Unternehmens über Transportsysteme mit dem Materialfluss des Lieferanten, der seinerseits sowohl intern als auch extern sein kann. Innerhalb des Wertstromdiagramms sind die Lieferanten links oben positioniert und enthalten Daten bezüglich Liefer- bzw. Wiederbeschaffungszeit und Liefertreue.

**Informationsflüsse und Geschäftsprozesse:** Das im mittleren oberen Bereich des Wertstromdiagramms angeordnete System aus Informationsflüssen dient der Visualisierung der Vernetzung der PPS-Prozesse. Geschäftsprozesse werden als Rechtecke symbolisiert und mittels Informationsflüssen mit den operativen Teilprozessen, den Produktionsprozessen, verbunden. Die Art der Informationsflüsse kann nach der Art des Mediums spezifiziert werden (z.B. elektronischer Informationsfluss als gezackter Pfeil).

**Zeitachse:** Die Zeitachse stellt wesentliche Kenngrößen über die Zeiten dar. Unter den Prozessen werden die jeweiligen Zyklus- (bzw. Bearbeitungs-) und Prozesszeiten ange-

führt und unter den Materialflüssen werden die Bestände dargestellt (in der Form von Tagen zur Abarbeitung der Bestandsmenge). Diese Werte werden aufsummiert und rechts unten angegeben. Somit ergeben sich die gesamte Zyklus- und Prozesszeit, sowie die Durchlaufzeit. Unter der Zeitachse können noch zusätzliche Achsen verwendet werden, die z.B. Transportwege, Energieverbrauch oder Lagerflächen visualisieren.

#### 7.1.4 Verbesserungspotentiale

Nach der Aufnahme des Wertstromes, der Ausgangssituation, können das Wertstromdiagramm und die generierten Daten und Kennzahlen dazu genutzt werden, Verbesserungspotentiale im bisherigen Wertschöpfungszyklus aufzuzeigen. Eine wichtige Grundlage dafür ist der Vergleich von DLZ und BZ bzw. ihres Verhältnisses zueinander – dem Flussgrad. Daraus lässt sich die Trägheit des Produktionssystems ableiten und diskutieren. Des Weiteren eignet sich das Wertstromdiagramm zur Beurteilung der einzelnen Produktionsprozesse relativ zueinander. Daraus lässt sich ableiten, wie die Produktionsprozesse kapazitiv zueinander abgestimmt sind und in welchen Bereichen Verbesserungsmaßnahmen notwendig sind (KAIZEN-Blitze). Ein weiterer aus dem Wertstromdiagramm resultierender Punkt ist das Erkennen von Schwächen, die durch Sofortmaßnahmen verbessert werden können. Hierzu bieten sich einfache Lean-Werkzeuge an. Die Wertstromanalyse zeigt auch die Transparenz des Produktionsprozesses auf, wobei gilt: je unübersichtlicher der IST-Wertstrom ist, desto wichtiger ist eine Neugestaltung.<sup>139</sup>

#### 7.1.5 Conclusio

Bevor man Optimierungsmaßnahmen in einem Betrieb durchführen kann, ist es zunächst wichtig, über die Ausgangsbedingungen zu reflektieren. Oft resultieren alleine aus der kritischen Reflexion der Gegebenheiten zahlreiche Optimierungspotentiale. Dahingehend stellt die Wertstromanalyse ein effizientes Tool dar, das es ermöglicht, den Ausgangszustand eines produzierenden Unternehmens in kumulierter Weise zu modellieren und dennoch einen ausreichenden Detaillierungsgrad zu bewahren. Auf dieses Basismodell können Optimierungsmaßnahmen effektiv, aber dennoch zeiteffizient aufgebaut werden.

Aus diesen Gründen wird die Wertstromanalyse in der vorliegenden Arbeit als Modellierungstool verwendet, um den IST-Zustand der Produktion von BÖHLER Bleche zu visualisieren. Die Resultate der praktischen Anwendung sind im Praxisteil angeführt.<sup>140</sup>

<sup>139</sup>Erlach, 2010, S. 101

<sup>140</sup>siehe 8 Analyse der IST-Situation

## 7.2 Informationsflussanalyse

Unter der Bezeichnung Informationsflussanalyse werden in der vorliegenden Arbeit jene Theorien und Methoden zusammengefasst, die eine Modellierung von betrieblichen Informationen und deren Wechselbeziehungen ermöglichen. Des Weiteren sollen sie eine qualitative Bewertung hinsichtlich des Integrationsgrades der Informations- und Kommunikationssysteme unterstützen. Unter dem Begriff Informationsfluss werden dabei manuelle Informationsflüsse (z.B. manuelle Weitergabe von physischen Dokumenten) und digitale Informationsflüsse (durch Softwaresysteme ausgetauschte Daten) zusammengefasst.

### 7.2.1 Auswahl eines geeigneten Modells

Um vorhandene Informationsflüsse analysieren zu können, ist zunächst die Bildung eines Modells notwendig, das die vorhandenen Strukturen bestmöglich visualisiert. Dazu wird die zugrunde liegende Literaturrecherche auf die Bereiche Wirtschaftsinformatik bzw. Softwareentwicklung fokussiert, wo das Thema „Modellierung von Informationssystemen“ einen eigenen Forschungsbereich darstellt.<sup>141</sup> Dabei wird versucht, Paradigmen auf abstraktem Niveau zu generieren und somit für den praxisgerechten Einsatz aufzubereiten. Im Kontext der Wirtschaftsinformatik sollen Modelle die Logik von Informationssystemen visualisieren und gleichzeitig die Darstellung unterschiedlicher Abstraktionsgrade fördern.

Im Bereich der Datenbankentwicklung und -handhabung wird oft das sogenannte Entity-Relationship-Diagramm (ER) verwendet. Es visualisiert komplexe Datenstrukturen in einer komprimierten Weise und vereinfacht die Ausarbeitung von Datentabellen und deren Relationen deutlich.<sup>142</sup>

In der Softwareentwicklung findet auch das UML-Diagramm (Unified Modeling Language) eine breite Anwendung, da es durch das zugrundeliegende Toolset die Abbildung von logischen Zusammenhängen ermöglicht. Des Weiteren können mit UML auch Regelungs- und Steuerungskreisläufe dargestellt werden.<sup>143</sup> Dabei ist die Modellierungssprache nicht nur auf den Bereich der Informatik beschränkt – vielmehr wird UML in Wissenschaft und Praxis zur Modellierung von Geschäftsprozessen (z.B. im Controlling) verwendet. So auch Eriksson und Penker, die in ihrer renommierten Arbeit UML für die Modellierung von Geschäftsprozessen nutzen.<sup>144</sup> Bezüglich der Geschäftsprozessmodellierung gibt es

<sup>141</sup> u.a. Frank *et al.*, 2014, S. 49ff.

<sup>142</sup> vgl. Chen, 2002, S. 298

<sup>143</sup> vgl. OMG, 2010

<sup>144</sup> Eriksson & Penker, 2000

zusätzlich noch andere Modellierungssprachen, wie die ereignisgesteuerte Prozesskette, oder BPMN, die aber vice-versa nicht in den Bereichen der Informatik eingesetzt werden. Für die Modellierung von Informationsflüssen findet auch das Swim-Lane Diagramm Anwendung, das grundsätzlich auf UML basiert, dieses jedoch um eine zusätzliche Dimension erweitert. Der Vorteil dieser Darstellung besteht darin, dass die einzelnen Informationssysteme und deren Relationen, die sich als Informationsflüsse ausbilden, gemäß der Swim-Lanes kategorisiert werden. Somit können die IT-Systeme den einzelnen Unternehmensbereichen zugeordnet werden und eine holistische Betrachtung wird ermöglicht. So verwenden beispielsweise Iskanius et al. das Swim-Lane Diagramm zur Visualisierung von Informationsflüssen in der stahlverarbeitenden Industrie im Rahmen von mehreren praktischen Anwendungsbeispielen. Dabei gehen die Autoren im Speziellen auf das Supply Chain Management ein.<sup>145</sup> In der vorliegenden Arbeit wird für den Praxisteil auch auf die Modellierung durch die Swim-Lane Darstellung zurückgegriffen, da es sich, für die gegebene Situation als am geeignetsten herausstellt. Des Weiteren ermöglicht die Visualisierung eine vereinfachte Darstellung von komplexen Zusammenhängen und die Zuordnung der Informationssysteme und -flüsse anhand der „Lanes“. Die, in den Begriffsdefinitionen visualisierte Darstellung des Swim-Lane Diagramms wird leicht modifiziert, um die Informationsdichte zu erhöhen. Das adaptierte Diagramm ist in Abbildung 7.2 dargestellt. Neben den primären Lanes werden auch entlang der Abszisse Bereiche eingeführt. Durch die daraus entstehende Matrix können die Prozesse, sowie Eingangs- und Ausgangsgrößen transparenter visualisiert werden. Neben den Prozesskästen, die die jeweiligen Vorgänge beschreiben, werden weitere Symbole eingeführt, um unterstützende Softwaresysteme und Datenbanken zu beschreiben – somit kann die Informationsdichte des Diagramms weiter erhöht werden.

### 7.2.2 Bewertungsmöglichkeiten

Nach der Bildung eines Modells, das die Informationssysteme und ihre Flüsse in transparenter Form visualisiert, kann eine Analyse durchgeführt werden. Diese hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab und lässt sich an dieser Stelle nicht vollständig in einer generischen Ausprägung beschreiben. Dennoch können einige Faktoren auch generalisiert diskutiert werden.

Einer dieser Faktoren ist Daten- bzw. Informationsredundanz. In sicherheitskritischen Umgebungen sind Redundanzen in den Informationssystemen durchaus erwünscht, da bei etwaigen Problemen der Daten- bzw. Informationsbestand nicht verloren geht. Problematisch sind jedoch redundante Daten mit gewissen, inkrementellen Unterschieden,

<sup>145</sup>Iskanius et al., 2007, S. 252ff.

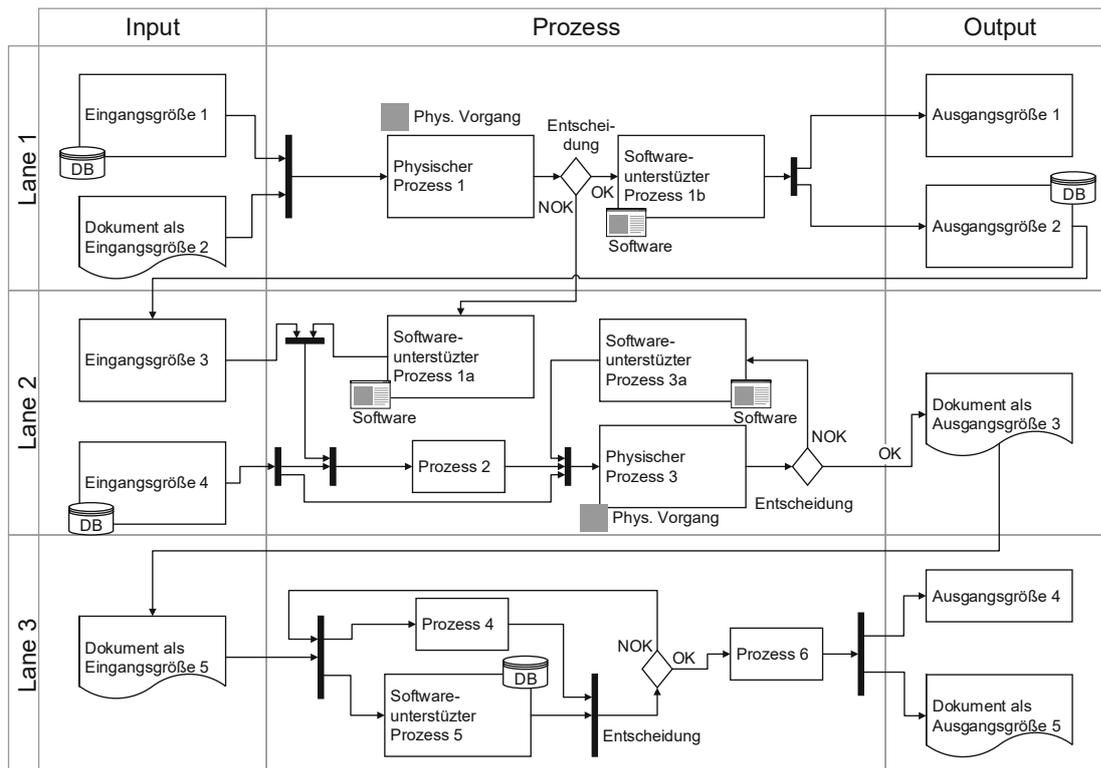


Abbildung 7.2: modifiziertes Swim-Lane Diagramm

da sie Konflikte in den IT-Systemen hervorrufen können, die semantische Integrität der Daten gefährden oder im schlimmsten Fall zu Datenverlust führen. Durch Datenredundanzen werden auch die Reaktionsgeschwindigkeiten der Datenbanken deutlich reduziert. Bei medienübergreifenden Informationen (z.B. in IT-Systemen und Dokumenten) führen Redundanzen zu Mehrarbeit, da die Daten parallel, in unterschiedlichen Formen, aktualisiert werden müssen. Somit kann man ungeplante Redundanzen in einer generalisierten Betrachtung als negativ einstufen.<sup>146,147</sup>

Des Weiteren kann man generalisierte Aussagen über die Art der Informationsübermittlung tätigen. So haben digitale Informationen den Vorteil einer gewissen Allgegenwärtigkeit, sofern die notwendigen IT-Systeme vorhanden sind. An manuellen Arbeitsplätzen ist die Informationsübermittlung von digitalen Daten oft schwierig, da geeignete Systeme nicht vorhanden sind. Aufgrund dessen wird hierbei oft auf manuelle Informationsflüsse zurückgegriffen. Im Kontext von Industrie 4.0 können und sollen aber auch derartige Arbeitsplätze mit einer gewissen Form an digitaler Präsenz ausgestattet werden – denn durch die Verwendung von IT-Systemen und der Reduktion von Medienbrüchen zwischen virtueller und physikalischer Welt (auch in den Informationsflüssen) kann die Transparenz

<sup>146</sup>vgl. Rodrigues & Liskov, 2005, S. 231ff.

<sup>147</sup>vgl. auch Klein, 1992

deutlich gesteigert werden und auch die Prozesssteuerung wird vereinfacht.<sup>148,149</sup>

Weitere, spezifizierte Aussagen werden im Rahmen der praktischen Analyse<sup>150</sup> getroffen.

### 7.3 5-Why Analyse

Die 5-Why Analyse ist ein, aus dem Qualitätsmanagement stammendes, Instrument, das verwendet wird, um den kausalen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung zu ergründen – in der vorliegenden Arbeit wird die Methode implizit im Praxisteil verwendet, um Kausalitäten abzuleiten.

Ausgehend von einer trivialen Frage ergibt sich durch wiederholtes Fragen von „Warum“ die kausale Ursache, oder es entsteht eine stark vereinfachte Problemstellung. Obwohl die Bezeichnung einen numerischen Wert beinhaltet, ist die Anzahl der Fragen keineswegs auf fünf beschränkt – vielmehr korreliert die Frageanzahl stark mit der Komplexität des jeweiligen Problems. Die Analysemethode wird speziell im Bereich des Root Cause Problem Solving<sup>151,152</sup> eingesetzt. Die 5-Why Analyse zeichnet sich durch ihre Einfachheit aus, stellt ein effizientes Analysewerkzeug dar und visualisiert schnell und effektiv komplexe, kausale Zusammenhänge. Um die Analysemethode zu erklären verwendete Ōno folgendes Beispiel, das zu einer berühmten Anekdote geworden ist:<sup>153</sup>

*Question 1: Why did the robot stop?*

*Answer: The circuit is overloaded, causing a fuse to blow.*

*Question 2: Why is the circuit overloaded?*

*Answer: There was insufficient lubrication on the bearings, so they locked up.*

*Question 3: Why was there insufficient lubrication on the bearings?*

*Answer: The oil pump on the robot is not circulating sufficient oil.*

*Question 4: Why is the pump not circulating sufficient oil?*

*Answer: The pump intake is clogged with metal shavings.*

*Question 5: Why is the intake clogged with metal shavings?*

*Answer: Because there is no filter on the pump.*

Ausgehend von der Frage warum der Roboter stoppt, arbeitet sich die Methodik des Analysewerkzeugs schrittweise in Richtung der Lösung vor, wobei die Frage immer detail-

<sup>148</sup>u.a. Bauernhansl *et al.*, 2014

<sup>149</sup>Geisberger & Broy, 2012

<sup>150</sup>siehe 8.2 Informationsflussanalyse

<sup>151</sup>z.B. Murugaiah *et al.*, 2010, S. 528

<sup>152</sup>Pylypow & Royall, 2001, S. 66

<sup>153</sup>Ōno, 1988

liert wird. Schließlich stößt man bei der fünften Frage auf die Grundursache – die Root Cause – und erkennt, dass das Problem durch einen fehlenden Filter verursacht wurde.

Die 5-Why Analyse ist keineswegs nur auf die Ergründung monokausaler Zusammenhänge beschränkt. An gewissen Stellen kann sich das Modell verzweigen, wodurch ein multikausaler Fragebaum entsteht, der ein ursprüngliches Problem auf mehrere verschiedene Ursachen zurückführt. Wenngleich die 5-Why-Analyse einfach wirkt, so ist sie dennoch ein effektives Analyseinstrument, das sich, speziell im Lean-Sektor, des öfteren bewähren konnte.

## Teil III

# Praxisteil

In diesem Teil werden die im Theorieteil diskutierten Methoden angewandt, wobei der Praxisteil in drei wesentliche Abschnitte untergliedert wird:

- Analyse der IST-Situation
- Ausarbeitung der SOLL-Situation
- Ergebnisse – Handlungsempfehlung

Zunächst wird die IST-Situation analysiert, wobei der Ausgangszustand zusammengefasst und modelliert wird. Die daraus entstehenden Optimierungspotentiale werden im Anschluss diskutiert und ein SOLL-Zustand abgeleitet, der seinerseits auf die theoretische Methodenbasis des Theorieteils, im Speziellen auf Abschnitt 6, aufbaut. Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und ein SOLL-IST Vergleich durchgeführt. Ausgehend von den gewonnenen Daten wird sodann eine Handlungsempfehlung für BÖHLER Bleche erstellt.

## 8 Analyse der IST-Situation

### 8.1 Wertstromanalyse

Um einen Überblick über den Betrieb von BÖHLER Bleche zu erhalten und grundlegende Kennzahlen, wie Kundenbedarfe, Zyklus, Prozess- und Durchlaufzeiten, sowie Bestände abzuleiten, wird eine Wertstromanalyse<sup>154</sup> durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse bilden die Produktion modellhaft ab und dienen dem Finden von Optimierungspotentialen. In den kommenden Abschnitten werden zunächst Voranalysen beschrieben, die der Auswahl von Produktfamilien dienen und die Kundenbedarfe ableiten.

#### 8.1.1 ABC-Analyse und Produktfamilienbildung

In der vorliegenden Arbeit werden zur Produktfamilienbildung die Arbeitspläne (statt der Einzelprodukte bzw. Aufträge) als Ausgangsbasis verwendet, da dadurch eine detailliertere Modellierung ermöglicht wird. Analysebasis der Wertstromaufnahme sind Daten aus

<sup>154</sup>theoretische Beschreibung im Theorieteil – 7.1 Wertstromanalyse

dem innerbetrieblichen Datenbanksystem (SAP), die die Produkte und deren Bearbeitungsreihenfolgen betreffen. Die Produktion von BÖHLER Bleche ist sehr variantenreich, wobei es über 3.000 verschiedene Arbeitspläne (nur im Bereich der Adjustage) gibt, die ihrerseits die Bearbeitungsschritte und die Bearbeitungsreihenfolgen der Produktion abbilden. Um einen Überblick über die komplexe Ausgangssituation zu erhalten, werden die Daten aus dem Kalenderjahr 2015 anhand einer ABC-Analyse untersucht. In diesem Zeitraum wurden über 15.500 Aufträge durchgeführt, wobei jedem Auftrag ein Arbeitsplan zugeordnet ist. Um die Daten zu kumulieren, erfolgt zunächst eine Sortierung hinsichtlich der Auftrittshäufigkeiten der Arbeitspläne. Aus dieser Sortierung werden die aussagekräftigsten Datensätze analysiert, wobei jene Aufträge mit denselben Arbeitsplänen zusammengefasst und Einflussgrößen, wie Gesamtmasse und Wert, je Arbeitsplan addiert werden. Die daraus erarbeiteten Datensätze stellen nun das Jahr 2015 anhand eines detaillierten Datenmodells dar und repräsentieren in Summe rund 60% der Jahresproduktion von 2015 (bezogen auf die Masse). Die weiteren Arbeitspläne treten nur in einer geringeren Häufigkeit auf und sind für eine repräsentative Modellbildung weniger geeignet.<sup>155</sup> In einem nächsten Schritt werden die Arbeitspläne hinsichtlich ihrer Inhalte aufgelöst. Die daraus entstehenden Datensätze beinhalten einerseits auftragsbezogene Daten und enthalten andererseits Informationen über den physischen Warenfluss durch die Produktion. Gemäß dem Prinzip der Ähnlichkeit werden die derart entstandenen Daten systematisch kategorisiert. Dabei erfolgt die Einteilung gemäß den Hauptbearbeitungsschritten (den eigentlichen Schneidvorgängen der Bleche) in:

- Schere
- Trennschneiden
- Laserschneiden
- Plasmaschneiden
- kein Schneiden

Die ersten beiden Kategorien „Schere“ und „Trennschneiden“ haben zusammen mit über 78% den größten Gesamtanteil am Sample (bezogen auf die Masse) und etwa 77% (bezogen auf den Produktwert). Auch hinsichtlich der Auftrittshäufigkeiten repräsentieren sie rund 78% des Samples.<sup>156</sup> Daher werden die beiden Kategorien im Folgenden detail-

<sup>155</sup>Daher kann in diesem Sinne von ausreichender statistischer Signifikanz des Samples ausgegangen werden.

<sup>156</sup>Geht man von einer Standardnormalverteilung aus, treffen diese Anteile auch auf die Gesamtproduktion des Kalenderjahres 2015 zu.

lierter untersucht und zur konkreten Produktfamilienbildung herangezogen. Dazu werden die beiden Kategorien voneinander getrennt untersucht. Durch wiederholtes Sortieren und Kumulieren entsteht schließlich ein deutlich vereinfachter Datenbestand, bestehend aus sechs Arbeitsplan-Familien der Kategorie Schere (S1 bis S6) und vier Arbeitsplan-Familien der Kategorie Trennschneiden (T1 bis T4). Diese Daten sind in Tabelle 8.1 visualisiert. Aus jeder Kategorie wird eine Arbeitsplan-Familie herausgelöst, die im Rah-

	Repräsentant	Kurztext	Menge in kg	Wert in €	Auftritts- häufigkeit	Menge in %	Wert in %	Menge in %	Wert in %
						je Kategorie		bezogen auf 2015	bezogen auf 2015
Schere	S1	CW/SO F* K*V* 0,8-16 T P W G SS/S2	2.290.390	7.081.467	1.347	38,92%	20,96%	8,85%	6,24%
	S2	CW/HW K*W* 1,26-15,0 T P S G SS Zuschn	1.939.431	8.758.523	1.514	32,95%	25,92%	7,49%	7,72%
	S3	CW K* 2,51-13,0 T P S S LL	182.283	896.022	148	3,10%	2,65%	0,70%	0,79%
	S4	RS A101* 2,01-8,0 T P B L SS	679.259	5.426.732	509	11,54%	16,06%	2,62%	4,78%
	S5	PL N700* N702* 3,0-7,0 TP P B A S S #	565.025	7.273.791	428	9,60%	21,53%	2,18%	6,41%
	S6	PL N700* 4,0-8,0 TP P G A S S	228.956	4.349.496	185	3,89%	12,87%	0,88%	3,83%
<b>Gesamtwerte:</b>			<b>5.885.344</b>	<b>33.786.031</b>	<b>4.131</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>22,73%</b>	<b>29,78%</b>
Trennschn.	T1	HS S* 8,01-50,0 T P S G CC	1.120.277	5.504.754	583	19,06%	26,22%	4,33%	4,85%
	T2	KU M31* 30,01-105,0 S/T P S WA CC	1.858.628	5.891.641	722	31,63%	28,06%	7,18%	5,19%
	T3	CW K3*K4*K7* 15,01-50,0 T P S G CC	2.206.978	6.415.558	1140	37,55%	30,55%	8,52%	5,65%
	T4	CW K3*K4*K7* 15,01- 45,0 T P M G CC	690.936	3.186.471	408	11,76%	15,17%	2,67%	2,81%
<b>Gesamtwerte:</b>			<b>5.876.819</b>	<b>20.998.424</b>	<b>2.853</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>22,70%</b>	<b>18,51%</b>

Tabelle 8.1: Produktfamilien nach Arbeitsplänen, abgeleitet aus KJ 2015

men der Wertstromanalyse behandelt wird (in der Tabelle grau markiert). Dazu werden die kumulierten Einträge der Tabelle 8.1 als Entscheidungsgrundlage verwendet, um Familien auszuwählen. In der Kategorie Schere wird S6 verwendet, da sie alle Prozessschritte der Gesamtkategorie „Schere“, auch die der anderen Produktfamilien (S1 bis S5), beinhaltet. Speziell die Produktfamilie S5 unterscheidet sich nur minimal von S6 – sie unterscheiden sich nur dadurch, dass S6, im Gegensatz zu S5, auch geschliffen wird.<sup>157</sup> Die ersten beiden Datensätze S1 und S2 haben hinsichtlich ihrer Gesamtmasse einen größeren Anteil als S6, verfügen jedoch über deutlich weniger Arbeitsschritte und können somit die Kategorie „Schere“ nicht in ausreichendem Detaillierungsgrad darstellen, werden aber implizit durch die Verwendung der Kategorie S6 mitanalysiert. Aus der Kategorie Trennschneiden wird die Arbeitsplan-Familie T3 verwendet, da sie sowohl hinsichtlich Mengen- bzw. Masseanteil, als auch hinsichtlich des monetären Wertes die höchsten Anteile aufweist. Des Weiteren beinhaltet sie alle relevanten Bearbeitungsschritte. Für jede dieser beiden Arbeitsplan-Familien wird ein Repräsentant (ein einzelner Arbeitsplan) herausgelöst, der zur Beantwortung von konkreten Fragen verwendet werden kann.

<sup>157</sup>vgl. Abbildung 8.1

Um den Produktionsprozess von BÖHLER Bleche im Weiteren bestmöglich zu modellieren, ist die getrennte Behandlung der beiden Kategorien S6 und T3 notwendig. Da

	ADJ Plan	Häufigkeit	Qualitäten				Wärmebehandlung	Strahlen 1	(Plan-) Richten	Schn, Schere/ Fertigschn.	Vorsortieren (u. Abnahme)	Trennschneiden	Schleifen/ Polieren/ Entgraten	Beizen	(Ausmessen u.) Sortieren	Prüfen/ Abnahme d. Kunde	(auf Lager oder) Verpacken
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k				
Schere S6 und S5	50001009	99	N700SP				x	x	x	x			x	x	x		
	50001021	54															
	50000978	32	N700SP	N702SP			x	x	x	x			x	x	x		
	50000905	65	N700SP				x	x	x	x				x	x		
	50000935	36	A611	A615	A924	A965SA											
			A614	A913	A952	T240											
	50001995	50	L004	L090	L359	L331MG											
			L059	L276	L625	L333MG											
	50000982	34	L022	L075	L307MG												
			L059	L276	L330MG												
50000930	34	A610	A970	H500MG	L059	L359	x	x	x	x				x	x	x	
50002794	338	K110	K306	K340	K720	K390PM											
		K305	K329	K460	K320MG	K495PM											
50000872	179	K105	K110	K349	K720												
		K107	K305	K460	K371TA												
50002831	219	K100	K107	K137	K305	K720											
		K105	K110	K200	K460	K390PM											
50000875	59	K105	K305	K320MG													
		K110	K460	W302													
50000917	74	K600															
50000867	92	K295PM	M310	N360	W302												
		K696PM	M495PM	W300													
							a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k

Tabelle 8.2: Produktfamilienmatrix – Produktfamilien nach Arbeitsplänen und konkreten Produkten, abgeleitet aus KJ 2015

zunächst nur die Arbeitspläne für die Voranalysen verwendet wurden, erfolgt im nächsten Schritt die Zuordnung von konkreten Produkten bzw. Qualitäten. Dazu werden jedem Arbeitsplan alle damit bearbeiteten Produkte zugeordnet, woraus sich eine Produktfamilienmatrix (Tabelle 8.2) ergibt. Die zuvor bereits ausgewählten, repräsentativen Arbeitspläne sind im Diagramm grau markiert. Die anderen, unmarkierten Arbeitspläne sind Teile der jeweiligen Arbeitsplan-Familie (S6 oder T3). Im rechten Abschnitt der Tabelle sind die Bearbeitungsschritte, aus denen sich der Produktionsprozess zusammensetzt, dargestellt. Die darunter befindliche Matrix ordnet die einzelnen Arbeitspläne bzw. Produkte den jeweiligen Bearbeitungsschritten zu. Aus der Tabelle kann man erkennen, dass durch die verwendete Methodik sinnvolle, sehr ähnliche Produktfamilien gebildet werden konnten. Trotz der starken Kumulierung bleibt die Anzahl der analysierbaren Qualitäten auf einem hohen Niveau, was eine gute Ausgangsbasis für die, in den nächsten Abschnitten durchgeführte, Wertstromaufnahme bildet. Abschließend sind in Abbildung 8.1 noch die Bearbeitungsreihenfolgen der Kategorien S6, bzw. S5 („Schere“) und T3 („Trennschneiden“), visualisiert. Die Reihenfolgen können je nach Qualität schwanken und sind

werkstoffabhängig. So muss, zum Beispiel, bei manchen Bearbeitungen vor dem Strahlen gerichtet werden, da stark wellige Bleche nicht gestrahlt werden können. Auch nach den Schneidvorgängen kann ein zusätzliches Richten notwendig sein, wenn sich die Bleche aufgrund von Spannungen während des Schneidvorganges wieder verformen. Somit sind die Bearbeitungsreihenfolgen technologie- und werkstoffabhängige Einflussgrößen.

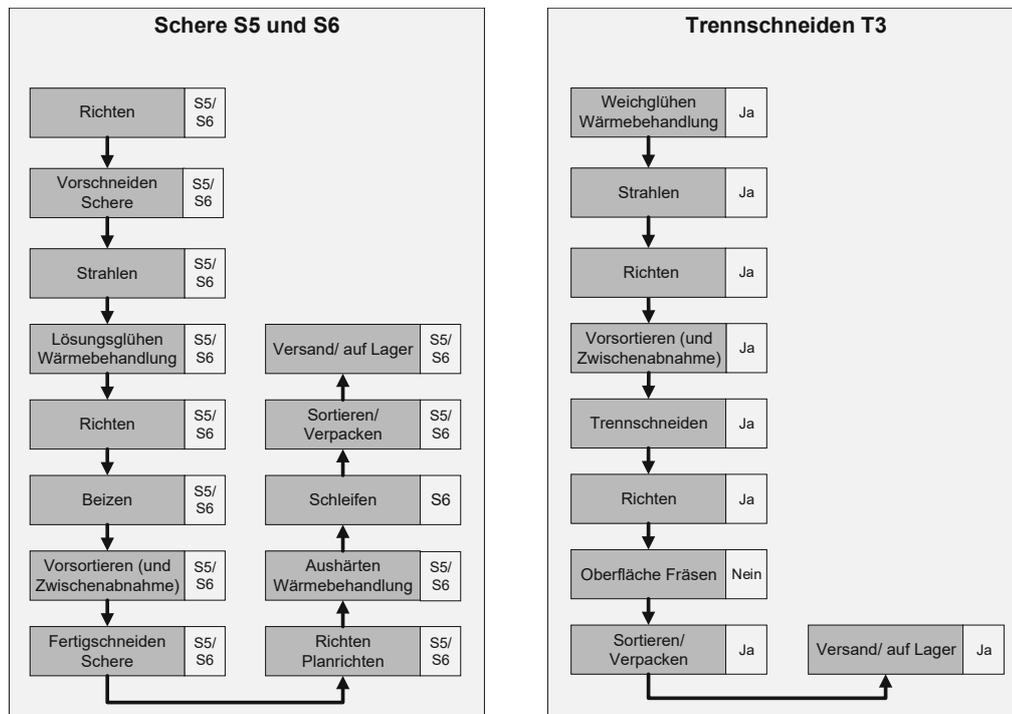


Abbildung 8.1: Bearbeitungsreihenfolgen der Produktfamilien S5, S6 und T3

### 8.1.2 Kundenbedarfsanalyse

Um einen Überblick über die Kundenbedarfe zu erhalten und Schwankungen zu erkennen, werden Daten aus den Vorjahren analysiert – Kalenderjahre 2015, 2014 und 2013. Dabei werden Daten aus dem unternehmensinternen Datenbanksystem (SAP) verwendet und alle verbuchten Aufträge der vergangenen Jahre nach den in der Produktfamilienbildung erfolgten Kategorisierung strukturiert. Es erfolgt die Aufnahme des Gesamtbedarfes und der Bedarfe an N700SP<sup>158</sup> (Familie S6), sowie an Kaltarbeitsstählen K\* (Familie T3),<sup>159</sup> anhand der Verkäufe. Dabei kommt zunächst die Frage nach dem Zeitraum der Kumulierung auf. Eine Zusammenfassung der Daten auf Jahresbasis ist zu ungenau und zu analysierende Schwankungen der Bedarfe gehen verloren. Deshalb wird zunächst eine

<sup>158</sup>interne Bezeichnung für Pressbleche

<sup>159</sup>hier und im Folgendem wird K\* zur Zusammenfassung von trenngeschnittenen Kaltarbeitsstählen verwendet, wie z.B. K110; vgl. Qualitäten in Tabelle 8.2

tageweise Kumulierung der Daten durchgeführt – sie ist in Abbildung 8.2 (Gesamtbedarfe des Jahres 2015) dargestellt. Die tagesbasierte Zusammenfassung der Daten ist zum

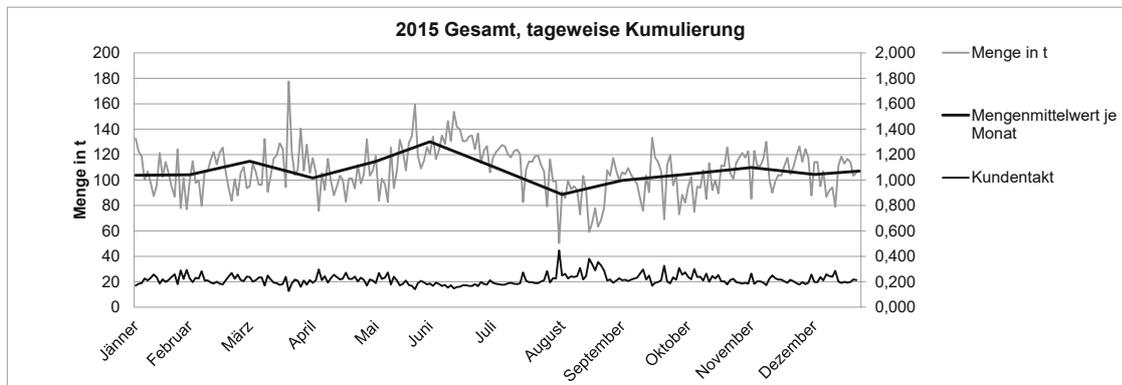


Abbildung 8.2: tageweise kumulierte Kundenbedarfe 2015

Teil fehlerbehaftet – die Wochenenden und Feiertage wurden zwar aus den Daten aussortiert, aber dennoch treten tagesbedingte Schwankungen und andere Störeinflüsse auf.<sup>160</sup> Um diese Einflussgrößen aus der Analyse zu eliminieren, werden die Daten monatsweise kumuliert. Dabei werden die verkauften Mengen monatlich summiert, anschließend über die Jahre hinweg gemittelt und der Kundentakt berechnet.<sup>161</sup> Die Mittlung erfolgt dabei basierend auf Einzelanalysen der Vorjahre – um den aktuellen Abschnitt jedoch nicht mit den Vorjahresanalysen zu überlasten und lediglich die zusammenfassenden Ergebnisse zu präsentieren, sei für eine detailliertere Betrachtung der Kalenderjahre 2015, 2014 und 2013 auf den Anhang verwiesen.<sup>162</sup>

Aufgrund der Kumulierung der Bedarfsdaten entstehen diskrete, nicht-differenzierbare Funktionen. Um den Trend des Kundentaktes dennoch in geeigneter Form zu visualisieren, wird eine Polynomregression<sup>163</sup> durchgeführt, die die Daten anhand einer stetig-differenzierbaren Funktion darstellt. Dadurch ist die Entwicklung des Kundentaktes über den Verlauf des Jahres hinweg besser ersichtlicher. Die Polynomregressionen in den Diagrammen sind zweiter Ordnung – mit Ausnahme der Kundentaktfunktion des Gesamtbedarfes in Abbildung 8.3, die mittels dritter Ordnung geglättet wurde.

Vergleicht man die Vorjahre miteinander, so fällt auf, dass die meisten Bedarfsschwankungen jedes Jahr in etwa zur selben Zeit auftreten, obwohl es dennoch Unterschiede zwischen den Jahren selbst gibt. Um einen besseren Überblick zu erhalten, werden die Mengenbedarfe je Monat über die analysierten Jahre gemittelt. Die daraus resultierenden

<sup>160</sup>Die Schwankungen sind für die jeweiligen Produktgruppen noch deutlich ausgeprägter als für den Gesamtbedarf in Abbildung 8.2

<sup>161</sup>gemäß Formel 7.1

<sup>162</sup>siehe Anhang A Kundenbedarfe der Vorjahre

<sup>163</sup>Methode der kleinsten Quadrate nach C. F. Gauß

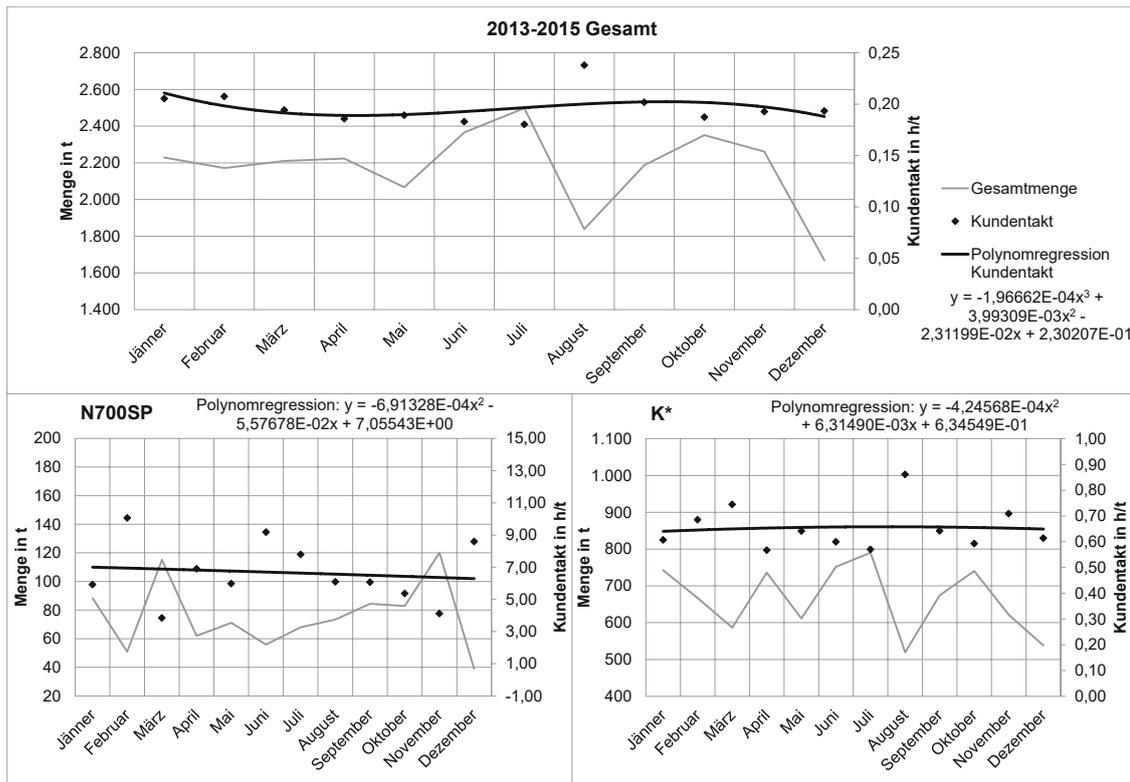


Abbildung 8.3: Mittelwert der Kundenbedarfe über die Jahre 2013, 2014 und 2015

Diagramme sind in Abbildung 8.3 dargestellt. Auffallend ist die relativ konstante Form aller untersuchten Kategorien, wobei speziell bei den Pressblechen zu Jahresende geringe Mengen verbucht werden. Während sich einige Schwankungen durch die Kumulierung gegenseitig aufheben, kann man bei den Kaltarbeitsstählen einen deutlichen Rückgang der verbuchten Menge im August beobachten. Dies wird durch Wartungsarbeiten und geringerer Produktivität (weniger Auslastung aufgrund von Urlaub) in den Sommermonaten begründet. Die absoluten Schwankungen des Kundentaktes liegen bei rund  $0,06 \frac{h}{t}$  ( $0,02 \frac{h}{t}$  bei der Trendlinie), bezogen auf den Gesamtbedarf und bei  $0,3 \frac{h}{t}$  ( $0,01 \frac{h}{t}$  bei der Trendlinie), bezogen auf die Kaltarbeitsstähle K\*. Die absoluten Abweichungen der Pressbleche sind auch im kumulierten Diagramm noch hoch und liegen bei rund  $6 \frac{h}{t}$ . Dies kann, neben Bedarfsschwankungen zwischen S5 und S6, auch durch die geringen verbuchten Mengen gegen Jahresende erklärt werden, denn die absoluten Schwankungen der Trendlinie liegen nur bei rund  $0,7 \frac{h}{t}$ . Nach dieser kurzen quantitativen und qualitativen Diskussion der Kundenbedarfe werden die numerischen Ergebnisse in Tabelle 8.3 zusammengefasst, wobei zunächst die Einzelergebnisse aus den Jahresanalysen und anschließend ein Mittelwert über die Kundentakte der Jahre angeführt sind.

Im unteren Teil von Tabelle 8.3 sind die Ergebnisse anhand einer monatsweisen Kumul-

Jahres- mittel	Qualität	Menge in t	Wert in Mio. €	Kundentakt in h/t	Mittelwerte, anhand monatsweiser Kumulierung der Vorjahresdaten					
					bezogen auf die diskrete Datenbasis		bezogen auf die Trendfunktion			
2015	Gesamt	25.889	113,45	0,226						
	N700SP	977	8,12	5,990						
	K*	8.285	25,33	0,706						
2014	Gesamt	26.726	129,55	0,219						
	N700SP	1.068	30,89	5,476						
	K*	7.820	22,64	0,748						
2013	Gesamt	25.599	112,10	0,229						
	N700SP	693	5,42	8,436						
	K*	7.831	23,52	0,747						
Jahres- mittel	Gesamt	26.071	118,37	0,224						
	N700SP	913	14,81	6,634						
	K*	7.979	23,83	0,734						

Mittelwerte, anhand monatsweiser Kumulierung der Vorjahresdaten									
Mittelwerte	Qualität	Kundentakt in h/t	Abweichung abs.	Standardabweichung	bezogen auf die Trendfunktion				
					Kundentakt in h/t	Abweichung abs.	Standardabweichung		
	Gesamt	<b>0,197</b>	0,058	0,016	8%	<b>0,198</b>	0,0230	0,0084	4%
	N700SP	<b>6,655</b>	6,218	1,926	29%	<b>6,688</b>	0,7120	0,2220	3%
	K*	<b>0,653</b>	0,294	0,086	13%	<b>0,653</b>	0,0099	0,0065	1%

durchschnittliche Arbeitszeiten im Dreischichtbetrieb
Wochen pro Jahr
52
Tage pro Woche
5
Stunden pro Tag (7,5hx3)
22,5
<b>Jahresarbeitszeit in h</b>
5850

Tabelle 8.3: Kundentakt und Kenngrößen bezüglich Gesamtbedarf, Bedarf an N700SP und Bedarf an K\*

lierung zusammengefasst und somit genauer als die Jahresmittelwerte.<sup>164,165</sup> Des Weiteren sind im unteren Teil zwei Kategorien angeführt, wobei einmal die Daten selbst als Bezugsgröße verwendet werden und einmal die Polynomregression der jeweiligen Produktfamilie bzw. Gesamtmenge. Um einen Überblick über die Qualität der jeweiligen Ergebnisse zu erhalten, werden auch die Abweichungen angeführt – die Absolut-, bzw. Maximalabweichung und die Standardabweichung. Bezogen auf die Daten sind die Abweichungen größer, da höhere Extrema in den Funktionen auftreten. Dies fällt speziell bei der Absolutabweichung der N700SP auf. Betrachtet man hingegen die Ausgleichsfunktionen, so sind die Standardabweichungen deutlich geringer und übersteigen einen prozentualen Anteil von 4%, bezogen auf den Mittelwert des Kundentaktes, nicht. Somit gelangt man zu folgenden Ergebnissen:

- $KT_{ges} = 0,198 \pm 0,0084 \frac{h}{t}$  (Kundentakt Gesamt)
- $KT_{N700SP} = 6,688 \pm 0,222 \frac{h}{t}$  (Kundentakt der Pressbleche N700SP)
- $KT_{K^*} = 0,653 \pm 0,0065 \frac{h}{t}$  (Kundentakt der Kaltarbeitsstähle K\*)

### 8.1.3 Wertstromaufnahme

Ausgehend von den ermittelten Produktfamilien werden in Summe zwei Wertstromaufnahmen des Ausgangszustandes durchgeführt – eine für S6 mit der Qualität N700SP und

<sup>164</sup>Im Rahmen der Arbeit wurde die Arbeitszeit je Schicht mit 7,5 h angenommen (im Gegensatz zu den festgelegten 7,7 h pro Schicht). Damit sind implizit eigenständige Pausen (z.B. Kaffeepausen) der Mitarbeiter mitberücksichtigt.

<sup>165</sup>Es wurden für die Kalkulationen die vollen 52 Wochen pro Jahr verwendet, da es bei BÖHLER Bleche keinen Betriebsstillstand gibt, sondern Wartungsarbeiten ad hoc durchgeführt werden.

eine für T3 mit den Qualitäten K\*. Die Aufnahme der Wertströme erfolgt vor Ort und wird von zahlreichen Mitarbeitergesprächen begleitet. Dabei werden Leitfragen gestellt, die aus der Theorie abgeleitet wurden:<sup>166</sup>

1. Was sind die Aufgaben und Tätigkeiten?
2. Woher weiß der Mitarbeiter, was er zu tun hat?
3. Wie groß sind Arbeitsvorrat bzw. Bestand?
4. Woher kommen das Material und die Arbeitsaufträge?

Des Weiteren werden informelle Gespräche mit den Mitarbeitern über die Prozess-, bzw. Bearbeitungsabläufe gehalten und es wird mit ihnen über mögliche Verbesserungen diskutiert. In den folgenden Abschnitten werden nun die beiden Wertstromdiagramme angeführt, die Prozesse kurz beschrieben und es wird auch auf die aufgetretenen KAIZEN-Blitze eingegangen. In den Prozesskästen der Wertstromdiagramme ist jeweils auch der GKA (Gesamtkapazitätsanteil) angegeben. Der Faktor bewertet die prozentualen Anteile der jeweiligen Produktgruppe an der Gesamtproduktion jeder Anlage.<sup>167</sup>

#### 8.1.4 Wertstromaufnahme der Produktfamilie S6

Als erstes wird eine Wertstromaufnahme für die Kategorie Schere (Familie S6) durchgeführt, die durch die Qualität N700SP repräsentiert wird. In Abbildung 8.4 ist das resultierende Wertstromdiagramm des IST-Zustandes dargestellt. An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass als Umrechnungsfaktor zwischen Tonnage und Stück festgelegt wird, dass ein Tafelblech der Qualität N700SP eine durchschnittliche Masse von 0,472 Tonnen aufweist ( $0,472 \frac{t}{Stk}$  bzw.  $2,12 \frac{Stk}{t}$ ). Zum Teil weicht dieser Durchschnittswert je nach Prozess ab (unterschiedliche Dimensionen an den Anlagen), was aber jeweils in den Prozesskästen angegeben wird. Um einen Überblick über die Prozesse zu erhalten, wird der Produktionsablauf im Folgenden kurz textuell erläutert. Für detailliertere Prozessbeschreibungen sei an dieser Stelle an den Anhang verwiesen, wo auch detailliert auf alle aufgetretenen KAIZEN-Blitze eingegangen wird.<sup>168</sup>

Das Rohmaterial des Adjustagebereiches kommt vom internen Zulieferer, dem Walzwerk in Hönigsberg, und wird mittels Zug angeliefert (Wareneingangsbereich ist in der Glü-

<sup>166</sup>siehe 7.1.3 Wertstromaufnahme

<sup>167</sup>Die beiden Wertstromaufnahmen wurden in den Kalenderwochen 9 und 10 des Jahres 2016 durchgeführt. Dabei wurden die Bestände an den Anlagen zwischen dem 1. und dem 3. März 2016 aufgenommen.

<sup>168</sup>siehe B.1 Prozessbeschreibungen Wertstromaufnahme S6



herei). Der erste Bearbeitungsschritt ist das Richten (an der RM1),<sup>169</sup> bei dem die Ebenheit der Bleche erhöht wird. Dazu werden die Tafelbleche in mehreren Stichen von den Richtwalzen kaltverformt und Welligkeiten bzw. Unebenheiten entfernt.<sup>170</sup> Als zweiter Prozessschritt ist im Wertstromdiagramm das Vorschneiden angeführt, das auf der Schere 1 durchgeführt wird. Dabei werden die Bleche für die kommenden Bearbeitungsschritte vorbereitet. Im Anschluss erfolgt das Strahlen, bei dem die Tafelbleche von Verschmutzungen und der oberen Zunderschicht befreit werden. Danach erfolgt die erste Wärmebehandlung – das Lösungsglühen, das den Blechen die gewünschte Struktur verleiht und eine sehr hohe Prozesszeit aufweist (Verpressen der Bleche). Durch das Lösungsglühen können Verformungen auftreten, die in Prozess 5 (erneutes Richten) wieder ausgeglichen werden. Daran anschließend werden die Bleche gebeizt, wobei die Bleche in ein Säurebad gelassen werden – so wird die Oberfläche verändert. Nach dem Beizen erfolgt das Vorsortieren der Bleche, was einer Zwischenqualitätskontrolle entspricht. Sind die Zwischenkontrollen in Ordnung, erfolgt in Schritt 8 das Fertigschneiden (bzw. das Schneiden auf das Endmaß) der Bleche an der Schere 1. Anschließend werden die Tafelbleche plangerichtet, wobei dieser Vorgang ein erneutes Richten darstellt, der dem Tafelblech die finale Ebenheit verleiht. Im Anschluss daran kommen die Tafelbleche zurück in die Glüherei, wo sie ausgehärtet werden. Als weiterer Bearbeitungsschritt folgt dann das Plan- und Fertigschleifen der Tafelbleche, wodurch die Rauigkeit auf das gewünschte Maß gebracht wird. In Prozess 12, dem abschließenden Sortieren, wird kontrolliert, ob alle gewünschten technischen Spezifikationen erfüllt sind (abschließende Qualitätskontrolle). Sind die Kundenanforderungen erfüllt, werden die Tafelbleche im Warenausgangslager abgelegt, von wo aus sie die Produktionshallen wieder verlassen.

Im Wertstromdiagramm (Abbildung 8.4) ist ersichtlich, dass die untersuchte Produktfamilie aus einer Vielzahl an Prozessen besteht, die allesamt hohe Unterschiede in den Zyklus- bzw. Prozesszeiten aufweisen. Während die Bearbeitungsdauern für das Schneiden in der Größenordnung von einigen Minuten liegen, kann die Prozesszeit der Wärmebehandlungen in der Größenordnung von mehreren Tagen liegen. Des Weiteren fällt der Bestand an den Anlagen auf, wobei jeweils die Bestände der untersuchten Qualität N700SP und darunter der Gesamtbestand an der Anlage dargestellt sind. Die meisten Prozesse bearbeiten eine Vielzahl an Qualitäten und somit ist die Durchlaufzeit der Pressbleche implizit auch von den Beständen anderer Qualitäten abhängig. Dieser Zusammenhang wird durch den GKA-Faktor berücksichtigt. Aufgrund von Prozesszeitschwankungen (in Abhängigkeit der Dimensionen der Tafelbleche) variieren auch die Durchlaufzeiten zum Teil (z.B. Prozess 9 – Richten). Um dennoch einen einzelnen Wert für die DLZ zu erhalten, wurden die

<sup>169</sup>neben der RM1 gibt es noch RM3, RM4, RM6 „Rau“ und RM7 „FIMI“

<sup>170</sup>Ein Durchlaufen der Richtwalzen ist ein Stich.

schwankenden Prozess- bzw. Zykluszeiten gemittelt. Aus der Summenbildung am rechten Ende der Zeitachse ist ersichtlich, dass die Durchlaufzeit der N700SP bei rund fünf Wochen liegt, während die Gesamtdurchlaufzeit (basierend auf dem Bestand aller Qualitäten) mit 13 Wochen deutlich höher ist. Da die Pressbleche aber nicht immer die höchste Priorität an den Anlagern haben bzw. ihre Bearbeitung vom jeweiligen Maschinenzustand abhängt, kann ihre DLZ durchaus bis zu 13 Wochen betragen.

Betrachtet man die Informationsflüsse, so fällt auf, dass die Steuerung vorwiegend durch „Go and See“<sup>171</sup> – eine Steuerung durch die jeweiligen Gruppenleiter – erfolgt. Dies ist im IST-Zustand auch erforderlich, da die Auftragsabfolgen an vielen Maschinen von den jeweiligen Maschinenzuständen abhängen. Die an den Anlagen durchzuführenden Tätigkeiten sind in den Laufkarten vermerkt, die gemeinsam mit den Produkten selbst durch die Wertschöpfungsprozesse wandern. Dahingehend besteht ein gewisses Maß an Redundanz, da auftragsrelevante Daten, sowohl in die Laufkarten, als auch in das Datenbanksystem eingetragen und aktualisiert werden (nahezu jede Maschine hat eine EDV-Schnittstelle).

Zudem sind die Transportwege zwischen den einzelnen Bearbeitungsstationen weit – in Summe werden die Produkte rund 1,7 Kilometer mittels Kränen und Elektrowägen in den Produktionshallen bewegt. Diese Transportwege können zum Großteil durch die historisch gewachsene Betriebsstruktur erklärt werden.

### 8.1.5 Wertstromaufnahme der Produktfamilie T3

Nach der Konstruktion des Wertstromdiagramms der Produktfamilie S6 wird die Kategorie Trennschneiden (T3) modelliert. Die Qualitäten, die sich der Produktfamilie zuordnen lassen, sind vorwiegend Kaltarbeitsstähle K\*. Ähnlich wie bei der Wertstromaufnahme der Kategorie Schere, wird auch die Aufnahme des Trennschneidens durch zahlreiche Vor-Ort-Gespräche mit den Maschinisten und Mitarbeitern begleitet. Das Wertstromdiagramm der Produktfamilie T3 ist in Abbildung 8.5 visualisiert. Um auch in dieser Kategorie einen Überblick über die Prozesse zu erhalten, werden sie im Folgenden kurz textuell erläutert. Bezüglich detaillierterer Ausführungen sei auch an dieser Stelle an den Anhang verwiesen.<sup>172</sup> Die Wertschöpfung, der der Familie T3 zuordenbaren Produkte, beginnt in der Glüherei mit dem Weichglühen, wofür verschiedene Anlagen zur Verfügung stehen. Danach werden die Tafelbleche gestrahlt, wodurch sich Zunderablagerungen von den Oberflächen lösen. Im Anschluss darauf werden die Bleche gerichtet, wobei für die Kategorie K\* dimensionsbedingt vorwiegend die Richtmaschine RM6 „Rau“ eingesetzt wird. Die Reihenfolge zwischen Strahlen und Richten kann jedoch vertauscht sein. Nach

<sup>171</sup> Brillensymbol im Wertstromdiagramm

<sup>172</sup> B.2 Prozessbeschreibungen Wertstromaufnahme T3

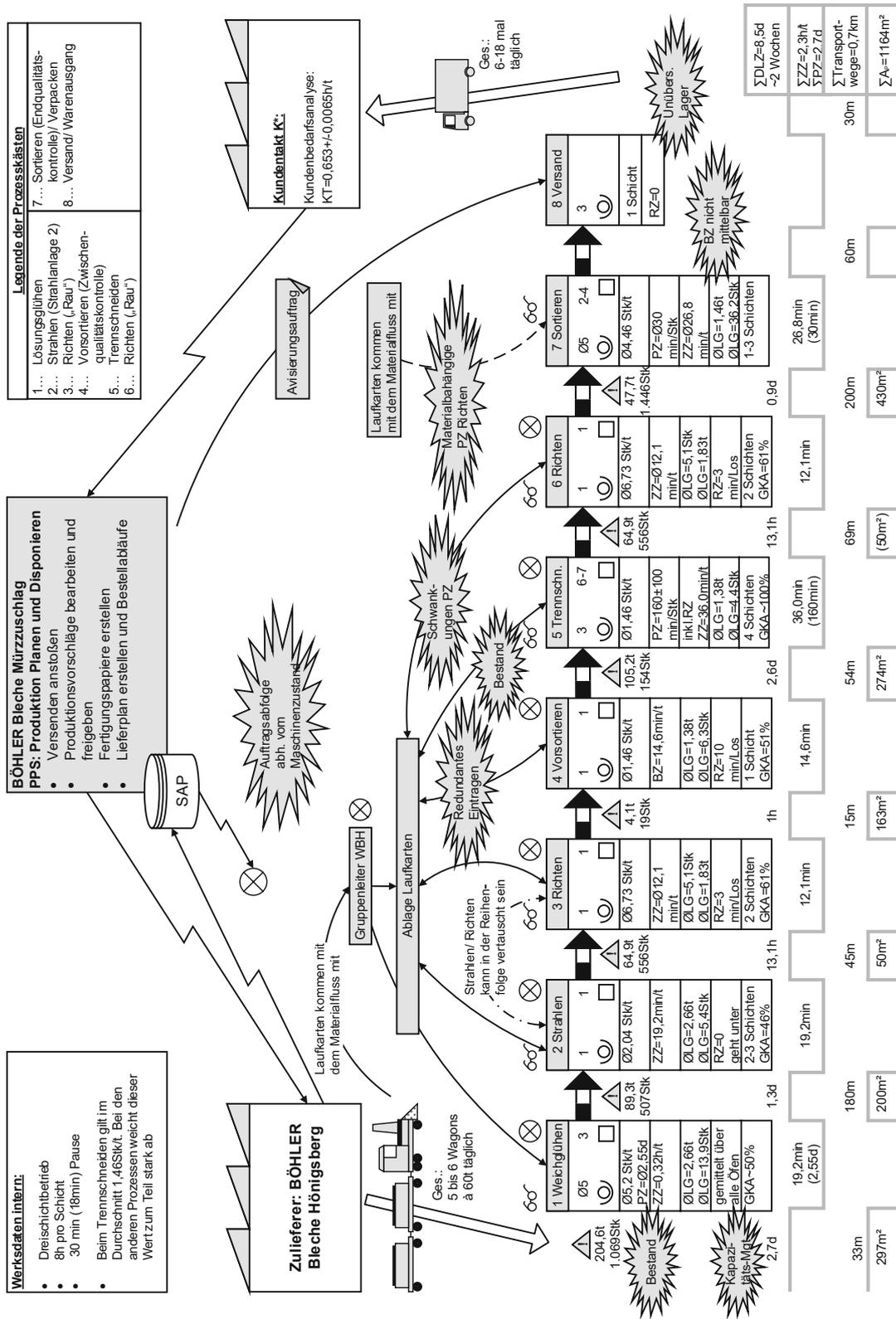


Abbildung 8.5: Wertstromdiagramm der Kategorie Trennschneiden

dem Richten erfolgt das Vorsortieren (Zwischenqualitätskontrolle), bei dem die Bleche auch für die folgenden Schneidvorgänge markiert werden. Beim Trennschneiden werden die Tafelbleche durch Band- und Kaltsägen auf Maß zugeschnitten und anschließend erneut gerichtet, um die finale Ebenheit zu erreichen. Im Anschluss daran folgt das Sortieren bzw. die Endqualitätskontrolle, woraufhin die Tafelbleche in das Warenausgangslager transportiert werden, von wo aus sie die Produktionsstätte wieder verlassen.

Die Kategorie T3 beinhaltet, wie in Abbildung 8.5 ersichtlich, deutlich weniger Bearbeitungsschritte als die Kategorie S6, da einige Bearbeitungsschritte wegfallen. Auffallend sind auch hier wieder die unterschiedlichen Prozesszeiten, wenngleich die Abweichungen nicht derart ausgeprägt ausfallen (wie bei der Produktfamilie S6). Dennoch weisen die Prozessschritte Weichglühen und Trennschneiden höhere Prozesszeiten, als die anderen Bearbeitungsschritte auf. Im Rahmen der Wertstromaufnahme wurden nur die Bestände an K\* (der Familie T3 zuordenbaren Qualitäten) erfasst. Dies ist in diesem Fall zulässig, da die Kaltarbeitsstähle generell die selben Bearbeitungsreihenfolgen haben und an den Trennschneidanlagen zum Großteil nur diese Kategorie bearbeitet wird. Im Wertstromdiagramm sind auch die höheren GKA Faktoren, verglichen mit jenen der Kategorie S6, auffallend. Dies kann dadurch begründet werden, dass die K\* Qualitäten einerseits einen höheren Anteil an der Gesamtproduktion aufweisen und andererseits die analysierten Anlagen zum Großteil nur diese Qualitäten bearbeiten. Aufgrund dimensionsbedingter Unterschiede kann die Durchlaufzeit zum Teil vom ermittelten Wert, der rund zwei Wochen beträgt, abweichen.

Die Informationsflüsse ähneln jenen aus dem ersten Wertstromdiagramm und sind durch Laufkarten und „Go and See“ Planung geprägt. Auch im Rahmen der zweiten Wertstromaufnahme konnte die Redundanz der Einträge in den Laufkarten und im SAP beobachtet werden.

Vergleicht man die Ergebnisse mit jenen aus der ersten Analyse, so fallen die deutlich geringeren Transportwege (0,7 km) auf, was nicht nur auf die geringere Anzahl an Bearbeitungsschritten zurückzuführen ist – vielmehr sind die prozessrelevanten Anlagen nahe nebeneinander positioniert, was sich positiv auf die Manipulationswege und -zeiten auswirkt.<sup>173</sup>

### 8.1.6 Kundentakt – Diskussion

Die während der Wertstromaufnahmen ermittelten Zykluszeiten können den in der Kundenbedarfsanalyse ermittelten Werten gegenübergestellt werden, um etwaige Potentiale

<sup>173</sup>Lediglich die Schritte „Weichglühen“ und „Abschließendes Sortieren“ werden auf abseits befindlichen Anlagen durchgeführt.

aufzudecken. Dazu werden die Zykluszeiten der beiden Wertstromanalysen anhand von Säulendiagrammen visualisiert und den ermittelten Kundentakten gegenübergestellt. Des Weiteren sind in den Sekundärabszissen<sup>174</sup> Resultate der Kundenbedarfsanalyse als zeitabhängige Kundentakte angeführt. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Abbildung 8.6 dargestellt.

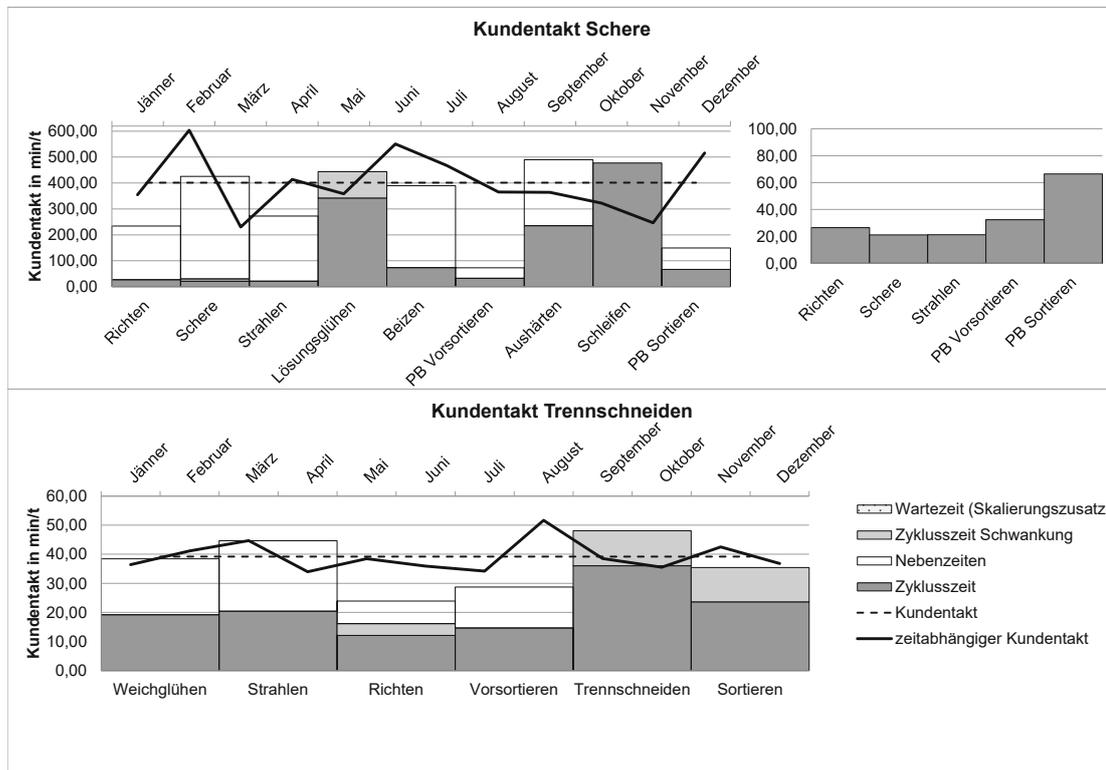


Abbildung 8.6: Gegenüberstellung von Kundentakt und Prozesszeiten

Es ist zu erkennen, dass (speziell bei der Betrachtung der Kategorie „Schere“) die Zykluszeiten deutlich unter dem Kundentakt liegen. Begründen kann man dies dadurch, dass z.B. auf der Schere auch zahlreiche andere Qualitäten geschnitten werden. Selbiges trifft für nahezu alle anderen Prozesse (mit Ausnahme des Lösungsglühens) der Kategorie „Schere“ zu. Ähnlich, aber nicht derart stark ausgeprägt, sieht es bei der Betrachtung der Kategorie „Trennschneiden“ aus. Auch hier bearbeiten die beschriebenen Anlagen neben den untersuchten Qualitäten noch andere. Lediglich das eigentliche Trennschneiden wird nur für die untersuchten Qualitäten durchgeführt.

Um eine für die gesamte Produktion repräsentative Betrachtung der Anlagen und einen adäquaten Vergleich mit dem Kundentakt zu ermöglichen, sind in den Diagrammen Skalierungszusätze angegeben. Diesen liegt ein mengen- und zeitbasierter Vergleich der je-

<sup>174</sup>im oberen Bereich der Diagramme

weiligen Kategorie zu Grunde (mit jenem Anteil der Jahresproduktion, der auf den betreffenden Anlagen bearbeitet wird). Um dies darzustellen wird der, in den Wertstromdiagrammen angeführte, GKA Faktor verwendet. Die Skalierungszusätze dienen der Anpassung an die Gesamtproduktion und liefern keine Aussage über tatsächliche Zykluszeiten der jeweiligen Bearbeitungsschritte. Sie können jedoch als mittlere Wartezeiten an den Anlagen betrachtet werden, die dadurch auftreten, dass die Anlage gerade eine andere Qualität fertigt und nicht für die Bearbeitung der jeweiligen Produktgruppe zur Verfügung steht. Dadurch ermöglicht die Verwendung der Skalierungszusätze der GKA Faktoren eine qualitative Betrachtung hinsichtlich der Kapazitäten und lässt auch Rückschlüsse auf die Gesamtproduktion zu. Des Weiteren sind im Diagramm die Zeitschwankungen dargestellt, die die Unterschiede in den Bearbeitungs-, bzw. Zykluszeiten, visualisieren. Hinsichtlich der Schwankungsbreite fallen speziell das Trennschneiden und das Sortieren im unteren Diagramm von Abbildung 8.6 auf. Beim Trennschneiden sind die Zeiten von den Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten der Trenn- und Bandsägen abhängig, wobei diese wiederum auf den Dimensionen der Bleche beruhen. Beim Sortieren tritt eine hohe Schwankungsbreite der Zeiten auf, die auch durch Dimensionsunterschiede hervorgerufen wird. So dauert ein Sortiervorgang für eine Tonne von kleinen Zuschnitten signifikant länger, als für die selbe Masse an großen Tafelblechen.

Die Rüst- bzw. Nebenzeiten sind in den Diagrammen vernachlässigt, da sie (auf eine Mengeneinheit heruntergebrochen) nur geringe Einflüsse auf die Dauer haben und bei vielen Prozessen in der Zykluszeit untergehen. Bei der Schere sind die Nebenzeiten aber berücksichtigt, da sie ca. 35% – bezogen auf die Gesamtzeit in der die Anlage zur Verfügung steht – ausmachen.<sup>175</sup> Hervorgehoben sei an dieser Stelle, dass alle Nebenzeiten durch zusätzliche Hebearbeiten (hohe Bestände an den Anlagen) verlängert werden.

Unter Bezugnahme auf die getroffenen Restriktionen können nun Vergleiche angestellt werden. Es fällt auf, dass in der Kategorie „Schere“ das Richten deutlich unter dem Kundentakt liegt. Zum Teil schwanken die Anzahl der Schichten auf den untersuchten Richtmaschinen (RM1 und RM6) und werden ad hoc an die benötigten Kapazitäten angepasst. Für die Bildung des GKA Faktors (Richten) wurde ein Mittelwert der mengen- und zeitbasierten Anteile an der Gesamtproduktion der jeweiligen Qualitäten gebildet. In der Säule „Schere“ ist ersichtlich, dass der Skalierungsfaktor noch ausgeprägter ist. Das Strahlen liegt annähernd auf dem selben Niveau, wie das Richten – beim Strahlen wird die Anzahl der Schichten auch ad hoc an die Kapazitätsbedürfnisse angepasst. Des Weiteren weicht die skalierte Zykluszeit bei den beiden PB Sortiervorgängen deutlich ab. Ausgehend davon kann trotz des Skalierungszusatzes nicht auf die Gesamtheit der Produktion geschlossen werden, da das Sortieren der Pressbleche von den anderen Qualitäten deut-

<sup>175</sup> z.B. das Schrotträumen

lich abweicht und die Kapazitäten zur Abarbeitung ad hoc einberufen werden. Bei der betrachteten Schere 1 liegt der Zeitwert (inklusive des Skalierungszusatzes) knapp über dem Kundentakt. Begründen kann man dies durch zum Teil hohe Nebenzeiten, die durch zusätzliche Hebearbeiten, Rüst- und Reinigungsvorgänge verursacht werden. Auffallend ist auch das Schleifen, dessen Zykluszeit über dem Kundentakt liegt.<sup>176</sup> Des Weiteren stehen bei Kapazitätsengpässen zusätzliche Schleifmaschinen zur Verfügung, die im Normalbetrieb für andere Qualitäten verwendet werden.

Betrachtet man die Kategorie „Trennschneiden“, so fällt hier das Vorsortieren, dessen Zeit deutlich unter dem Kundentakt liegt, am stärksten auf. In diesem Fall kann dies durch den Einschichtbetrieb an der besagten Anlage erklärt werden. Die anderen Prozesse liegen, inklusive des Skalierungszusatzes, annähernd auf dem Niveau des Kundentaktes. Das Strahlen liegt in dieser Betrachtung über dem Kundentakt, wenngleich die Abweichung relativ gering ist. Bei Kapazitätsengpässen kann auf die kleine Strahlanlage zurückgegriffen werden, wobei diese eine deutlich niedrigere Dimensionsobergrenze als die große Strahlanlage besitzt. Das Richten (RM6 „Rau“) liegt deutlich unter dem Kundentakt (ad hoc Schichtenanpassung). Das Trennschneiden selbst liegt, inklusive der Schwankungsbreite, über dem Kundentakt. Auch aus Befragungen geht hervor, dass das Trennschneiden einen Engpass der Produktion darstellt. Bezüglich des Sortierens (beim Trennschneiden) sei noch angemerkt, dass auch andere Qualitäten an den Anlagen behandelt werden. Dennoch wurde auf einen Skalierungszusatz verzichtet, da der GKA Faktor nicht ermittelt werden konnte (in der Prozessbeschreibung erwähnte hohe Schwankungen hinsichtlich der Zykluszeiten).

Zusammenfassend kann man aus dieser Gegenüberstellung der Zykluszeiten und der beiden Kundentakte schließen, dass an einigen Anlagen Kapazitätsanpassungen denkbar und förderlich wären, um Flaschenhalsprozesse weitestgehend zu vermeiden. Dabei fallen speziell das Schneiden mit der Schere 1, das Lösungsglühen, sowie das Aushärten, das Schleifen und das Trennschneiden auf, deren Zykluszeiten allesamt den jeweiligen Kundentakt überschreiten. Beim Aushärten ist dieses Überschreiten durch einen modellbasierten Fehler des Skalierungszusatzes bedingt. Andere auszuhärtende Qualitäten weisen abweichende Zykluszeiten zu jenen der Pressbleche auf, aber für den Skalierungsfaktor wurde lediglich ein mengenmäßiger Vergleich durchgeführt. Somit stellt der skalierte Wert nur einen Schätzwert dar und eine detaillierte Aussage über die Kapazität ist in diesem Fall nicht zulässig.<sup>177</sup> Bei der Schere wird der überschrittene Kundentakt durch teilweise hohe Nebenzeiten, in denen die Anlage nicht produzieren kann, verursacht. Des

<sup>176</sup>Jedoch ist der Kundentakt der geschliffenen N700SP (S6) höher als der eingetragene KT, der implizit auch die Kategorie S5 beinhaltet, die aus ungeschliffenen Pressblechen besteht.

<sup>177</sup>Ähnliches gilt für das Weichglühen der Kategorie „Trennschneiden“, wobei die Qualitäten K\* die Gesamtproduktion deutlich besser repräsentieren und die Schätzung somit genauer ausfällt.

Weiteren fallen das Richten, sowie das Strahlen auf, deren Zeiten unter dem Kundentakt liegen. Betrachtet man zusätzlich noch die monatlichen Schwankungen der Kundentakte, so fallen die Abweichungen an den besagten Prozessen noch stärker aus. Eine, aus dem aktuellen Analysestand gebildete, Lösung wäre eine durch Digitalisierungsmaßnahmen durchgeführte Kapazitätsanpassung in Echtzeit, wodurch Warte- und Nebenzeiten deutlich minimiert und die Produktivität erhöht werden könnten. Neben den vom Kundentakt abweichenden Zeiten, fällt in den textuellen Beschreibungen der vorigen Abschnitte die ad hoc Anpassung der Kapazitäten auf. Aufgrund der immensen Variantenvielfalt und der variierenden Wege durch die Werschöpfungskette muss im IST-Zustand auf eine „Go and See Planung“ durch die koordinierenden Gruppenleiter zurückgegriffen werden – ohne diese ad hoc Anpassungen wäre die vorherrschende Komplexität nicht bewältigbar (unter den vorhandenen Gegebenheiten).

### 8.1.7 Verbesserungspotentiale

Aus der Analyse und dessen textuellen Beschreibungen der vorigen Abschnitte ist zu erkennen, dass an vielen Prozessen Raum für Verbesserungen besteht und auch betriebsweite Optimierungen denkbar sind – in Summe wurden 20 Optimierungspotentiale aufgedeckt. Um eine Diskussion dieser Potentiale zu ermöglichen, werden sie zunächst systematisch kategorisiert. Dazu sind in Tabelle 8.4 alle identifizierten Potentiale der einzelnen Bearbeitungsschritte angeführt. Die Resultate der beiden Wertstromanalysen bezüglich der Prozesse sind zum Teil ähnlich. Um zunächst dennoch zwischen den beiden Produktfamilien unterscheiden zu können, werden die aufgedeckten Potentiale den Produktkategorien S6 (bzw. S5) und T3 zugeordnet, wobei x für „trifft zu“ und o für „trifft nicht zu“ stehen.

Man kann in Tabelle 8.4 erkennen, dass bei manchen Anlagen dieselben Probleme auftreten. Ein an vielen Anlagen auftretendes Problem ist die Unübersichtlichkeit der Pufferlager (und die dadurch verursachten zusätzlichen Hebearbeiten). Des Weiteren fällt die Abhängigkeit der Auftragsabfolge vom Maschinenzustand auf, was ein von vielen Anlagen geteiltes Optimierungspotential darstellt. Auch Potentiale, die den gesamten Wertschöpfungsprozess betreffen, konnten anhand der Wertstromaufnahme identifiziert werden.<sup>178</sup>

Die Informationsflüsse beider Wertströme werden großteils durch Gruppenleiter koordiniert, die auch die Auftragsabfolgen aufgrund maschinenzustandsbedingter Daten steuern.<sup>179</sup>

<sup>178</sup>vgl. Abschnitte 8.1.4 und 8.1.5

<sup>179</sup>Go and See Planung

	Nr.	KAIZEN-Blitz/ Verbesserungspotential	S5/ S6	T3
Richten	1	unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel, zum Teil zusätzliche Hebearbeiten	x	
	2	Auftragsreihenfolge hängt vom Maschinenzustand (Reinheit) ab		
Schneiden Schere	3	unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel, zum Teil zusätzliche Hebearbeiten	x	o
	4	lange Wartezeiten bei Aufträgen, die erprobt werden		
	5	Auftragsabfolge hängt vom Maschinenzustand (Zustand der Schneide) ab		
	6	unklare Entscheidungskompetenz bei Qualitätsmängeln		
	7	Lange Nebenzeiten (Hebearbeiten, Schroträumen)		
Strahlen	7	unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel, zum Teil zusätzliche Hebearbeiten	x	
WBH	8	Lange, oft unbeeinflussbare Prozesszeiten in der Größenordnung von Tagen	x	
	9	oft schlechte Kapazitätsanpassung seitens Höhnigsberg		
	10	unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel, zum Teil zusätzliche Hebearbeiten		
(Vor-) Sortieren	11	händisches Ausfüllen von Prüfungsprotokollen, manueller Informationsfluss	x	
	12	niedriger Digitalisierungsgrad und Medienbruch zwischen physikalischer und realer Welt		
	13	unübersichtliche Einteilung der Sortierabteilungen		
Trennschneiden	14	Einheben nur durch Magnetkran möglich	o	x
	15	wenig IT-Unterstützung (manuelle Berechnung von Vorschub und Schnittgeschwindigkeiten)	o	
Beizen	16	Auftragsreihenfolge hängt vom Säurezustand ab	o	o
Schleifen	17	Schlechte Ausnutzung der vorhandenen IT-Systeme; Arbeitsaufgaben werden aus den Laufkarten entnommen	x	o
Versand	18	überfülltes und unübersichtliches Lager	x	
	19	hohe Auslastungsschwankungen in Abhängigkeit des Monatszyklus		
	20	Aufwändiges, rein manuelles "Suchen" beim Kommissionieren ohne IT-Unterstützung		

Tabelle 8.4: Zusammenfassung der KAIZEN-Blitze und Verbesserungspotentiale aus der Wertstromaufnahme

Um die Probleme und deren Potentiale weiter zu kumulieren und schließlich für die Ausarbeitung von Verbesserungen zugänglich zu machen, werden sie gemäß dem Prinzip der Ähnlichkeit zusammengefasst. Die daraus entstehende Potentialmatrix (Tabelle 8.5) ordnet die kumulierten Optimierungspotentiale den jeweiligen Bearbeitungsschritten zu. Dabei besteht die Matrix aus sieben Optimierungspotentialen, die hinsichtlich ihrer Auftretshäufigkeiten sortiert sind.

Man kann erkennen, dass der niedrige Digitalisierungsgrad und die Redundanz der Laufkarten (P1) an allen Prozessen auftritt. Wie bereits erwähnt, besitzt nahezu jede Anlage eine EDV-Schnittstelle und die auftragsrelevanten Daten werden auch in digitaler Form eingetragen – jedoch findet zeitgleich ein redundantes Eintragen in die physischen Laufkarten statt. Durch diese Redundanz besteht auch die Frage nach der Aktualität und Korrektheit der jeweiligen Daten. Aus den Mitarbeiterbefragungen geht hervor, dass sie sich eher auf die Daten aus den Laufkarten verlassen, da diese „aktueller“ sind. Ein Problem hinsichtlich der Laufkarten besteht laut den Mitarbeitern oft darin, dass die A4 Zettel nicht gefunden werden können. So muss der koordinierende Gruppenleiter zu den anderen Anlagen gehen und die Laufkarten suchen, denn ohne Laufkarte und ihre Informationen darf

laut Arbeitsvorschrift keine Bearbeitung durchgeführt werden.<sup>180</sup>

Nr.	Häufigkeit	Richten	Schneiden Schere	Strahlen	WBH	(Vor-) Sortieren	Trennschneiden	Beizen	Schleifen	Versand	Beschreibung
P1	9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	niedriger Digitalisierungsgrad bzw. Redundanz IT und Laufkarten
P2	7	x	x	x	x		x	x	x		Go and See Planung
P3	5	x	x	x	x					x	hoher Bestand/ unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel
P4	3	x	x					x			Auftragsreihenfolge hängt vom Zustand der Anlage ab
P5	3	x		x			x				Abweichungen Kundentakt
P6	3		x		x		x				Anlagenspezifische Verbesserungspotentiale
P7	2				x					x	schlechte (externe) Kapazitätsanpassung

Tabelle 8.5: Potentialmatrix

Generell ist der KGL äußerst bedeutsam für die PPS, da die meisten Arbeitsvorgänge durch Go and See Planung (Problem bzw. Potential P2) gesteuert werden. Aufgrund des jeweiligen Maschinenzustandes wird auch die Bearbeitungsfolge ad hoc durch den Gruppenleiter bestimmt. Dies trifft, wie Tabelle 8.5 visualisiert, speziell für das Richten, Schneiden mit der Schere und das Beizen zu (P4). Saubere, z.B. bereits gebeizte Bleche, müssen auf einer „reinen“ Maschine gerichtet werden, um sie nicht wieder zu verschmutzen bzw. nicht zu beschädigen. Ähnlich ist es auch bei der Schere, bei der die Qualität des Schnitts vom Zustand der Schneide abhängt. Teure Tafelbleche sollen möglichst bei einem guten Messerzustand verarbeitet werden und ein schnelles Wechseln der Schneide ist oft nicht möglich (Instandsetzungszeit von etwa einer Schicht). Somit wird versucht, die Schneide bestmöglich auszunutzen und im verschlissenen Zustand werden minderwertigere Qualitäten, bei denen die Schnittqualität nicht so wichtig ist, vorgezogen. Dadurch häufen sich teilweise hohe Bestände an empfindlicheren (teureren) Blechen im Pufferlager der Anlage an. Analog dazu ist auch der Beizvorgang (und auch die Beizdauer) abhängig vom Zustand der verwendeten Säure.

Ein weiteres Problem, das an vielen Anlagen auftritt, sind hohe Bestände (P3). Diese Zustände werden zwar implizit von anderen Faktoren hervorgerufen, erhöhen aber zusätzlich Kennzahlen wie die DLZ. Ein wichtiger Punkt hierbei sind zusätzliche Hebearbeiten, da geforderte Lose oft unter anderen „vergraben“ und somit unzugänglich sind. Dadurch fällt ein Teil der produktiven Zeiten durch nicht-wertschöpfende Tätigkeiten weg und die Bestände häufen sich weiter an. Teilweise werden Eilaufträge erstellt, um zeitkritische Aufträge termingerecht fertigzustellen, was ein Zeichen für die Trägheit des Produktionssystems ist. Die Abarbeitungsreihenfolge der Aufträge ist zwar in den Laufkarten ver-

<sup>180</sup>Das Thema der redundanten Informationsflüsse wird in einem höheren Detaillierungsgrad in folgendem Abschnitt (8.2 Informationsflussanalyse) behandelt.

merkt,<sup>181</sup> dennoch wird an den jeweiligen Anlagen die Reihenfolge ad hoc bestimmt, da Priorisierungen fehlen. Durch diese Faktoren verringert sich die Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit des Produktionssystems – lange Durchlaufzeiten und träge Reaktionen auf äußere Einflüsse sind die Folge. Diese Faktoren können auch aus dem Kundentakt abgeleitet werden (Problem bzw. Potential P5) – manche Prozesse weichen deutlich vom ermittelten Kundentakt ab und sind als Flaschenhalse der Produktion zu betrachten. Dabei ist im Speziellen das Trennschneiden hervorzuheben, denn die anderen beiden Prozesse können kapazitiv einfacher angepasst werden (wenn benötigt  $\Rightarrow$  zusätzliche Schichten). Beim Trennschneiden jedoch wird der Engpass durch die Anlagen selbst und deren Prozesszeiten gebildet (zum Teil bereits Vierschichtbetrieb der Anlagen).

Des Weiteren ist in der Matrix mit P7 ein Problem bzw. ein Potential angeführt, das die (externe) Kapazitätsabstimmung betrifft, die vor allem im Wareneingang (die WBH ist zeitgleich auch der Wareneingang) und im Versandbereich (Warenausgang) auftritt. Mit P6 werden schließlich zusätzlich Möglichkeiten an anlagenspezifischen Optimierungspotentialen angedeutet. Diese beiden letzten Probleme bzw. Potentiale heben sich von den anderen ab, da sie nur bedingt durch Maßnahmen der Digitalisierung optimiert werden können.

Die Optimierungspotentiale werden in Abschnitt 8.3 mit den Potentialen aus der folgenden Informationsflussanalyse verknüpft und hinsichtlich wirtschaftlicher Faktoren bewertet, wodurch der IST-Zustand definiert und die Handlungsfelder für die Ausarbeitung des SOLL-Zustandes abgeleitet werden.

## 8.2 Informationsflussanalyse

BÖHLER Bleche ist organisatorisch in der Special Steel Division der voestalpine Edelstahl GmbH eingeordnet. Konzernweit wird das Datenbankmanagementsystem SAP verwendet, das gemäß eines Mehrmandantensystems<sup>182</sup> organisiert ist. Der voestalpine Konzern konnte im Rahmen des Aufbaus dieses Mehrmandantensystems, mit zentralisierter IT, die Betriebskosten selbiger um 64% senken, wodurch sich die Investitionskosten in dieses Konsolidierungsprojekt binnen kürzester Zeit amortisierte – die voestalpine stellt eine SAP Erfolgsgeschichte dar.<sup>183</sup>

Auch bei BÖHLER Bleche sind die positiven Auswirkungen dieses konzernweiten Konzeptes zu erkennen. So findet die Datenerfassung betriebsweit im SAP statt. Auch für die betriebsübergreifende Rohmaterialbeschaffung (der Großteil des Rohmaterials kommt

<sup>181</sup>Priorisierung basierend auf den Terminen

<sup>182</sup>siehe 5.2 Ein- und Mehrmandantensystem

<sup>183</sup>vgl. Wachter & Zaelke, 2014, S. 6

aus dem voestalpine Konzern) wird durch SAP ein durchgängig digitaler Informationsfluss ermöglicht. Betrachtet man nun BÖHLER Bleche selbst, so fällt auf, dass Informationen zum Teil in redundanter Form fließen – wie man auch aus der Wertstromanalyse folgern kann.

### 8.2.1 Informationsflussanalyse – Auftragsabwicklung

Bevor man eine vertiefende Diskussion über die betrieblichen Informationsflüsse beginnen kann, wird zunächst ein Modell benötigt. Dazu ist in Abbildung 8.7 ein Swim-Lane Diagramm dargestellt, das die Informationsflüsse für die Auftragsabwicklung visualisiert. Dazu werden die Lanes gemäß des Flussprinzips angeordnet und die Spalten der Matrix durch Input, Prozesse und Output kategorisiert.

Der Beginn des Auftragsablaufs ist in eine Kundenanfrage und in einen Kundenauftrag unterteilt. Nach der ersten Anfrage, die via E-Mail, Telefon, Fax oder direkt im SAP erfolgt, wird diese vom Geschäftsfeld geprüft (ob die Anfrage in das Produktportfolio passt). Darauf folgt die Angebotserstellung und ein SAP Eintrag wird erstellt (falls die Anfrage nicht bereits im SAP gestellt wurde). Anschließend wird ein Angebot erstellt und an den Kunden weitergeleitet, woraus ein konkreter Kundenauftrag entsteht. Dieser kann wieder durch verschiedene Medien eintreffen und wird erneut durch das Geschäftsfeld geprüft. Dabei wird festgestellt, ob Abweichungen zur ersten Anfrage bestehen. Ist der Auftrag in Ordnung, erfolgt eine Auftragserstellung durch das Geschäftsfeld und es wird ein Vertriebsauftrag erstellt, sowie die Produktionsplanung und Bestellung von Rohmaterial durchgeführt. Die daraus resultierenden Informationen werden ins SAP eingetragen und abschließend wird der Auftrag bestätigt. Parallel dazu erfolgt die Erstellung der Laufkarten (direkt im SAP) und die Übergabe an den Betrieb. Die Fertigung basiert auf den Eingangsgrößen SAP, Kapazitätsplanungen und Laufkarten. Im Diagramm sind die Fertigungsprozesse als ein einzelner physischer Vorgang mit einer Rekursion visualisiert. Ersichtlich ist auch die Erfassung von binären Maschinendaten, die eine Aussage darüber ermöglichen, ob eine Anlage produziert oder nicht.

Nach abgeschlossener Fertigung folgt bei manchen Aufträgen eine Prüfung durch den Kunden, ob die Qualitätsanforderungen erfüllt sind. Die Laufkarte und auch die SAP Daten, sowie die positiv bestandene Überprüfung durch den Kunden, lösen anhand der Folgeprozesse die Avisierung aus. Es wird ein Lieferschein erstellt und ein Avisierungsauftrag angefertigt. Im Vertrieb bzw. Versand sind zahlreiche Dokumente involviert, aber auch die SAP-Daten werden benötigt. Die Rechnung wird einerseits direkt an den Kunden geschickt und andererseits mit dem versendeten Material mitgeliefert. Es gibt für die Abwicklung des Versandes noch weitere Dokumente, wie Lieferschein und Versandpapiere,

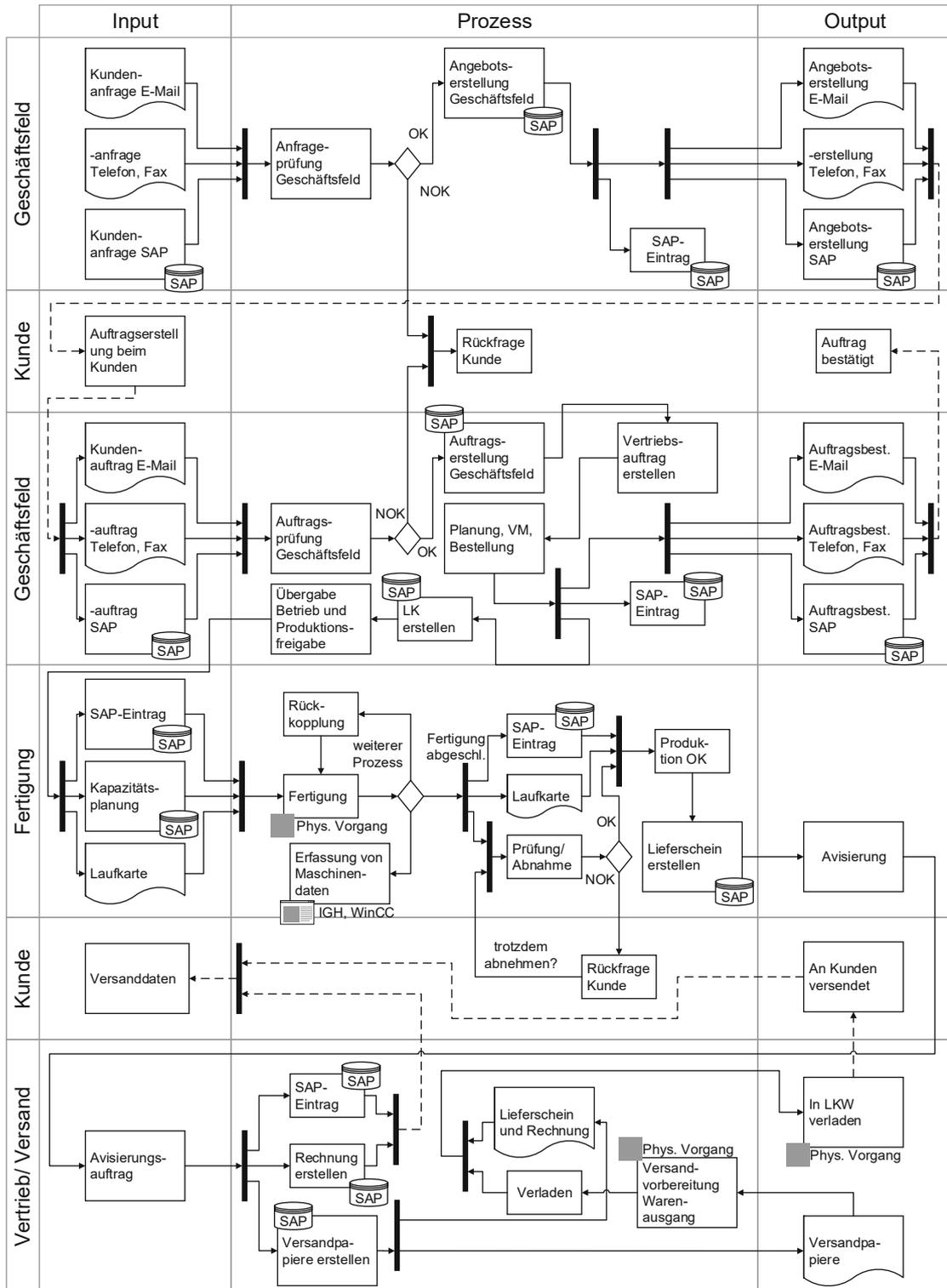


Abbildung 8.7: Informationsflussdiagramm Auftragsabwicklung

die während des physischen Verladens benötigt werden.

Wie zu Beginn bereits kurz angedeutet, fällt auf den ersten Blick die Redundanz in den Informationsflüssen auf – Dokumente und SAP-Einträge existieren parallel und werden auch parallel aktualisiert. Speziell bei der Kommunikation mit dem Kunden existieren mehrere verschiedene Interaktionsebenen. Auch im Vertrieb kann man diese parallelen Informationsflüsse beobachten – dieselben Informationen werden auf unterschiedlichen Wegen geführt. Diese parallelen Informationsflüsse sind, wie auch im Theorieteil<sup>184</sup> bereits angesprochen, generell negativ zu bewerten, da sie zu Inkonsistenzen in den Informationen führen können. Des Weiteren führen die Redundanzen in vielen Fällen zu Mehrarbeit, wenn Informationen in verschiedenen Medien aktualisiert werden müssen. Positiv fällt die durchgängige Verwendung von SAP auf, wobei Dokumente direkt aus dem System heraus erstellt werden können.

### 8.2.2 Informationsflussanalyse – Fertigungsablauf

Um einen detaillierteren Einblick in die komplexen Informationsflüsse während der Fertigungsprozesse selbst zu erhalten, ist in Abbildung 8.8 eine Swim-Lane Darstellung der Informationsflüsse des Fertigungsablaufes angeführt.

Dabei sind die Fertigungsprozesse als Schleife angeführt, wobei die Laufnummer „n“ den aktuellen Prozess nummeriert und die Zahl „i“ die Anzahl aller Fertigungsprozesse zur Herstellung des gewünschten Produktes darstellt. Wie schon in Abbildung 8.7 wird die Fertigung auch in Abbildung 8.8 als Rekursion dargestellt, wobei der Detaillierungsgrad in der vorliegenden Betrachtung deutlich höher ist.

Ausgehend von SAP-Daten und Informationen aus der Laufkarte, sowie Kapazitätsplanungen, erfolgt der erste physische Fertigungsprozess ( $n=1$ ). Ist dieser abgeschlossen, so folgt optional ein Prüfprozess (Prüfung und Anfertigung eines Prüfungsprotokolls) und die Daten im SAP, sowie in der Laufkarte, werden aktualisiert. Sind Kapazitätsanpassungen erforderlich, so werden die notwendigen Informationen an die PPS weitergeleitet, wo – je nach Ausmaß – eine Anpassung durch die Betriebsleitung oder durch den KGL erfolgt. All diese Informationen fließen wieder zurück in den nächsten Fertigungsprozess, wobei der Zähler „n“ um den Wert „1“ erhöht wird. Diese Schleife wird so lange durchlaufen, bis der Zustand  $n=i$  erfüllt ist – alle Fertigungsprozesse sind abgeschlossen. Ist die Restriktion erfüllt, werden die SAP-Daten, sowie die ausgefüllte Laufkarte und die Prüfungsprotokolle weitergeleitet und der Versandauftrag<sup>185</sup> kann ausgelöst werden.

<sup>184</sup>vgl. 7.2 Informationsflussanalyse

<sup>185</sup>Der Versand ist in Abbildung 8.7 detaillierter dargestellt.

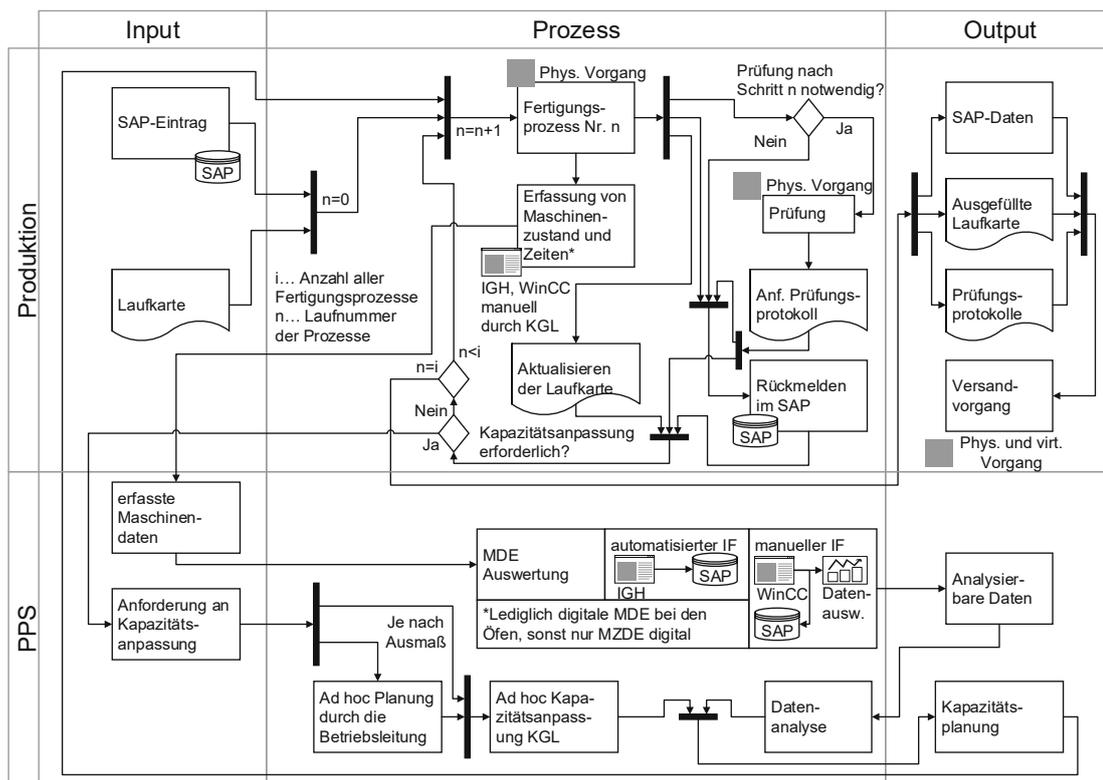


Abbildung 8.8: Informationsflussdiagramm Fertigungsablauf

Während der Fertigung erfolgt eine Maschinenzeitdatenerfassung (MZDE) durch die Software IGH, wobei die dadurch generierten Daten automatisch in das SAP-System fließen (automatisierter Informationsfluss). Die Zeitaufnahme mittels IGH basiert auf binären Daten, die erfassen, ob ein produktionsrelevanter Teil einer Anlage aktiv ist oder nicht. Diese Form der Datenerfassung kann jedoch zum Teil leicht manipuliert werden (z.B. Auslösen eines Lichtschranken zu einem bestimmten Maschinenzustand). Andere Maschinendatenerfassungen (MDE) finden, mit Ausnahme der Öfen, nicht in digitalisierter Form statt. Aussage über den Maschinenzustand können nur die Maschinisten oder die koordinierenden Gruppenleiter liefern. Die Informationsflüsse der Maschinendaten aus den Öfen ist manuell, wenngleich die Mitarbeiter durch die Visualisierungssoftware WinCC unterstützt werden. Die Übertragung der digitalen Daten aus den Ofenmesswerten ins SAP erfolgen auch manuell.

An den IF der Fertigung sind wieder Redundanzen zu erkennen – so existieren die selben Daten sowohl im SAP als auch in Dokumenten (Laufkarten, Prüfungsprotokolle). Auffallend ist auch der geringe Digitalisierungsgrad hinsichtlich der MDE. Abgesehen von einer, zum Teil manipulierbaren, Zeitdatenerfassung und einer teilautomatisierten Generierung von Prozessdaten aus den Öfen, werden keine Maschinendaten erfasst. Wie sich auch in der Wertstromanalyse gezeigt hat, ist der KGL für die Überwachung des Maschi-

nenzustandes zuständig.

### 8.2.3 Verbesserungspotentiale

Aus den Analysen sind einige Verbesserungspotentiale zu erkennen – einerseits die zahlreichen Redundanzen in den Informationsflüssen und andererseits geringe Digitalisierungsgrade. Gemäß den Lean-Prinzipien stellen diese beiden Faktoren Verschwendung in der Form von Mehrarbeit dar. Die in digitaler Form vorhandenen Daten werden manuell (aber dennoch direkt im SAP) aufbereitet, ausgedruckt und als physische Dokumente in die Informationsflüsse eingeschleust (⇒ Medienbruch zwischen virtueller und physischer Welt). Wie man auch aus den Informationsflüssen der beiden Werstromanalysen<sup>186</sup> erkennen kann, haben die Laufkarten im Betrieb einen omnipräsenten Stellenwert. Laut den Mitarbeitern sind die Laufkarten aus der Produktion nur schwer wegzudenken. Neben ihrem steuernden Charakter sind sie zeitgleich auch Qualitätsdokumente. Dennoch gefährden sie die Datenintegrität der Informationen. Nach jedem Fertigungsprozess erfolgt parallel eine Rückmeldung im SAP-System und auch die Informationen auf der Laufkarte werden aktualisiert. Treten dabei Fehler auf, so können sich die Daten in den beiden Medien unterscheiden, was zu Problemen in den Folgeprozessen führt. Des Weiteren stellt diese redundante Aktualisierung der Informationen Mehrarbeit und somit Verschwendung gemäß der Lean-Prinzipien dar. Aber auch der geringe Digitalisierungsgrad hinsichtlich der Maschinendatenerfassung ist auffallend, was zum Teil eine manuelle Kapazitätsanpassung durch die koordinierenden Gruppenleiter erfordert.

Zusammenfassend kann man folgende Probleme bzw. Verbesserungspotentiale aus der Informationsflussanalyse ableiten:

- Redundanz in den Informationsflüssen
- Medienbruch durch Änderung bzw. Verzweigung der Informationsflüsse
- geringer Digitalisierungsgrad (wenig MDE) und größtenteils manuelle Analyse der generierten Daten
- manuelle Kapazitätsanpassung durch die koordinierenden Gruppenleiter

## 8.3 Handlungsfelder

Aus den vorangegangenen Analysen konnte eine Vielzahl an Verbesserungspotentialen abgeleitet werden.<sup>187</sup> Im vorliegenden Abschnitt werden diese Potentiale zusammenge-

<sup>186</sup>vgl. Abbildung 8.4 und Abbildung 8.5

<sup>187</sup>vgl. Abschnitte 8.1.7 und 8.2.3

fasst und auch hinsichtlich wirtschaftlicher Faktoren bewertet – daraus ergeben sich die Kennzahlen des IST-Zustandes bzw. jene Handlungsfelder, die im Rahmen der Ausarbeitung eines SOLL-Zustandes optimiert werden. In Tabelle 8.6 sind die Potentiale aus den Analysen zusammengefasst, wobei sie nach den zu Grunde liegenden Analysen kategorisiert sind. Dazu wird die Potentialmatrix der Wertstromanalyse<sup>188</sup> um Optimierungspotentiale

Nr.	Beschreibung	Kategorie
P1	niedriger Digitalisierungsgrad bzw. Redundanz IT und Laufkarten	VSM, IFA
P2	Go and See Planung, manuelle Kapazitätsanpassung	VSM, IFA
P3	hoher Bestand/ unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel	VSM
P4	Auftragsreihenfolge hängt vom Zustand der Anlage ab	VSM, IFA
P5	Abweichungen Kundentakt	VSM
P6	Anlagenspezifische Verbesserungspotentiale	VSM
P7	schlechte (externe) Kapazitätsanpassung	VSM, IFA
P8	Medienbruch durch Änderung/ Verzweigung von Informationsflüssen	IFA

Tabelle 8.6: Verbesserungspotentiale aus dem IST-Zustand

potentiale der Informationsflussanalyse erweitert. Manche, bereits in der Potentialmatrix zu erkennende Punkte werden durch die IFA bestätigt – so z.B. die Redundanzen in den Informationsflüssen, die sich neben der physischen Fertigung teilweise durch die gesamte Auftragsabwicklung ziehen. Ähnlich auch beim geringen Digitalisierungsgrad hinsichtlich MDE, der speziell in der Informationsflussanalyse des Fertigungsablaufes auffällt. Neben den sich deckenden Potentialen kann durch die Informationsflussanalyse ein weiteres Potential aufgedeckt werden – der Medienbruch zwischen virtueller und realer Welt bzw. die Verzweigung von Informationsflüssen, die fortan parallel existieren.

Um die kausalen Zusammenhänge der Potentiale mit den anfangs definierten Zielgrößen<sup>189</sup> zu verknüpfen, ist in Abbildung 8.9 ein Kausalitätsbaum dargestellt. Anhand der Visualisierung wird die Komplexität der Wechselwirkungen klar. Bereits in der Zielfestlegung wurde festgestellt, dass sich die Zielgrößen nicht unabhängig voneinander optimieren lassen und somit eine holistische Betrachtung zum Erzielen eines Gesamtoptimums notwendig wird.

Eine holistische Betrachtung hat durchaus positive Auswirkungen auf die Optimierung, da die Ziele auf verschiedenen Wegen beeinflusst werden können. Jedoch wird durch diese kausale Komplexität die Suche nach rekursiven Kausalitätszusammenhängen erschwert. Auch der Beeinflussungsgrad der Ursachen auf die Wirkungen ist schwierig zu bewerten. Um dennoch eine weitere Detaillierung der qualitativen Bewertungen durchzuführen, ist in Tabelle 8.7 zusätzlich eine Kausalitätsmatrix dargestellt. Sie dient der anschaulichen

<sup>188</sup>Tabelle 8.5

<sup>189</sup>Abschnitt „2 Ziele der Arbeit“

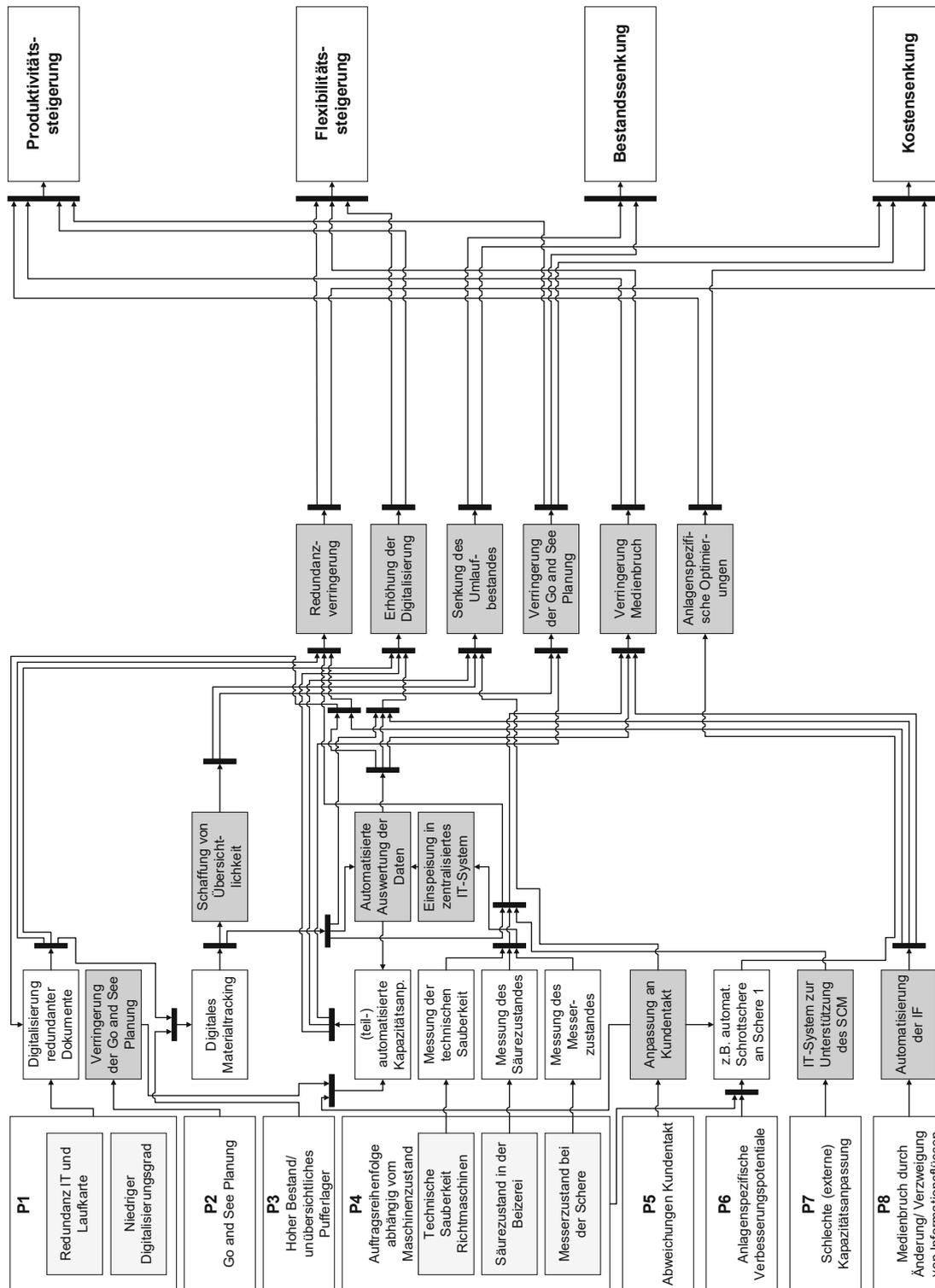


Abbildung 8.9: Kausalitätsbaum der Potentiale und Ziele

URSACHE	WIRKUNG																										
	Digitalisierung redundanter Dokumente	Verringerung Go and See Planung	Digitales Materialtracking	(teil-) automatisierte Kapazitätsanp.	Messung der techn. Sauberkeit	Messung des Säurezustandes	Messung des Messerzustandes	Anpassung an Kundentakt	z.B. automat. Schrottschere an der Schere	IT-System zur Unterstützung des SCM	Automatisierung der IF	Schaffung von Übersichtlichkeit	Automatisierte Auswertung der Daten	Einspeisung in zentralisiertes IT-System	Redundanzverminderung	Erhöhung der Digitalisierung	Senkung des Umlaufbestandes	Verringerung der Go and See Planung	Verringerung Medienbruch	Anlagenspezifische Optimierungen	Produktivitätssteigerung	Flexibilitätssteigerung	Bestandsenkung	Kostensenkung	Häufigkeit	Bewertungsgrundlage	
P1: Redundanz IT und Laufkarte: Niedriger Digitalisierungsgrad	1	2	4									3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	4	4	13	24%	
P2: Go and See Planung		1	2														3	3	3			4	4	4	9	25%	
P3: Hoher Bestand/ unübersichtliches Pufferlager			1									2	2	2	2	2	3	3	3			3	3	4	12	31%	
P4: Auftragsreihenfolge abhängig vom Maschinenzustand			4		1	1	1	1					3	2	2	5	5	5	2			2	3	6	3	18	27%
P5: Abweichungen Kundentakt			2					1	2							3	2	3	3			3	4	3	11	29%	
P6: Anlagenspezifische Verbesserungen								1													2	3	3	3	4	17%	
P7: Schlechte (externe) Kapazitätsanpassung									1							2					2	3	3	3	6	25%	
P8: Medienbruch durch Änderung/ Verzweigung von Informationsflüssen											1					2	2				2	3	3	3	7	25%	
Digitalisierung redundanter Dokumente	-	1	2								3	3	1	1	4	4	4	4			2	2	2	2	13	38%	
Verringerung Go and See Planung	-	1													2	2	2				3	3	3	3	9	33%	
Digitales Materialtracking			-	2								1	1	1	1	2	2					2	2	3	12	44%	
(teil-) automatisierte Kapazitätsanp.			-												1	1	1	1				2	2	2	8	50%	
Messung der techn. Sauberkeit			3	3	-							4	2	1	1	3	4	3	1			2	2	4	2	15	40%
Messung des Säurezustandes			3	3	-							4	2	1	1	3	4	3	1			2	2	4	2	15	40%
Messung des Messerzustandes			3	3	-							4	2	1	1	3	4	3	1			2	2	4	2	15	40%
Anpassung an Kundentakt			1						1						2	1	2	2			2	3	3	2	2	11	40%
z.B. automat. Schrottschere an der Schere									-												1	2	2	2	4	25%	
IT-System zur Unterstützung des SCM									-				1									2	2	2	7	50%	
Automatisierung der IF									-				1									2	2	2	7	38%	
Schaffung von Übersichtlichkeit															1	1	1	1				2	2	2	6	38%	
Automatisierte Auswertung der Daten			1	1								2	-	2	1	2	1	1				2	2	2	13	50%	
Einspeisung in zentralisiertes IT-System			2	2								3	1	-	3	2	3	2	2			3	3	3	14	33%	
Redundanzverminderung															-							1	1	1	3	50%	
Erhöhung der Digitalisierung																-						1	1		3	50%	
Senkung des Umlaufbestandes																	-					1	1	3	50%		
Verringerung der Go and See Planung																		-				1	1	1	4	75%	
Verringerung Medienbruch																						1	1		3	50%	
Anlagenspezifische Optimierungen																						-	1	1	3	50%	

Tabelle 8.7: Kausalitätsmatrix der Potentiale und Ziele

Zuordnung zwischen den Potentialen, Zwischengrößen und Zielen und wurde vom Kausalitätsbaum aus Abbildung 8.9 abgeleitet. Die Einträge der Matrix bewerten dabei die Ebene der Beziehung – je höher der Eintrag, desto weitschichtiger ist die Verbindung. So bedeutet der Eintrag „1“ einen direkten kausalen Zusammenhang und dementsprechend ein Eintrag „4“, dass ein kausaler Zusammenhang nur indirekt über drei andere Ursachen besteht. Am Ende der Matrix sind die Häufigkeiten der Verknüpfungen angeführt und eine Bewertungsgrundlage ist dargestellt. Letztere bewertet die Intensität des Kausalitätszusammenhangs der jeweiligen Ursache zu den Zielgrößen. Dabei würde eine Bewertung von 100% bedeuten, dass die jeweilige Ursache einen direkten kausalen Zusammenhang zu jeder der Zielgrößen besitzt, während eine Bewertung von 0% bedeuten würde, dass kein Zusammenhang zwischen der Ursache und einer der Zielgrößen besteht. Dazu ist anzumerken, dass der absolute Wert der Bewertungsgrundlage nur bedingte Aussagekraft hat, jedoch ermöglicht die prozentuale Bewertung relative Vergleiche zwischen den einzelnen Ursachen.

Nun gilt es, diese qualitativen Potentiale auch zu quantifizieren. Dazu werden die Kosten (bzw. die Verschwendungen), die durch die jeweiligen Probleme verursacht werden, eruiert. Die Potentiale werden wie folgt quantifiziert:

- Um P1 bewerten zu können, muss die Mehrarbeit gemessen werden, die durch das Vorhandensein der Laufkarten entsteht. Aus den Mitarbeitergesprächen geht hervor, dass die jeweiligen koordinierenden Gruppenleiter oft einen großen Anteil ihrer Arbeitszeit mit dem Suchen von Laufkarten und Aufträgen verbringen. P8 lässt sich auch ähnlich zu P1 bewerten, muss jedoch um die Tatsache erweitert werden, dass für das redundante Erstellen und Ausfüllen verschiedener Dokumente weitere Zeit benötigt wird. Auch das Maß der Go and See Planung (P2) wird durch die Suchzeiten für die Laufkarten beeinflusst.
- Das Potential P2 korreliert, neben den Suchzeiten für die Laufkarten, mit der manuellen, operativen Anpassung der Kapazitäten, die wiederum auch mit P4 kausal verknüpft sind.
- Die Potentiale P3 und P7 korrelieren mit den Beständen, wenngleich die Auswirkungen der Bestände auf P3 deutlich größer ausfällt. Die Bestände bedeuten dabei einerseits gebundenes Kapital, das über einen Verzinsungssatz Kosten verursacht und andererseits zusätzlichen Aufwand in der operativen Produktion. Je höher die Bestände sind, desto mehr zusätzliche Hebearbeiten sind notwendig, um an den gewünschten Auftrag zu gelangen.
- Mit Potential P6 sind auch anlagenspezifische Verbesserungspotentiale enthalten,

deren quantitative Bewertung jedoch vom jeweiligen Ausmaß der Verbesserungen abhängt und aktuell nur geschätzt werden kann. Ähnliches gilt auch für die Potentiale P4 und P5, die sich nur äußerst schwierig quantifizieren lassen. So besitzt P4 komplexe Kausalitätsbeziehungen, die nicht sofort kostentechnisch bewertbar sind. Die Abhängigkeit der Auftragsreihenfolge vom Maschinenzustand kann die Durchlaufzeit drastisch erhöhen und zu hohen Beständen an den Anlagen führen. Zudem kann sie auch zu Mehrarbeit führen, wenn häufig Umrüstvorgänge durchgeführt werden müssen. Somit hat P4 einen starken kausalen Einfluss auf viele andere Faktoren und lässt sich nicht alleine betrachten – es ist eine holistische Betrachtung notwendig. Das Potential P4 kann jedoch direkt mit der Nacharbeit in Korrelation gestellt werden, da ein Wissen über vorherrschende Anlagenzustände Fehllösungen vermeiden kann. Bei Potential P5 hängt die quantitative Ausprägung von etwaigen Pönalezahlungen ab und wird auch durch Kennzahlen wie Kundenzufriedenheit und -priorität beeinflusst.

Anhand der vorigen Ausführungen wird klar, dass die Zuordnung von Kosten zu den Potentialen komplex ist und dabei diverse, auch implizite Abhängigkeiten bestehen. In Tabelle 8.8 werden die ermittelten Kosteneinsparungspotentiale zusammengefasst. Für die Potentiale P4, P5 und P6 erfolgt dabei eine Schätzung der Kosteneinsparungspotentiale, da, wie bereits erwähnt, eine direkte Quantifizierung zum Großteil nicht möglich ist.

Für die Bewertung wurden einerseits durchschnittliche Lohnkosten und andererseits ein Verzinsungssatz für die Bestände verwendet (die Werte sind in der Tabelle angeführt), um auch das gebundene Kapital in Kosten umrechnen zu können. Die monetäre Bewertung der Bestände basiert auf einer Durchschnittsbildung des unternehmensinternen Bestandscontrolling aus dem Jahr 2015 und den aufgenommenen Beständen während des VSM.

Für die Nacharbeit, die eines der größten quantitativen Kosteneinsparungspotentiale bildet, wird als Bewertungsgrundlage der durchschnittliche Anteil an Nacharbeit des Vorjahres verwendet. Zur monetären Bewertung wurde der Umlaufwert mit 40% abgezinst.<sup>190</sup>

In Tabelle 8.8 werden die auftretenden Probleme aus einer kostentechnischen Sicht bewertet. Des Weiteren ist den Punkten jeweils ein Einsparungspotential zugeordnet, das den Einfluss von konzeptionellen Verbesserungen auf die Kosten bewertet. Am unteren Ende der Tabelle werden die Kosteneinsparungen den identifizierten Potentialen zugeordnet – dabei sind sie gemäß ihrer finanziellen Auswirkungen sortiert. Wie zu erkennen ist, sind die den Problemen bzw. Potentialen direkt zuordenbaren Kosten zum Teil beträchtlich. Neben diesen direkten, quantifizierbaren Kosteneinsparungspotentialen kom-

<sup>190</sup>Damit wird davon ausgegangen, dass die Nacharbeiten im Durchschnitt bereits vor der Hälfte des gesamten Wertschöpfungsprozesses stattfinden.

Beschreibung	Nr.	Zeit	Kosten	Kosten	Kosten	Einsparungs- potential	Kosteneinsp.	Kosteneinsp.	geb. Kapital €
		h/d	€/h	€/Monat	€/Jahr		€/Monat	€/Jahr	
Suchzeiten für die Laufkarten aller KGLs	P1, P2	9,52	40	7.616	91.392	90,00%	6.854	82.253	-
manuelle Kapazitätsanpassung	P2	7,00	40	5.600	67.200	90,00%	5.040	60.480	-
zusätzlicher administrativer Aufwand durch Laufkarten	P1, P8	2,25	35	1.575	18.900	90,00%	1.418	17.010	-
Umlaufbestände (jährlicher Verzinsungssatz von durchschnittlich 3%)	P3, P7	-	-	5.540	66.478	60,00%	3.324	39.887	2.215.940
zusätzliche Hebearbeiten durch Bestände		4,5	35	3.150	37.800	60,00%	1.890	22.680	-
Nacharbeit (1,83%, Bewertung basierend auf 40% des Umsatzwertes 2015)	P4	-	-	69.206	830.477	20,00%	13.841	166.095	-
vom jeweiligen Fall abhängig (nicht direkt quantifizierbar, Einsparungspot. geschätzt)	P4, P5, P6	-	-	-	-	-	8.000	96.000	-
Gesamt				92.687	1.112.247	-	40.367	484.405	2.215.940

kategorisierte Kosteneinsparungspotentiale	P4	P2	P1	P3	P5	P6	P7	P8	Gesamt
in 1.000€/Jahr	214	85	63	50	24	24	13	12	484
in €/Monat	17.841	7.096	5.223	4.171	2.000	2.000	1.043	992	40.367

Tabelle 8.8: Quantifizierung der Verbesserungspotentiale aus dem IST-Zustand

men noch weitere, nicht direkt zuordenbare Ausprägungen der Potentiale hinzu. Diese, über multikausale Zusammenhänge verknüpften Faktoren nehmen allesamt Einfluss auf die Zielgrößen, wenngleich diese nicht direkt quantitativ bewertbar sind. Aufgrund dessen sind die wirtschaftlichen Potentiale der identifizierten Handlungsfelder noch deutlich höher als Tabelle 8.8 anzudeuten vermag – Tabelle 8.8 stellt in diesem Sinne eine pessimistische Schätzung dar.

## 9 Ausarbeitung der SOLL-Situation

Im aktuellen Abschnitt werden, basierend auf den identifizierten Potentialen und deren qualitativen, sowie quantitativen Bewertung aus Abschnitt 8.3, Lösungsideen gebildet und beschrieben. Dazu werden zunächst die ermittelten Potentiale in anlagenspezifische Maßnahmen und unternehmensweite Maßnahmen untergliedert und die entstandenen Optimierungsideen diskutiert. Da die einzelnen Konzeptideen Synergieeffekte besitzen, werden sie abschließend in einer holistischen Sichtweise zu Konzepten zusammengeführt.

Im Rahmen der Ideengenerierung und Konzeptausarbeitung werden die folgenden Potentiale explizit behandelt.

**P1** – niedriger Digitalisierungsgrad bzw. Redundanz IT und Laufkarten

**P2** – Go and See Planung, manuelle Kapazitätsanpassung

**P4** – Auftragsreihenfolge hängt vom Zustand der Anlage ab

Sie besitzen die größten Kosteneinsparungspotentiale, wie man in Tabelle 8.8 erkennen kann und haben auch qualitativ starke Korrelationen mit den Zielgrößen – dieser hohe Grad an kausalem Zusammenhang ist speziell in der Kausalitätsmatrix<sup>191</sup> zu erkennen. So weist z.B. P4 eine Häufigkeit von 18 in den Kausalitätsbeziehungen auf und die Bewertungsgrundlage ist mit 27% deutlich ausgeprägt ⇒ starke Korrelation zu den Zielgrößen. Des Weiteren fällt das Potential P3 auf, das sowohl deutliche Kosteneinsparungspotentiale besitzt, als auch einen starken kausalen Zusammenhang zu den Zielgrößen aufweist.<sup>192</sup> Die direkte Optimierung von P1, P2 und P4 bewirkt implizit auch Verbesserungen in den Potentialen:

**P3** – hoher Bestand / unübersichtliches Pufferlager und Platzmangel

**P5** – Abweichungen Kundentakt

**P8** – Medienbruch durch Änderung / Verzweigung von Informationsflüssen

Demnach sind gemäß der Kausalitätsmatrix alle Zielgrößen abgedeckt. Aufgrund zeitlicher Begrenzungen wird auf die explizite, wie auch implizite Optimierung der Punkte P6 und P7, verzichtet – die anlagentechnische Optimierung (P6) wurde in der Zielabgrenzung bereits als Nicht-Ziel festgelegt.

Somit besteht ein explizites Kosteneinsparungspotential von rund 30.000€ je Monat, das unter Berücksichtigung der implizit beeinflussbaren Potentiale auf rund 37.000€ je Mo-

<sup>191</sup>Tabelle 8.7

<sup>192</sup>P3 hat mit 31% den höchsten Wert der Bewertungsgrundlagen der Potentiale und auch die Häufigkeit der Kausalitätsbeziehungen ist mit 12 deutlich ausgeprägt.

nat erhöht werden kann. Berücksichtigt man noch jene qualitativen Auswirkungen, denen nicht direkt Kosten zugeordnet werden können, dann ergibt sich noch ein deutlich höheres Einsparungspotential.

## 9.1 Anlagenspezifische Maßnahmen der Digitalisierung

Als anlagenspezifische Maßnahmen wurde der Potentialkomplex P4 identifiziert – die Abhängigkeit der Auftragsreihenfolge vom Maschinenzustand. Dieses Potential korreliert zum Teil auch mit P2 – der Go and See Planung und P5 – den Abweichungen zum Kundentakt. Zur Optimierung des Potentials werden Maschinendatenerfassungen an den Richtmaschinen (Abhängigkeit der Auftragsreihenfolge von der technischen Sauberkeit) und an der Schere 1 (Abhängigkeit der Auftragsreihenfolge vom Messerzustand) konzipiert.

Durch die Abhängigkeiten der Auftragsabfolgen vom jeweiligen Maschinenzustand (z.B. Messerzustand an der Schere 1) müssen die Auftragsreihenfolgen ad hoc festgelegt werden. Hinzu kommt Subjektivität in der Entscheidung, wann Maßnahmen getroffen werden, um die Maschine in einen gewünschten Zustand zu versetzen. So kann es vorkommen, dass teure Qualitäten mit dem aktuellen Anlagenzustand nicht mehr bearbeitet werden können und andere, weniger kritische Qualitäten vorgezogen werden. Dadurch kommt es zur Anhäufung von Beständen und die Durchlaufzeiten erhöhen sich drastisch. Durch die Optimierung von Potential P4 können alle Zielgrößen positiv beeinflusst werden:<sup>193</sup>

- **Produktivitätssteigerung:** Durch das Wissen über aktuelle Maschinenzustände können die vorhandenen Anlagenkapazitäten besser an die Gegebenheiten angepasst werden. Dadurch kann die Produktivität des Produktionssystems erhöht werden.
- **Flexibilitätssteigerung:** Aufgrund der Echtzeitdaten können Änderungen oder Anpassungen an das Produktionsprogramm flexibler erfolgen ⇒ kürzere Reaktionszeiten der Fertigung.
- **Bestandssenkung:** Basierend auf den Echtzeitdaten können wirtschaftliche Optima in der Gestaltung der Auftragsreihenfolgen eruiert werden ⇒ es häufen sich weniger Bestände an bestimmten, kritischen Qualitäten an.
- **Kostensenkung:** Einerseits kann die Go and See Planung verringert werden, was die Kosten senkt und andererseits können durch die Daten Instandsetzungsmaßnahmen wirtschaftlich bewertet werden. Des Weiteren kommt es zu einer Reduktion

<sup>193</sup>vgl. Kausalitätsmatrix (Tabelle 8.7)

des gebunden Kapitals aufgrund der Bestandssenkung und das Risiko von Pönalezahlungen reduziert sich. Auch die durch Nacharbeit verursachten Kosten können minimiert werden.

Aus diesen Punkten ist ersichtlich, dass die Konzipierung von Lösungen für den Potentialkomplex P4 sowohl deutliche quantitative Verbesserungen (Kosten- und Bestandsminimierung), als auch ausgeprägte qualitative Auswirkungen erzielt. Neben diesen Zielen ergibt sich auch die Möglichkeit der langfristigen, kontinuierlichen Verbesserung des Produktionssystems, wie z.B. auch die Autoren Kagermann et al. aus einer ihrer Fallstudien, bezüglich MDE ableiten.<sup>194</sup>

### 9.1.1 Ideenbeschreibung MDE Richtmaschinen

An den Richtmaschinen werden unterschiedliche Qualitäten und Dimensionen bearbeitet. Dabei wird speziell zwischen „schwarzen“ (verschmutzen) Blechen und „weißen“ (reinen) Blechen unterschieden. Letztere kommen von Prozessen wie Beizen und Schleifen und sind empfindlich – sie dürfen nur auf einer reinen Richtmaschine bearbeitet werden. Ist die RM verschmutzt, so würden die Schmutzpartikel Eindrücke an den bereits oberflächenbehandelten Tafelblechen verursachen und sie somit beschädigen. Dadurch wären zusätzliche Maßnahmen (z.B. Ausschleifen der Fehler) nötig, oder die Bleche werden zu Ausschuss. Daher müssen die Richtmaschinen vor dem Bearbeiten von „weißen“ Blechen gereinigt werden, wobei es zwei Möglichkeiten gibt:

- **Reinigen während der Produktion:** Dabei wird die jeweilige Richtmaschine während der laufenden Produktion gereinigt. Einige Qualitäten (z.B. die Pressbleche) eignen sich aufgrund ihrer hohen Härte dazu, die Walzen der Richtmaschinen von den Schmutzpartikeln zu befreien, ohne dass dabei Eindrücke an den Blechen selbst entstehen.<sup>195</sup> Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Maschine ohne unproduktive Stillstandszeit gereinigt werden kann. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass Aufträge mit Reinigungsblechen vorhanden sein müssen. So kann es auftragsbedingt zu Bestandsanhäufungen von „weißen“ Blechen kommen, wenn keine Reinigungsbleche vorhanden sind.
- **Reinigen bei Maschinenstillstand:** Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Richtmaschine manuell zu reinigen. Dazu wird ein mit Schleifpapier bespanntes Blech verwendet. Dieser manuelle Reinigungsvorgang dauert in etwa eine Schicht und

<sup>194</sup>Kagermann *et al.*, 2013, S. 107

<sup>195</sup>Bleche mit dieser Eigenschaft werden im Folgenden als Reinigungsbleche bezeichnet.

die RM kann in dieser Zeit produzieren. Der Vorteil dieser Methode ist, dass eine Reinigung zu jedem Zeitpunkt möglich ist – es bedarf keines Einschubes von Aufträgen mit Reinigungsblechen, jedoch geht produktive Zeit verloren.

Es ist zu erkennen, dass beide Möglichkeiten zum Reinigen der Anlage ihre Nachteile haben und keine der beiden ein Optimum darstellt – speziell eine objektive Entscheidungsgrundlage bezüglich eines optimalen Reinigungszeitpunktes fehlt. Oft weiß nur der Maschinist oder der zuständige KGL über die Reinheit der jeweiligen RM Bescheid. Somit ist eine betriebsweite Optimierung nicht möglich – das Reinigen erfolgt meist durch jene Vorgangsweise, die die Produktivität der eigenen Anlage oder der Stelle maximiert, ohne die gesamte Fertigung zu betrachten. Somit wird verstärkt auf die erste der beiden genannten Möglichkeiten „Reinigen während der Produktion“ zurückgegriffen. Dadurch entsteht zwar ein punktuelles Produktivitätsoptimum, jedoch kann das gesamtbetrieblich negative Auswirkungen haben. Es resultiert in einem trägeren Produktionssystem und auch Transparenz, Durchlaufzeit und Flexibilität leiden darunter.

Die erarbeitete Idee besteht darin, die Information über die Reinheit der Richtmaschinen „rein“, oder „verschmutzt“ aufzunehmen und zu digitalisieren. Dazu werden die Daten in ein IT-System eingeschleust und den entsprechenden Entscheidungsträgern zugänglich gemacht. Die Messung der Reinheit soll dabei zunächst manuell erfolgen, indem der Maschinist bei einer Änderung der Reinheit (z.B. nach der Bearbeitung eines Auftrages mit „schwarzen“ Blechen) den Maschinenzustand manuell im IT-System (z.B. im SAP oder IGH) aktualisiert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Maschinenzustand (halb-)automatisch zu erfassen, indem direkt aus den Daten über die Aufträge aus dem SAP („schwarzes“ oder „weißes“ Blech) die Reinheit der Maschine abgeleitet wird. Für letztere Möglichkeit ist aber zunächst die Generierung eines Datenschatzes notwendig, aus dem anhand von Big-Data Analysen längerfristig Korrelationen abgeleitet werden können. Aus technischer Sicht besteht auch die Möglichkeit der Verwendung eines Sensors, der die Reinheit in Echtzeit misst.<sup>196</sup>

Durch die Generierung bzw. Zurverfügungstellung dieser Maschinenzustandsdaten in Echtzeit ist eine verbesserte Kapazitätsplanung und -anpassung möglich. Des Weiteren können durch eine geeignete Verwendung der Daten<sup>197</sup> die Bestände deutlich reduziert werden, wodurch sich die Durchlaufzeiten verringern. Auch reduziert sich der Anteil an Go and See Planung und ad hoc Entscheidungen, da die Daten objektive Entscheidungen, basierend auf Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, ermöglichen. Somit können die Kosten

<sup>196</sup>Während der Recherchetätigkeiten konnten keine geeigneten Sensoren gefunden werden, die aus einer kostentechnischen Betrachtung wirtschaftlich sinnvoll erschienen wären.

<sup>197</sup>in Form von wirtschaftlicher Bestandsbewertungen

deutlich gesenkt werden und auch die Flexibilität des gesamten Produktionssystems wird erhöht.

### 9.1.2 Ideenbeschreibung Schere 1

Die Schneide bzw. das Messers an der Schere 1 muss, je nach Härte und Zähigkeit der bearbeiteten Bleche, etwa alle vier Wochen (20 Arbeitstage) gewechselt werden. Die Dauer des Wechsels beträgt dabei rund eine Schicht. Mit einer neuen Schneide ist die Schnittqualität sehr gut und es können alle Qualitäten geschnitten werden. Bei zunehmender Verwendungszeit des Messers sinkt jedoch verschleißbedingt die Qualität der Schnitte und es können nach und nach empfindliche Qualitäten nicht mehr bearbeitet werden. Zu diesem Zeitpunkt bleibt aber die Möglichkeit der Bearbeitung unempfindlicherer Qualitäten bestehen, bis schließlich (bei zu hohem Messerverschleiß) auch deren Bearbeitung nicht mehr möglich ist oder aufgrund von Zeitdruck gewechselt werden muss. Die Entscheidung, wann das Messer getauscht wird, ist jedoch eine subjektive und wird vom KGL ad hoc getroffen. Die Resolution basiert dabei zumeist auf Grundlage einer Optimierung der Produktivität der eigenen Stelle (ähnlich zu den Richtmaschinen), ohne ganzheitliche Betrachtung der Produktion. So kann es vorkommen, dass empfindliche Tafelbleche über einen längeren Zeitraum an der Schere liegen bleiben. Diese sich anhäufenden Bestände bewirken erhöhte Durchlaufzeiten, die wiederum Kosten verursachen. Auch die Bestände selbst bewirken, basierend auf einem Verzinsungssatz des gebundenen Kapitals, Kosten. Erfolgt ein Messerwechsel zu spät bzw. werden empfindliche Qualitäten bei schlechtem Messerzustand geschnitten, so führt dies zu Beschädigungen an den Tafelblechen. Somit entstehen an den nachfolgenden Prozessen zusätzliche Nacharbeiten (z.B. das Ausschleifen von Fehlern, die aufgrund zu starker Gratbildung an den Schnittkanten entstehen), oder die Bleche werden zu Ausschuss.

Um die Subjektivität der Einschätzung über den Zustand des Messers zu eliminieren und für den gesamten Betrieb jeweils die wirtschaftlichste Entscheidung treffen zu können, soll eine Maschinendatenerfassung (MDE) an der Schere 1 eingeführt werden, um den Maschinenzustand in Echtzeit aufnehmen zu können. Dazu wird zunächst die Hypothese aufgestellt, dass mit zunehmendem Verschleiß der Schneide auch die Schwingungsamplituden zunehmen. Die Hypothese basiert dabei auf Erkenntnissen einer teilnehmenden Beobachtung.<sup>198</sup> Zur Überprüfung der Hypothese wird ein Schwingungssensor an der Schere appliziert, der zunächst Daten aufnehmen soll. Daraus wird eine Korrelation zwischen den Schwingungen der Anlage und dem Zustand des Messers abgeleitet.

<sup>198</sup>Bereits im Vorfeld der Arbeit konnte der Autor im Rahmen einer operativen Tätigkeit an der Schere diese Beobachtung tätigen.

Nach der Aufnahme von Korrelationsbeziehungen können die Daten langfristig dazu verwendet werden, um die Entscheidung, wann das Messer gewechselt werden soll, zu vereinfachen und in einen objektiven Rahmen zu bringen. Des Weiteren können basierend auf dem Maschinenzustand wirtschaftliche Bewertungen abgeleitet werden. Dazu ein kurzes Beispiel:

Die Schneide ist bereits in einem verschlissenen Zustand, jedoch können unempfindliche Bleche noch bearbeitet werden. Die Bestände an empfindlichen Materialien an der Anlage sind hoch und deren Bearbeitung würde sich (wenn man die Schneide bis zum Ende ausreizen würde) um rund eine Woche verzögern. Aufgrund der generierten Daten können nun wirtschaftliche Vergleiche angestellt werden, ob ein Wechseln zum aktuellen Zustand aus einer Kosten-Nutzen-Betrachtung sinnvoll erscheint. Es werden die Kosten, die die Bestände verursachen, den Kosten des Messerwechsels gegenübergestellt. Daraus kann dann die wirtschaftlich sinnvollste Entscheidung abgeleitet werden.

Neben diesen im Beispiel erwähnten positiven Effekten, ermöglichen die Echtzeitdaten auch das Erstellen von Prognosen.<sup>199</sup> Dadurch wird die Planung des Produktionsprogramms unterstützt und vereinfacht, sowie die Transparenz erhöht – zu jedem Zeitpunkt kann der aktuelle Messerzustand abgerufen werden. Neben den erwähnten Potentialen können die Daten auch für weitere Optimierungen und Auswertungen verwendet werden – Big Data Analysen werden ermöglicht.

### 9.1.3 Zusammenfassung der Ideen – MDE

Wenngleich die beiden, in den vorigen Abschnitten vorgestellten, anlagenspezifischen Konzeptideen hinsichtlich ihrer Ausprägungen unterschiedlich sind, so dienen sie dem selben Zweck. Durch die Generierung von Daten in Echtzeit erhöht sich die Transparenz des Produktionssystems deutlich. Dadurch können Steuerungsmaßnahmen besser ansetzen, die reaktiv oder korrektiv auf Auftragsreihenfolgen und Kapazitätsanpassungen einwirken. So können in einem weiteren Schritt Entscheidungen getroffen werden, die ein betriebsweites, holistisches Optimum ermöglichen und alle definierten Zielgrößen positiv beeinflussen.

Wichtig dabei ist, dass die beiden Teilkonzepte des Potentialkomplexes P4 miteinander in Verbindung stehen und ihre Daten in ein gemeinsames IT-System liefern, von dem aus sie wiederum den Entscheidungsträgern in geeigneter Form zur Verfügung gestellt

<sup>199</sup> „Predictive Maintenance“

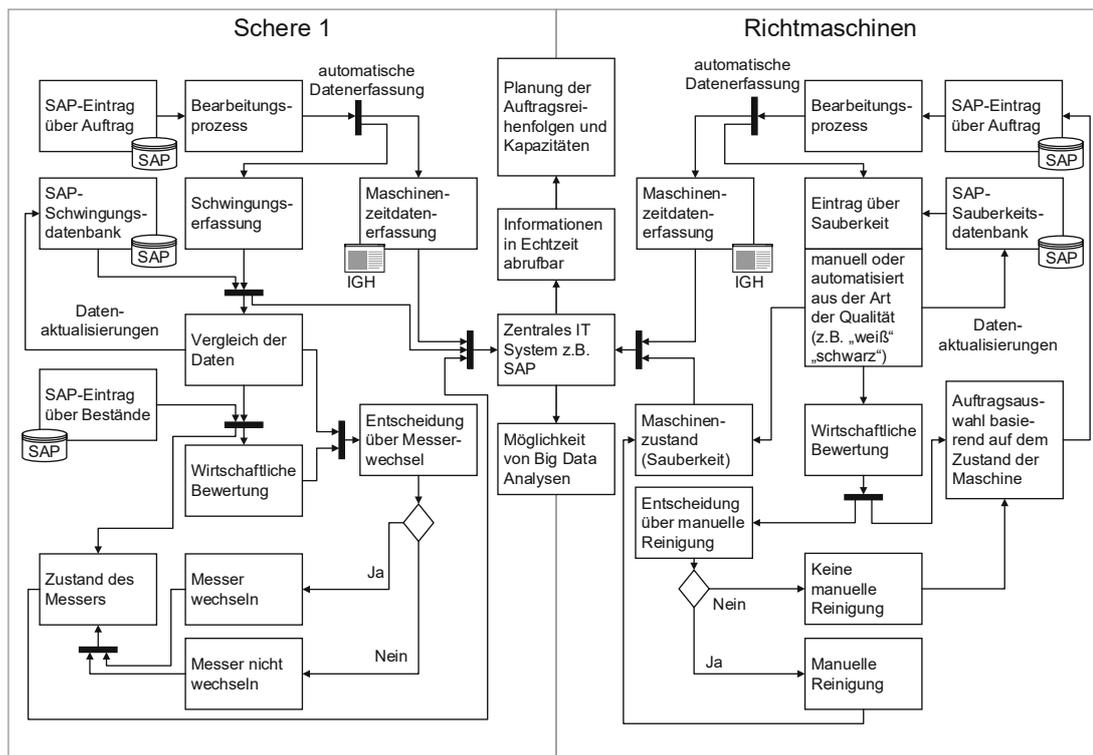


Abbildung 9.1: SOLL-Konzeptideen von Potential P4

werden. Basierend auf diesen Implikationen sind beide Lösungen in einer ganzheitlichen Betrachtung in Abbildung 9.1 angeführt.

Es ist zu erkennen, dass die Informationsflüsse der beiden Konzeptideen ähnliche Ausprägungen haben. Aus den Bearbeitungsprozessen selbst erfolgt eine Maschinendatenerfassung. Neben den aktuell erfassten Maschinenzitdaten (im IGH) sind auch die erdachten Lösungsmöglichkeiten angeführt – einerseits die Schwingungsmessung an der Schere und andererseits die Aufnahme der technischen Sauberkeit an den Richtmaschinen. Diese Informationen werden jeweils in Datenbanken aufgenommen und dort verwaltet. Dabei bilden die Daten Ausgangspunkte für wirtschaftliche Betrachtungen. Durch Vergleiche mit vorhandenen Beständen an den Anlagen und anderen Einflussgrößen (z.B. Verzinsungssätze, mögliche Pönalezahlungen, aktuelle Auftragslage, vorhandenen Kapazitäten, usw.) können die wirtschaftlich sinnvollsten Entscheidungen getroffen werden (z.B. beim Wechseln des Messers an der Schere 1). Aber auch die Planung der Auftragsreihenfolgen an der Richtmaschine kann aufgrund der vorhandenen Zustände angepasst werden. Die erarbeiteten Optimierungsvorschläge stellen somit erste Schritte in die Richtung der Entwicklung von CPPS<sup>200</sup> dar und bewirken folgende Verbesserungen:

<sup>200</sup>vgl. Abschnitt 6.3.1 Cyber-Physical-Systemes

- Transparenz über die Produktion  $\Rightarrow$  Vereinfachung von Anpassungsmaßnahmen  $\Rightarrow$  Reduktion der Bestände  $\Leftrightarrow$  Verringerung der Durchlaufzeit
- Verringerung von Go and See Planung bzw. von subjektiven ad hoc Entscheidungen  $\Rightarrow$  Bildung von objektiven Entscheidungsgrundlagen unter der Berücksichtigung von wirtschaftlichen Faktoren und einer holistischen Betrachtung der Produktion – Optimierung der Auftragsabwicklung
- Produktivitätssteigerung des gesamten Produktionssystems, nicht nur punktuelle Optima
- Kostensenkung durch wirtschaftliche Optima in den Entscheidungen und implizite Einsparungen basierend auf den anderen genannten Faktoren

#### 9.1.4 Warenausgangslager

Bereits bei der Erstbegehung des Betriebes konnte im Bereich des Warenausgangs ein Potential aufgedeckt werden, das auch durch die Wertstromanalyse bestätigt werden konnte: die Unübersichtlichkeit des Warenausgangslagers. Das P1 und auch P3 zuordenbare Potential hat, gemäß des Kausalitätsbaumes<sup>201</sup> Verbindungen zu allen Zielgrößen.

Die Organisation des Warenausgangs basiert auf einem von den Mitarbeitern erstellten System. Dabei wird das Lager in einzelne Bereiche kategorisiert, wobei jedem Bereich gewisse Qualitäten zugeordnet sind. Dieses System ist komplex und benötigte Aufträge können nur von routinierten Mitarbeitern effizient wiedergefunden werden.

Die Idee besteht darin, ein Konzept zu entwickeln, welches das Wiederfinden von Aufträgen im Warenausgangslager vereinfacht. Dazu soll jeder physisch abgelegte Auftrag auch digital in einem IT-System abgelegt werden, sodass er beim Kommissionieren leichter wiedergefunden werden kann. Die abgespeicherten Daten, die auch die Ortsinformationen enthalten, sollen dabei an einem mobilen Gerät angezeigt werden – angedacht wäre die Umsetzung dieser Idee durch ein Tablet. Dabei soll die Software die virtuelle Suche nach bestimmten Aufträgen ermöglichen und deren Aufenthaltsort in einem Grundrissplan anzeigen. Dadurch kann das Kommissionieren vereinfacht und auch beschleunigt werden. Dies führt zur Entlastung der Mitarbeiter, da, wie in den Ausführungen der Wertstromaufnahme angegeben, gegen Monatsende die Anzahl an Kommissionierungsvorgängen deutlich zunimmt und zu einer körperlichen und stressbedingten Belastung der Mitarbeiter führt.

<sup>201</sup> Abbildung 8.9

Das Hinterlegen der Ortsinformationen der Aufträge kann dabei entweder manuell beim Ablegen der jeweiligen Güter erfolgen oder durch ein Materialtrackingsystem unterstützt werden. Letzteres wird im folgendem Abschnitt detailliert besprochen – Materialtracking wirkt sich positiv auf die Transparenz und Flexibilität des gesamten Produktionssystems aus und wird somit als unternehmensweite Maßnahme kategorisiert.

## 9.2 Unternehmensweite Maßnahmen der Digitalisierung

Neben den anlagenspezifischen Maßnahmen wird ein Großteil der aufgedeckten Potentiale durch unternehmensweite Maßnahmen optimiert. Betrachtet man die aufgedeckten Potentiale, so fallen in diesem Kontext speziell die zu bearbeitenden Potentiale P1 und P2 (implizit auch P3) auf.

Das Potential P1 beinhaltet zweierlei Punkte – einerseits die Informationsredundanz von IT und Laufkarten und andererseits den niedrigen Digitalisierungsgrad, wobei sich beide Punkte durch den gesamten Betrieb ziehen. Laufkarten werden an allen Prozessen verwendet und auch die besagte Redundanz fällt an allen Bearbeitungsschritten auf. Des Weiteren ist auch der niedrige Digitalisierungsgrad an den meisten Anlagen auffallend, wenngleich auch die anlagenspezifische MDE Teil des vorigen Abschnittes ist. Auch das Potential P2 ist ein unternehmensweiter Faktor. So sind die koordinierenden Gruppenleiter zuständig für einen Großteil der operativen Planung in der Produktion. Viel Arbeitszeit der KGLs entfällt dabei auf das Suchen von Laufkarten und Aufträgen, die bearbeitet werden sollen.<sup>202</sup>

Ein Verbesserungskonzept für beide Potentiale, P1 und P2, stellt Materialtracking dar. Das auch in der Literatur im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 häufig zu findende Themengebiet ist sowohl aktueller Forschungsgegenstand in zahlreichen Studien und wird auch vermehrt in praktischen Anwendungen umgesetzt.<sup>203</sup>

Die durch Tracking des Materials bzw. der Aufträge generierten Daten können, in Kombination mit ermittelten Maschinendaten, für eine digitalisierte PPS und Big Data Analysen verwendet werden, die weitere Optimierungen ermöglichen und zur kontinuierlichen Verbesserung der gesamten Produktion im Sinne von KAIZEN beitragen.

Die Grundidee besteht darin, die Aufträge mit Ortsinformationen zu verknüpfen, die bei Veränderungen aktualisiert werden. Dazu ist zunächst die eindeutige digitale Identifikation der Aufträge notwendig. Wie in den theoretischen Ausführungen bereits behandelt, wird in der Industrie dazu häufig die Basistechnologie RFID eingesetzt. Die behandelten

<sup>202</sup>vgl. Tabelle 8.8

<sup>203</sup>theoretische Ausarbeitungen siehe Abschnitt 6.5.3 Digitale Referenzierung und Materialtracking

Studien führen dabei allesamt die positiven Auswirkungen von Materialtrackingsystemen auf die Transparenz der Wertströme an. Einige beschreiben darüber hinaus Qualitätsverbesserungen der Informationsflüsse und auch Kosteneinsparungen. Neben Radio-Frequency Identification Tags gibt es auch die Möglichkeit der Verwendung von Matrix- bzw. QR-Codes, oder den seit längerem bereits etablierten Barcodes.<sup>204</sup>

Hinsichtlich Materialtracking bzw. der praktischen Umsetzung bei BÖHLER Bleche bestehen grundsätzlich mehrere Ideen. Alle basieren auf der Notwendigkeit einer eindeutigen, digitalen Identifikation der Aufträge, unterscheiden sich jedoch in der Art des eigentlichen Trackings:

1. **GPS Tracking:** Eine kostengünstige Möglichkeit zum Tracken von Materialien und Aufträgen stellt (verglichen mit den anderen Ideen) GPS oder auch GSM dar. Die Idee besteht darin, zunächst die Aufträge digital zu referenzieren – entweder mittels RFID oder auch QR-Codes und sie somit mit dem Datenbanksystem SAP zu verknüpfen. Findet ein innerbetrieblicher Transport eines Auftrages statt, so wird die digitale Signatur des Auftrages am Zielort mit einem Scanner eingelesen bzw. identifiziert. Während dieses Identifikationsvorganges soll ein mit dem Scanner verknüpftes GPS Modul auch den aktuellen Standort aufnehmen und in einer Datenbank hinterlegen. Somit wird mit jedem Lesevorgang die Ortsinformation aktualisiert und man weiß (mit Ausnahme während der Transportvorgänge selbst) zu jedem Zeitpunkt über den Aufenthaltsort eines Auftrages Bescheid. Jedoch beruht diese Idee auf der Hypothese, dass in den Betriebshallen die GPS Daten in einer ausreichenden Genauigkeit abgefragt werden können. Diese Hypothese wird im Rahmen der Konzeptausarbeitung überprüft. Stellt sich die Hypothese als zutreffend heraus, so kann GPS zum Tracking verwendet werden. Wird die Hypothese hingegen widerlegt, so muss für diese Lösungsvariante auf ein Indoor Positioningsystem zurückgegriffen werden. Für diesen Fall gibt es mehrere Möglichkeiten, wie z.B. die Ortung aufgrund von Abständen zu WLAN-Hotspots. Generell ist jedoch anzumerken, dass die Kosten für Indoor Positioningsysteme deutlich höher ausfallen würden, als bei einer Verwendung von GPS bzw. GSM.
2. **Referenzierung der Lagerplätze durch RFID (NFC):** Die zweite Idee besteht darin, jeder Anlage vordefinierte Lagerplätze zuzuweisen, die wiederum mittels Identifikationstechnologien wie RFID referenziert werden. Selbiges soll mit den Aufträgen geschehen, die mit der selben Technologie referenziert werden und somit auch mit einem Datenbanksystem verknüpft werden. Findet ein innerbetrieblicher Transport eines Auftrages statt, so wird analog zur ersten Idee die digitale Signatur

<sup>204</sup>vgl. 6.5.3 Digitale Referenzierung und Materialtracking

des Auftrages am Zielort mit einem Scanner eingelesen. Statt der Abfrage des Ortes durch den Scanner selbst erfolgt jedoch noch ein zweiter Einlesevorgang des Lagerplatzes, an dem der Auftrag hinterlegt wurde. Auch durch diese Möglichkeit können die Ortsinformationen der Aufträge aufgenommen werden. Im laufenden Betrieb ist das Durchführen zweier Lesevorgänge zwar umständlicher, als die automatisierte Verknüpfung mit Ortsinformationen, jedoch weist dieser Lösungsansatz sehr geringe Anschaffungskosten hinsichtlich der Hardware auf. Einerseits müssen geeignete Identifikationstechnologien ausgewählt werden – angedacht ist die Verwendung von RFID (bzw. einer Kombination aus RFID-Tags und RFID-Lesegeräten). Des Weiteren muss ein passendes IT-System gestaltet werden. Analog zur ersten Idee benötigt diese Idee auch eine Hypothesenüberprüfung hinsichtlich der Lesbarkeit von RFID-Tags auf metallischen Oberflächen.

3. **Tracking über die jeweiligen Kranpositionen:** Diese Idee basiert auf der Tatsache, dass alle Manipulationsvorgänge durch Kräne durchgeführt werden und somit durch die Position des Kranes auf die Position des jeweiligen Auftrages rückgeschlossen werden kann. Das Einlesen der Aufträge erfolgt analog zu den bereits beschriebenen Ideen, erweitert um eine Verknüpfung der Aufträge mit den Kränen und deren Position. Für die digitale Erfassung der Kranposition in Echtzeit gibt es mehrere denkbare Möglichkeiten:

- Messung des zurückgelegten Weges über Positionsmarken an den Laufschiene der Kräne oder Laserpositionserfassung
- Erfassung der Motorendrehzahl und Umrechnung auf die Bewegung der Rollen des Kranes und des Weiteren Umrechnung auf den zurückgelegten Weg
- Erfassen von Geschwindigkeit oder Beschleunigung und Rückschluss auf die aktuelle Position
- Messung der Kranposition mittels GPS

Die einzelnen angeführten Arten der Positionserfassung unterscheiden sich hauptsächlich anhand der Genauigkeit. Durch die Verwendung von Positionsmarken oder Laserpositionserfassung entsteht kein Schleppfehler,<sup>205</sup> wie es bei Messungen von Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen der Fall ist – oder auch bei einer Umrechnung der Motorendrehzahl auf die Position. Ein Konzept mit Positionsmarken weist aber bei weitem die höchsten Kosten auf, da einerseits die Marken an den Kranschiene angebracht werden müssen und andererseits alle Kräne mit Sensoren ausgestattet werden müssen. Denkbar ist auch die Positionserfassung der Kräne

<sup>205</sup>Positionsfehler kumulieren sich mit zunehmenden, zurückgelegten Weg

durch Lasermessungen. Die Verwendung von Daten bezüglich der Motorendrehzahl hingegen benötigt keine weitere Sensorik, wodurch die Idee somit deutlich kostengünstiger umzusetzen wäre – ähnlich auch zur Erfassung von Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung, jedoch entstehen Schleppfehler. Abschließend ist auch noch die Möglichkeit des GPS-Trackings der Kranposition denkbar, die aber analog zur ersten Idee einer Hypothesenüberprüfung (GPS Genauigkeit in den Betriebshallen) bedarf.

### 9.3 Überprüfung der Hypothesen

Bevor die gebildeten Ideen konkretisiert werden können, wird eine Überprüfung der entstandenen Hypothesen benötigt:

- **Hypothese 1:** Es besteht eine Korrelation zwischen Messerschwingungen und -zustand an der Schere 1.
- **Hypothese 2:** GPS Systeme weisen in den betrieblichen Hallen eine ausreichende Genauigkeit auf und können daher für ein Materialtrackingsystem verwendet werden.
- **Hypothese 3:** RFID- bzw. NFC-Tags können durch eine geeignete Abschirmung auf metallischen Oberflächen eingesetzt werden.

#### 9.3.1 Hypothese 1

Um die erste Hypothese zu überprüfen, wurde zunächst ein geeigneter Schwingungssensor ausgewählt. Dabei fiel die Wahl auf den „Extech VB300“ – der Schwingungslogger ist eine All-in-One Lösung zur Erfassung von dreiachsigen Beschleunigungszuständen und wird mit einer geeigneten Auswertesoftware geliefert. Der Schwingungslogger besitzt eine Samplingrate von bis zu 20 Hz und ermöglicht das Speichern von 168.042 Datensätzen mit Zeitstempel. Darüber hinaus zeichnet sich der Sensor durch seine geringen Anschaffungskosten und seine Wiederverwendbarkeit (Möglichkeit der Schwingungserfassung auch an anderen Anlagen) aus.<sup>206</sup>

Die Applikation des Schwingungssensors erfolgt direkt auf der Messerhalterung am Drehpunkt der Schere (nahe des erstmaligen Messereintritts am Blech). Um die Korrelation zwischen Messerschwingungen und -zustand zu überprüfen, wurden mehrere Schnitte

<sup>206</sup>Sensordatenblatt in Anhang D

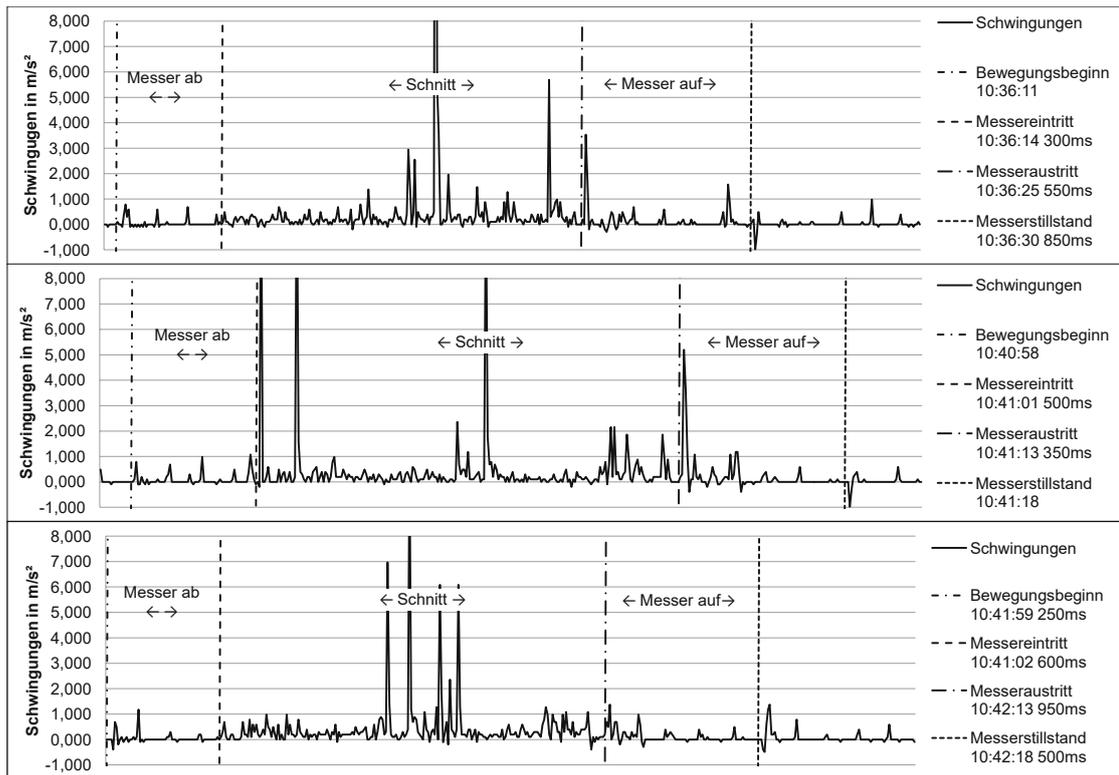


Abbildung 9.2: Schwingungen bei Längsschnitten

aufgezeichnet – sowohl Längs-, als auch Querschnitte. Die Messergebnisse der Längsschnitte sind dabei in Abbildung 9.2 dargestellt.<sup>207</sup> Anhand der vom Schwingungslogger aufgezeichneten Zeitdaten konnten die Bewegungen des Messers den jeweiligen Schwingungszuständen zugeordnet werden. Bei einer Betrachtung der Diagramme fällt auf, dass die Schwingungen in jedem Schnitt ähnliche Ausprägungen haben. Beim Bewegungsbeginn des Messers (Scheren beginnt mit der Abwärtsbewegung) sind in allen Diagrammen kurze Beschleunigungssprünge zu erkennen. Ab dem Eintritt des Messers in das Blech (Beginn des eigentlichen Schneidvorganges) sind Schwingungen mit kleiner Amplitude zu erkennen, die sich dennoch deutlich von den Grundschwingungen abheben. In der Mitte der Diagramme sind jeweils deutliche Sprünge zu erkennen – bei jedem der analysierten Schnitte zur selben Messerposition. Die Amplituden übersteigen dabei das Ordinatenmaximum deutlich (rund  $20 \frac{m}{s^2}$ ).<sup>208</sup> Nach diesen Maximalausschlägen normalisiert sich der Schwingungszustand wieder und die Amplituden verringern sich. Ist der Schnitt vollendet und das Blech durchtrennt, wird das Messer wieder in den Ausgangszustand bewegt. Dabei sind in den Diagrammen Sprünge zu erkennen, die die Beschleunigung der

<sup>207</sup>Die Messungen wurden mit der Qualität N700, in der Enddimension 3,7x2m am 11.05.2016 gegen 10:30 durchgeführt.

<sup>208</sup>Aufgrund der Übersichtlichkeit wurde das Ordinatenmaximum auf  $8 \frac{m}{s^2}$  begrenzt

Aufwärtsbewegung der Schere kennzeichnen – es findet auch ein Nachschwingen statt. Am Ende der Bewegung ist ein negativer Beschleunigungssprung zu erkennen, der den Messerstillstand kennzeichnet.

Um die Aussagekraft der Schnittverläufe zu erhöhen, wurden die jeweiligen Beschleunigungswerte zustandsabhängig gemittelt und zu einem Diagramm zusammengefügt (siehe Abbildung 9.3). Dabei wird deutlich, dass die Sprünge während des Schnitts innerhalb des selben Intervalls auftreten. Begründen kann man dies dadurch, dass das auffallende Intervall eine starke Messerbeschädigung aufweist, was wiederum daher rührt, dass ein Großteil der Schnitte in diesem Intervall (etwa zwei Meter vom Schnittbeginn weg) endet. Die in diesem Bereich zusammenfallenden Entlastungsstöße führen zu einem hohen Verschleiß am Messer und in weiterer Folge zu hohen Schwingungen aufgrund der punktuell höheren Messerbeschädigung. Auch bei einer Betrachtung des fertigen Schnitts ist dieser Bereich mit den Amplitudenmaxima auffallend – deutlich schlechtere Schnittqualität.<sup>209</sup>

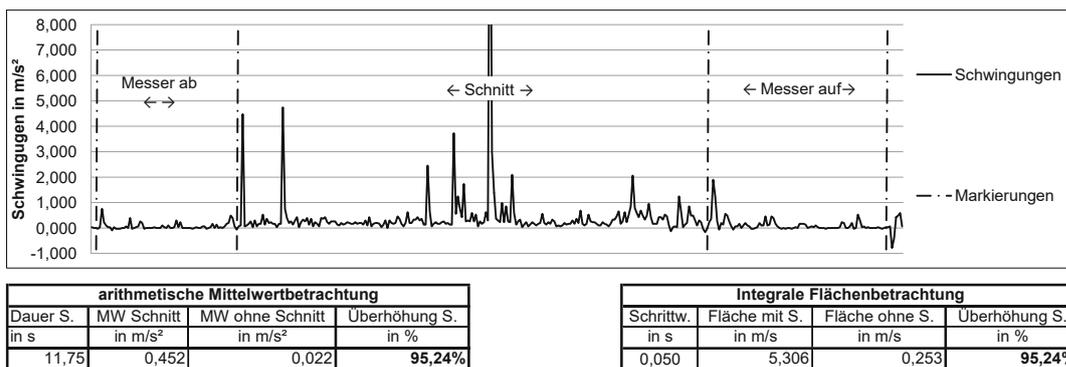


Abbildung 9.3: Überlagerung der Schwingungen bei den Längsschnitten

Im unteren Bereich von Abbildung 9.3 sind zwei Tabellen angeführt, die die Schwingungszustände bei einem Schnitt und bei nicht belasteter Bewegung gegenüberstellen. Aus den numerischen Werten sind die Unterschiede deutlich zu erkennen, wobei die Überhöhungen der Schwingungsamplituden im belasteten Zustand um über 95% höher sind, als im unbelasteten Zustand.

Um analysebedingte Fehler auszuschließen, wurde eine Referenzmessung der Schwingungszustände im unbelasteten Bewegungszustand durchgeführt – sie ist in Abbildung 9.4 dargestellt. Im Diagramm sind wieder dieselben, den Bewegungszustand kennzeich-

<sup>209</sup>Um diese Entlastungsstöße gleichmäßiger auf die Schneide zu verteilen und die Messerbeschädigungen zu minimieren, wäre es denkbar, die Blechposition in der Anlage zu variieren. Jedoch werden die Bleche beim Fertigschneiden an einen nicht-verschiebbaren Winkel angelegt um die geforderten Winkeltoleranzen zu erreichen. Aufgrund dieser anlagenspezifischen Restriktion ist die Entlastung durch eine Variation der Blechposition nicht möglich.

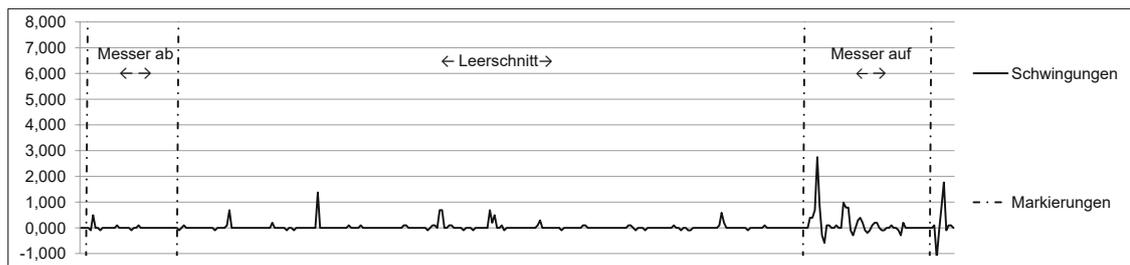


Abbildung 9.4: Schwingungen im unbelasten Bewegungszustand

nenden, Sprünge zu erkennen (wie auch bei den Schnittmessungen). Vor der Abwärtsbewegung des Messers ist ein kleiner Sprung zu erkennen und im Speziellen ist auch ein Ausschlag beim Beschleunigen der Aufwärtsbewegung auffallend, der wieder durch ein Nachschwingen gekennzeichnet ist. Auch die Kennzeichnung des vollständigen Messerstillstandes durch einen negativen Sprung gleicht den Schwingungszuständen der Diagramme aus Abbildung 9.3. Jedoch sind während des Leerschnitts keine signifikanten Ausschläge vorhanden, die belastungsbasierten Schwingungen ähneln würden. Aus einem Vergleich des Schwingungsverlaufes unter Belastung und des Schwingungsverlaufes im unbelasteten Zustand kann man somit rückschließen, dass es beim Schneiden zu deutlich höheren Schwingung kommt und die Bewegungsbereiche richtig zugeordnet wurden.

Betrachtet man die eingangs aufgestellte Hypothese, so kann man aus den Ergebnissen aus Abbildung 9.3 rückschließen, dass eine Korrelation zwischen Messerschwingungen und -zustand besteht:<sup>210</sup> Es treten an jener Stelle Schwingungsamplituden auf, an denen das Messer starke physische Beschädigungen aufweist. Diese Erkenntnisse können auch, anders als vor den Analysen vermutet, dazu verwendet werden die Zustände einzelner Messerbereiche zu beurteilen.<sup>211</sup>

### 9.3.2 Hypothese 2

Zur Überprüfung der zweiten Hypothese wurde die Genauigkeit der GPS Signale in den betrieblichen Hallen überprüft. Dazu wurde ein geeigneter GPS Tracker ausgewählt, der GPS Informationen hochfrequent abfragt und dabei eine hohe Signalstärke aufweist – der „Qstarz BT-Q1000eX 10Hz“.<sup>212</sup> Bei einer Betrachtung der Literatur hinsichtlich GPS

<sup>210</sup>Um die Signifikanz der Ergebnisse zu erhöhen, wären zusätzliche Messungen bei unterschiedlichen Messerzuständen notwendig. Dabei könnten die Schwingungsmittelwerte der Zustände miteinander verglichen werden. Aufgrund zeitlicher Restriktionen der Arbeit war dies jedoch nicht möglich.

<sup>211</sup>Basierend auf den Zeitstempeln der Daten und den Bewegungsparametern (Winkelstellung des Messers und Vorschub des Hydraulikzylinders), kann auf die Abstände zurückgerechnet werden. Somit können beschädigte Messerbereiche identifiziert werden.

<sup>212</sup>Datenblatt in Anhang D

Tracking fällt die Arbeit von Schipperijn et al. auf, in der auch dieser GPS Tracker zur Evaluierung der GPS Genauigkeit anhand verschiedener Routen verwendet wird. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der durchschnittliche Fehler mit der Geschwindigkeit korreliert. Dieser liegt bei 3,9 Meter beim Gehen unter freiem Himmel und sinkt bis auf 0,5 Meter bei der Fortbewegung mit dem Auto.<sup>213</sup>

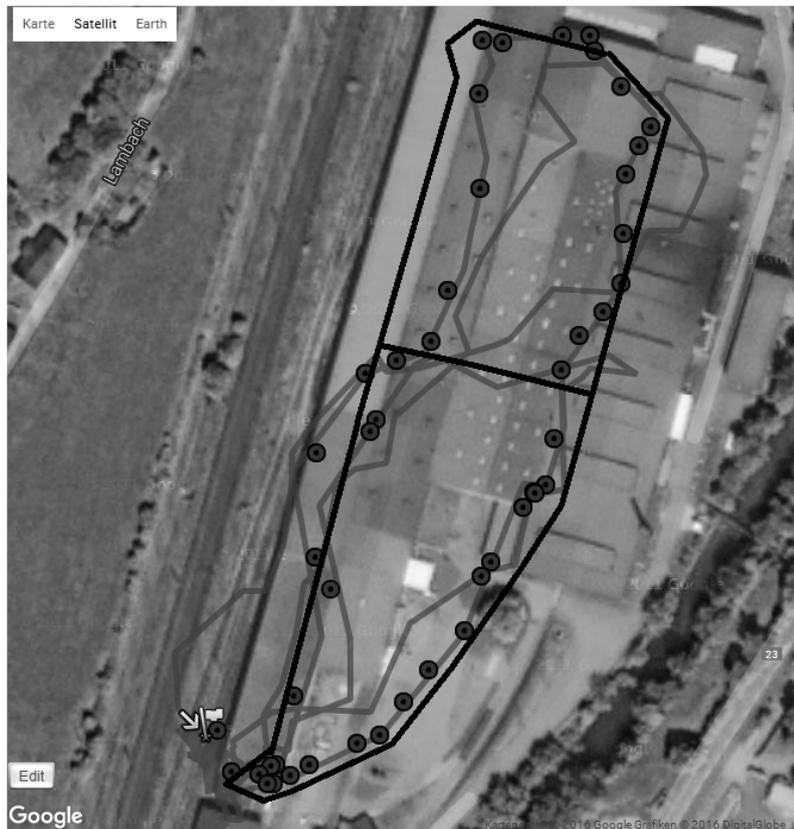


Abbildung 9.5: GPS Logs

Für die Durchführung der Messungen wurden mehrere Rundgänge in den Betriebshallen durchgeführt und diese miteinander verglichen, sowie dem tatsächlich zurückgelegten Weg gegenübergestellt. In Abbildung 9.5 sind alle aufgenommenen Log-Daten (als helle Linien) dargestellt. Die markierten Punkte stellen die sogenannten „Points of Interest“ dar (die zusätzlich durch den Tracker aufgenommen wurden) und die schwarzen Linien symbolisieren den tatsächlich zurückgelegten Weg. Grundsätzlich besteht die Abbildung aus zwei unterschiedlichen Routen – einer „großen“, in der die gesamte Ausdehnung der Hallen abgegangen wurde und einer „kleinen“, die durch ein Queren der Hallen in der Mitte gekennzeichnet ist. Anhand der Unterschiede zwischen dem aufgezeichneten und dem tatsächlich zurückgelegten Weg ist die Ungenauigkeit der GPS-Logs zu erkennen. Zum Teil sind die Unterschiede größer als zehn Meter und somit für ein Materialtracking unzu-

<sup>213</sup>vgl. Schipperijn *et al.*, 2014, S. 2ff.

reichend genau. Unter freiem Himmel würde die Genauigkeit der GPS Signale durchaus ausreichen, jedoch werden die Mikrowellen durch die Hallendächer verzerrt und führen zu der beschriebenen Ungenauigkeit. Zur Signalverstärkung der Kommunikation mit den GPS Satelliten wären aus technischer Sicht Signalverstärker denkbar. Diese bestehen jeweils aus zwei Komponenten, wobei eine außen am Hallendach und eine innerhalb der Halle angebracht wird. Dadurch kann die Verzerrung der Mikrowellen über das Dach hinweg verhindert werden. Aber GPS-Signalverstärker stellen aufgrund ihrer hohen Anschaffungskosten keine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu den anderen Möglichkeiten dar, die in den vorigen Abschnitten eruiert wurden. Somit ist Hypothese 2 „*GPS Systeme weisen in den betrieblichen Hallen eine ausreichende Genauigkeit auf und können daher für ein Materialtrackingsystem verwendet werden.*“ widerlegt und für das Materialtracking müssen andere Konzepte verwendet werden.

### 9.3.3 Hypothese 3

RFID und NFC setzen zur Informationsübertragung auf elektromagnetische Wellen in unterschiedlichen Frequenzspektren (vgl. Abschnitt 6.5.2). Aufgrund der Übertragungsform ist der Einsatz der RFID-Technologie im Umfeld von metallischen Oberflächen oft nur eingeschränkt möglich, da Metalle sehr gute elektromagnetische Leiter sind und die von den Lesegeräten ausgesendeten elektromagnetischen Wellen absorbieren. Somit erhalten z.B. passive RFID-Tags nicht ausreichend Energie, die zur Übertragung notwendig wäre.

Um die Hypothese zu überprüfen, wurden dreierlei NFC-Tag Konfigurationen getestet<sup>214</sup>:

- ein herkömmlicher NFC-Tag ohne Beschichtung
- ein „on-metal“ NFC-Tag – dieser besitzt im Auslieferungszustand bereits eine Beschichtung aus einem paramagnetischen Eisen (Austenit)
- ein herkömmlicher NFC-Tag mit Beschichtung<sup>215</sup>

Für die Durchführung der Versuche wurden die Tags zunächst im NDEF-Format mit einer geeigneten Smartphoneapplikation beschrieben.<sup>216</sup> Anschließend wurden die NFC-Tags auf den von BÖHLER verwendeten, metallischen Begleittafeln<sup>217</sup> angebracht.

<sup>214</sup>NTAG213, Datenblatt in Anhang D

<sup>215</sup>Als Beschichtung wird ein doppelseitiges Klebeband mit einer Stärke von 1,5mm verwendet.

<sup>216</sup>Auf jedem Tag wird die BÖHLER Bleche Homepage (<http://www.bohler-bleche.com>) hinterlegt.

<sup>217</sup>Dimension in etwa 320x220x1,5mm

Das Testen der verschiedenen Konfigurationen hat ergeben, dass der herkömmliche NFC-Tag ohne Beschichtung auf der metallischen Oberfläche nicht ausgelesen werden kann, da die metallische Umgebung die elektromagnetischen Wellen absorbiert. Bei dem „on-metal“-Tag, wie auch bei dem herkömmlichen NFC-Tag mit Beschichtung, hat sich jedoch gezeigt, dass das fehlerfreie Auslesen problemlos möglich ist. Aus diesen Ergebnissen kann die Hypothese *„RFID- bzw. NFC-Tags können durch eine geeignete Abschirmung auf metallischen Oberflächen eingesetzt werden.“* bestätigt werden. Jedoch muss bei der Verwendung von herkömmlichen NFC-Tags eine zusätzliche Beschichtung erfolgen.

## 9.4 Abgeleitetes Konzept

Aus vorigen Ausführungen ist ersichtlich, dass für einige der Potentiale zahlreiche Optimierungsideen bestehen. Nach der Überprüfung der gebildeten Hypothesen werden die erarbeiteten Konzeptideen nun zu einem konkreten Konzept zusammengefügt, wobei versucht wird, die sich ergebenden Synergieeffekte bestmöglich auszuschöpfen.

### 9.4.1 Maschinendatenerfassung

Bereits in der Ideenbeschreibung wurde die Möglichkeit der Erfassung der technischen Sauberkeit an den Richtmaschinen diskutiert. Um diese Idee zu konkretisieren wird die Einführung einer MDE in mehrere Schritte unterteilt. Zunächst soll die Erfassung der Sauberkeit manuell erfolgen, wobei der Maschinist bei einer Veränderung des Maschinenzustandes (Verschmutzung der Anlage) diesen laufend, anhand einer numerischen Bewertung (sehr gut „10“ bis sehr schlecht „1“) bewertet. Die Eingabe kann dabei sowohl durch Elemente an den Maschinen, als auch durch eine geeignete Benutzeroberfläche an den Computern erfolgen (wie in der VSM festgestellt, befindet sich an jeder RM eine EDV-Schnittstelle, die auch bereits für Rückmeldungen ins SAP verwendet wird). Dazu ein kurzes Beispiel:

Die betrachtete Richtmaschine ist in einem äußerst verschmutzten Zustand („1“) und der Mitarbeiter führt einen Reinigungsvorgang (durch den Einschub von Reinigungsblechen z.B. N700SP) durch. Dadurch verbessert sich die Sauberkeit der Richtmaschine und nach rund 10 Tafeln ist wieder der Wert „4“ erreicht,<sup>218</sup> der nach dem Vorgang manuell vom Maschinist aktualisiert wird. Im Bestand der Anlage befinden sich aber viele „weiße Bleche“, die noch eine deutlich sauberere Anlage

<sup>218</sup>subjektive, auf Erfahrungen basierte Einschätzung des Maschinenzustandes durch den Maschinisten

benötigen – somit erfolgt das Richten von weiteren 12 Tafeln an Reinigungsblechen, wodurch sich der Anlagenzustand weiter auf „8“ verbessert und nun auch das Richten der kritischen „weißen“ Bleche ermöglicht wird. An der Anlage wird nun der Bestand an „weißen“ Blechen abgearbeitet bis schließlich, basierend auf einer wirtschaftlichen Bestands- und Prioritätsbewertung auch wieder „schwarze“ Bleche gerichtet werden müssen. Nach dem Richten eines Loses mit 34 „schwarzen“ K100 Blechen aktualisiert der Maschinist den Maschinenzustand wieder auf den Wert „5“.

Der Vorteil einer manuellen MDE in der beschriebenen Form ist die Einfachheit der Umsetzung – speziell in Betrachtung der Änderungen der Hardware. Bei einer Umsetzung einer Benutzerschnittstelle in digitaler Form am Computer wird keine zusätzliche Hardware benötigt. Jedoch ist das Einrichten einer geeigneten Software nötig – sowohl eine geeignete Benutzeroberfläche für die Maschinisten, als auch ein Informations- und Steuerungskonzept für die Entscheidungsträger, die die Auftragsreihenfolgen festlegen. An dieser Stelle wird vorgeschlagen, direkt die digitale Ausprägung des Konzeptes (Aktualisierung des Anlagezustandes am Computer im SAP bzw. IGH) umzusetzen, da es auch adaptierbar ist. Es können Daten über Veränderungen des Maschinenzustands, wenn diese über einen längeren Zeitraum erfasst wurden, langfristig für die Ermittlung von Korrelationen verwendet werden. Somit ist ein manuelles Eintragen des jeweiligen Maschinenzustands nicht mehr nötig, da Veränderungen direkt aus den Daten abgeleitet werden können und die Bewertung des jeweiligen Maschinenzustands automatisiert wird. Der Maschinist meldet dann lediglich den Auftrag nach der Bearbeitung im Datenbanksystem zurück (analog zum IST-Zustand). Basierend auf auftragsbezogenen Daten (Qualität, Dimensionen) kann aus dem Datenschatz heraus eine Bewertung der Veränderung des Maschinenzustands erfolgen.<sup>219</sup> Dazu sei das zuvor erwähnte Beispiel erneut in Erinnerung gerufen. Es erfolgt bei einer Sauberkeit von „1“ das Richten von 19 Tafelblechen der Qualität N700SP (klassifiziert als Reinigungsbleche). Beim Rückmelden des Auftrages ermittelt ein Softwaresystem aus den Daten die Veränderung der Sauberkeit und aktualisiert die betreffende Kennzahl auf eine Sauberkeit von z.B. „7“. Neben dieser automatisierten Veränderungsverfolgung ermöglichen die angesammelten Daten auch ein gewisses Maß an vorausschauender Planung. Die Auftragsabfolgen können derart priorisiert werden, dass die RM immer im geeigneten Zustand ist, um die anschließend benötigte Qualität zu bearbeiten. Bereits während des Verfassens der vorliegenden Arbeit wurde ein Konzept zur manuellen Erfassung der Maschinenreinheit entworfen, das teilweise an der Richtmaschine 1 eingesetzt wurde. Die erhaltenen Ergebnisse sind äußerst vielversprechend und bestätigen den Nutzen des erarbeiteten Konzeptes.

<sup>219</sup>Konzept des Wissensmanagements

Neben der Ermittlung der Sauberkeit an den Richtmaschinen wurde während der Ideengenerierung auch die Erfassung der Messerzustände an der Schere 1 durchdacht. Dazu wird basierend auf Hypothese 1 (welche validiert werden konnte) vorgeschlagen, Schwingungsdaten des Messers aufzunehmen. Dazu soll ein Schwingungssensor an der Messerhalterung angebracht werden, der über eine Auswerteeinheit Daten in Echtzeit erfasst. Um die Aussagekraft der Schwingungsdaten zu erhöhen, sollen diese mit physikalischen Materialeigenschaften (Qualität, Dimension) verknüpft werden. Anhand der aufgenommenen Beschleunigungswerte der Schwingungsmessung soll sodann eine Kennzahl abgeleitet werden – von „10“ sehr guter Messerzustand bis „1“ sehr schlechter Messerzustand. Aus diesen Daten können wiederum objektive, wirtschaftlich sinnvolle Entscheidungen abgeleitet werden, die einerseits die Nacharbeitsrate verringern<sup>220</sup> und andererseits bestandsbasierte Auftragspriorisierungen ermöglichen. Analog zu den RM ist dabei auch eine zweistufige Konzeptumsetzung angedacht. Zunächst erfolgt sowohl die Aufnahme der Beschleunigungswerte, als auch eine jeweils vom Maschinisten eingetragene Messerzustandsbewertung in der beschriebenen Skala. Über einen längeren Zeitraum können somit aussagekräftige Datensätze aufgebaut werden, die langfristig eine vollautomatisierte Messerzustandsbewertung ermöglichen. Ein manuelles Eintragen des aktuellen Messerzustandes wird somit obsolet. Dies stellt, ähnlich zu den Richtmaschinen, auch ein Konzept des Wissensmanagements dar, da die Erfahrungswerte kompetenter Mitarbeiter erfasst und mit physikalischen Kenngrößen verknüpft werden. Neben der Erfassung des Schwingungszustandes können auch Daten bezüglich der Winkelstellung des Scherenmessers und der Vorschubgeschwindigkeit des Hydraulikzylinders aufgenommen werden. Dadurch ist es möglich, die Schwingungsverläufe (die abhängig von der Zeit sind) der zurückgelegte Strecke (bzw. Messerbereiche) zuzuordnen – somit kann erfasst werden, an welchen Stellen das Messer bereits starke Beschädigungen aufweist. Dies ermöglicht auch das Durchführen von „Teilmesserwechseln“ – insgesamt besteht das Messer der Schere aus vier Teilstücken, die unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt sind. Verschleißt ein Teil schneller als andere, kann dieser alleine ersetzt werden, ohne die Notwendigkeit eines vollständigen Messerwechsels.

#### 9.4.2 Datentechnisches Konzept der MDE

Mit der Erfassung von Maschinendaten geht auch die Frage nach deren Speicherung und Verwendung einher. Daher wird in den folgenden Absätzen ein erarbeitetes Konzept zur Verwaltung der generierten Daten beschrieben.

<sup>220</sup>Schneiden einer hochwertigen Qualität bei schlechtem Messerzustand verursacht Nacharbeit

Die generierten Maschinenzustandsdaten sollen zusätzlich zu den Maschinenzeitdaten<sup>221</sup> in das bereits vorhandene Softwaresystem IGH eingeschleust werden. Unter Rücksprache mit dem Leiter der IT-Abteilung von BÖHLER Bleche<sup>222</sup> konnte festgestellt werden, dass die softwaretechnischen Anpassungen nur gering sind und die Erweiterung somit unter geringem zeitlichen und monetären Aufwand durchgeführt werden kann. Um das zu Grunde liegende Software- bzw. Datenbankkonzept greifbarer darzustellen, ist in Abbildung 9.6 eine Visualisierung der Datensätze anhand von Beispieldaten dargestellt.

<b>Steuertabellen</b>	Kennzahl	Produktionsrelevanter Zustand	Bewertung	Einheit	
	01	Vibration Messer	{double}	m/s <sup>2</sup>	
	02	Messerzustand	1 – 10 {float}	-	
	0x	Walzenverschmutzung RMx	1 – 10 {float}	-	
<b>Bewegungsdaten (Beispiele)</b>	Maschine	(KZ) Produktionsrelevanter Zustand	Datum/ Zeit	Status	
	4501	(01) Vibration Messer	05.06.2016 08:00:00	2m/s <sup>2</sup>	
	4501	(02) Messerzustand	05.06.2016 08:00:00	3	
	4401	(0x) Walzenverschmutzung	05.06.2016 08:00:00	2	
	4401	(0x) Walzenverschmutzung	05.06.2016 08:30:00	4	
	4401	(0x) Walzenverschmutzung	05.06.2016 15:30:00	7	
	4401	(0x) Walzenverschmutzung	07.06.2016 10:30:00	1	
<b>Auftragsdaten</b>	Auftragsnr.	Qualität	Priorität in %	Notwendiger MZ – Schere	Notwendiger MZ – RM
	2295368	N700SP	80%	6,5	1
	2295913	K700	30%	1	1
	2294360	L276	10%	7	8,5
	2295148	K100	20%	2	1

Abbildung 9.6: Datenbankkonzept MDE

Die Steuertabelle beinhaltet jene Datensätze, die von den Anlagen aufgezeichnet werden, wobei ihnen jeweils eine Kennzahl zugeordnet wird, die der eindeutigen Identifikation in der Datentabelle und daraus abgeleiteten Abfragen dient. Des Weiteren ist eine textuelle Beschreibung der Datensätze, sowie die numerische Bewertung des Anlagenzustandes und dessen Einheit angeführt, wobei für die Schere sowohl der physikalische Wert der aktuell vorhandenen Beschleunigungen (Schwingungen), als auch eine rein numerische Bewertung des Messerzustandes vorhanden sind. Für die Richtmaschinen mit den Kennzahlen 0x (eine Kennzahl je RM) ist eine rein numerische Bewertung des Anlagezustandes konzipiert. Dabei bedeutet eine Kennzahl von „10“ einen sehr guten Zustand

<sup>221</sup>MZDE werden bereits im IST-Zustand erfasst

<sup>222</sup>Herr Ing. Marcher

der Anlage (Messer in gutem Zustand bzw. hohe Sauberkeit der jeweiligen RM) und eine Kennzahl von „1“ einen sehr schlechten Anlagenzustand (Messer in schlechtem Zustand bzw. RM verschmutzt). Die Bewegungsdaten stellen in Abbildung 9.6 Beispiele für die durch die Sensorik erfassten Daten dar. Diese beinhalten neben der Maschinenummer auch die jeweilige Kennzahl, einen Zeitstempel und den ausgelesenen Maschinenzustand. Die Auftragsdaten werden um zwei zusätzliche Spalten erweitert, die den jeweils benötigten Anlagezustand darstellen. So benötigen, wie in den vorherigen Ausführungen des Abschnitts bereits beschrieben, „schwarze“ K\* Bleche keine saubere Richtmaschine, wohingegen oberflächenbehandelte Qualitäten, wie im Beispiel L276, eine reine Maschine erfordern. Ähnlich auch beim notwendigen Messerzustand, wobei empfindliche Qualitäten einen besseren Messerzustand benötigen, als z.B. K700 Bleche. Zusätzlich werden die Auftragsdaten um eine Spalte erweitert, die die Priorität des jeweiligen Auftrages darstellt, wobei eine prozentuale Skala von 0% (niedrigste Priorität) bis 100% (höchste Priorität) angedacht ist.

Aus diesen derart erweiterten Datenbanken können Abfragen, Entscheidungshilfen und Informationscockpits erstellt werden, die eine höhere Transparenz der Fertigung ermöglichen. So können subjektive ad hoc Entscheidungen größtenteils umgangen werden und relevante Entscheidungen in einer ganzheitlichen Sichtweise getroffen werden, da die Daten auch die Veränderungen über die Zeit hinweg visualisieren. So kann eine vorausschauende Planung der Auftragsreihenfolgen und Kapazitäten erfolgen, was wiederum Bestände und Durchlaufzeiten minimiert und auch Instandsetzungsmaßnahmen auf eine objektive, wirtschaftlich bewertbare Entscheidungsgrundlage transferiert.

### 9.4.3 Digitales Materialtracking

In der Ideenbeschreibung der unternehmensweiten Maßnahmen der Digitalisierung wurden verschiedene Konzepte des Materialtrackings vorgestellt. Nach der Überprüfung der entstandenen Hypothesen und nach Rücksprache mit den zuständigen Entscheidungsträgern bei BÖHLER Bleche, wurde ein Konzept mit statischen Lagerplätzen ausgewählt (Referenzierung der Lagerplätze durch RFID / NFC). Einerseits sind die Investitionskosten verglichen mit den anderen konzeptionellen Ideen sehr gering und andererseits ist das Konzept langfristig auch modular erweiterbar. Somit stellt das ausgewählte Konzept des Materialtracking das wirtschaftlich sinnvollste dar.

Wie auch aus den Ideenbeschreibungen ersichtlich, bedarf jedes Konzept des digitalen Materialtrackings der eindeutigen, digitalen Identifikation von Materialien bzw. Aufträgen. Basierend auf zahlreichen Recherchen wird für BÖHLER Bleche eine Referenzierung mittels NFC vorgeschlagen. Die NFC-Tags besitzen (gegenüber anderen auf der

RFID-Technologie basierenden Lösungen) den Vorteil, dass ihre Informationen von herkömmlichen Smartphones ausgelesen werden können – so ist kein Anschaffen zusätzlicher Lesegeräte notwendig.<sup>223</sup> Aufgrund der Umgebungsbedingungen (schnelle Anlagerung von Schmutz- und Zunderschichten) ist eine Referenzierung der Aufträge mittels QR-Codes oder auch Barcodes nur bedingt möglich, da diese bei erhöhter Verschmutzung nicht mehr lesbar sind. Des Weiteren stellt Radio-Frequency Identification bei einem Blick in die Literatur eine zukunftsorientierte Lösung der Referenzierung dar, die auch zahlreiche Anwendungsfelder bereits für sich erobern konnte. RFID bzw. NFC eignet sich jedoch nur bedingt für metallische Oberflächen, somit wird für BÖHLER Bleche auf die Methode des intelligenten Werkstückträgers zurückgegriffen.<sup>224</sup> Bereits im IST-Zustand liegt jedem Auftrag bzw. Los eine Begleittafel bei, die der eindeutigen Kennzeichnung und der Zuordnung zwischen Laufkarte und Los dient (jedoch basierend auf rein physischer Zuordnung). Als Konzept wird vorgeschlagen, diese Begleittafeln zu nutzen und darauf NFC-Tags anzubringen und somit die eindeutige, digitale Kennzeichnung zu ermöglichen. Derzeit sind die Begleittafeln aus Metall,<sup>225</sup> wobei diese an der notwendigen Stelle mit Kunststoff beschichtet werden sollten, um ein fehlerfreies Auslesen der Daten zu ermöglichen (bei der Verwendung eines herkömmlichen NFC-Tags). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Verwendung von „on-metal“ Tags, die bereits mit einer Beschichtung ausgeliefert werden.<sup>226</sup> Am Beginn der Fertigung, bereits beim unternehmensinternen Zulieferer BÖHLER Bleche in Hönigsberg, wird jedem Auftrag bzw. Los eine Begleittafel beigelegt. Dessen Erstellung würde sich lediglich um den Schritt erweitern, dass zusätzlich zu den textuellen Informationen auch ein NFC-Tag angebracht wird. Langfristig ist auch ein vollständiges Ersetzen der textuellen Informationen an den Begleittafeln denkbar – die Informationen können am NFC-Tag gespeichert und direkt am Smartphone angezeigt werden. Davon ist (zumindest im ersten Schritt) eher abzuraten, da die textuellen Informationen eine zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahme darstellen und z.B. bei einer Beschädigung der Tags als Wiederherstellungsinformationen dienen können.

Als gravierendes Potential des IST-Zustandes an allen Anlagen wurden die Laufkarten identifiziert. In einem längerfristigen Szenario ist auch deren digitale Implementierung denkbar. Da sie, wie bereits mehrfach erwähnt, Qualitätsdokumente darstellen, die signiert werden müssen, muss der Vorgang des Rückmeldens mit dem Smartphone über eine digitale Signaturmöglichkeit erweitert werden. Dabei sind zwei Alternativen denkbar

<sup>223</sup>Es werden bereits im IST-Zustand NFC-fähige Smartphones von den Mitarbeitern verwendet.

<sup>224</sup>vgl. 6.5.3 Digitale Referenzierung und Materialtracking

<sup>225</sup>Dimension in etwa 320x220x1,5mm

<sup>226</sup>Die Verwendung herkömmlicher Tags und das selbstständige Beschichten (z.B. doppelseitiges Klebeband) ist aber deutlich kostengünstiger.

– einerseits das Signieren am Bildschirm des Smartphones und andererseits das Einlesen der Mitarbeiterkarte, die ebenfalls (bereits im IST-Zustand) einen NFC-Tag beinhaltet. Neben der Verwendung des Smartphones als Lesegerät können auch RFID-Lesegeräte verwendet werden – der große Vorteil von NFC ist die Möglichkeit eines Einlesens, sowohl durch RFID-Reader, als auch durch Smartphones. Für letztere gibt es, wie in Abschnitt 6.5.2 erwähnt, bereits zahlreiche Applikationen, die in den „App-Stores“ frei verfügbar sind. Mit einem Einlesevorgang eines NFC-Transponders führt das Smartphone Tätigkeiten aus, die vordefiniert werden können. So wird zum Beispiel eine Weboberfläche geöffnet oder Informationen werden gesendet. Die direkte Verwendung einer Weboberfläche stellt jedoch ein Sicherheitsrisiko dar. Ein in diesem Kontext derzeit viel diskutiertes Thema ist Cyber-Security.

Das eigentliche Materialtrackingsystem besteht darin, die betrieblichen Hallen zunächst mittels eines Rasters in einzelne Bereiche zu untergliedern.<sup>227</sup> Bestimmte Bereiche werden sodann als Lagerplätze definiert – dabei werden auch die Lagerplätze mit NFC-Tags ausgestattet und somit mit eindeutigen Identitäten versehen. Den Identitäten werden dann in einer Datenbank Ortsinformationen zugeordnet. Somit ist jeder Lagerplatz mit einer eindeutigen Identität und einer statischen Ortsinformation ausgestattet. Zur Zusammenfassung des operativen Ablaufes des Materialtrackings sei nun ein kurzes Ablaufbeispiel angeführt.<sup>228</sup>

Auftrag X kommt an Anlage A1 durch einen Elektrowagen an und Mitarbeiter M1 hebt die Tafelbleche mittels eines Krans auf einen der vordefinierten Lagerplätze. Anschließend wird der NFC-Transponder des Auftrages gescannt und der NFC-Tag des Lagerplatzes eingelesen. Die Daten werden dann über WLAN (im IST-Zustand bereits vorhandene, vollständige WLAN Abdeckung in den Betriebshallen) an die zuständige Datenbank gesendet (der Sendevorgang wird durch das Einlesen des Lagerplatz-Transponders ausgelöst), wo die Ortsinformation von Auftrag X aktualisiert und gespeichert wird. Wird der Auftrag anschließend an der Maschine benötigt, können die Daten aus der Datenbank ausgelesen werden, wobei ein Softwaresystem die physische Position von Auftrag X und die Lagerplatznummer ausgibt. So kann auch Mitarbeiter M2 den Auftrag ohne lange Suchzeiten wiederfinden und auch für andere, am Manipulationsvorgang unbeteiligte (z.B. KGL, oder andere Entscheidungsträger) wird das Auffinden von Aufträgen und Losen erleichtert.

Das Materialtrackingsystem vereinfacht dabei, wie im Beispiel beschrieben, die operativen Tätigkeiten der Mitarbeiter und verkürzt die Nebenzeiten, wie z.B. das Suchen eines

<sup>227</sup>vgl. Abbildung 9.12 – Materialflussvisualisierung

<sup>228</sup>vgl. auch Abbildung 9.7

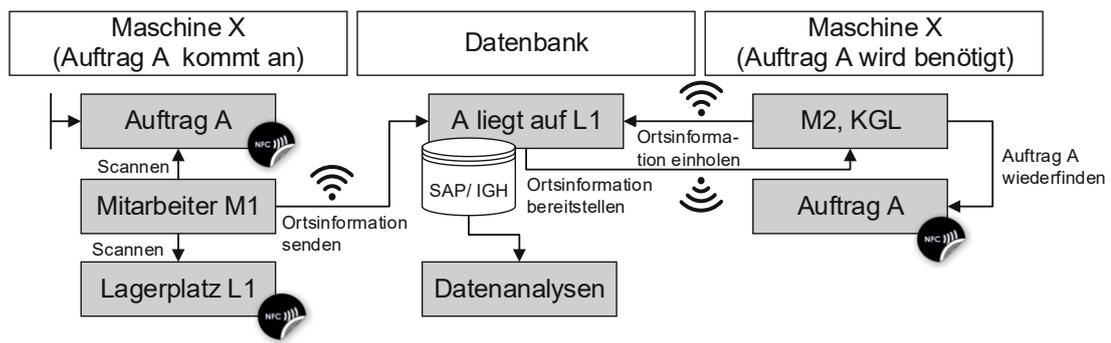


Abbildung 9.7: Materialtracking Ablaufvisualisierung

Auftrages, nicht nur für die Mitarbeiter, sondern auch für die koordinierenden Gruppenleiter. Des Weiteren kann dadurch die Transparenz des Wertschöpfungsprozesses deutlich erhöht werden. Durch das Speichern einer Historie der Ortsänderungen können lange Liegezeiten an bestimmten Lagerplätzen aufgedeckt werden und auch die Durchlaufzeit kann exakt eruiert werden. Durch diese Transparenz werden auch Fehler schneller aufgedeckt. Liegt z.B. ein Auftrag mit einer hohen monetären Bewertung und kritischer terminlicher Priorisierung lange an einem Lagerplatz, so kann auf Fehler in der Planung der Auftragsreihenfolgen und Kapazitäten rückgeschlossen werden.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit eines Einlesevorgangs vor der jeweiligen Bearbeitung an den Anlagen. Denn im IST-Zustand werden Aufträge erst ins SAP rückgemeldet, wenn die Bearbeitung abgeschlossen ist – zum Teil mit deutlichem zeitlichen Verzug. Somit bleibt die Information „wann welches Material wo bearbeitet wurde“ oft verborgen. Das fällt speziell im Falle von Fehlern äußerst negativ auf, da der Verursacher nicht festgestellt werden kann und gegenseitige Schuldzuweisungen die Folge sind. Aus diesen Gründen entsteht folgendes Konzept<sup>229</sup> – das Einlesen eines Auftrages vor der Bearbeitung und das erneute Einlesen nach der Fertigstellungen der Bearbeitung (zusätzliche Automatisierungsmöglichkeit des im IST-Zustand manuellen Rückmeldevorgangs). Dadurch werden den Aufträgen eindeutige Bearbeitungszeitintervalle zugeordnet, was zu einer besseren Nachvollziehbarkeit führt und auch positive Auswirkungen auf die Kalkulation hat. So können jedem Auftrag eindeutig die während der Bearbeitungen angefallenen Kosten zugeordnet werden. Des Weiteren kann das Materialtrackingsystem zur Optimierung des Warenausgangs verwendet werden.<sup>230</sup>

Das vorgestellte Konzept zeichnet sich durch seine geringen Hardwarekosten aus. Es müssen lediglich geeignete RFID-Tags bzw. NFC-Tags ausgewählt und in NFC-fähige Smart-

<sup>229</sup>vgl. Abbildung 9.8

<sup>230</sup>vgl. Abschnitt 9.1.4

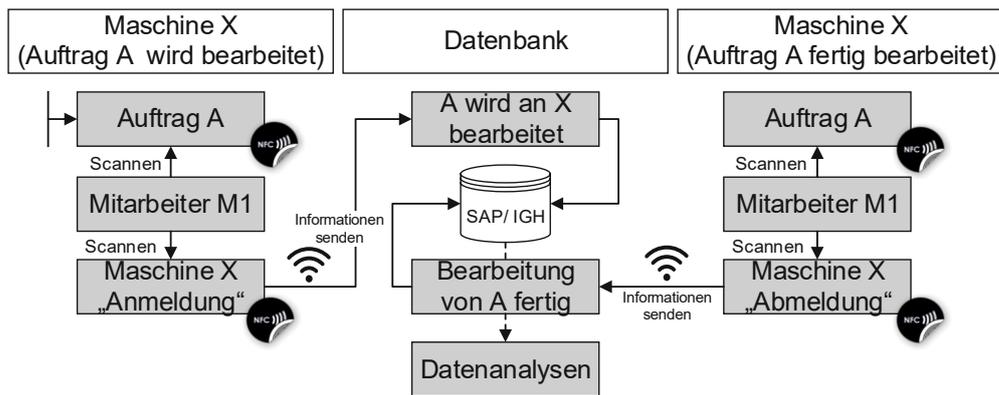


Abbildung 9.8: Materialtracking-Erweiterung Ablaufvisualisierung

phones investiert werden – zusätzlich sind, verglichen mit den anderen Ideen hinsichtlich Materialtracking, keine Anschaffungen notwendig. Den teuersten Faktor des Systems bildet die Software – einerseits die Datenbank zur Speicherung der Ortsinformationen und andererseits die Analysesoftware, die dem Wiederfinden von Aufträgen dient. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Software eine langfristige Investition darstellt. Zunächst werden die Daten der Ortsinformationen statisch abgespeichert und den Lagerplätzen zugeordnet. Langfristig sind aber auch Lösungen mit dynamischen Lagerplätzen möglich, wo die Ortsinformation durch geeignete Sensorik in Echtzeit erfasst wird (z.B. über die Kranposition oder ein Indoor Positioning System) – das zu Grunde liegende Datenbankkonzept bleibt dabei aber dasselbe.

#### 9.4.4 Datentechnisches Konzept des digitalen Materialtrackings

Analog zu den – durch die MDE – generierten Daten soll nun auch ein Vorschlag zur Speicherung der, durch das Materialtracking erfassten Ortsdaten erstellt werden. Wie im vorigen Abschnitt bereits beschrieben, soll jedem Auftrag bzw. Los ein eindeutiger Aufenthaltsort zugeordnet werden, der bei Veränderung aktualisiert wird und dabei auch die Aufzeichnung einer Historie ermöglicht, sodass ein Auftrag vom Produktionsbeginn bis zur Lieferung vollständig digital mitverfolgt werden kann. Um auch hier das zu Grunde liegende Datenbankkonzept greifbar darzustellen, ist in Abbildung 9.9 eine Visualisierung der Datensätze anhand von Beispieldaten dargestellt.

Die definierten statischen Lagerplätze werden dabei jeweils durch eine eindeutige Nummer referenziert (Aufenthaltsort ID), denen auch Ortsdaten (anhand von x und y Koordinaten aus einem Raster des Grundrissplans der Produktionsstätte) hinterlegt werden und darüber hinaus Anlagen zugeordnet sind (Anlagennummer und textuelle Beschreibung).

Aufenthaltort	Aufenthaltort ID	Ortsdaten (x, y)	Anlage	Anlagennummer
	L61	x1, y1	Richtmaschine 7	4407
	L71	x2, y2	Richtmaschine 7	4407
	L101	x3, y3	Scherenlinie	4551
	...	...	...	...
Bewegungsdaten (Beispiele)	Auftrags ID	Aufenthaltort ID	Datum/ Zeit	vorraussichtl. Liegezeit
	2296135	L61	05.06.2016 08:26:03	3 Tage
	2296135	L71	05.06.2016 11:04:56	2 Tage
	2295895	L52	07.06.2016 09:33:28	2 Tage
	2296135	L101	08.06.2016 08:31:05	3 Tage
	2295895	L102	10.06.2016 15:43:21	2 Tage

Abbildung 9.9: Datenbankkonzept Materialtracking

Die Bewegungsdaten stellen in Abbildung 9.9 Beispiele für die eingelesenen Daten dar, die mittels der NFC-Lesegeräte bzw. NFC-fähigen Smartphones an den jeweiligen Anlagen eingelesen werden, wobei jeweils auch das Datum und die Uhrzeit des Lesevorganges aufgezeichnet und abgespeichert werden. Darüber hinaus wurde eine zusätzliche Spalte eingefügt, die die voraussichtliche Liegezeit an der betroffenen Anlage beinhaltet und in der Planung befüllt werden könnte.

Betrachtet man die Beispieldaten, die zwei Aufträge beinhalten, so ist die Nachvollziehbarkeit deutlich ersichtlich – es ist zu erkennen, wie die Aufträge durch das Wertschöpfungssystem wandern und wie lange sie an den Lagerplätzen an den einzelnen Anlagen verweilen.

### 9.4.5 Auswertungshilfen

Um mit der Datenflut, die mit der Umsetzung der beschriebenen Konzepte einhergeht, fertig zu werden und die Daten in geeigneter Weise zu kumulieren und auszuwerten, sind Auswertungshilfen notwendig.<sup>231</sup> Die Notwendigkeit des Aufbereiteins der Daten ist ein omnipräsent diskutiertes Thema in der Literatur bezüglich Digitalisierung und Industrie 4.0.<sup>232</sup> In den folgenden Absätzen werden Ansätze zu deren Umsetzung konzipiert. Dabei werden folgende Konzepte vorgeschlagen:

- Objektive Auftrags- bzw. Terminpriorisierung
- Bestandsbewertungstabelle
- Informationscockpits
- Materialflussvisualisierung

**Terminpriorisierung:** Betrachtet man den IST-Zustand, so fällt an vielen Anlagen die mangelnde Auftragspriorisierung auf. Die Aufträge sind jeweils einem Endtermin zugeordnet und von Böhler BLECHE definierte Richtlinien legen fest, dass jene Aufträge zuerst bearbeitet werden sollen, die kurzfristiger fertiggestellt werden müssen. Dies erscheint zunächst äußerst intuitiv und sinnvoll, jedoch hängen die Auftragsreihenfolgen, wie bereits mehrfach in der vorliegenden Arbeit beschrieben, von den Maschinenzuständen ab. Verantwortlichen Maschinisten fehlen oft objektive Entscheidungsgrundlagen, um bei terminlicher Gleichheit die richtigen Aufträge zu priorisieren. Darüber hinaus ist es schwer zu bewerten, wie stark sich terminliche Verzögerungen finanziell oder auch auf die Kundenzufriedenheit auswirken. In diesem Kontext ist auch anzumerken, dass sich die Aufträge unterschiedlichen Geschäftsfeldern zuordnen lassen, zwischen denen oft Diskrepanzen herrschen. Dadurch würde eine numerische Terminpriorisierung (mit nur einer Bewertungszahl) zum Großteil in einer Maximalbewertung resultieren – jedes Geschäftsfeld versucht, seine eigenen Aufträge vorzuziehen. Basierend auf diesen Punkten soll für die (terminliche) Priorisierung der Aufträge eine objektive Entscheidungshilfe erstellt werden, die mehrere Kennzahlen berücksichtigt und als Eingangsgröße für Auswertungshilfen, wie. z.B. für die Bestandsbewertungstabelle, dient. Ein Vorschlag zur Terminpriorisierung ist in Tabelle 9.1 dargestellt.

Die Terminpriorisierung basiert dabei auf subjektiven und objektiven Einflussfaktoren – L1 und L2 bilden subjektiv die Priorität des Kunden und seine aktuelle Zufriedenheit ab

<sup>231</sup>vgl. Abschnitt 6.5.4

<sup>232</sup>vgl. z.B. Organisation / Prozesse in Abschnitt 6.2

subjektive Faktoren	Faktoren	Wert	Intervall
		Faktor L1: Kundenpriorität	30,00%
	Faktor L2: Kundenzufriedenheit	80,00%	0% bis 100%
	<b>subjektiver Einflussfaktor (PS)</b>	<b>25,00%</b>	
objektive Faktoren	aktuelles Datum	13.05.2016	Datum
	Lieferdatum	22.05.2016	Datum
	Tagesdifferenz	9,00	Differenz
	Anzahl offener Bearbeitungsschritte ( $B_o$ )	3,00	Anzahl offener Schritte
	Liegezeit je Bearbeitungsschritt ( $B_{D1}$ ) in Tagen	2,50	Durchschnittswert
	Liegezeit je Bearbeitungsschritt ( $B_{D2}$ ) in Tagen	3,50	Durchschnittswert
	Liegezeit je Bearbeitungsschritt ( $B_{D3}$ ) in Tagen	2,00	Durchschnittswert
	Lieferterminbewertung (LBW)	80,00%	0% bis 100%
	Pönalezahlung bei Auftragsverzug in % des UW	5,00%	> 0%
	<b>objektiver Einflussfaktor (VB)</b>	<b>4,00%</b>	
<b>Gesamteinflussfaktor (GF)</b>		<b>4,50%</b>	

Tabelle 9.1: Terminpriorisierungstabelle

(100% bedeutet dabei, dass der Kunde vollkommen zufrieden ist und 0% spiegeln einen vollkommen unzufriedenen Kunden wider). Beide Faktoren haben implizite Auswirkungen auf die Wichtigkeit einzelner Aufträge – ist z.B. die subjektive Priorität eines Kunden hoch und er ist bereits unzufrieden, dann ist ein aktuell von ihm getätigter Auftrag als kritischer zu betrachten, als bei geringer Priorität des Kunden oder auch bei einer aktuell hohen Zufriedenheit. Basierend auf diesen beiden Faktoren wird der subjektive Prioritätseinflussfaktor zu  $PS = \frac{L1+(1-L2)}{2}$  errechnet. Neben diesen subjektiven Faktoren sollen zur Prioritätsbewertung aber auch objektive Faktoren berücksichtigt werden. Der objektive Faktor LBW (Lieferterminbewertung) ergibt sich dabei folgendermaßen:

$$LBW(t_{\Delta}) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } t_{\Delta} \leq 0 \\ (k - t_{\Delta}) \cdot \frac{1}{k} & \text{wenn } 0 < t_{\Delta} < k \\ 0 & \text{wenn } t_{\Delta} \geq k \end{cases} \quad (9.1)$$

Dabei stellt die Variable  $t_{\Delta}$  jene Zeit in Tagen dar, die als Pufferzeit zu betrachten ist. Sie errechnet sich zu  $t_{\Delta} = (\text{Lieferdatum} - \text{Datum}_{\text{heute}}) - \sum_{i=1}^{B_o} B_{Di}$  mit der Anzahl an offenen Bearbeitungsschritten „ $B_o$ “ und der durchschnittlichen Liegezeit eines Auftrages an einem Bearbeitungsschritt „ $B_D$ “. Die Proportionalitätskonstante „ $k$ “<sup>233</sup> gibt den Übergangswert zwischen den drei Teilfunktionen von Gleichung 9.1 an. Ist  $t_{\Delta}$  kleiner gleich 0 und kein zeitlicher Puffer vorhanden bzw. dieser negativ, ergibt die Bewertung der Funktion  $LBW(t_{\Delta})$  „1“ bzw. 100%. Ist  $t_{\Delta}$  hingegen größer als der Parameter  $k$ , so ist der Liefertermin unkritisch und  $LBW(t_{\Delta})$  liefert „0“ bzw. 0%. Im Zwischenintervall wurde basierend auf  $k$  und  $t_{\Delta}$  eine lineare Funktion gebildet, die je nach der Ausprägung der Parameter

<sup>233</sup>Der Wert der Proportionalitätskonstante wurde in den Beispieleinträgen von Tabelle 9.1 zu  $k = 5$  gewählt.

Werte von „1“ bis „0“ erreicht. Durch die erstellte Funktion  $LBW(t_{\Delta})$  wird bewertet, wie kritisch ein Auftrag hinsichtlich der Restzeit ist bzw. wie hoch die Wahrscheinlichkeit einer Pönalezahlung ist. Die Höhe einer Pönalezahlung wird prozentual (basierend auf dem Umlaufwert) errechnet, woraus sich schließlich der objektive Einflussfaktor VB (Verzugsbewertung) ergibt. Dieser objektiv gebildete, prozentuale Faktor kann auch direkt in eine monetäre Bewertung umgerechnet werden, indem er mit dem Umlaufwert eines Auftrages multipliziert wird. Dadurch können einzelne Aufträge miteinander verglichen und Prioritäten abgeleitet werden.

Beide Einflussfaktoren unterscheiden sich in ihrer Ausprägung – so stellt PS eine subjektive Bewertung von 0% bis 100% dar und der Faktor VB bildet die risikoadjustierten Pönalezinsen ab, die sich über den Umlaufwert eines Auftrages auch direkt in eine monetäre Bewertung umrechnen lassen. Um die beiden Faktoren zusammenzuführen, ist eine gewichtete Zusammenfassung notwendig. Die Gewichtung ist notwendig, um die subjektive Beeinflussbarkeit zu beschränken – somit ergibt sich der Gesamteinflussfaktor GF zu  $GF = VB \cdot (1 + \frac{PS}{2})$ . Dadurch ist gewährleistet, dass auch bei Maximaleingaben von L1 und L2 der subjektive Beeinflussungsgrad beschränkt bleibt (maximale Erhöhung um 50%). Neben der Verwendung dieser Bewertungstabelle für direkte Entscheidungen, werden die so ermittelten Einflussfaktoren (PS und VB) auch für die Bestandsbewertungstabelle des nächsten Absatzes verwendet.

**Bestandsbewertungstabelle:** Als wichtige Entscheidungsgrundlage, wann ein Auftrag bearbeitet werden soll, dienen einerseits Daten bezüglich der (terminlichen) Priorisierung und andererseits Daten bezüglich der aktuellen Bestände und des Maschinenzustandes. Basierend auf diesen Einflussgrößen wurde eine Bestandsbewertungstabelle (Tabelle 9.2) entwickelt, die objektive Entscheidungen ermöglicht – zunächst an der Schere 1. Die Eingabewerte der Tabelle sind dabei der aktuelle, aus den Daten generierte, Messerzustand, sowie der aktuelle Bestand in Form von Datensätzen und dessen terminliche Priorisierung.<sup>234</sup> Dabei ist jedem Auftrag bzw. jeder Qualität, wie Abbildung 9.6 visualisiert, ein notwendiger Messerzustand zugeordnet, der zumindest benötigt wird, um eine Bearbeitung zu ermöglichen.

Über der Ausgabetabelle ist neben dem aktuellen Messerzustand auch der aktuelle Messerwert dargestellt, der sich aus der maximalen restlichen Standzeit des Messers ergibt.<sup>235</sup> Durch eine wirtschaftliche Bewertung der Bestände wird aber klar, dass ein Verwenden

<sup>234</sup>Für eine detaillierte Erklärung der Eingangsgrößen der Bestandsbewertungstabelle sei an dieser Stelle an Anhang C verwiesen

<sup>235</sup>Anhand des Messerzustandes und den vorhandenen Beständen kann die maximale restliche Standzeit des Messers errechnet werden.

MZ	aktueller Messerwert				
1 bis 10					
3,00	€ 2.085,38				

Ausgabetabelle						
ges. Umlaufwert	Masse	Verzinsung	Bewertung	Delta	Delta	
in €	in t	pro Tag (3% pro Jahr)	UW*(1+LBW*VB)	in €	in %	
nicht mögl.	€ 755.816,14	138,20	0,00822%	● € 10.125,95	€ 6.630,81	65,48%
noch mögl.	€ 62.701,10	42,47		○ € 3.495,15		
Lebenspunkte:	3 / 10	♥ ♥ ♥ ♥ ♥ ♥ ♥ ♥ ♥ ♥				
→ Wechseln						
nächster Auftrag:	2295446		Qualität:	L200		

Tabelle 9.2: Bestandsbewertungstabelle mit exemplarischer Eingabe

der Schere bis zum Ende der maximalen Standzeit meist nicht sinnvoll ist. Somit wird der Restwert des Messers in die Bewertung miteinbezogen. Für die Bewertung des Restwertes wurde die Funktion  $y(t)$  erstellt, die die Kosten eines Messerwechsels über eine durchschnittliche Standzeit von 20 Tagen aufträgt (Abbildung 9.10). Dabei ist die Funktion nicht linear, sondern hat eine degressive Form, da der Messerzustand zunächst geringer als linear abfällt. Die Funktion stellt in ihrer momentanen Ausprägung eine Approximation des tatsächlichen Verlaufes dar und kann langfristig auch mittels generierten Schwingungsdaten angepasst werden.

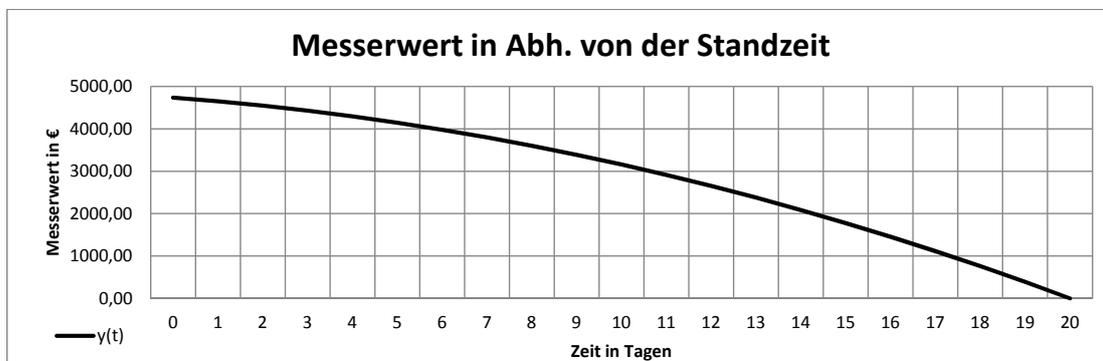


Abbildung 9.10: Restwert des Messers in Abhängigkeit der Zeit

Basierend auf den besprochenen Bewertungen ermittelt der Algorithmus der Bestandsbewertungstabelle 9.2 die Werte der Ausgabetabelle, die somit Funktionen von Messerzustand, Beständen und Terminpriorisierungen sind.

Die Ausgabetabelle beinhaltet in ihrem oberen Bereich monetäre Bewertungen, die auf den Bestandswerten der Eingangstabelle<sup>236</sup> basieren und über einen Verzinsungssatz von jährlich 3% bewertet werden. Darüber hinaus werden auch terminliche Restriktionen ba-

<sup>236</sup>vgl. Tabelle C.1 in Anhang C

sierend auf dem Risiko einer Pönalezahlung miteinbezogen.<sup>237</sup> Der Restwert des Messers wird additiv zur Zelle „noch möglich“ hinzugefügt. Unter der monetären Bewertung werden in der Ausgabetabelle die „Lebenspunkte“ des Messers ausgegeben, die den aktuellen Maschinenzustand in intuitiver Weise visualisieren. Die Bezeichnung „Lebenspunkte“ stellt dabei eine Verbindung zu Computerspielen gemäß des Ansatzes der Gamification dar.<sup>238</sup> Des Weiteren wird eine Handlungsempfehlung über einen möglichen Messerwechsel generiert. Darüber hinaus unterstützt die Bestandsbewertungstabelle die Mitarbeiter bei der Auswahl des nächsten Auftrages – der zu Grunde liegende Algorithmus basiert dabei auf einer Minimierung der Gesamtkosten.<sup>239</sup>

Die exemplarischen Eingabewerte der Bestandsbewertungstabelle in Tabelle 9.2 wurden aus den – zum Konzipierungszustand aktuellen – Bestandsdaten und dem Messerzustand abgeleitet, wobei letzterer auf einer subjektiven Einschätzung eines Maschinisten und den Schwingungsauswertungen aus dem Hypothesentest basiert.<sup>240</sup> Aus den Analyseergebnissen ist ersichtlich, dass zum betrachteten Zeitpunkt ein Messerwechsel wirtschaftlich sinnvoll ist, da die Qualitäten, die mit dem Messerzustand „3“ nicht mehr geschnitten werden können, deutlich höhere Kosten verursachen, als jene Qualitäten, die noch bearbeitet werden könnten.

Dieses vorgestellte Konzept der Bestandsbewertungstabelle ist in analoger Weise auch an anderen Anlagen einsetzbar. Greift man hierzu z.B. die Richtmaschinen auf, so kann die Auswertungstabelle direkt übernommen werden, lediglich die Eingangswerte sind andere. So werden an den Richtmaschinen die Maschinenzustände (Sauberkeit) und die dort vorherrschenden Bestände benötigt. Eine, wie bei Schere 1, durchgeführte Restwertbewertung des Messers entfällt an den Richtmaschinen. Des Weiteren weisen die Richtmaschinen die Besonderheit auf, dass bestimmte Qualitäten den Maschinenzustand verbessern bzw. die „Lebenspunkte“ erhöhen.<sup>241</sup> Aber auch andere, in der Konzipierung nicht direkt thematisierte, Anlagen würden von einer derartigen Auswertung profitieren, wenngleich geeignete Kennzahlen zur Bewertung der jeweiligen Maschinenzustände ausgewählt werden müssten. Zudem besteht die Möglichkeit, die Auswertungshilfe dank der bestehenden Daten aus dem Materialtracking zu erweitern – so können nicht nur bereits vorhandene Bestände an den Anlagen berücksichtigt werden, sondern auch jene Aufträge, die in der nächsten Zeit an den Anlagen eintreffen werden.

<sup>237</sup>Terminpriorisierung – Faktor GF

<sup>238</sup>vgl. Abschnitt 6.5.5

<sup>239</sup>Es werden jene Qualitäten vorgeschlagen, die bestmöglich zum aktuellen Messerzustand passen.

<sup>240</sup>Das Konzept wurde in der Kalenderwoche 19 des Jahres 2016 erarbeitet. Dabei wurden die notwendigen Bestandsdaten am 12. Mai 2016 beschafft.

<sup>241</sup>z.B. Pressbleche

**Informationscockpits:** Für die thematisierten Anlagen Schere 1 und die Richtmaschinen soll an dieser Stelle auch die Einrichtung von Informationscockpits vorgeschlagen werden. Diese graphischen Benutzeroberflächen greifen dabei auf dieselben Daten zurück, wie auch die zuvor besprochene Bestandsbewertungstabelle, dienen aber zur graphischen Visualisierung der Daten und auch zur Abfrage von Echtzeitinformationen an Computern – aber auch die Darstellung der Informationen in Applikationen über Smartphones ist denkbar. Die Ausprägung der Informationscockpits soll dabei beliebig an die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden können. So können Mitarbeitern unterschiedlicher Hierarchiestufen auch unterschiedliche Informationen ausgegeben werden.<sup>242</sup> Anzeigte Kennzahlen sind dabei z.B.:

- Mittelwert der Maschinenzustandsbewertung über ein auszuwählendes Zeitintervall
- Zeitlicher Verlauf der Maschinenzustandsbewertung
- Produktive Zeit (basierend auf der bereits vorhandenen Zeitdatenerfassung im IGH)
- Bestandsveränderung
- Handlungsempfehlungen

In Abbildung 9.11 ist ein exemplarisches Informationscockpit dargestellt. Anhand der graphischen Benutzeroberfläche sind alle wichtigen Kenngrößen einer Anlage dargestellt – so z.B. der aktuelle Messer- und Schwingungszustand der Schere 1. Die grau hinterlegten Kästen sind dabei Felder, die vom Benutzer ausgefüllt werden können, um so Einfluss auf die Ausgabe zu erhalten. Die anderen, weiß hinterlegten Kästen sind Ausgabewerte, die direkt aus den Datenbanken ausgelesen werden. Zudem ist in das Beispiel die Bestandsbewertungstabelle implementiert, die Handlungsempfehlungen bezüglich eines Messerwechsels ausgibt und die Bestände in die Kategorien „nicht möglich“ und „noch möglich“ untergliedert. Des Weiteren ist die Ausgabe zweier Diagramme im Informationscockpit inkludiert – einerseits der Schwingungszustand in einem auswählbaren zeitlichen Intervall und andererseits die Veränderung des Messerzustandes über einen gewissen Zeitraum, der ausgewählt werden kann. Somit kann jederzeit in Echtzeit über den aktuellen Anlagezustand reflektiert werden und etwaige korrektive oder reaktive Anpassungen können zeitnah forciert werden. Wenngleich im Beispiel wieder die Schere verwendet wurde, um das Konzept zu erläutern, so können derartige Informationscockpits auch für andere Anlagen erstellt werden. Bei den Richtmaschinen zum Beispiel wären Kennzahlen über die Sauberkeit und deren zeitliche Veränderung interessant.

<sup>242</sup>vgl. Abschnitt 6.5.4 Mensch-Maschine-Schnittstellen und -Kommunikation

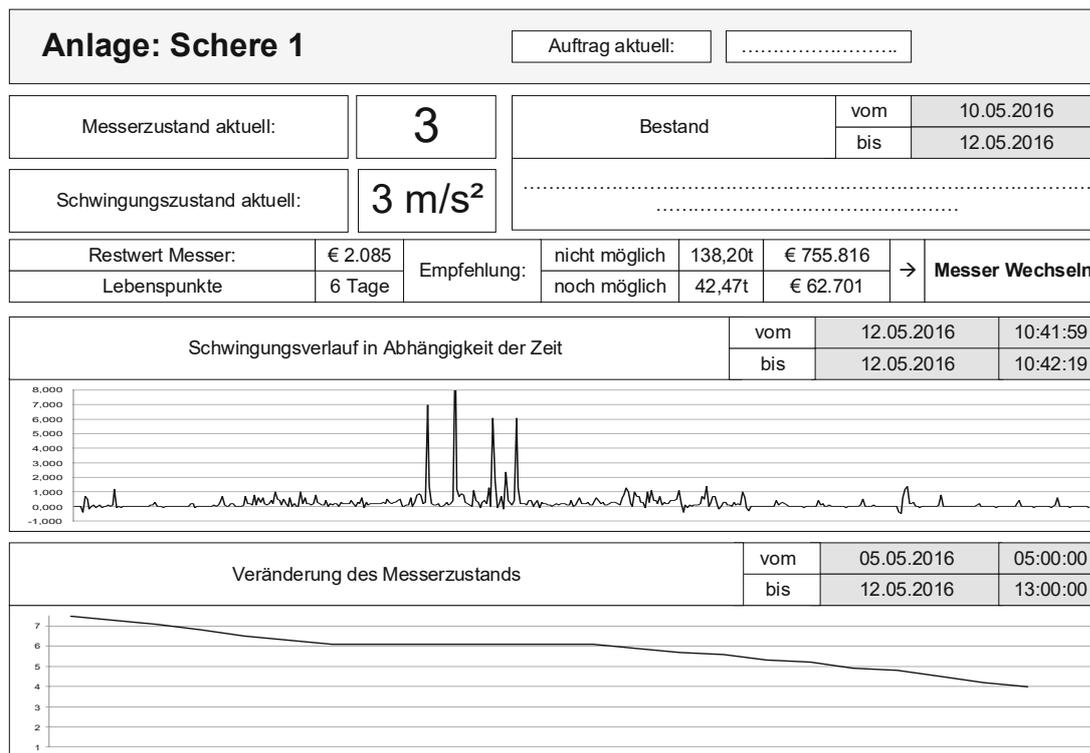


Abbildung 9.11: Informationscockpit Beispiel

Die Informationscockpits in der beschriebenen Form lassen sich zudem beliebig erweitern. Durch einen modularen Aufbau können die Visualisierungen auch um, in Zukunft aufgenommene Maschinendaten erweitert werden. Ein langfristiges Ziel wäre es, ein derartiges Informationscockpit für jede Anlage bzw. jede Anlagengruppe zu erstellen und somit zeitnah alle produktionsrelevanten Faktoren ablesen zu können.

**Materialflussvisualisierung:** Eine geeignete Visualisierung ist auch für die generierten Daten aus dem Materialtrackingsystem notwendig. Dabei soll an dieser Stelle ein mit digitalen Informationen angereicherter Grundrissplan als Ausgangspunkt dienen. Das dabei zu Grunde liegende Softwaresystem soll dazu die Auswahl von Aufträgen erlauben und basierend auf den generierten Daten, die in einer Datenbank gespeichert werden,<sup>243</sup> eine graphische Ausgabe liefern. Um das erdachte Konzept besser zu veranschaulichen, wurde eine Visualisierung erstellt – Abbildung 9.12.

Die Abbildung zeigt die konzeptionelle Benutzeroberfläche, wobei zahlreiche Einstellmöglichkeiten bestehen sollen – z.B. die Auswahl von mehreren Aufträgen in einer Auswahlleiste. Des Weiteren kann auch die Historie der Daten graphisch angezeigt werden.

<sup>243</sup>vgl. Abbildung 9.9

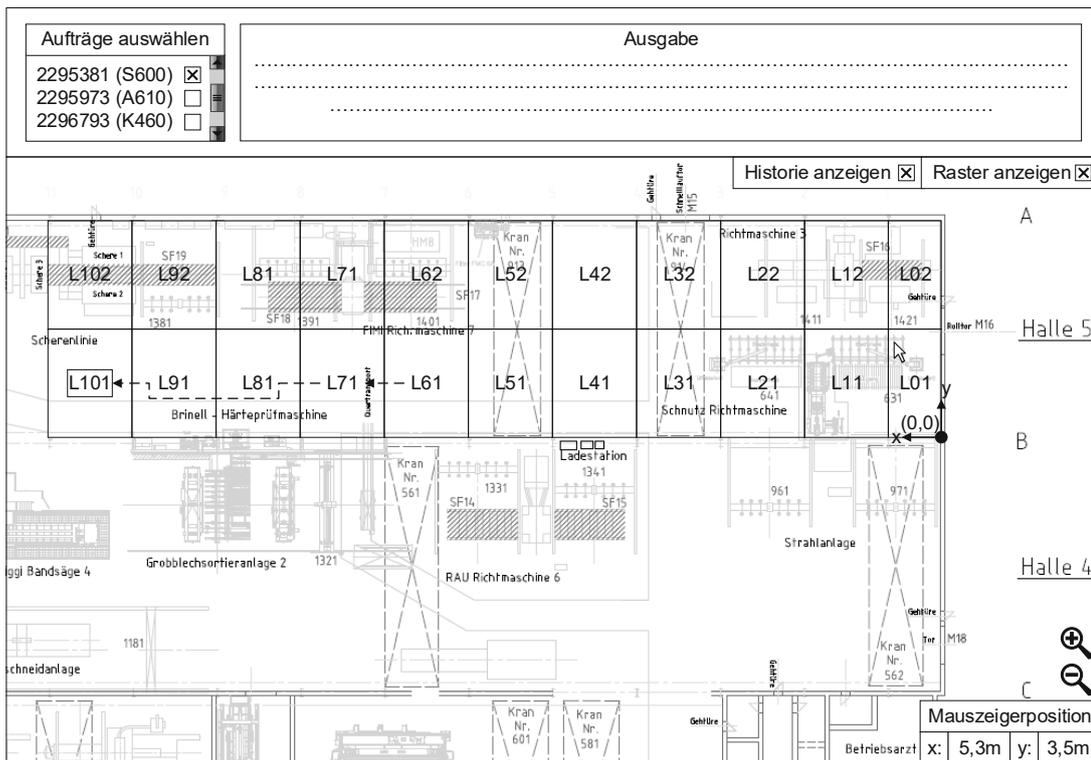


Abbildung 9.12: Materialflussvisualisierung

Anhand der Historie ist der Weg des Auftrages durch die Produktion zu erkennen und es können auch Informationen, wie Liegezeiten an den Lagerplätzen in der Ausgabe abgefragt werden (der aktuelle Aufenthaltsort des Auftrages ist durch eine Umrandung des Lagerplatzes dargestellt und die Historie wird durch die Pfeile symbolisiert). Die graphische Anzeige basiert auf einem Grundriss des Hallenlayouts, der mit einem Raster überlagert wurde, der wiederum die statischen Lagerplätze repräsentiert. Als Rastermaß wurden dabei für die x-Achse die Abstände zwischen den Kranstützen ( $\sim 7\text{m}$ ) verwendet und für die y-Achse wurde die Halle in der Mitte geteilt ( $\sim 8,5\text{m}$ ). Um einen guten Mittelwert für die Position eines Auftrages innerhalb der Raster zu erhalten, wurden als repräsentative Koordinaten jeweils die Rastermittelpunkte ausgewählt.<sup>244</sup>

In Abbildung 9.12 ist nur ein Teil des gesamten Hallenlayouts dargestellt, um eine gute Übersichtlichkeit der konzeptionellen Darstellung zu gewährleisten – das konzipierte Materialtrackingsystem und auch die soeben vorgestellte Materialflussvisualisierung sollen jedoch in analoger Weise für alle betrieblichen Hallen umgesetzt werden.

<sup>244</sup>Für das Beispiel wurden dieselben Aufträge wie im datentechnischen Konzept des Materialtrackings verwendet (vgl. Abbildung 9.9).

### 9.4.6 Synergieeffekte und Conclusio

Aus den vorigen Ausführungen wird klar, dass die einzelnen Konzepte untereinander verflochten sind und zwischen ihnen zahlreiche Synergieeffekte bestehen – speziell zwischen dem Materialtrackingsystem und der Datenauswertung. In Mitarbeitergesprächen während der Konzipierungsphase der Diplomarbeit wurde klar, dass seitens Vieler der Wunsch nach einer zeitgerechten Zuordnung von Bearbeitungsprozessen zu Aufträgen besteht. Wie bereits kurz erwähnt, werden die Aufträge einmal pro Schicht, meist mit deutlichen zeitlichen Abständen zur eigentlichen Bearbeitung, rückgemeldet. Durch ein Ausstatten aller Anlagen mit NFC-Lesegeräten, die ohnehin für das Materialtracking benötigt werden, können Bearbeitungsprozesse „an-“ und „abgemeldet“ werden. Somit ist die genaue zeitliche Zuordnung der Bearbeitung eines Auftrages möglich. Dazu wäre es eine Möglichkeit, die jeweiligen Maschinen, analog zu den statischen Lagerplätzen, mit Transpondern auszustatten. Zur besseren Veranschaulichung sei auch hierzu wieder ein Beispiel angeführt.

Auftrag X soll an Anlage A1 bearbeitet werden. Dazu scannt Mitarbeiter M2 zunächst den Tag am Auftrag bzw. Los ein und führt darauf anschließend einen weiteren Lesevorgang eines „Anmelde-Tags“ an der Anlage A1 aus. So werden Auftrag X und Anlage A1 im IT-System miteinander verknüpft und Auftrag X wird in Bearbeitung gemeldet. Anschließend folgt die physische Bearbeitung des Auftrages. Ist diese abgeschlossen, erfolgt ein erneutes Einlesen des Tags an der Begleittafel des Auftrages X und ein zusätzliches Einlesen eines „Abmelde-Tags“, der auch an der Anlage A1 platziert ist. Dadurch wird dem IT-System gemeldet, dass die Bearbeitung von Auftrag X an Anlage A1 abgeschlossen ist. Anschließend folgt die Zwischenlagerung des Auftrages, wie im Beispiel von Abschnitt 9.4.3 beschrieben.

Aus dem Beispiel ist ersichtlich, dass der Mehraufwand äußerst gering ist. So müssen zusätzlich zum beschriebenen Konzept des Materialtrackings lediglich NFC-Tags an den jeweiligen Anlagen angebracht werden, um das „An-“ und „Abmelden“ von Aufträgen zu ermöglichen. Auch die Änderungen im Datenbanksystem sind marginal – so kann direkt das datentechnische Konzept des Materialtrackings verwendet werden. Dabei wird lediglich die Anzahl an Datensätzen der statischen Tabelle „Aufenthaltort“<sup>245</sup> um die Position der Tags des „An-“ und „Abmeldens“ erweitert. Dadurch können z.B. auch die Informationscockpits<sup>246</sup> um die Information angereichert werden, welcher Auftrag aktuell bearbeitet wird. Bringt man diese Erfassung der Bearbeitungszeiten und -intervalle in Korrelation mit der Maschinendatenerfassung, so können jedem Auftrag auch die, während der Bear-

<sup>245</sup>vgl. Abbildung 9.9

<sup>246</sup>vgl. Abbildung 9.11

beitung vorherrschenden Bedingungen und Zustände an den Maschinen zugeordnet werden. Bei einer Betrachtung der Schere könnte so jedem Auftrag und sogar jedem Blech bzw. jeder Schnittkante eindeutig ein Schwingungszustand zugeordnet werden. Treten Fehler oder Kundenreklamationen auf so kann basierend auf diesen Daten eine Ursachenanalyse durchgeführt werden und derartige Fehler können künftig vermieden werden. Dadurch entsteht ein Datenkonstrukt, dass mit zunehmender Laufzeit immer „intelligenter“ wird. Dies stellt eine Form von Wissensmanagement dar – denn Wissen ist somit nicht mehr nur in den Köpfen einiger spezieller Mitarbeiter gespeichert, sondern in Form von Daten vorhanden und kann jederzeit abgerufen werden. Ein weiterer „Quick-Win“ kann an der Schere 1 umgesetzt werden. Während der Hypothesenüberprüfung der Hypothese 1 fiel ein bestimmtes Intervall am Messer auf, das durch hohe Beschleunigungssprünge gekennzeichnet war. Das beschriebene Intervall weist starke Messerbeschädigungen auf, basierend auf den in diesem Bereich zusammenfallenden Entlastungsstößen. Das abgeleitete Verbesserungspotential besteht darin, aufgrund der Kenntnis des beschädigten Bereiches den Vorschub des Messers (bzw. den Vorschub des Hydraulikzylinders, der das Messer bewegt) zu regeln. Das bedeutet zum Beispiel eine Reduktion der Vorschubgeschwindigkeit auf ein  $\frac{1}{10}$  der durchschnittlichen Geschwindigkeit. Dadurch kann die Ausprägung der Entlastungsstöße deutlich minimiert werden, was zu einer höheren Standzeit des Messers führt. Die Umsetzung dieses Konzeptes stellt einen „Quick-Win“ dar, da die daraus resultierenden Kosteneinsparungen sofort eintreten und die Konzeptumsetzung parallel zur Umsetzung der MDE an der Schere 1 durchgeführt werden kann – ohne großen, zusätzlichen Aufwand.

Langfristig treten auch Synergieeffekte zwischen den einzelnen Anlagen auf. Durch die Maschinenzustandserfassung können Veränderungen der nächsten Tage vorausschauend abgeschätzt werden. Ermöglicht man einen Datenaustausch zwischen den Maschinen, so können die Bewertungsgrundlagen um Informationen aus anderen Bereichen erweitert werden, wodurch eine ganzheitliche Betrachtung ermöglicht wird. Bei der Bestandsbewertung kann die Betrachtung um jene Bestände erweitert werden, die sich noch beim vorgelagerten Bearbeitungsschritt befinden. Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass zahlreiche Synergieeffekte zwischen den erarbeiteten Konzepten bestehen und diese umso bessere Auswirkungen haben, je länger die beschriebenen Konzepte im Einsatz sind, da die analysierbare Datenbasis ständig anwächst. Abschließend ist anzumerken, dass die vorgeschlagenen Konzepte einen ersten Schritt in Richtung Digitalisierung und das Zeitalter der vierten industriellen Revolution ermöglichen. Dabei zeichnen sie sich durch ihre Modularität und Erweiterbarkeit aus. Die notwendigen Investitionen sind dabei nicht nur den sofortigen Verbesserungen zuzuordnen – vielmehr bedeuten sie eine Investition in die Zukunft.

## 10 Ergebnisse – Handlungsempfehlung

Die im vorigen Abschnitt „9 Ausarbeitung der SOLL-Situation“ ausgearbeiteten Konzepte werden in einer Handlungsempfehlung zusammengefasst. Dabei werden Umsetzungsmöglichkeiten vorgeschlagen und wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Betrachtungen erstellt. Abschließend wird ein SOLL-IST-Vergleich durchgeführt, der die beiden Situationen qualitativ und quantitativ gegenüberstellt.

### 10.1 SOLL-Konzeptzusammenfassung

Das erarbeitete Konzept besteht im Wesentlichen aus den drei Teilen „MDE“, „Materialtracking“ und „Auswertungshilfen“, wobei die ersten beiden Hardware-basiert sind und der letztere Teil Software- bzw. Datenbank-basiert ist. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde auch eine Hardwareempfehlung ausgearbeitet – es sei an dieser Stelle auf Abschnitt 10.1.1 verwiesen.

Hinsichtlich der Maschinendatenerfassung wurden Konzepte für die Richtmaschinen und die Schere 1 entwickelt und es wurden auch Vorschläge für MDE an anderen Anlagen erstellt.

- **MDE Richtmaschinen:** Manuelle Erfassung der Sauberkeit durch die Maschinisten und ein langfristiges, vollständig digitales Ableiten der Maschinenreinheiten basierend auf dem aufgebauten Datenschatz
- **MDE Schere 1:** Erfassung der Schwingungen am Messer (eventuell auch Erfassung des Vorschubes des Hydraulikzylinders und der Winkelstellung des Messers ⇒ Umrechnung auf Messerbereiche) und Beurteilung des Messerzustandes

Hinsichtlich Materialtracking konnte eine wirtschaftlich sinnvolle, modulare Lösung abgeleitet werden, die auch für zukünftige Investitionen gerüstet ist.

- **Materialtracking:** Digitale Referenzierung der Aufträge mittels NFC
  - Nachvollziehbarkeit der Materialflüsse
  - Vereinfachtes Wiederfinden von Aufträgen bzw. Losen
  - Möglichkeit der zeitlichen Zuordnung von Bearbeitungsprozessen („An-“ und „Abmelden“ von Bearbeitungen durch das Scannen von zusätzlichen NFC-Tags an den Anlagen)

Beide Konzepte (MDE und Materialtracking) wurden im Kontext der Datenspeicherung und -auswertung betrachtet und daraus wurden Konzepte zur Visualisierung der generierten Informationen erstellt. Diese Konzepte besitzen hinsichtlich ihrer Ausprägungen einen gewissen Grad an Modularität und bleiben auch für weitere Investitionen adaptierbar.

### 10.1.1 Hardwareempfehlungen

Um die erstellten Konzepte konkretisieren und im weiteren Verlauf auch kostenbezogene Betrachtungen anzustellen zu können, wird an dieser Stelle eine Hardwareempfehlung ausgesprochen.

**Sensorsystem zur Schwingungserfassung an der Schere 1:** Um die Schwingungsdaten der Schere dauerhaft erfassen zu können, bestehen mehrere technische Möglichkeiten. Grundsätzlich werden die Beschleunigungs- bzw. Schwingungssensoren auch als seismische Wandler bezeichnet. Sie bestehen dabei aus einer seismischen Masse und einem Messwandler, der anhand unterschiedlicher Messprinzipien eingeteilt werden kann. Hinsichtlich der Wandler unterscheidet man elektrodynamische, induktive, kapazitive und piezoelektrische Wandler. *Elektrodynamische Wandler* basieren auf dem Induktionsprinzip – durch eine Änderung der magnetischen Flussdichte entsteht ein elektrisches Feld (bzw. eine Spannung in einer Spule). Die induzierte Spannung ist dabei proportional zu der Wegänderung bzw. der relativen Geschwindigkeit – somit kann über die magnetischen Kenngrößen von der Höhe der Spannung auf die relative Geschwindigkeit zurückgerechnet werden. *Induktive Wandler* basieren, analog zu den elektrodynamischen Wandlern, auf dem Prinzip der Induktion, wobei jedoch die Blindwiderstände der Spulen als Referenzgröße dienen. Über eine Wegänderung verändert sich auch der Abstand eines, im magnetischen Kreis vorhandenen Luftspalts, der wiederum den Blindwiderstand beeinflusst. Somit kann ein Wandlergesetz aufgestellt werden, das den Weg und den Blindwiderstand in Zusammenhang bringt – es wird der relative Weg gemessen. Der *kapazitive Wandler* basiert darauf, dass die Kapazität eines Kondensators proportional zur Plattenfläche (der Kondensatorplatten) und dem Plattenabstand ist. Ausgehend von diesen Proportionalitäten lassen sich diverse Messwandlerkonzepte ableiten – das Wandlergesetz stellt dabei, ähnlich zum induktiven Wandler, die Kapazität und den relativen Weg in Korrelation. Der *piezoelektrische Wandler* basiert auf dem piezoelektrischen Effekt (Kopplung zwischen mechanischem und elektrischem) Feld. Das Wandlergesetz verknüpft dabei eine Ladungsänderung des Piezoelements mit der auf ihn einwirkenden Kraft, die wiederum über den Schwerpunktsatz mit der seismischen Masse in Verbindung steht – es werden Beschleunigungsänderungen gemessen.

Neben der Fülle an verschiedenen Messprinzipien gibt es zahlreiche Anbieter unterschiedlicher Systeme. Nach Rücksprache mit dem Leiter der Instandhaltung von BÖHLER Bleche<sup>247</sup> wurde der Sensor „IFM VSA001“ ausgewählt. Der robuste Industriesensor eignet sich zur Aufnahme von Schwingungen im Beschleunigungsbereich von  $\pm 25g$ <sup>248</sup> und basiert auf dem kapazitiven Messprinzip. Der große Vorteil dieses Sensors, bzw. des Herstellers, ist die Verfügbarkeit von Auswerteeinheiten, die speziell auf die Sensoren abgestimmt sind. Als Auswerteeinheit wurde die „IFM VSE100“ ausgewählt. Neben vier dynamischen Eingängen (Möglichkeit der Erweiterung der Schwingungsmessungen auch auf weitere Messpunkte) besitzt die Auswerteeinheit einen digitalen Ethernet-Ausgang, wodurch die ausgewerteten Schwingungssignale direkt in das IT-System eingeschleust und in einer Datenbank mit Zeitstempel abgespeichert werden können. Dadurch kann der administrative Aufwand zur Implementierung des Systems in Grenzen gehalten werden – die analogen Schwingungsdaten des Sensors müssen nicht umständlich über die SPS umgeleitet und wieder ausgelesen werden, sondern werden direkt über die Auswerteeinheit digitalisiert. Für eine detaillierte Beschreibung der Hardwarespezifikationen sei auf den Anhang D verwiesen, wo die Datenblätter der Systeme abgebildet sind.

**Hardwareempfehlung für das Materialtrackingsystem:** Für das Materialtrackingsystem werden zweierlei Hardwarekomponenten benötigt – einerseits die geeigneten RFID bzw. NFC-Tags und andererseits passende Lesegeräte. Bei der Verwendung von NFC-Tags sind als Lesegeräte NFC-fähige Smartphones denkbar, die die ausgelesenen Daten über eine geeignete Applikation an das Datenbanksystem weiterleiten. Als Handlungsempfehlung wird an dieser Stelle vorgeschlagen, die Lesegeräte in Form von NFC-fähigen Smartphones umzusetzen – einerseits sind NFC-Smartphones bereits günstig am Markt erhältlich und ermöglichen andererseits auch das Erstellen von Applikationen in Form von Auswertungshilfen.<sup>249</sup> Des Weiteren können die Smartphones, neben ihrer Verwendung als NFC-Lesegeräte, auch für andere Tätigkeiten verwendet werden. Um an dieser Stelle eine Hardwareempfehlung auszusprechen, wurden anhand einer Internetrecherche NFC-fähige Smartphones miteinander verglichen (mit der Restriktion, dass es sich um Microsoft Geräte handeln muss).<sup>250</sup> Unter Berücksichtigung dieser Restriktion wurde schließlich das „Microsoft Lumia 640 LTE“ ausgewählt. Aktueller wäre das „Microsoft Lumia 650“ – es ist aber seitens des voestalpine Konzerns (noch) nicht freigegeben. Das ausgewählte Gerät bringt, neben der NFC-Fähigkeit, auch andere smartphonetypische Spezifikationen mit sich. Des Weiteren sei bezüglich der Anschaffungskosten an dieser Stelle

<sup>247</sup>Dipl.-Ing. (FH) Michael Lackner

<sup>248</sup>mit der Erdbeschleunigung  $g$

<sup>249</sup>vgl. Abschnitt 9.4.5

<sup>250</sup>Innerhalb des voestalpine Konzerns dürfen nur „freigegebene“ Microsoft Geräte verwendet werden.

erwähnt, dass die Anschaffung der Geräte in einem Service Vertrag mit der Group-IT des voestalpine Konzerns inkludiert ist – somit fallen keine Investitionskosten an. Lediglich die laufenden Servicegebühren sind zu berücksichtigen. Betrachtet man die softwarebezogenen Aspekte von NFC, so stellt man fest, dass Microsoft dabei federführend ist – so sind bereits zahlreiche Applikationen vorhanden und auch die personalisierte Entwicklung von NFC-Anwendungen wird durch Entwicklungsplattformen unterstützt, wie auf der Homepage von Microsoft unterstrichen wird.<sup>251</sup> Für BÖHLER bietet die Verwendung des „Microsoft Lumia 640 LTE“ somit auch eine kostengünstige Möglichkeit zur softwareseitigen Implementierung des Materialtrackings, da die Kompatibilität gewährleistet werden kann.

Als NFC-Transponder wurde der NTAG213 von NXP Semiconductors ausgewählt. Der Hersteller ist im Bereich der Near Field Communication renommiert und stellt eines der Gründungsmitglieder des NFC Forums dar. Dieses Forum hat sich die Weiterentwicklung und Standardisierung von Near Field Communication zur Aufgabe gemacht. Der NTAG213 zeichnet sich dadurch aus, dass er das NDEF-Format unterstützt und somit von Smartphones mit Microsoft Betriebssystemen verwendet werden kann. Die Speicherkapazität des Transponders liegt bei 168 Byte, wobei 144 Byte benutzerspezifisch mittels NDEF beschrieben werden können (rund 10.000-mal wiederbeschreibbar). Der ausgewählte Chipsatz ist der kostengünstigste der aktuellen NTAG2xx Familie – es sind auch der NTAG215 und der NTAG216 verfügbar, die sich jedoch nur durch höhere Speicherkapazitäten vom NTAG213 abheben.<sup>252</sup> Für das geplante Konzept ist die Speicherkapazität des NTAG213 aber ausreichend. Der NTAG213 wird nicht direkt über NXP Semiconductors vertrieben, sondern ist über zahlreiche Handelsplattformen erhältlich, wobei der Tag zum Teil auch weiterverarbeitet angeboten wird – so gibt es beispielsweise Ausführungen, die für eine Anwendung auf Metalloberflächen optimiert sind. Die Kosten des Tags hängen stark von der bestellten Menge ab und liegen pro Stück bei rund € 0,33 für herkömmliche und € 0,65 für on-metal Tags im B2C Bereich<sup>253</sup> – im B2B Bereich können diese Kosten jedoch mengenbasiert deutlich reduziert werden. Böhler Bleche wird geraten, die herkömmlichen NFC-Tags zu beschaffen und die Abschirmung unternehmensintern durchzuführen, da dies kostengünstig möglich ist.<sup>254</sup>

<sup>251</sup><https://www.microsoft.com/germany/techwiese/know-how/near-field-communication-mit-windows-phone.aspx>; Abfrage am 02.06.2016

<sup>252</sup>NTAG215 mit 504 Byte und NTAG216 mit 888 Byte

<sup>253</sup>z.B. <http://www.nfc-tag-shop.de>

<sup>254</sup>Im Rahmen der Arbeit wurden Möglichkeiten der Abschirmung überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Auslesbarkeit herkömmlicher Tags nur vom Abstand zu der Metalloberfläche abhängt. Mit doppelseitigem Klebeband (Stärke von 1,5mm) konnte eine ausreichende Abschirmung erreicht werden (vgl. Abschnitt 9.3.3).

## 10.2 Handlungsempfehlung zur Konzeptumsetzung

Die Erarbeitung der MDE bzw. dessen Hardwareseite bedarf nur geringer Investitionskosten, da die notwendige Sensorik kostengünstig nachgerüstet werden kann – somit können hinsichtlich MDE binnen kurzer Zeit bereits erste „Quick-Wins“ verzeichnet werden. Dahingehend besteht die Handlungsempfehlung darin, speziell die konzipierten Maschinendatenerfassungen baldmöglichst umzusetzen, um von den „Quick-Wins“ zu profitieren und auch den Aufbau eines Datenschatzes zu beschleunigen. Ein Projekt zur Implementierung des vorgeschlagenen Materialtrackingsystems benötigt etwas mehr Zeit – speziell die Dauer bis zur Implementierung eines geeigneten Softwaresystems lässt sich nur schwer einschätzen. Hinsichtlich des Fortschritts sei jedoch anzumerken, dass bereits während des Verfassens der vorliegenden Arbeit mit der ersten Projektplanung begonnen wurde.

In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise zur Implementierung der vorgestellten Konzepte bei BÖHLER Bleche kurz in Listenform zusammengefasst. Dabei sind die durchzuführenden Punkte gemäß ihrer zeitlichen Reihenfolgen angeordnet.

### 10.2.1 Maschinendatenerfassung

1. **Zuordnen des notwendigen Maschinenzustands:** Zu Beginn müssen den Qualitäten notwendige Maschinenzustände zugeordnet werden – sowohl für die Bearbeitungen an den Richtmaschinen, als auch für die Bearbeitungen an der Schere 1.<sup>255</sup>
2. **Erstellen der Datenbank:** Nach der Zuordnung, kann die Datenbank gemäß des Konzeptes aus Abschnitt 9.4.2 erstellt und implementiert werden.
3. **Applikation des Schwingungssensors an der Schere 1:** Um die Schwingungsdaten dauerhaft aufnehmen zu können, wurde ein Industriesensor mit einer Auswerteeinheit ausgewählt, die es im nächsten Schritt zu applizieren gilt.
4. **Erstellen eines Eingabeterminals:** Für die beiden Konzepte wird zunächst eine von den Maschinisten durchgeführte Maschinenzustandsbewertung benötigt. Diese gilt es durch ein geeignetes Eingabeterminal (Applikation im SAP) zu erfassen.
5. **Erstellen von Auswertungshilfen:** In einem nächsten Schritt sollen Auswertungshilfen, wie in Abschnitt 9.4.5 besprochen, erstellt werden, um den jeweiligen Entscheidungsträgern die notwendigen Informationen in kumulierter, aber dennoch detaillierter, Weise zu liefern.

<sup>255</sup>vgl. Abbildung 9.6

6. **Schulung von Mitarbeitern:** Als finaler Schritt soll eine Schulung der Mitarbeiter stattfinden.

### 10.2.2 Materialtracking

1. **Erstellen eines Rasters:** Zu Beginn muss der Grundriss des Hallenlayouts gemäß eines Rasters in mehrere Bereiche unterteilt werden. Die Abmessungen der Raster sollen dabei den Abständen der Kranstützen entsprechen. Des Weiteren müssen gewisse Bereiche als Lagerplätze kategorisiert und den jeweiligen Anlagen zugewiesen werden.
2. **Beschaffung geeigneter NFC-Hardware:** Als nächstes gilt es geeignete NFC-Tags zu beschaffen, die der Referenzierung von Aufträgen und Lagerplätzen dienen. Auch geeignete Lesegeräte bzw. NFC-fähige Smartphones für die betroffenen Mitarbeiter müssen in diesem Schritt beschafft werden.<sup>256</sup>
3. **Erstellen der Datenbank:** Parallel zur Beschaffung der NFC-Tags kann die Erstellung einer Datenbank erfolgen, wobei an dieser Stelle an den konzeptionellen Vorschlag aus Abschnitt 9.4.4 verwiesen sei.
4. **Referenzierung der statischen Lagerplätze – 1:** Nach der Beschaffung der NFC-Tags erfolgt die Applikation der Tags an den statischen Lagerplätzen und das Hinterlegen ihrer Ortsinformationen in der erstellten Datenbank. Um schnelle Projektfortschritte zu erreichen, wird vorgeschlagen, das Konzept des Materialtrackings zunächst in Halle 5 umzusetzen.<sup>257</sup>
5. **Referenzierung der Aufträge bzw. Lose mit NFC-Tags:** Dieser Schritt stellt eine dauerhafte Tätigkeit dar.<sup>258</sup> Während der Erstellung der Fertigungsaufträge soll den Begleittafeln, die als intelligente Werkstückträger fungieren, ein NFC-Tag zugewiesen werden.
6. **Unterweisung der Mitarbeiter:** Alle involvierten Mitarbeiter müssen bezüglich der durchzuführenden Lesevorgänge unterwiesen werden.
7. **Referenzierung der statischen Lagerplätze – 2:** Nach den ersten Projekterfolgen soll das Materialtracking auf alle betriebliche Hallen ausgeweitet werden.

<sup>256</sup>Hardwarevorschlag siehe Anhang D

<sup>257</sup>In Halle 5 befinden sich viele Anlagen und Lagerplätze. Durch eine Implementierung in diesem Bereich kann die Effektivität des Materialtrackings überprüft werden.

<sup>258</sup>Diese Tätigkeit soll in den Verfahrensablauf aufgenommen werden.

Wie bereits erwähnt, ist das Materialtrackingsystem erweiterbar und kann zur Aufnahme von exakten Bearbeitungszeiten verwendet werden. Die Erweiterungsschritte lauten dabei wie folgt:

8. **Applikation von NFC-Tags an den Anlagen:** Zunächst werden an allen Anlagen zwei NFC-Tags angebracht, die dem „An-“ und „Abmelden“ von Bearbeitungsvorgängen dienen sollen.
9. **Adaptierung der Datenbank:** Um die neu applizierten Transponder auch ins IT-System zu übertragen, ist ein Adaptieren der Datenbank notwendig.

### 10.3 Kosten-Nutzen-Betrachtung

In den vorherigen Abschnitten wurden die Konzepte konkretisiert und deren Auswirkungen auf einer qualitativen Ebene diskutiert. Auch wurde eine Handlungsempfehlung zur Umsetzung der erarbeiteten Konzepte ausgesprochen. Um nun die mit den Konzepten einhergehenden Optimierungen auch in einen numerischen Kontext zu bringen und eine Entscheidungsgrundlage für künftige Investitionen zu legen, werden im Folgenden Kosten-Nutzen Betrachtungen angestellt. Dabei werden einerseits die Investitionskosten zur Umsetzung der Konzepte und andererseits die dadurch erzielbaren Einsparungspotentiale diskutiert. Des Weiteren folgt eine Amortisationsrechnung und eine Bewertung der Investitionssicherheit.

#### 10.3.1 Investitionskosten

An dieser Stelle werden die Investitionskosten zur Umsetzung der Optimierungen zusammengefasst – es sei angemerkt, dass auch wenn die Werte zum Teil geschätzt werden mussten, sie dennoch eine erste Näherung der Investitionskosten darstellen. In Tabelle 10.1 sind die ermittelten Investitionskosten in aufgeschlüsselter Form dargestellt und den Konzepten entsprechend kategorisiert. Es ist zu erkennen, dass die Investitionskosten für die Maschinendatenerfassung deutlich geringer ausfallen, als für das Materialtracking. Begründen kann man dies dadurch, dass die MDE durch kostengünstige, nachrüstbare Sensorik umgesetzt werden kann – das Materialtrackingsystem hingegen stellt eine Neugestaltung dar. Bezüglich der Investitionen in Hardware fallen die Kosten gering aus. Für die MDE an den Richtmaschinen ist keine Anschaffung von zusätzlicher Hardware notwendig. Prozentual betrachtet beträgt der Anteil der Hardware an den Investitionskosten der MDE nur rund 15%. Der restliche Anteil entfällt auf die Entwicklung von Softwaresystemen und die Ausarbeitung von Datenbanken.

Hardware und Applikation					
Maschinendatenerfassung	Schere 1	Beschreibung		Kosten	
		Schwingungssensor	IFM VSA001	€ 212,72	
		Auswerteeinheit	IFM VSE100	€ 946,07	
		Zusätzliches Material (zum Applizieren der Sensorik)	-	€ 100,00	
		Personalkosten (Applizieren)	-	€ 375,00	
Datenerfassung und Softwareerstellung					
Maschinendatenerfassung	Schere 1 + RM	Personalkosten (Zuordnen des notwendigen MZ beim Schneiden)		-	€ 924,00
		Personalkosten (Zuordnen des notwendigen MZ beim Richten)		-	€ 924,00
		Datenbankerstellung - Zustandsüberwachung (Schere 1 und RM)		-	€ 1.540,00
		Erstellen eines Eingabeterminals		-	€ 616,00
		Erstellen von Auswertungshilfen (Schätzwert zwischen € 1.000 und € 10.000)		-	€ 5.500,00
				Gesamt:	€ 11.137,79
Hardware und Applikation					
Materialtracking	Beschreibung		Bezeichnung	Kosten Halle 5	Erweiterung
	NFC-Tags, 10.000 Stück für die erste Implementierung à € 0,33 herkömmlich (bis € 0,65 on-metal); Herkömmliche sind ausreichend.		NXP NTAG213	€ 3.300,00	€ 3.300,00
	NFC-fähige Smartphones (20 Stk, Erweiterung auf 50 Stk)		Lumia 640	€ 0,00	€ 0,00
	Personalkosten (Referenzierung der statischen Lagerplätze)		-	€ 1.232,00	€ 3.696,00
	Personalkosten Testläufe		-	€ 616,00	€ 1.848,00
	Datenerfassung und Softwareerstellung				
	Personalkosten (Erstellung eines geeigneten Rasters - statische Lagerplätze)		-	€ 1.540,00	€ 0,00
	Datenbank- und Softwareerstellung (Schätzwert)		-	€ 40.000,00	€ 4.000,00
	Erstellen von Auswertungshilfen (Schätzwert zwischen € 2.000 und € 20.000)		-	€ 11.000,00	€ 0,00
					Gesamt:
					€ 68.684,00

Tabelle 10.1: Investitionskosten

Die Investitionskosten, die für das Materialtracking anfallen würden, unterteilen sich in zwei Subkategorien – die Investition zur Implementierung in der Halle 5 und die Erweiterung des Systems auf alle betrieblichen Hallen (Implementierung in Schritten).<sup>259</sup> Betrachtet man die Anteile der Investitionskosten, so ist auch für das Materialtracking der geringere Anteil an Kosten im Bereich der Hardware ersichtlich (rund 9%), wobei der Großteil davon für die Anschaffung der RFID- bzw. NFC-Tags aufgewendet werden muss. Der restliche Teil entfällt auf die Erstellung der Software- und Datenbanksysteme, wobei die Datenbankerstellung den größten Kostenfaktor ausmacht.

### 10.3.2 Einsparungspotentiale

Um die besprochenen Investitionskosten mit den dadurch erzielbaren Einsparungen in Relation zu setzen, werden nun die Kosteneinsparungspotentiale zusammengefasst. Dazu werden die in Abschnitt 8.3 durchgeführten Quantifizierungen verwendet und in Tabelle 10.2 dargestellt.

Wie in der Tabelle ersichtlich, sind die ermittelten Kosteneinsparungen der Potentiale den jeweiligen Optimierungskonzepten zugeordnet. P\* symbolisiert dabei jene quantifizierbaren Einsparungen, die implizit über die anderen, nicht explizit behandelten Potentiale erzielt werden können. Neben diesen deutlichen quantitativen Einsparungen entstehen noch weitere, nicht direkt numerisch bewertbare Verbesserungen mit einer qualitativen Ausprägung. Implizit erhöhen diese qualitativen Faktoren das Kosteneinsparungspotential noch

<sup>259</sup>vgl. 10.2.2 Materialtracking

	Zuordnung zu den Optimierungskonzepten	Einsparung/ Monat
P1	beeinflusst durch Materialtracking	€ 5.223
P2	beeinflusst durch Materialtracking	€ 7.096
P4	beeinflusst durch die Maschinendatenerfassung (implizit durch Materialtracking)	€ 17.841
P*	Quantitative Einsparungen implizit über andere Potentiale (~60% der Bewertung)	€ 4.298
	Gesamteinsparungen pro Monat:	<b>€ 34.458</b>
	Gesamteinsparungen pro Jahr:	<b>€ 413.496</b>

Tabelle 10.2: Einsparungspotentiale

deutlich um den in Tabelle 10.2 angegebenen Wert. Die qualitativen Verbesserungen sind:

- Erhöhung von Transparenz und Flexibilität
- Erhöhung der Produktivität
- Möglichkeit der maschinenzustandsbasierten PPS
- Bestandsminimierung und Verringerung der Durchlaufzeiten

Es sei auch an dieser Stelle nochmals betont, dass durch die erarbeiteten Konzepte sämtliche Ziele der Arbeit erreicht werden können.

### 10.3.3 Amortisationsrechnung

Nachdem nun die Investitionskosten und quantifizierbaren Kosteneinsparungspotentialen erfasst wurden, können diese im nächsten Schritt gegenübergestellt werden. Dadurch kann der Kapitalrückfluss analysiert werden, bzw. der Break-Even-Point der Investitionen abgeleitet werden. Dazu sind zunächst in Tabelle 10.3 die Kapitalveränderungen nach abgeschlossener Implementierung aufgetragen. Monat 0 kennzeichnet dabei jenen Zeitpunkt,

	Gewichtung	Maschinendatenerfassung	Materialtracking	implizit	Gesamt
Monat 0	0,00%	-€ 11.137,79	-€ 68.684,00	€ 0,00	-€ 79.821,79
Monat 1	2,80%	-€ 10.688,20	-€ 68.289,11	€ 120,34	-€ 78.856,94
Monat 2	10,40%	-€ 9.018,28	-€ 66.822,39	€ 567,34	-€ 75.273,23
Monat 3	21,60%	-€ 5.549,99	-€ 63.776,12	€ 1.495,70	-€ 67.830,19
Monat 4	35,20%	€ 102,04	-€ 58.811,83	€ 3.008,60	-€ 55.700,84
Monat 5	50,00%	€ 8.130,49	-€ 51.760,28	€ 5.157,60	-€ 38.471,69
Monat 6	64,80%	€ 18.535,36	-€ 42.621,47	€ 7.942,70	-€ 16.142,76
Monat 7	78,40%	€ 31.123,97	-€ 31.564,64	€ 11.312,34	€ 10.872,45
Monat 8	89,60%	€ 45.510,95	-€ 18.928,26	€ 15.163,34	€ 41.746,93
Monat 9	97,20%	€ 61.118,26	-€ 5.220,05	€ 19.341,00	€ 75.240,18
Monat 10	100,00%	€ 77.175,16	€ 8.883,05	€ 23.639,00	€ 109.698,21
Monat 11	100,00%	€ 93.232,06	€ 22.986,15	€ 27.937,00	€ 144.156,21
Monat 12	100,00%	€ 109.288,96	€ 37.089,25	€ 32.235,00	€ 178.614,21

Tabelle 10.3: Amortisationsrechnung

zu dem die Konzeptimplementierung abgeschlossen ist. Die aufgetragenen monetären

Werte im Monat 0 entsprechen den bis zu diesem Zeitpunkt angefallenen Kosten – jene Investitionskosten, die in Tabelle 10.1 dargestellt sind. Die ermittelten monatlichen Kosteneinsparungen werden nicht bereits zum Zeitpunkt 0 eintreten – vielmehr benötigen die Systeme Zeit, bis sie ihr volles Potential ausschöpfen können. Diese Tatsache wird durch die Spalte „Gewichtung“ multiplikativ berücksichtigt. Dabei verhalten sich die prozentualen Werte gemäß der kubischen Funktion<sup>260</sup>

$$y(t) = \frac{-1}{500} \cdot t^3 + \frac{3}{100} \cdot t^2 \text{ im Intervall } t = [0, 10]^{261}$$

Damit wird antizipiert, dass die Kosteneinsparungen nach einem Zeitraum von zehn Monaten (nach der abgeschlossenen Implementierung) ihre vollständige Ausprägung erreichen. Basierend auf dieser zusätzlichen Gewichtung kann man anhand von Tabelle 10.3

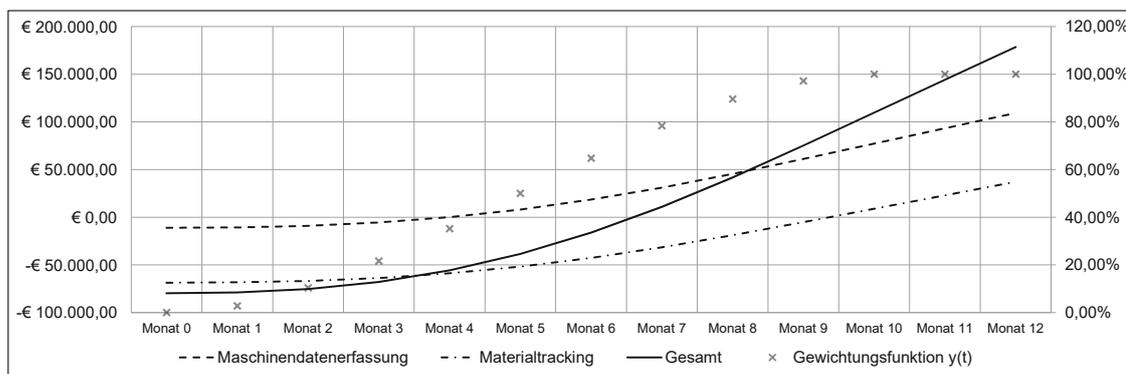


Abbildung 10.1: Break-Even-Diagramm der Investitionen

erkennen, dass der BEP aller Investitionen zwischen Monat sechs und Monat sieben eintritt. Betrachtet man nur die MDE, so wird der BEP bereits im vierten Monat erreicht – der BEP des Materialtrackings hingegen wird zwischen Monat neun und Monat zehn erreicht. Um diese Ergebnisse besser zu visualisieren, sind in Abbildung 10.1 die Kapitalveränderungen (der Investitionskosten) gegenüber der Zeit aufgetragen. Auf der Sekundärordinate ist die prozentuale Skala der Gewichtungsfunktion  $y(t)$  aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Funktionen bis zum Erreichen des zehnten Monats eine konvexe Form aufweisen, was auf die kubische Funktion der „Einarbeitszeit“ zurückgeführt werden kann. Nachdem die Potentiale ihre endgültige Ausprägung erreicht haben (das bedeutet, dass die Gewichtung den Wert 100% erreicht hat), steigen sie linear weiter an. Aus diesen Betrachtungen wird klar, dass sich die Investitionen bereits innerhalb des ersten Jahres amortisieren.

<sup>260</sup>Die Form der Funktion lässt sich mit dem S-Kurven-Konzept von Foster vergleichen; vgl. Foster, 1988

<sup>261</sup>Die Polynomregression basiert auf den Werten  $y(0) = 0$ ,  $\dot{y}(0) = 0$  und  $y(10) = 1$ ,  $\dot{y}(10) = 0$ .

### 10.3.4 Investitionssicherheit

Die erarbeiteten Konzepte zeichnen sich durch ihre Modularität aus – wie in den Ausführungen der Konzepterarbeitung beschrieben, können sowohl die MDE, als auch das Materialtrackingsystem ausgeweitet werden. Die vorgeschlagenen Maschinendatenerfassungen an der Schere 1 und den Richtmaschinen stellen dabei einen ersten Schritt in die Richtung der vierten industriellen Revolution dar. Neben den direkten quantitativen und qualitativen Potentialen ermöglichen sie auch einen Wissensaufbau die MDE betreffend. So ist langfristig betrachtet ein Einführen der Maschinendatenerfassung an zahlreichen anderen Anlagen denkbar. Auch das Materialtrackingsystem und speziell dessen Datenbankkonzept weisen einen hohen Grad an Modularität auf. Das vorgeschlagene Konzept der statischen Lagerplätze ist langfristig auch durch die Verwendung von dynamischen Ortsinformationen erweiterbar, wie z.B. durch die Ermittlung von Kranpositionen. Somit kann die Investitionssicherheit, von einem objektiven Standpunkt her betrachtet, als hoch eingestuft werden – einerseits durch den geringen Amortisationszeitraum der Investitionen und andererseits durch die Modularität der Systeme.

## 10.4 SOLL-IST-Vergleich

Betrachtet man den IST-Zustand, so fallen sowohl in den Material-, als auch in den Informationsflüssen, Probleme auf. So besteht zwar eine Auftragspriorisierung auf Terminbasis, jedoch kann diese auf vielen Anlagen nicht umgesetzt werden, da die Bearbeitung stark von den Maschinenzuständen abhängt. Des Weiteren weist der IST-Zustand eine Intransparenz in den Wertströmen auf und der IST-Zustand ist geprägt durch Redundanzen in den Informationsflüssen. Auffällig ist auch, dass in vielen Bereichen ein starkes „Abteilungsdenken“ vorhanden ist, wobei die koordinierenden Gruppenleiter intransigent versuchen, ihre eigene Abteilung basierend auf subjektiven Einschätzungen zu optimieren – ein Blick auf das große Ganze fehlt dabei. Diese und noch weitere Probleme wurden in der Ausarbeitung des SOLL-Zustandes aufgegriffen. Der SOLL-Zustand ist gekennzeichnet durch eine Vermeidung subjektiver Einschätzungen – es werden objektive, datenbasierte Entscheidungsgrundlagen gebildet, die die Produktion holistisch betrachten. Dadurch werden Auftragspriorisierungen ermöglicht, die neben den terminlichen Restriktionen auch Maschinenzustände als Entscheidungskriterium verwenden. Durch das erarbeitete Konzept des Materialtrackings werden die Wertströme im SOLL-Zustand transparenter, was zu einer Arbeitserleichterung und erhöhter Flexibilität führt. Verbindet man die Konzepte des SOLL-Zustandes miteinander, so werden die Potentiale noch deutlicher – durch das Ausschöpfen der Synergieeffekte wird ein vorausschauendes Handeln ermöglicht und Planungsaufgaben vereinfacht. Um mit der generierten Datenmenge fertig zu werden,

werden im SOLL-Zustand Auswertungshilfen verwendet, die den Entscheidungsträgern kumulierte Informationen in geeigneter Weise zur Verfügung stellen. Der SOLL-Zustand weist darüber hinaus auch einen hohen Grad an Modularität auf, da die Konzepte schrittweise ausgebaut werden können. Somit kann langfristig erreicht werden, dass technische Parameter aller Bearbeitungsschritte aufgezeichnet werden, die digital und in Echtzeit abrufbar sind – der Weg in Richtung der vierten industriellen Revolution kann dadurch für BÖHLER Bleche geebnet werden.

## Teil IV

# Resümee, abschließende Betrachtung und Ausblick

Vor einigen Jahren wurde die vierte industrielle Revolution eingeläutet, die erst durch die technologischen Fortschritte der letzten Jahrzehnte ermöglicht wurde. Auch wenn das Themenfeld rund um „Industrie 4.0“ derzeit noch in den Kinderschuhen steckt, findet man bereits viele wissenschaftliche Arbeiten, die versuchen, den weitgefassten Begriff der Industrie 4.0 zu konkretisieren und praxisorientierte Anwendungsbeispiele zu generieren. Letztere sind jedoch bis dato noch rar. Auf Grund dessen greift die vorliegende Arbeit die vorhandene Literaturlbasis auf und zeigt anhand eines konkreten Anwendungsbeispiels, wie Konzepte der Digitalisierung in dem Industrieunternehmen BÖHLER Bleche verwirklicht werden können.

Basierend auf umfangreichen Vor-Ort-Analysen wurde der Ausgangszustand des Unternehmens modelliert und Verbesserungspotentiale abgeleitet. Aus den vielversprechendsten Potentialen wurden konzeptionelle Ideen erarbeitet, die zunächst noch mit Hypothesen behaftet waren. Nach deren Überprüfung wurden zwei konkrete Konzepte formuliert. Das erste Konzept ist das der *Maschinendatenerfassung* – es beinhaltet Modelle, durch die Maschinenzustände effizient bewertet werden können. Dabei werden durch Sensoren erfasste Daten mit subjektiven Einschätzungen erfahrener Mitarbeiter verknüpft und in einer zentralisierten Datenbank gespeichert (Wissensmanagement). Diese Informationen ermöglichen vorrausschauende Instandhaltung („Predictive Maintenance“), da über die Maschinenzustände jederzeit reflektiert werden kann. Dazu werden die Daten mit monetären Größen verknüpft, durch eine Auswertungshilfe kumuliert und den Mitarbeitern zur Verfügung gestellt. Dadurch entstandene Handlungsempfehlungen helfen dem Unternehmen bei produktionsrelevanten Entscheidungen. Das zweite Konzept ist das der *Materialtrackings* – es basiert auf einem System statisch referenzierter Lagerplätze, wobei Near Field Communication (NFC) zum Referenzieren genutzt wird. Dabei wird die Ortsinformation eines Auftrages nach jeder Manipulation aktualisiert und in einer Datenbank gespeichert. Wird ein Auftrag benötigt, können die Mitarbeiter die Ortsinformationen aus der Datenbank auslesen, wobei sie softwareseitig durch eine graphische Benutzeroberfläche unterstützt werden. Somit werden einerseits lange Suchzeiten vermieden und andererseits bieten die Daten zahlreiche Analyse- und Optimierungsmöglichkeiten für die Zukunft.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass beide der oben genannten Konzepte erhebliche *qualitative Verbesserungen* für das Unternehmen bringen. Vor allem kann die *Transparenz* des Produktionssystems durch die Maschinendatenerfassung und das Materialtracking erhöht werden, da sowohl die Maschinenzustände als auch die Ortsinformationen der Aufträge digital verfügbar sind. Dies führt wiederum zu einer verbesserten Auftragsplanung und -steuerung. Die erhöhte Transparenz hat auch einen positiven Einfluss auf die *Flexibilität* des Produktionssystems, da schneller auf Veränderungen reagiert werden kann – denn subjektive Entscheidungen werden von objektiven Handlungsempfehlungen abgelöst, die auf wirtschaftlichen und maschinenzustandsbedingten Einschätzungen basieren. Eine weitere Verbesserung wird bei den *Beständen* sichtbar – die beiden Konzepte machen eine monetäre Bewertung der Bestände möglich und eine Auswertungshilfe unterstützt auf operativer Ebene bei der Auswahl des nächsten Auftrags. So können speziell Bestände hochwertiger Produkte reduziert und Durchlaufzeiten minimiert werden. Auch eine Erhöhung der *Produktivität* kann erreicht werden – durch eine vorrausschauende Instandhaltung kommt es zu deutlich weniger ungeplanten Instandsetzungsmaßnahmen und die Mitarbeiter werden beim Suchen von Aufträgen durch das Materialtrackingsystem unterstützt. Doch nicht nur qualitative, sondern auch *quantitative Verbesserungen* können mit Hilfe der entwickelten Konzepte erzielt werden. So führen die Konzepte durch Verringerung der Nachbearbeitungsrate, Bestandsreduktion, Entlastung der Mitarbeiter und Reduktion des administrativen Aufwands zu Kosteneinsparungen von über EUR 34.000,00 pro Monat.

Abschließend sei angemerkt, dass eine zukünftige Erweiterung der in dieser vorliegenden Arbeit entwickelten Konzepte im Kontext der vierten industriellen Revolution durchaus denkbar ist. Speziell die Maschinendatenerfassung weist ein großes Potential auf, da sie eine notwendige Bedingung für „Predictive Maintenance“ ist – durch geeignete Sensoren kann der Verschleiß einer Maschine, Anlage oder eines einzelnen Lagers erfasst werden und Instandhaltungsmaßnahmen können zeitnah durchgeführt werden. Maschinendaten sind auch in der Auftragsplanung und -steuerung von großem Nutzen, da (teil-)automatisierte Entscheidungen gebildet werden können, die auf realen Maschinenzuständen basieren und auch andere Kenngrößen wie Bestände, Kapazitäten und terminliche Prioritäten mitberücksichtigen. Die vorliegende Arbeit bildet den ersten Schritt in diese Richtung – BÖHLER Bleche kann mit Hilfe der Maschinendatenerfassung einen Wissensschatz aufbauen und langfristig gesehen können die vorliegenden Konzepte auf weitere Anlagen ausgeweitet werden, bis schließlich eine betriebsweite MDE entsteht. Des Weiteren würde zukünftig auch eine Fusionierung der Maschinendatenerfassung und des Materialtrackingsystems möglich sein. Durch die Daten des Materialtrackingsystems kann abgeschätzt werden zu welchem Zeitpunkt ein Auftrag an einer Anlage eintreffen

wird. So können notwendige Wartungs- und Umrüstvorgänge besser geplant und auch Bestände nach und nach reduziert werden. Auch das Management von Wissen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da produktionsrelevante Informationen oft nur in den Köpfen einiger weniger Maschinisten gespeichert ist – im Zusammenhang mit der vierten industriellen Revolution wäre daher die Implementierung eines unternehmensinternen Social Networks denkbar, um relevantes Wissen für alle zugänglich zu machen. Die entwickelten Konzepte bilden einen ersten Ansatz, um dieses Wissen zu speichern – Maschinendaten werden erfasst, gespeichert und mit subjektivem Prozesswissen der Mitarbeiter verknüpft. So entsteht ein aussagekräftiges Datenkonstrukt, das Wissen zentral verfügbar und abrufbar hält. Hinsichtlich der Auswertungshilfen ist auch deren Erweiterung um Gaming-Elemente im Kontext der Gamification möglich, um die Systeme benutzerfreundlicher zu gestalten und die Akzeptanz und Motivation der Mitarbeiter zu erhöhen.

Der vorherige Abschnitt und auch die Arbeit selbst machen die Erweiterbarkeit und Zukunftsfähigkeit der entwickelten Konzepte deutlich – langfristig sind multiple Szenarien denkbar, die die Produktion von BÖHLER Bleche, aber auch anderer Produktionsstätten und Unternehmen, in einem evolutionären Prozess revolutionieren könnten.

## Teil V

# Verzeichnisse

## 11 Literaturverzeichnis

- acatech. 2015. Smart Maintenance für Smart Factories: Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben. *acatech POSITION*.
- Almada-Lobo, Francisco. 2016. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, **3**(4), 16–21.
- Bauernhansl, Thomas, Ten Hompel, Michael, & Vogel-Heuser, Birgit. 2014. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung· Technologien· Migration*. Springer-Verlag.
- Berlin, Sebastian. 2015. Die drei Säulen von Industrie 4.0 - Ein Arbeitsprogramm. Online erhältlich unter <http://www.ipri-institute.com/vortraege/> abgerufen am 7. Februar 2016.
- Bolick, S, Bussey, P, Castro, S, Conlon, G, Geiger, K, Görlich, K, Guttman, U, Kaiser, T, Köpfer-Behncke, P, Krüger, A, Lackey, M, Majumdar, A, Merlo, R, Ohnemus, T, Schmidt, V, & Stubbs, S. 2013. Idea to Performance: Maximizing Opportunity in a New, Technology-Driven Industrial Revolution. *SAP Thought Leadership Paper*.
- Bullinger, Hans-Jörg, & ten Hompel, Michael. 2007. *Internet der Dinge*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Chen, Peter. 2002. Entity-relationship modeling: historical events, future trends, and lessons learned. *Software pioneers*, 296–310.
- Da Xu, Li, He, Wu, & Li, Shancang. 2014. Internet of Things in industries: A survey. *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, **10**(4), 2233–2243.
- Damm, Werner, Achatz, Reinhold, Beetz, Klaus, Daembkes, Heinrich, Grimm, Klaus, Liggesmeyer, Peter, *et al.* 2010. Nationale roadmap embedded systems. *Pages 67–136 of: Cyber-Physical Systems*. Springer.
- Deterding, Sebastian, Dixon, Dan, Khaled, Rilla, & Nacke, Lennart. 2011. From game design elements to gamefulness: defining gamification. 9–15.
- DIN 31051:2012-09. DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung, Teile 1 bis 4. *Deutsches Institut für Normung*.

- DIN 62264:2012-01. DIN 62264: Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen, Teile 1 bis 5. *Deutsches Institut für Normung*.
- Eriksson, Hans-Erik, & Penker, Magnus. 2000. Business modeling with UML. *Business Patterns at Work, John Wiley & Sons, New York, USA*.
- Erlach, Klaus. 2010. *Wertstromdesign–Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. aktualisierte Auflage*. Springer-Verlag.
- Foster, Richard N. 1988. *Innovation: The attacker's advantage*. Summit Books.
- Frank, Ulrich, Strecker, Stefan, Fettke, Peter, Vom Brocke, Jan, Becker, Jörg, & Sinz, Elmar. 2014. Das Forschungsfeld „Modellierung betrieblicher Informationssysteme“. *Wirtschaftsinformatik*, **56**(1), 49–54.
- Geisberger, Eva, & Broy, Manfred. 2012. *acatech; agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Vol. 1. Springer-Verlag.
- Gram, Markus. 2011. Wertstromanalyse als Potentialanalyse in der Prozessindustrie. *WING-Business*, **2**, 39–41.
- Günthner, Willibald A, Ten Hompel, Michael, Chisu, R, Nettsträter, A, & Roidl, M. 2010. *Internet der Dinge in der Intralogistik*. Springer.
- Huotari, Kai, & Hamari, Juho. 2011. „Gamification“ from the perspective of service marketing. CHI.
- Iskanius, Paivi, Alaruikka, Anna-Maija, & Page, Tom. 2007. Streamlining information flow in steel product design and manufacturing industry network. *International Journal of Integrated Supply Management*, **3**(3), 244–260.
- Jazdi, Nasser. 2014. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Pages 1–4 of: Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on. IEEE*.
- Jin, Y, Liu, L, Yuan, Z, & Wang, K. 2016. Research And Implementation Of Production Logistics Tracking Based On RFID. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, **113**, 269–276.
- Juul, Jesper. 2005. *Half-real: Video games between real rules and fictional worlds*.
- Kagermann, Henning, Wahlster, Wolfgang, & Helbig, Johannes. 2013. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. *Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*.

- Klein, Joachim. 1992. *Datenintegrität in heterogenen Informationssystemen: ereignisorientierte Aktualisierung globaler Datenredundanzen*. Springer-Verlag.
- Klevers, Thomas. 2007. *Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design: Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern*. mi-Fachverlag, Redline GmbH, Landberg am Lech.
- Kuhlang, Peter, Edtmayr, Thomas, Sunk, Alexander, & Hrach, Michael. 2014. Further development of Value Stream Mapping to design work systems. *Page 107 of: IIE Annual Conference. Proceedings*. Institute of Industrial Engineers.
- Langer, Josef, & Roland, Michael. 2010. *Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC)*. Springer-Verlag.
- McKinsey. 2012. Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation. *McKinsey Global Institute*.
- Moore, Gordon. 1965. Cramming more components onto integrated circuits, *Electronics*, vol. 38. *Apr*, 19.
- Morelli, Franco, Halbert, Tyler, Hignight, Micah, Kell, Zach, Lacy, Justin, & Rasmussen, BP. 2013. Automated Part Tracking and Metrology Applied to a Manufacturing Process. *Energy Systems Laboratory*.
- Murugaiah, Uthiyakumar, Benjamin, Samuel Jebaraj, Marathamuthu, M Srikamaladevi, & Muthaiyah, Saravanan. 2010. Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(5), 527–540.
- Norreklit, Hanne. 2000. The balance on the balanced scorecard a critical analysis of some of its assumptions. *Management accounting research*, 11(1), 65–88.
- OMG. 2010. Unified Modeling Language Infrastructure. Online erhältlich unter <http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/Infrastructure> abgerufen am 11. März 2016.
- Ōno, Taiichi. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-scale Production*. Productivity press, Cambridge, MA.
- Opperman, Charl A, & Hancke, Gerhard P. 2011. Using NFC-enabled phones for remote data acquisition and digital control. *Pages 1–6 of: AFRICON, 2011*. IEEE.
- Pagell, Mark. 2004. Understanding the factors that enable and inhibit the integration of operations, purchasing and logistics. *Journal of operations management*, 22(5), 459–487.

- Pantförder, Dorothea, Vogel-Heuser, Birgit, & Schweizer, Karin. 2009. Benefit and evaluation of interactive 3D process data visualization for the presentation of complex problems. *Pages 869–878 of: Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques*. Springer.
- Pavnaskar, SJ, Gershenson, JK, & Jambekar, AB. 2003. Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, **41**(13), 3075–3090.
- Pylipow, Peter E, & Royall, William E. 2001. Root cause analysis in a world-class manufacturing operation. *Quality*, **40**(10).
- Reeves, Byron, & Read, J Leighton. 2009. Total engagement. *Using Games and Virtual Worlds to change the way people work and businesses compete*, 132–133.
- Rodrigues, Rodrigo, & Liskov, Barbara. 2005. High availability in DHTs: Erasure coding vs. replication. *Pages 226–239 of: Peer-to-Peer Systems IV*. Springer.
- Rother, Mike, & Shook, John. 2003. *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Salen, Katie, & Zimmerman, Eric. 2004. *Rules of play: Game design fundamentals*. MIT press.
- Schipperijn, Jasper, Kerr, Jacqueline, Duncan, Scott, Madsen, Thomas, Klinker, Charlotte Demant, & Troelsen, Jens. 2014. Dynamic accuracy of GPS receivers for use in health research: a novel method to assess GPS accuracy in real-world settings. *Emerging Technologies to Promote and Evaluate Physical Activity*, 23.
- Serrano Lasa, Ibon, Ochoa Laburu, Carlos, & de Castro Vila, Rodolfo. 2008. An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, **14**(1), 39–52.
- Shakiba, Masoud, Singh, Jit, Singh, Mandeep, & Abdullah, Mardina. 2015. Intelligent Items Traceability System—RFID vs QR. 73–76.
- Sun, Chunling. 2012. Application of RFID technology for logistics on internet of things. *AASRI Procedia*, **1**, 106–111.
- Tamm, Gerrit, & Tribowski, Christoph. 2010. *RFID*. Springer-Verlag.
- Van Kranenburg, Rob. 2008. A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID.

- Vogel-Heuser, Birgit, Bayrak, Gülden, & Frank, Ursula. 2012. *Forschungsfragen in: Produktionsautomatisierung der Zukunft*. acatech.
- Wachter, Sabine, & Zaelke, Thomas. 2014. Systemkonsolidierung und Datenmigration als geschäftskritische Erfolgsfaktoren. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, **51**(2), 142–153.
- Wandke, Hartmut, Kain, Saskia, & Struve, Doreen. 2009. *Mensch und Computer 2009*. Oldenbourg Verlag.
- Westlund, Anders, & Lothgren, Mickael. 2001. The interactions between quality, productivity and economic performance: The case of Swedish pharmacies. *Total Quality Management*, **12**(3), 385–396.
- Womack, James P, & Jones, Daniel T. 1996. Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard business review*, **74**(5), 140.
- Zare Mehrjerdi, Yahia. 2011. RFID and its benefits: a multiple case analysis. *Assembly Automation*, **31**(3), 251–262.
- Zhong, Ray Y, Dai, QY, Qu, T, Hu, GJ, & Huang, George Q. 2013. RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **29**(2), 283–292.

## 12 Abkürzungsverzeichnis

1D	.....	Eindimensional
2D	.....	Zweidimensional
3D	.....	Dreidimensional
3G	.....	dritte Generation
4G	.....	vierte Generation
5G	.....	fünfte Generation
A <sub>p</sub>	.....	Pufferfläche
AHN	.....	Ad Hoc Network
AR	.....	Augmented Reality
ASCII	.....	American Standard Code for Information Interchange
B2B	.....	Business to Business
B2C	.....	Business to Consumer
B <sub>D</sub>	.....	durchschnittliche Liegezeit je Bearbeitungsschritt
B <sub>o</sub>	.....	offene Bearbeitungsschritte
BEP	.....	Break-Even-Point
BIP	.....	Bruttoinlandsprodukt
BM	.....	Bestandsmenge
BPMN	.....	Business Process Model and Notation
BPR	.....	Business Process Reengineering
BZ	.....	Bearbeitungszeit
bzw.	.....	beziehungsweise
ca.	.....	circa
CAD	.....	Computer Aided Design
CIM	.....	Computer Integrated Manufacturing
CPPS	.....	Cyber Physical Production System
CPS	.....	Cyber Physical System
DB	.....	Datenbank
DIN	.....	Deutsches Institut für Normung
DLZ	.....	Durchlaufzeit
EEPROM	...	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ER	.....	Entity-Relationship
ERP	.....	Enterprise Resource Planning
et al.	.....	et alia
FIFO	.....	First In First Out
FRAM	.....	Ferroelectric Random Access Memory

ges. ....	gesamt
GF ....	Gesamteinflussfaktor
GKA ....	Gesamtkapazitätsanteil
GPS ....	Global Positioning System
GSM ....	Global System for Mobile Communications
HF ....	High Frequency
I4.0 ....	Industrie 4.0
ID ....	Identifikator
IF ....	Informationsfluss
IFA ....	Informationsflussanalyse
IIS ....	Industrielles Informationssystem
IKT ....	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT ....	Internet of Things
IP ....	Internetprotokoll
IT ....	Informationstechnologie
k ....	Proportionalitätskonstante
K* ....	Kaltarbeitsstähle
KGL ....	koordinierender Gruppenleiter
KT ....	Kundentakt
KVP ....	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LBW ....	Lieferterminbewertung
LF ....	Low Frequency
LG ....	Losgröße
LK ....	Laufkarte
LTE ....	Long Term Evolution
M2M ....	Maschine zu Maschine
MDE ....	Maschinendatenerfassung
MES ....	Manufacturing Execution System
MW ....	Messerwechsel
MZ ....	Maschinenzustand
MZDE ....	Maschinenzeitdatenerfassung
NDEF ....	Near Field Communication Data Exchange Format
NFC ....	Near Field Communication
OPC-UA ...	Open Platform Communications Unified Architecture
PAN ....	Personal Area Network
PB ....	Pressblech
PDCA ....	Plan Do Check Act

PPS	Produktionsplanung und Produktionssteuerung
PS	subjektiver Prioritätseinflussfaktor
PZ	Prozesszeit
QR	Quick Response
RCPS	Root Cause Problem Solving
RFID	Radio-Frequency Identification
RM	Richtmaschine
RZ	Rüstzeit
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCM	Supply Chain Management
SHF	Super-High Frequency
SPS	Speicher Programmierbare Steuerung
Stk	Stück
$t_{\Delta}$	Lieferterminpuffer
u. a.	unter anderem
UHF	Ultra-High Frequency
UML	Unified Modeling Language
USD	United States Dollar
usw.	und so weiter
UW	Umlaufwert
V	Verfügbarkeit
vgl.	vergleiche
VSM	Value Stream Mapping
WAN	Wide Area Network
WBH	Wärmebehandlung
WLAN	Wireless Local Area Network
WSAN	Wireless Sensor Actuator Network
WSN	Wireless Sensor Network
z.B.	zum Beispiel
ZZ	Zykluszeit

## 13 Formelverzeichnis

7.1	Kundentakt	46
7.2	Durchlaufzeit	50
9.1	Lieferterminbewertung	117

## 14 Tabellenverzeichnis

8.1	Produktfamilien nach Arbeitsplänen . . . . .	59
8.2	Produktfamilienmatrix . . . . .	60
8.3	Kundentakt . . . . .	64
8.4	Verbesserungspotentiale . . . . .	75
8.5	Potentialmatrix . . . . .	76
8.6	Verbesserungspotentiale aus dem IST-Zustand . . . . .	83
8.7	Kausalitätsmatrix der Potentiale und Ziele . . . . .	85
8.8	Quantifizierung der Verbesserungspotentiale aus dem IST-Zustand . . . . .	88
9.1	Terminpriorisierungstabelle . . . . .	117
9.2	Bestandsbewertungstabelle Beispiel . . . . .	119
10.1	Investitionskosten . . . . .	133
10.2	Einsparungspotentiale . . . . .	134
10.3	Amortisationsrechnung . . . . .	134
B.1	Prozesszeiten beim Trennschneiden . . . . .	164
C.1	Eingangstabelle der Bestandsbewertungstabelle . . . . .	167

## 15 Abbildungsverzeichnis

1.1	Strukturierung der Arbeit . . . . .	2
4.1	Methodologie . . . . .	7
5.1	Automatisierungspyramide . . . . .	8
5.2	Swim-Lane Diagramm Beispiel . . . . .	13
6.1	Industrielle Revolutionen . . . . .	16
6.2	Visualisierung – Industrie 4.0 . . . . .	19
6.3	CPS Charakteristika . . . . .	21
6.4	zweidimensionaler QR-Code . . . . .	31
7.1	Wertstromdiagramm Beispiel . . . . .	49

7.2	modifiziertes Swim-Lane Diagramm . . . . .	54
8.1	Bearbeitungsreihenfolgen von S5, S6 und T3 . . . . .	61
8.2	tageweise kumulierte Kundenbedarfe 2015 . . . . .	62
8.3	Mittelwert der Kundenbedarfe . . . . .	63
8.4	Wertstromdiagramm der Kategorie Schere . . . . .	66
8.5	Wertstromdiagramm der Kategorie Trennschneiden . . . . .	69
8.6	Kundentakt und Prozesszeiten . . . . .	71
8.7	IF-Diagramm Auftragsabwicklung . . . . .	79
8.8	IF-Diagramm Fertigungsablauf . . . . .	81
8.9	Kausalitätsbaum der Potentiale und Ziele . . . . .	84
9.1	SOLL-Konzeptideen von Potential P4 . . . . .	95
9.2	Schwingungen bei Längsschnitten . . . . .	101
9.3	Schwingungsüberlagerung . . . . .	102
9.4	Schwingungen im unbelasten Bewegungszustand . . . . .	103
9.5	GPS Logs . . . . .	104
9.6	Datenbankkonzept MDE . . . . .	109
9.7	Materialtracking Ablaufvisualisierung . . . . .	113
9.8	Materialtracking-Erweiterung Ablaufvisualisierung . . . . .	114
9.9	Datenbankkonzept Materialtracking . . . . .	115
9.10	Restwert des Messers . . . . .	119
9.11	Informationscockpit Beispiel . . . . .	122
9.12	Materialflussvisualisierung . . . . .	123
10.1	Break-Even-Diagramm der Investitionen . . . . .	135
A.1	Kundenbedarfe 2015 . . . . .	153
A.2	Kundenbedarfe 2014 . . . . .	154
A.3	Kundenbedarfe 2013 . . . . .	154
D.1	Extech VB300 Datenblatt . . . . .	170
D.2	Qstarz BT-Q1000eX 10Hz Datenblatt . . . . .	171
D.3	Schwingungssensor IFM VSA001 Datenblatt . . . . .	174

---

D.4	Auswerteeinheit IFM VSE100 Datenblatt . . . . .	176
D.5	Microsoft Lumia 640 LTE Datenblatt . . . . .	179
D.6	NTAG213 Datenblatt . . . . .	181

## Teil VI

# Appendix

## A Kundenbedarfe der Vorjahre

### A.1 Kundenbedarf 2015

In Abbildung A.1 sind die Kundenbedarfe (mit Einträgen bezüglich der Menge und des Kundentaktes) des Kalenderjahres 2015 visualisiert. Bezogen auf die Gesamtmengen sind die Schwankungen des Kundentaktes nur gering. Bei den Bedarfen der N700SP sind die Schwankungen ausgeprägter und dabei bilden die Maximal- und Minimalwerte des Kundentaktes eine Differenz von rund 8 Stunden pro Tonne. Dies lässt sich zum Teil auf die Unterschiede in den Produktfamilienkategorien S5 und S6 zurückführen und dadurch erklären, dass in den „Ausreißermonaten“ eine ungleiche Aufteilung der Nachfrage zwischen S5 (ungeschliffene Pressbleche) und S6 (geschliffene Pressbleche) auftritt.<sup>262</sup> Gegen Anfang des Jahres sind höhere Kundentakte zu erkennen, die durch geringere Bedarfe an N700SP begründet werden können. Die Kaltarbeitsstähle K\* unterliegen geringeren Schwankungen, wobei im August ein Minimalwert der Menge (und somit ein Spitzenwert des Kundentaktes) zu erkennen ist. Dies lässt sich auf die geringere, urlaubsbedingte Auslastung in den Sommermonaten zurückführen (ähnlich auch zum Diagramm der Gesamtbedarfe). Die, durch Polynomregression ermittelten Trendlinien weisen nur geringe Steigungen auf. Es kann aber beobachtet werden, dass in der Mitte des Jahres niedrigere Kundentakte benötigt werden – im Speziellen bei den Pressblechen ( $\Rightarrow$  konvexe Funktion).

### A.2 Kundenbedarf 2014

In Abbildung A.2 sind Diagramme aus dem Kalenderjahr 2014 angeführt, wobei der Gesamtbedarf jenem aus dem Kalenderjahr 2015 ähnelt. Der Kundentakt bleibt, über das Jahr hinweg, relativ konstant und in den Urlaubsmonaten ist eine Erhöhung des Kundentaktes zu beobachten. Auch die Bedarfe an N700SP sind während dem Kalenderjahr 2014 auf relativ konstantem Niveau. Es tritt nur gegen Ende des Jahres ein Anstieg des Kundentaktes auf, der durch einen geringeren Bedarf an Pressblechen über die Weihnachtsfeiertage erklärt werden kann. Betrachtet man die K\* Bleche, so fällt auch hier wieder

<sup>262</sup>Wie sich während der Wertstromaufnahme zeigt, unterscheiden sich die beiden Familien in den maximalen Zykluszeiten um ca. 8 Stunden.

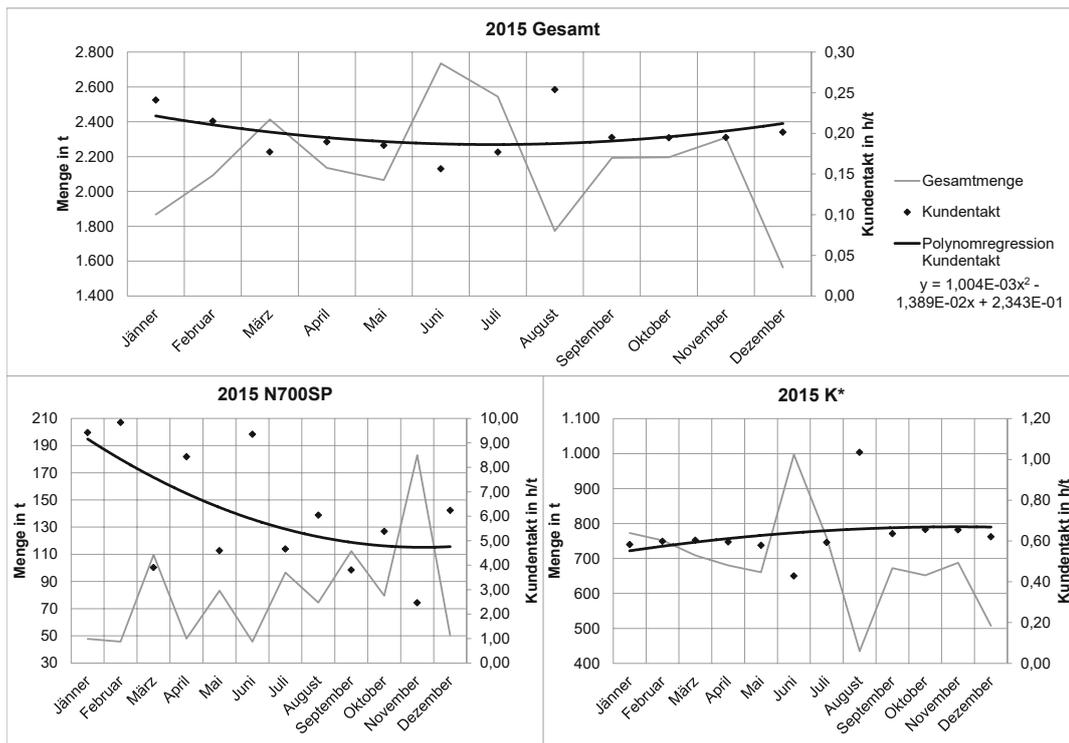


Abbildung A.1: Kundenbedarfe 2015

auf, dass die Bedarfe in den Urlaubsmonaten (speziell im August) deutlich zurückgehen. Betrachtet man die Trendlinien, so fällt auf, dass der Kundentakt (bezogen auf den Gesamtbedarf) auf annähernd linear-konstantem Niveau bleibt, wogegen die Trendlinie der N700SP Bleche einen konvexen Verlauf (aufgrund des Anstieges des Kundentaktes zu Jahresende) annimmt. Die Trendlinie der K\* hat eine leicht konkave Form aufgrund der geringeren Bedarfe zur Jahresmitte – speziell im August.

### A.3 Kundenbedarf 2013

In Abbildung A.3 sind Diagramme aus dem Kalenderjahr 2013 dargestellt, wo wieder eine relativ konstante Gesamtnachfrage über alle Monate herrscht, wenngleich auch hier wieder ein leichter Bedarfsrückgang über die Sommermonate zu beobachten ist. Der Kundentakt der N700SP schwankt im Kalenderjahr 2013 noch stärker als im Kalenderjahr 2015, wobei die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert bei über 10 Stunden pro Tonne liegt („Ausreißermonat“ im Februar). Dabei tritt der Minimalwert des Bedarfes im Dezember auf, wie auch schon in den anderen beiden analysierten Jahren. Aufgrund der höheren Anzahl an Feiertagen im Dezember, ist dennoch der höchste Kundentakt im Februar zu erkennen. Im Diagramm sind auch bei den Kaltarbeitsstählen Bedarfsschwankungen zu erkennen, die dieses Mal neben den Sommermonaten, auch im März und in

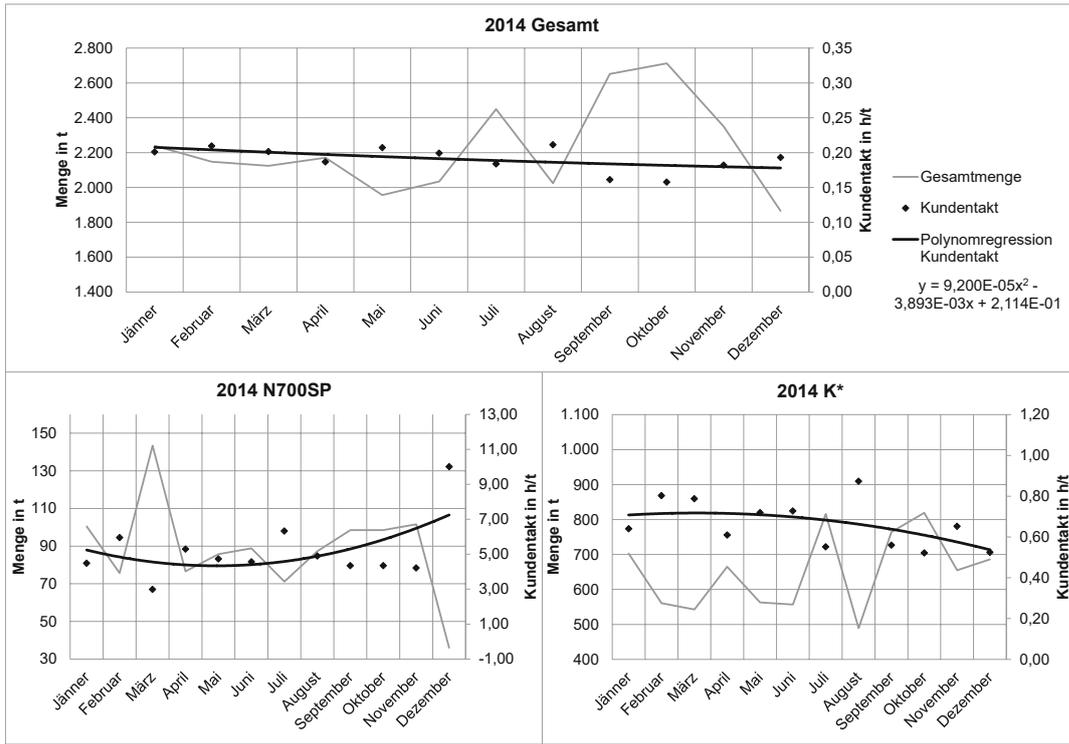


Abbildung A.2: Kundenbedarfe 2014

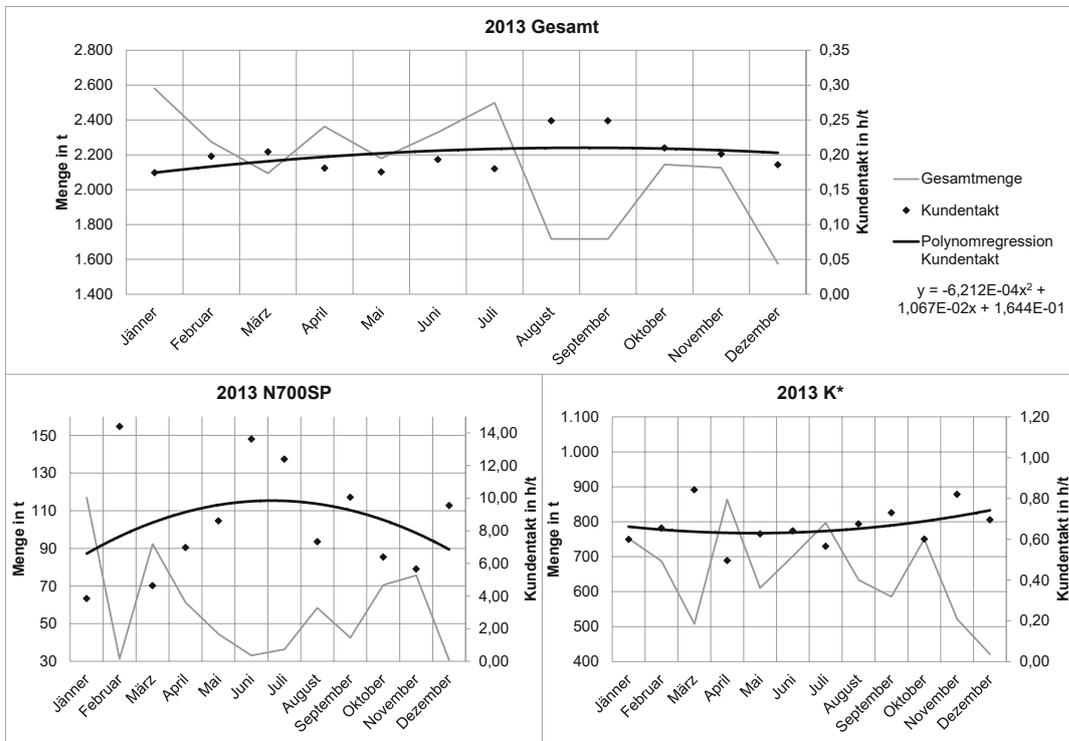


Abbildung A.3: Kundenbedarfe 2013

den Wintermonaten auftreten (weniger starke Auswirkung auf den Kundentakt, da im Dezember viele Feiertage sind). Die Trendlinie, bezogen auf den Gesamtbedarf, weist einen leichten, annähernd linearen Anstieg über das Jahr hinweg auf. Bezogen auf die Pressbleche ist im Kalenderjahr 2013 eine konkave Form der Funktion zu erkennen, was durch die niedrigen Bedarfe in der Jahresmitte begründet werden kann. Der Trend des Kundentaktes bezüglich der Kaltarbeitsstähle  $K^*$  weist eine konvexe Form (niedrige Kundenbedarfe zu Jahresbeginn und -ende) auf.

## B Wertstromanalyse – Prozessbeschreibungen

### B.1 Prozessbeschreibungen Wertstromaufnahme S6

**Richten (Prozesse 1, 5, 9):** Im Wertstromdiagramm (Abbildung 8.4) werden die Prozesse 1, 5 und 9 durch Richten repräsentiert. Die dabei untersuchte Richtmaschine hat die betriebsinterne Bezeichnung Richtmaschine 1 und ist etwas abseits positioniert. Das Richten dient der Erhöhung der Ebenheit der Bleche. Dazu werden die Tafelbleche mehrmals durch die Richtwalzen gefördert, wobei je nach Qualität und Dimension die Anzahl an Stichen variieren kann.

- **Prozess 1:** Das erste Richten sorgt für eine Reduktion der Welligkeit und ermöglicht im Folgendem erst das Vorschneiden durch die Schere, da stark wellige Bleche nur schwer bis gar nicht geschnitten werden können.
- **Prozess 5:** Bevor der Beizvorgang durchgeführt wird, erfolgt ein erneutes Richten. Dadurch platzt der Zunder ab und der zeitkritischere Beizvorgang kann schneller durchgeführt werden.
- **Prozess 9:** Der letzte Richtvorgang, das Planrichten, ist das abschließende, genaue Richten der Tafelbleche.

Richten ist, laut dem verwendeten Arbeitsplan, der erste Prozessschritt. Das Material kommt aus dem Warmwalzwerk in Hönigsberg. Bei Prozess 5 kommt das Material aus der daneben angeordneten Glüherei und bei Prozess 9, dem abschließendem Planrichten, kommt das Material von der Schere (untersucht wurde die Schere 1), wo es zuvor fertiggeschnitten wurde. Die Arbeitsaufgaben werden anhand von Laufkarten<sup>263</sup> an die Mitarbeiter weitergegeben, wobei der Gruppenleiter für die Zuordnung der richtigen Laufkarten zuständig ist. Zum Analysezeitpunkt beträgt der Bestand aller Richtmaschinen laut SAP 4 Stück N700SP (0,9t). Der Gesamtbestand (aller Qualitäten) an den Richtmaschinen beträgt rund 330 Tonnen und 3.300 Stück. Hinsichtlich der Prozesszeiten sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass sie starken Schwankungen unterliegen und von Blech zu Blech unterschiedlich sind – Intervall zwischen fünf und 20 Minuten je Stück. Um die Darstellung im Wertstromdiagramm zu optimieren, wurde ein Mittelwert gebildet. Betrachtet man das Richten, so fallen folgende KAIZEN-Blitze auf:

- Das Pufferlager ist unübersichtlich und überfüllt. Wird ein bestimmtes Los benötigt, müssen aufgrund von Platzmangel zusätzliche Hebearbeiten durchgeführt werden, um das betroffene Los zugänglich zu machen.

<sup>263</sup>Begriffsdefinition siehe Abschnitt 5.9 Laufkarte

- Die Auftragsabfolge kann nur bedingt gesteuert werden, da gewisse Bleche nur auf einer reinen Maschine gerichtet werden dürfen.

**Schere (Prozesse 2, 8):** Grundsätzlich verfügt BÖHLER Bleche über drei Scheranlagen. Dazu zählen die Schere 1, die auch im vorliegendem Fall untersucht wird, die Scherenlinie, die stärker automatisiert ist und die Schere 3, die für den Zuschnitt von kleineren Formaten verwendet wird. Bezogen auf die Gesamtmasse werden rund 72% der schergeschnittenen Tafelbleche an der Schere 1 bearbeitet und hinsichtlich der betrachteten Pressbleche liegt der Anteil der Schere 1 bei 98%.<sup>264</sup>

**Prozess 2:** Beim Vorschneiden werden die Tafelbleche auf zwei Seiten zugeschnitten, um die nachfolgenden Bearbeitungen zu vereinfachen – im Speziellen das Lösungsglügen (vereinfachtes Stapeln).

**Prozess 8:** Beim Fertigschneiden werden die Tafelbleche auf Maß zugeschnitten.

Die Arbeitsaufgaben werden anhand von Laufkarten an die Mitarbeiter weitergegeben. Dabei ist der betroffene, koordinierende Gruppenleiter für die Zuordnung der richtigen Laufkarten zuständig. Alternativ müssen die Laufkarten auch manuell von den Mitarbeitern beschafft werden. Der Bestand beträgt 4 Stück (3,2t) der Qualität N700SP. Da auf der Schere 1 auch zahlreiche andere Tafelbleche geschnitten werden, beträgt der Gesamtbestand rund 240 Tonnen, wobei der gesamte Pufferlagerplatz an der Anlage belegt ist. Es fallen folgende KAIZEN-Blitze auf:

- Analog zum zuvor besprochenen Richten ist das Pufferlager unübersichtlich und überfüllt. Dadurch sind auch hier zusätzliche Hebearbeiten notwendig, um an das gewünschte Los zu gelangen.
- Es treten zum Teil lange Wartezeiten auf, wenn ein Los erprobt werden muss und das Fertigschneiden erst nach einer Freigabe erfolgen kann. Dadurch häufen sich große Bestände an der Anlage an.
- Auffallend ist auch die unklare Entscheidungskompetenz bei Qualitätsmängeln, die zum Großteil von vorgelagerten Prozessen verursacht werden und der intransparente Informationsfluss bei der Laufkartenbeschaffung. Ähnlich auch bei einem Messerwechsel – hochwertige Qualitäten können nur mit einem neuwertigem Messer geschnitten werden, aber die Entscheidung wann ein Wechseln erfolgt, ist dabei oft unklar und von subjektiven Einschätzungen geprägt.
- Lange Nebenzeiten (~40% der Gesamtzeit), die durch Einheben eines neuen Loses und speziell auch durch das Schrotträumen verursacht werden.

<sup>264</sup>Datenbasis aus den Rückmeldungen im SAP aus dem KJ 2015

**Strahlen (Prozess 3):** Während der Wertstromaufnahme der Produktfamilie S6 wird die „kleine“ Strahlanlage (Strahlanlage 1) betrachtet. Zum Teil werden die N700SP Bleche auch auf der zweiten Strahlanlage behandelt, wobei die Aufteilung auf die zwei Strahlanlagen dimensionsabhängig ist.<sup>265</sup> Abgesehen von der Dimension unterscheiden sich die beiden Strahlanlagen nicht bzw. nur minimal und weisen die selben Zykluszeiten auf.

Die Aufgabe der Strahlanlage ist es, die Tafelbleche durch Stahlkugeln vom Zunder zu befreien und dabei die Bleche zu reinigen. Eventuell wird nach dem Richten (Prozess 5) noch einmal gestrahlt, um die Effizienz des Beizens zusätzlich zu erhöhen (Reduktion der Prozesszeit beim Beizen).

Analog zu den beiden, bereits besprochenen Bearbeitungsschritten erfolgt die Vergabe der Arbeitsanweisungen über Laufkarten. Zusätzlich wird angemerkt, dass die Laufkarten zum Teil auch selbstständig aus einem Archiv entnommen werden. Während der Analyse beträgt der Gesamtbestand der „kleinen“ Strahlanlage 2.153 Stück, mit einer Gesamtmasse von 131 Tonnen. Auch hier ist das Lager sehr voll und benötigte Lose sind teilweise unter anderen „vergraben“. Der Bestand der N700SP beträgt bei der „kleinen“ Strahlanlage 116 Stück (23,3t). Auf der Strahlanlage 2 befinden sich zu diesem Zeitpunkt 45 Stück (36,4t) N700SP. Bei einer Betrachtung hinsichtlich KAIZEN fällt hier auch der hohe Bestand und der niedrige Digitalisierungsgrad auf.

**Wärmebehandlung – „Glüherei“ (Prozesse 4, 10):** Während der Wertstromaufnahme von S6 werden die Verfahren Lösungsglügen und Aushärten betrachtet. Die Aufgaben der Glüherei sind vielseitig und unterscheiden sich nach den verschiedenen Qualitäten und Dimensionen. Auch die Anzahl der Wärmebehandlungen unterscheidet sich zwischen den einzelnen Arbeitsplänen.

**Prozess 4, Lösungsglügen:** Beim Lösungsglügen liegt die Prozesszeit bei  $(\frac{32min}{2Stk})$ . Ist die Dicke geringer, dann kann auch dreilagig gefahren werden, was zu einer Prozesszeit von  $\frac{32min}{3Stk}$  führt – der Großteil jedoch wird zweilagig gefahren. Nach dem Lösungsglügen werden die Bleche verpresst (manuelle, in der Prozesszeit untergehende Bearbeitungszeit in etwa  $\frac{10min}{2Stk}$  bzw.  $\frac{10min}{3Stk}$ ), wobei die Prozessdauer entweder 7 Tage ( $\frac{7d}{27Stk}$ ) oder 10 Tage ( $\frac{10d}{53Stk}$ ) beträgt. Aus diesen Werten errechnet sich dann die für die Berechnung der Durchlaufzeit relevante Zykluszeit:  $ZZ = (\frac{32min}{2Stk} + (\frac{7 \cdot 24 \cdot 60min}{27Stk} + \frac{10 \cdot 24 \cdot 60min}{53Stk}) \cdot \frac{1}{2}) \cdot \frac{1h}{60min} = 5,7 \frac{h}{Stk}$

**Prozess 10, Aushärten:** Beim Aushärten liegen die Prozesszeiten der Pressbleche bei rund 4 Tagen für 26 Stück. Daraus errechnet sich die Zykluszeit zu:  $ZZ = \frac{4d \cdot 24h}{26} = 3,7 \frac{h}{Stk}$

Analog zu den bereits besprochenen Prozessen erfolgt die Vergabe der Arbeitsanweisungen in der Glüherei über Laufkarten. Diese werden mit dem Material von Hönigsberg

<sup>265</sup> große Pressbleche werden nur auf der Strahlanlage 2 behandelt

mitgeliefert. (Die Glüherei ist gleichzeitig auch der Wareneingang.) Während der Wertstromaufnahme beträgt der Gesamtbestand der WBH 3.656 Stück (633t). Der Bestand der Qualität N700SP beträgt 58 Stück (27,4t) zum Analysezeitpunkt. Das Material kommt zum Großteil direkt aus Hönigsberg. Bei manchen Qualitäten, ist die Wärmebehandlung jedoch nicht der erste Prozess – so auch bei der betrachteten Qualität, den Pressblechen. Hierbei ist der vorgelagerte Prozess das Strahlen (bei Prozess 4) und das Planrichten (bei Prozess 10). Folgende KAIZEN-Blitze werden im Rahmen der Wertstromaufnahme aufgenommen:

- Lange unbeeinflussbare Prozesszeiten (Material- und Dimensionsabhängigkeit)
- Oft schlechte Kapazitätsanpassung seitens Hönigsberg
- Hohe, teils zu hohe, Bestände  $\Rightarrow$  dadurch treten zusätzliche Hebearbeiten auf, um an die gewünschten Lose zu gelangen.

**Prozess 6 – Beizen:** Die Beizerei befindet sich etwas abseits der Haupthalle und ist direkt neben der Richtmaschine 1 (gemäß des Flusses der Pressbleche) positioniert. Beim Beizen werden die Tafelbleche in eine Vorrichtung gespannt und in ein Säurebad gelassen, um die Oberfläche zu verändern und die Reinheit zu erhöhen. Dabei bleiben die Bleche eine Zeit im Säurebad, das aus Mischsäure<sup>266</sup> besteht. Nach dem Vorgang werden die Tafelbleche gespült und von Säurerückständen befreit, wobei dafür eine Bürstanlage zur Verfügung steht. Bei Blechen mit großen Abmessungen müssen die Bleche manuell gereinigt werden, da die Bürstanlage ein Dimensionsmaximum besitzt – dies trifft für einen Großteil der Pressbleche zu.

Die Arbeitsanweisungen erfolgen durch Laufkarten, die zu Schichtbeginn aus einem Archiv geholt werden. Das Material kommt von der Richtmaschine 1, wobei jedoch die Abfolge Richten  $\Leftrightarrow$  Beizen werkstoffbedingt vertauscht sein kann. Zum betrachteten Zeitpunkt beträgt der Gesamtbestand 718 Stück (104t). Aus einer SAP Abfrage wird ermittelt, dass sich zum analysierten Zeitpunkt kein Material der Qualität N700SP in der Beizerei befindet. Nachteilig fällt folgendes auf: Die Auftragsabfolge ist werkstoffabhängig, da für gewisse Bleche ein spezieller Säurezustand gewährleistet sein muss, weshalb die Auftragsabfolge ad hoc bestimmt wird.

**Prozesse 7, 12 – (Vor-) Sortieren Pressbleche:** Das Sortieren<sup>267</sup> wird in Vorsortieren und Sortieren unterteilt. Grundsätzlich gibt es bei BÖHLER Bleche eine eigene Sortierabteilung. Die Pressbleche werden jedoch in der Schleiferei vor- und endsortiert.

<sup>266</sup> Salpetersäure, Schwefelsäure und Flusssäure

<sup>267</sup> Sortieren ist eine betriebsinterne Bezeichnung für die Qualitätskontrolle

**Prozess 7:** Beim Vorsortieren werden die Tafelbleche abgemessen, Sichtgeprüft und die Stärke an vordefinierten Punkten gemessen. Die durchzuführenden Messungen sind in einem Prüfungsprotokoll vermerkt. Messgrößen werden ins Prüfprotokoll eingetragen und anschließend wird das Protokoll in die Büroabteilung weitergeleitet. Nach der Zuteilung der Bleche erfolgt ein Versandauftrag, worin die Bleche weiterbearbeitet werden (bei Lageraufträgen).

**Prozess 12:** Beim abschließenden Sortieren wird nochmals Sichtgeprüft und die Bleche werden verpackt.

Die Arbeitsanweisungen sind in den Laufkarten und im Prüfungsprotokoll vermerkt. Zum Analysezeitpunkt sind 12 Stück (7,4t) der Qualität N700SP beim Vorsortieren vorhanden. In der gesamten Abteilung „Pressbleche sortieren“ herrscht ein Bestand von 58 Stück (15,9 Tonnen) an Pressblechen vor. Der gesamte Bestand beträgt 830 Stück (43,2t). Die Stückzahlen sind in dieser Abteilung aber mit Vorsicht zu betrachten, da sie zum Teil Zugschnitte enthalten, die eine geringe Masse besitzen und nicht mit den großen Tafelblechen verglichen werden können. Es fallen folgende KAIZEN-Blitze auf:

- Die Prüfungsprotokolle werden händisch ausgefüllt und weitergegeben  $\Rightarrow$  längere Reaktionszeiten und Medienbruch.
- Unübersichtliche Einteilung der Sortierabteilungen

**Prozess 11 – Schleifen:** Das Schleifen beinhaltet mehrere, inhärente Arbeitsvorgänge, die nach Werkstofftyp und Kundenwünschen stark variieren. Der Prozess „Schleifen“ ist somit eine Zusammenfassung der, nach dem Werkstattprinzip organisierten Schleiferei.

Bezogen auf das untersuchte Produkt sind die Tätigkeiten zwei, voneinander getrennte Schleifvorgänge, die zur Vereinfachung in einem Prozesskasten zusammengefasst werden (dabei können jeweils zwei Anlagen gleichzeitig verwendet werden  $\Rightarrow$  die Zykluszeit entspricht der halben Prozesszeit). Zunächst wird auf ein Grobmaß plangeschliffen und anschließend folgt ein Feinschleifen, um die vom Kunden gewünschten Oberflächeneigenschaften zu erreichen. Der Schleifprozess ist an sich optional und tritt nur in der Produktgruppe S6<sup>268</sup> auf. Ähnlich wie bei den bisher besprochenen Prozessen werden auch hier die Arbeitsaufgaben mit Laufkarten weitergegeben. Die Bestände der Pressbleche betragen an allen Schleifaggregaten (Plan- und Fertigschleifanlagen sowie Querschleifanlage) 81 Stück (24,4t). Während der Analyse des Prozesses konnte ein KAIZEN-Blitz in der Abteilung eruiert werden. Die bereits vorhandenen Informationssysteme werden

<sup>268</sup>Produkte aus S5 (auch N700SP) werden nicht geschliffen

nur schlecht ausgenutzt. Obwohl EDV-Systeme an den jeweiligen Arbeitsplätzen bereitstehen, erfolgt die Auftragssteuerung und Tätigkeitsbeschreibung durch Informationen aus den Laufkarten.

**Prozess 13 – Versand:** Beim Versand werden zunächst die Aufträge kommissioniert und in ein Kommissionierlager gebracht, um den darauf anschließenden Verladevorgang zu beschleunigen.

Die Avisierungsaufträge werden vom PPS am Vormittag vergeben, um eine interne Planung des Warenausgangs zu vereinfachen. Zum Zeitpunkt der Analyse befinden sich 13,6 Tonnen der Qualität N700SP im Lager. Eine Schätzung des Gesamtbestandes im Lager liegt bei über 1.000 Tonnen. Folgende KAIZEN-Blitze sind zu erkennen:

- Das Lager ist stark überfüllt und sehr unübersichtlich.
- Es gibt zum Teil sehr hohe Auslastungsschwankungen. Während zu Monatsbeginn nur wenige LKW (ungefähr sechs) pro Tag zu verladen sind, kommt es gegen Monatsende zu einer Vielzahl an Verladetätigkeiten (bis zu 18 LKW pro Tag). Diese Schwankungen sind auch aus einer tageweisen Kumulierung der Kundenbedarfe zu erkennen.<sup>269</sup>
- Die Aufträge müssen während des Kommissionierens erst gesucht werden. Dabei hängt die Dauer des Kommissionierens von der Kompetenz der Mitarbeiter ab. Langjährige Mitarbeiter haben ein eigenes Konzept zum Lagermanagement entwickelt, arbeiten dabei aber gänzlich ohne EDV-Unterstützung. Ein zeiteffizientes Kommissionieren ist jedoch für ungeübte Mitarbeiter fast unmöglich.

## B.2 Prozessbeschreibungen Wertstromaufnahme T3

**Prozess 1 – Wärmebehandlung („Glüherei“):** Auch in der Produktfamilie T3 tritt eine Wärmebehandlung in den Bearbeitungsschritten auf. Die Prozesszeiten sind unterschiedlich, sowie werkstoff- und dimensionsabhängig. Die Produktfamilie T3 wird weichgeglüht. Dieser Vorgang kann bei verschiedenen Öfen durchgeführt werden, wobei die Prozesszeiten auch hinsichtlich der Öfen unterschiedlich sind.

Um für das Wertstromdiagramm geeignete Werte für die Prozesszeiten und Zykluszeiten zu erhalten, erfolgt zunächst eine Kategorisierung hinsichtlich der Öfen::

---

<sup>269</sup>vgl. Abbildung 8.2

**Custodis-Herdwagenofen:** Beim Herdwagenofen beträgt die Prozesszeit 26 bis 27 Stunden (plus 6 Stunden) für 75 Tonnen Material.  $ZZ = \left(\frac{26h+27h}{2} + 6h\right) \cdot \frac{1}{75t} = 0,43\frac{h}{t}$

**Rollenherdofen 1 und 3:** Die Rollenherdöfen arbeiten mit Prozesszeiten um die 24 Stunden.  $ZZ = \frac{24h}{30t} = 0,8\frac{h}{t}$

**Haubenöfen:** In Summe gibt es 16 Haubenöfen<sup>270</sup>, die unterschiedliche Tonnagen aufnehmen. Die gesamte Prozesszeit beträgt für alle Haubenöfen 4 Tage. Aus den Einflussgrößen Tonnage, Ofenanzahl und Prozesszeit wurde eine gewichtete, mittlere Zykluszeit ermittelt.  $ZZ = 1,78\frac{h}{t}$

Die Zykluszeiten der Öfen werden über die beschriebenen Kategorien gemittelt  $ZZ = \left(0,43\frac{h}{t} + 2 \cdot 0,8\frac{h}{t} + 1,78\frac{h}{t}\right) \cdot \frac{1}{4^2} = 1,28 \cdot \frac{1}{4}\frac{h}{t} = 0,32\frac{h}{t}$  und schließlich kann die Durchlaufzeit berechnet werden, indem davon ausgegangen wird, dass sich der Bestand gleichmäßig auf alle Öfen aufteilt  $DLZ = 1,28\frac{h}{t} \cdot \frac{1}{4\text{Öfen}} \cdot 204,6t \cdot \frac{1d}{24h} = 2,7d$ .

Die Vergabe der Arbeitsanweisungen erfolgt, wie in der Prozessbeschreibung der Produktfamilie S6 angeführt, über die Laufkarten. Während der Wertstromaufnahme beträgt der Gesamtbestand der Glüherei 3.656 Stück (633 Tonnen), wobei der Bestand der Qualität K\* 1.069 Stück (204,6t) ausmacht. Die auftretenden KAIZEN-Blitze sind analog zu jenen aus der ersten Wertstromanalyse, wobei zusätzlich noch die Variantenvielfalt auffällt – für die selbe Bearbeitung stehen unterschiedliche Aggregate mit unterschiedlichen Prozess- und Zykluszeiten zur Verfügung.

**Prozess 2 – Strahlen:** Während der Wertstromaufnahme der Produktfamilie T3 wird vor Ort die „große“ Strahlanlage (Strahlanlage 2) betrachtet. Da die Qualitäten aus T3 im Schnitt eine hohe Dicke (dies trifft für den Großteil der trenngeschnittenen Bleche zu) aufweisen, werden die betroffenen Tafelbleche zumeist auf der „großen“ Strahlanlage behandelt.

Die Aufgaben der Strahlanlage sind für die Produktfamilie T3 analog zu jenen der Produktfamilie S6. Eventuell wird nach dem finalen Richten (Prozess 6) noch einmal gestrahlt.

Analog zu den, bereits besprochenen Prozessen erfolgt die Vergabe der Arbeitsanweisungen über Laufkarten. Zum Analysezeitpunkt beträgt der Gesamtbestand an K\* der beiden Strahlanlagen 507 Stück (89,3t). Der Großteil befindet sich im Puffer der Strahlanlage 2. Auch hier stimmen die KAIZEN-Blitze mit jenen aus der ersten Wertstromaufnahme überein.

<sup>270</sup>6 kleine, 6 mittlere und 4 große

**Prozesse 3, 6 – Richten** In der Wertstromanalyse wird die „Rau-Richtmaschine“ (RM6). Dimensionsbedingt (trenngeschnittene Bleche haben meist eine hohe Dicke) wird der Großteil der Tafelbleche aus der Produktfamilie T3 auf der RM6 gerichtet.

**Prozess 3:** Richten der Tafelbleche, um ein anschließendes Trennschneiden (nach dem Vorsortieren) zu ermöglichen.

**Prozess 6:** Abschließendes Planrichten der Tafelbleche

Die Arbeitsaufgaben werden anhand von Laufkarten an die Mitarbeiter weitergegeben. Dabei ist der Gruppenleiter für die Zuordnung der richtigen Laufkarten zuständig. Richten ist, laut dem verwendeten Arbeitsplan, der dritte Prozessschritt und dabei kommt das Material vom Strahlen. Bei stark welligen Blechen muss bereits vor dem Strahlen gerichtet werden. Bei Prozess 6, dem abschließendem Planrichten, kommt das Material vom Trennschneiden, wo es zuvor auf Maß zugeschnitten wurde. Der Bestand aller Richtmaschinen beträgt 556 Stück (64,9t) der Qualitäten K\*, wobei der Großteil an der Rau-Richtmaschine anfällt. Die ermittelten Verbesserungspotentiale sind auch hier wieder analog zur ersten Wertstromaufnahme.

**Prozess 4 – Vorsortieren:** Das Vorsortieren erfolgt auf einer, eigens dafür ausgelegten, Anlage, die gemäß des Wertstroms direkt neben der Rau-Richtmaschine positioniert ist, die den Großteil der Bleche als vorgelagerten Arbeitsschritt zum Vorsortieren bearbeitet. Beim Vorsortieren werden die Bleche durch eine Sichtkontrolle auf Fehler überprüft. Bei manchen Tafelblechen wird zusätzlich eine Brinell-Härteprüfung durchgeführt. Sind augenscheinliche Fehler zu erkennen, werden diese dann direkt vor Ort ausgeschliffen. Während des Sortierens werden die Tafelbleche auch gewendet.

Die durchzuführenden Tätigkeiten werden durch Laufkarten definiert, die von einer zentralen Ablage entnommen werden. Messdaten werden dann in die Laufkarten eingetragen und auch in die SAP-Software übertragen. Der Bestand an der Anlage beträgt zum Analysezeitpunkt 19 Stück (4,1t) an Kaltarbeitsstählen K\*. Als KAIZEN-Blitz wird das redundante Eintragen der Messdaten (sowohl in die Laufkarten als auch in das SAP) identifiziert.

**Prozess 5 – Trennschneiden:** Trennschneiden bezeichnet einen Arbeitsbereich mit Kreis- und Bandsägen, die für das Kaltschneiden (speziell von Kaltarbeitsstählen) verwendet werden. Die Aufgaben der Mitarbeiter bestehen dabei darin, die zu bearbeitenden Bleche in die Sägemaschinen einzulegen und zu spannen. Die teils langen Prozesszeiten sind je nach Dicken und Längen stark unterschiedlich. Daher bedient ein Mitarbeiter zeitgleich jeweils zwei Maschinen.

Die Arbeitsaufgaben sind, wie in fast allen Prozessen, in den Laufkarten vermerkt, die vom KGL (koordinierender Gruppenleiter) zu Schichtbeginn zugewiesen werden (Go and See Planung). Zum Zeitpunkt der Wertstromaufnahme beträgt der Bestand an K\* laut SAP 154 Stück (105,2t). Die Prozesszeiten errechnen sich anhand des Bestandes zum Analysezeitpunkt und bilden einen Mittelwert über unterschiedliche Dimensionen. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle B.1 angeführt. Während der Analyse fallen folgende KAIZEN-Blitze auf:

- Einheben ist nur durch einen Magnetkran möglich (nicht-magnetische Werkstoffe müssen plasmageschnitten werden)
- Wenig IT-Unterstützung, manuelle Berechnung der Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten

Umspannzeit in min	Breite in mm	Dicke in mm	Länge in mm	Schneid- zeit +USP	Breite in mm	Dicke in mm	Länge in mm	Schneid- zeit +USP	Breite in mm	Dicke in mm	Länge in mm	Schneid- zeit +USP	Menge in kg	Menge in kg	
5	durchschnittlich				maximal				minimal				Ref.	durch.	
K100	1022	16,95	2316	94	1330	45,00	4000	152	1000	10,00	2000	86	33007	210,23	
K105	800	10,50	3000	104	800	10,50	3000	104	800	10,50	3000	104	1541	256,83	
K107	1035	19,89	2371	95	1200	52,50	4000	159	1000	11,00	2050	87	29259	352,52	
K110	1050	43,96	2254	122	1750	110,00	4500	293	205	10,00	924	49	679123	519,21	
K305	895	26,69	2358	92	1600	76,58	3048	158	505	10,00	924	49	156792	287,16	
K340	1132	48	2109	98	1600	101	3000	168	400	13	1400	57	81790	985,43	
K390PM	759	22	1135	69	1020	51	1200	100	303	10	1020	53	5677	177,41	
K460	827	18	2288	88	1600	40	3048	134	100	10	150	21	72601	226,17	
K600	1154	43	2459	108	1500	100	4500	215	1000	11	1800	81	88593	877,16	
W302	1144	52	2252	126	1600	105	3000	224	505	15	1200	71	113250	1192,11	
<b>Durchschnitt gew.:</b>				<b>114</b>	<b>Durchschnitt gew.:</b>				<b>255</b>	<b>Durchschnitt gew.:</b>				<b>58</b>	
<b>Durchschnitt gewichtet nach Menge Gesamt:</b>								<b>142,45</b>							

Tabelle B.1: Prozesszeiten beim Trennschneiden bei Dicken >10mm

**Prozess 7 – Sortieren:** Beim Sortieren werden die Tafelbleche abgemessen, Sichtgeprüft und die Stärke wird an vordefinierten Punkten gemessen. Des Weiteren werden die Bleche und Blechzuschnitte in Prozessschritt 7 verpackt.

Die Arbeitsaufgaben sind in den, mit dem Material mitgelieferten Laufkarten angeführt und werden vom koordinierenden Gruppenleiter zugeteilt. Zum analysierten Zeitpunkt sind 1.246 Stück (47,7t)<sup>271</sup> der Qualität K\* an der Stelle „Sortieren“ rückgemeldet. Dazu sei angemerkt, dass sich diese Bestände nur schwer zeitlich bewerten lassen, da der Prüf- und Verpackungsaufwand je nach den Abmessungen und den Qualitäten der Bleche stark schwankt. Des Weiteren sei angemerkt, dass auch die Schichten schwanken. Drei Arbeiter führen einen Dreischichtbetrieb aus, während in der Vormittagsschicht zum Teil 8 Personen anwesend sind. Dies erschwert zusätzlich die Errechnung der Durchlaufzeit.

<sup>271</sup>hohe Stückzahl, da teilweise Zuschnitte mit geringer Masse beinhaltet sind

Um dennoch Durchlaufzeiten zu erhalten, wurden die Werte im Diagramm gemittelt. Des Weiteren ist anzumerken, dass aufgrund der Komplexität dieses Prozesses, der GKA nicht ermittelt werden konnte und somit keine Rückschlüsse auf die Gesamtproduktion möglich sind. Als KAIZEN-Blitz ist speziell die geringe IT-Unterstützung am Arbeitsplatz auffallend.

**Prozess 8 –Versand:** Der finale, die Produktfamilie T3 betreffende Prozess ist der Versand. Der Ablauf und auch die KAIZEN-Blitze decken sich hierbei vollständig mit der ersten Wertstromanalyse.

## C Bestandsbewertungstabelle

Die in der Konzeptausarbeitung beschriebene Bestandsbewertungstabelle (Tabelle 9.2) greift auf eine Reihe an Daten zurück, die automatisiert aus den Datenbanksystemen (IGH und SAP) ausgelesen werden können. In Abbildung C.1 ist die erste Seite der Eingangstabelle<sup>272</sup> der Bestandsbewertung dargestellt.

Die dargestellte Tabelle besteht dabei aus drei Bereichen. Der erste, statische Bereich besteht dabei aus Einträgen, die einmalig ermittelt werden müssen und die Grundlage der Auswertungen bilden. Dazu ist jeder Qualität ein durchschnittlicher monetärer Wert und ein notwendiger Maschinenzustand zugeordnet. Die Umlaufwerte (UW) wurden aus Daten des Bestandscontrollings des Kalenderjahres 2015 anhand einer Durchschnittsbildung abgeleitet und sind in der Tabelle in Werte je Tonne dargestellt. Der angeführte notwendige Maschinenzustand (MZ) basiert dabei auf Schätzwerten (basierend auf den Umlaufwerten) und bedarf noch einiger Anpassungen durch Fachwissen der Mitarbeiter. Neben einer Zuordnung dieser Werte in statischer Form zu den Qualitäten ist auch eine dynamische Bewertung, basierend auf den Aufträgen denkbar. Der zweite Bereich der Tabelle wird durch dynamisch veränderbare Werte gebildet. Die Bestandsmenge (BM) summiert die aktuellen Bestände einer Qualität an einer Anlage auf und kann direkt aus dem SAP ausgelesen werden.<sup>273</sup> Die beiden weiteren dynamischen Einträge stellen neue Kennzahlen dar, die den jeweiligen Aufträgen zugeordnet werden. Dabei werden die Einflussfaktoren PS und LBW bzw. der daraus ermittelte Gesamteinflussfaktor GF aus Tabelle 9.1 verwendet. Der letzte Bereich der Eingabetabelle wird von Auswertungshilfstabellen gebildet, die die beschriebenen Eingangsgrößen auswerten. Die Bestandsbewertung basiert dabei auf der in der Tabelle dargestellten Formel  $UW \cdot BM$  und berücksichtigt die monetäre Bestandsbewertung. Die nebenstehende Spalte „Verz-Bew. absolut“ stellt die Bewertung der terminlichen Priorität dar, wobei sich die jeweiligen Werte basierend auf einer Multiplikation des Faktors GF mit den jeweiligen Umlaufwerten errechnen. Darüber hinaus sind zwei Hilfstabellen mit den Werten „1“ oder „0“ dargestellt, die den jeweils notwendigen Maschinenzustand zur Bearbeitung einer Qualität mit dem vorhanden Maschinenzustand aus der Bestandsbewertungstabelle (Tabelle 9.2) vergleichen. Daraus werden schließlich die Bewertungen in die beiden Kategorien „Bearbeitung noch möglich“ und „Bearbeitung nicht möglich“ unterteilt, aus denen die Bestandsbewertungstabelle wiederum eine Summe bildet, die schließlich eine Gegenüberstellung der Kosten von „Messer Wechseln“ und „Messer nicht Wechseln“ ermöglicht.

<sup>272</sup>Die Eingangstabelle beinhaltet alle Qualitäten – der Übersicht halber wird zur Erklärung nur die erste Seite dargestellt und beschrieben.

<sup>273</sup>Im Beispiel sind die Bestände von der Schere 1 vom 12. Mai 2016 angeführt.

Qualität einzutragen	statische Werte		dynamische, veränderbare Werte			Auswertungshilfstabellen					
	UW in €	Notw. MZ 1 bis 10	Bestandmenge BM in t	Gesamteinflussfaktor GF $LBW^{(1+PS/2)}$	Bestandsbew. Ges UW*BM	Verz.-Bew. absolut	Bearb. N. Möglich 1 oder 0	Bewertung nicht m	Bearb. Möglich 1 oder 0	Bewertung noch m	
A101	€ 5.455,68	8,3	2,77	4,5%	€ 15.123,13	€ 680,54	1,0	15123,1	0,0	0,0	
A220SC	€ 9.790,52	9,5	1,09	3,0%	€ 10.661,88	€ 319,86	1,0	10661,9	0,0	0,0	
A308	€ 3.029,63	6,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A506	€ 3.445,67	6,6	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A610	€ 4.265,36	7,5	3,47	0,8%	€ 14.796,54	€ 118,37	1,0	14796,5	0,0	0,0	
A611	€ 4.819,27	7,9	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A700MK	€ 8.604,46	9,3	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A750	€ 5.218,78	8,1	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A911SA	€ 5.581,24	8,3	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A913	€ 6.295,09	8,6	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A924	€ 4.479,88	7,7	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A952	€ 11.949,66	9,7	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A965SA	€ 7.443,66	9,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A970	€ 13.702,73	9,9	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A976SF	€ 11.915,69	9,7	5,40	0,3%	€ 64.376,88	€ 193,13	1,0	64376,9	0,0	0,0	
A976SL	€ 7.999,66	9,1	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A976SO	€ 2.966,60	5,9	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
A982SA	€ 8.013,74	9,1	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
APWT	€ 2.043,22	3,7	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
C579	€ 247,22	1,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	1,0	0,0	
D242SA	€ 2.590,39	5,2	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
ENAMEL	€ 1.475,96	1,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	0,0	0,0	1,0	0,0	
F550SE	€ 2.054,82	3,7	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H160	€ 3.479,69	6,7	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H300	€ 3.739,36	7,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H500MG	€ 10.777,94	9,6	2,07	4,2%	€ 22.310,35	€ 937,03	1,0	22310,3	0,0	0,0	
H500RB	€ 8.241,68	9,2	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H500	€ 4.156,98	7,4	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H521	€ 9.128,63	9,4	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H525	€ 7.415,69	9,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
H535	€ 6.307,73	8,6	7,38	1,2%	€ 46.576,30	€ 558,92	1,0	46576,3	0,0	0,0	
K100	€ 2.094,23	3,8	4,05	4,7%	€ 8.492,09	€ 399,13	1,0	8492,1	0,0	0,0	
K105	€ 2.460,34	4,9	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K107	€ 2.254,20	4,3	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K110	€ 2.103,95	3,9	6,29	5,9%	€ 13.240,73	€ 781,20	1,0	13240,7	0,0	0,0	
K110MG	€ 2.465,29	4,9	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K200	€ 978,43	1,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	0,0	0,0	1,0	0,0	
K294PM	€ 13.705,96	9,9	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K295PM	€ 1.321,81	1,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
K305	€ 1.631,17	1,8	8,35	3,7%	€ 13.612,16	€ 503,65	0,0	0,0	1,0	13612,2	
K320MG	€ 1.671,35	2,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	0,0	0,0	1,0	0,0	
K329	€ 1.860,40	2,9	10,71	0,9%	€ 19.927,26	€ 179,35	0,0	0,0	1,0	19927,3	
K337	€ 1.950,96	3,3	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K340	€ 2.510,58	5,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K342	€ 4.472,76	7,6	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K349	€ 251,47	1,0	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	0,0	0,0	1,0	0,0	
K390PM	€ 11.579,69	9,7	0,00	0,0%	€ 0,00	€ 0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	
K460	€ 1.809,01	2,7	8,27	1,2%	€ 14.967,70	€ 179,61	0,0	0,0	1,0	14967,7	

Tabelle C.1: Eingangstabelle der Bestandsbewertungstabelle

## D Ausgewählte Hardware

### D.1 Hardware zur Überprüfung der Hypothesen

Zur Überprüfung der konzeptionellen Ideen, die in Abschnitt 9 gebildet wurden, werden Sensoren benötigt, deren technischen Spezifikationen in den folgenden Ausführungen in detaillierter Form angegeben werden.<sup>274</sup>

#### D.1.1 Schwingungslogger – Extech VB300

Wie im Praxisteil der Arbeit beschrieben, fiel die Wahl zur Hypothesenvalidierung der Hypothese 1 auf den Schwingungslogger Extech VB300. Der rund 200 Euro teure Dreiachsen-schwingungssensor ist speziell zur schnellen und unkomplizierten Erfassung von Beschleunigungen bzw. Schwingungen geeignet. Durch seine Verfügbarkeit bei vielen Händlern konnte er binnen weniger Tage beschafft werden. Hinsichtlich seiner technischen Spezifikationen sei an das Datenblatt (Abbildung D.1) verwiesen.

#### D.1.2 GPS-Tracker – Qstarz BT-Q1000eX 10Hz

Um die Genauigkeit der GPS-Signale zu ermitteln, wurde der GPS-Tracker „Qstarz BT-Q1000eX 10Hz“ ausgewählt. Das beiliegende Datenblatt ist dreiseitig und wird in den Abbildungen D.2 dargestellt.

### D.2 Hardware zur Konzeptumsetzung

An dieser Stelle sollen nun auch die technischen Spezifikationen der erstellten Hardwareempfehlungen für die Konzeptumsetzung angegeben werden.<sup>275</sup>

#### D.2.1 Schwingungssensorsystem

Das Schwingungssensorsystem besteht aus dem Sensor „IFM VSA001“, dessen Datenblatt in Abbildung D.3 dargestellt ist und der Auswerteeinheit „IFM VSE100“, deren Datenblatt in Abbildung D.4 angeführt ist.

<sup>274</sup>Falls nicht anders angegeben, sind die Datenblätter von den Herstellerwebseiten.

<sup>275</sup>Falls nicht anders angegeben, sind die jeweiligen Datenblätter von den Herstellerwebseiten.

## D.2.2 NFC-System

Zum Einlesen der NFC-Transponder wurde das NFC-fähige Smartphone „Microsoft Lumia 640“ ausgewählt. Das Datenblatt ist in Abbildung D.5 angeführt.<sup>276</sup>

In der vorliegenden Arbeit wird der NFC-Transponder „NTAG213“ des Herstellers NXP Semiconductors vorgeschlagen. Der renommierte Produzent war federführend an der Entwicklung von Near Field Communication beteiligt und ist ein Gründungsmitglied des NFC Forums, das sich der Weiterentwicklung und Standardisierung von NFC verschrieben hat. Ein Auszug aus dem Datenblatt des NFC-Transponder „NTAG213“ ist in Abbildung D.6 angeführt. Das vollständige Datenblatt ist unter dem, in der Fußzeile angegebenen Link verfügbar.<sup>277</sup>

<sup>276</sup>Seitens des Herstellers ist kein Datenblatt vorhanden – somit wurde auf eine Onlinerecherche zurückgegriffen ([http://www.gsmarena.com/microsoft\\_lumia\\_640\\_lte-7055.php](http://www.gsmarena.com/microsoft_lumia_640_lte-7055.php); Abfrage am 01.06.2016).

<sup>277</sup>[http://cache.nxp.com/documents/data\\_sheet/NTAG213\\_215\\_216.pdf](http://cache.nxp.com/documents/data_sheet/NTAG213_215_216.pdf); Abfrage am 02.06.2016

**EXTECH**  
 INSTRUMENTS

 Experience the **Extech**  
**Advantage**

PRODUCT DATASHEET

## 3-Axis G-Force Datalogger

**Built-in 3-axis accelerometers record the time when shock occurs**  
 Measure and compute real-time spectral data using FFT

### Features:

- Record storage, transport or operational data over time
- USB interface for easy set-up and data download
- Record and time 3-axis shock and peaks
- Real time FFT Frequency and Time-Domain Vibration Analysis
- Datalogs 112028 Motion Detection samples per axis, or 168042 Normal samples
- Selectable X-, Y-, Z-axis or any combination (via software)
- Selectable data sampling rate: 50ms to 24 hours
- Manual and Programmable start modes
- User-programmable record threshold
- Long battery life
- Complete with Magnetized/Bolt-on Mounting Base, 3.6V Lithium battery and Windows®98, 2000, XP, Vista, Win 7 (32-bit and 64-bit) compatible analysis software



Records shock and vibration history in shipping containers

USB connector easily plugs into a computer for data analysis

Specifications	
Sensor Type	MEMS semiconductor
Acceleration Sampling Rate (Datalogger)	200Hz
Acceleration Range	±18g
Acceleration Resolution	0.00625g
Acceleration Accuracy	±0.5g
Bandwidth	0 to 60Hz
Sampling rate (Software)	500 ms to 24 hours
Memory	4Mbit Flash; 112028 Motion Detection samples per axis, or 168042 Normal samples
Data Format	Time stamped peak acceleration, average and peak vector sum
Dimensions	3.7 x 1.1 x 0.8" (95 x 28 x 21mm)
Weight	1oz (20g)

### Ordering Information:

VB300 .....Three Axis G-Force Datalogger  
 42299 .....3.6V Lithium Battery (pkg of 2)


[www.extech.com](http://www.extech.com)

Specifications subject to change without notice.  
 Copyright © 2004-2014 FLIR Systems, Inc. All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form.

72314 - R1

Abbildung D.1: Extech VB300 Datenblatt



## GPS Rundenzeitmesser mit 10Hz eXtreme Recorder

### BT-Q1000eX 10Hz

Bis zu zehn Wegpunkte pro Sekunde verarbeitet das neue BT-Q1000eX 10Hz von Qstarz durch den 10 Hz High Speed Log Modus. Diese Loggeschwindigkeit wird durch den neuen **MTK II** Chipsatz mit **66 Kanal** Parallelempfang (**-165 dBm**) und **10 Hz**. Updaterate erreicht. Durch die **A-GPS-Fähigkeit** des Chipsatzes ist ein Satellitenfix innerhalb von 15 Sekunden möglich. Weiterhin zeichnet sich dieser Empfänger unter anderem auch durch sein extrem energiesparendes Verhalten aus. Mit einem aufgeladenen Akku kann eine Betriebszeit von bis zu 42 Stunden erreicht werden. Durch den eingebauten Vibrationssensor erkennt das BT-Q1000eX 10Hz Bewegung und schaltet sich nach 10 Minuten Stillstand in den Sleep Modus um Akkukapazität und Logspeicher zu sparen. Durch ein schütteln ist das BT-Q1000eX Hz sofort wieder betriebsbereit.

Mit einem Gewicht von nur 65 Gramm inklusive Akku ist der BT-Q1000eX 10 Hz ein leichter Begleiter für den Radfahrer, Jogger oder Fußgänger. Die genauen Positionsdaten werden via Bluetooth oder Kabel übertragen. Eine Bluetooth-Reichweite von 10 m sorgt für Flexibilität im Einsatz.



### Gehäuse

Der BT-Q1000eX 10 Hz ist klein und handlich in einem Design aus schwarz und Ferrari-rot und verfügt über eine rutschfeste Unterseite. Auf der linken Seite befindet sich der Schalter für OF, 1Hz und 10Hz. Auf der rechten Seite ist der Mini-USB-Anschluss angebracht. Auf der Oberseite ist die rote POI-Taste, umgeben von 3 LED Anzeigen, die den Status von GPS-Empfang, Bluetooth-Verbindung und Batterie anzeigen.

### GPS Datenlogger

Der BT-Q1000eX 10 Hz kann bis zu 400.000 Wegpunkte aufzeichnen und im 10Hz Modus ist das Speichern von 10 Wegpunkten pro Sekunde möglich. Somit werden auch plötzliche Richtungsänderungen optimal gespeichert. Das Intervall der Aufzeichnung kann manuell variiert werden. Die Aufzeichnung kann in Strecke, Zeit und Geschwindigkeit erfolgen. Um unnötige Speicherplatzbelegung zu vermeiden, ist eine automatische Log-Option vorhanden, in der das Gerät erst dann eine Position loggt, wenn es wirklich nötig ist, wobei man diese Automatik-Funktion auch manuell beeinflussen kann.

Über die mitgelieferte Software werden die zurück gelegten Strecken ausgewertet. Durch die Eingabe von Start/Endpunkt wertet die Software Rundenzeiten aus und es ist möglich einzelne Sektor Zeiten auszuwerten.

Die im Speicher abgelegten Aufzeichnungen können in Google® Earth und Google® Maps angezeigt werden. Die dafür nötige Software ist im Lieferumfang enthalten. Exporte in andere Formate wie GPX, NMEA, PLT, CSV oder TEXT ist möglich.

Variotek GmbH / Wiesenstraße 21A / 40549 Düsseldorf / Germany  
 USt-Ident.Nr.: DE256330232  
 Handelsregister Amtsgericht Düsseldorf HRB 64205  
 WEEE Reg.Nr.: DE55340387

Fon + 49 (0) 211 508630-0 / Fax + 49 (0)211 508630-29  
 Geschäftsführung: Karim Kabir  
 E-Mail info@variotek.de  
 www.variotek.de

Abbildung D.2: Qstarz BT-Q1000eX 10Hz Datenblatt



### Eigenschaften

- Hochempfindlicher MTK II Chipsatz -165dBm
- 66 Kanal Parallempfang
- Niedriger Stromverbrauch, bis zu 42Std. nach voller Aufladung (im 1Hz Modus)
- Unterstützung des 10 Hz Hochgeschwindigkeits Log-Modus
- Speicherplatz für bis zu 400.000 Trackpunkte
- Durch AGPS-Unterstützung ist ein Satellitenfix in weniger als 15 Sek. möglich
- Leicht bedienbare Schaltung von 1Hz Modus zum 10 Hz Modus
- Signalisiert durch piepen den aktuellen Status des Gerätes
- Speichern der aktuellen Position auf Knopfdruck.
- Aufzeichnung des Reisewegs in Google Earth
- Aufzeichnung des Reisewegs in Google Maps
- Sichern Sie Ihr Reisetagebuch als GPX/PLT/CSV/NMEA/Google Earth Datei
- Schnelle Positionsbestimmung, Kaltstart 35 Sek., Warmstart 33 Sek., Heißstart 1 Sek.
- Unterstützung von WAAS+EGNOS
- Der integrierte Vibrationssensor erkennt, ob das Gerät in Bewegung ist und schaltet ab, wenn sich das Gerät nicht verwendet wird.
- Dualfunktion: Bluetooth- und kabelgebundenes GPS in einem

### Lieferumfang

- BT-Q1000eX 10Hz
- Aufladbarer Akku
- Autoladegerät
- Software QRacing, QSports & QTravel
- Treibersoftware
- Kurzanleitung in verschiedenen Sprachen

VarioTek GmbH /Wiesenstraße 21A / 40549 Düsseldorf / Germany  
 USt-Ident.Nr. DE256330232  
 Handelsregister Amtsgericht Düsseldorf HRB 64205  
 WEEE Reg.Nr.: DE55340387

Fon + 49 (0) 211 508630-0 / Fax + 49 (0)211 508630-29  
 Geschäftsführung: Karim Kabir  
 E-Mail info@variotek.de  
 www.variotek.de



## Technische Daten

Allgemein		Genauigkeit (ohne DGPS)	
GPS Chipsatz	MTK II GPS Modul	Position	
Frequenz	L1, 1575.42MHz	3.0m 2D-RMS <3m CEP(50%) ohne SA(horizontal) DGPS (WAAS, EGNOS, MSAS, RTCM): 2.5m	
C/A Code	1.023MHz Chiprate	Geschwindigkeit	0.1m/s. DGPS(WAAS, EGNOS, MSAS, RTCM): 0.05m/s
Kanäle	66 CH performance tracking	Zeit	50 ns RMS
Antennentyp (intern)	Patch Antenne mit LNA	Datum	WGS-84
Empfindlichkeit		Dynamische Umstände	
Tracking -165 dBm		Höhe	<18.000m
Acquisitionsraten		Geschwindigkeit	<515m/Sek
Kaltstart	35 Sek. im Durchschnitt	Beschleunigung	<4g
Warmstart	33 Sek. im Durchschnitt	Aktualisierung	1Hz oder 10 Hz (Über Software einstellbar)
Hotstart	1 Sek. im Durchschnitt	Anschlüsse	
Re-acquisition	< 1 Sek.	Bluetooth	V1.2 konform (SPP profil)
AGPS	< 15 Sek.		Klasse 2 (10 Meter in freiem Gelände)
Strom		Frequenz: 2.4~2.4835 GHz	
Aufladbarer Li-ion Akku		Power Ein/Aus	Schiebeschalter (On/Off – 1Hz – 5Hz)
Eingangsspannung	Vin: DC 3.0-5.0V	Power Aufladung	Mini USB
Ersatzspannung	DC 1.2 ± 10%	GPS Protokoll	
Ladezeit	3Std.	NMEA-0183 (V3.01) – GGA, GSA, GSV, RMC (Standard) VTG, GLL (Optional), Baudrate 115200 bps, Data bit : 8, stop bit : 1	
Umgebungsbeding		Abmessung	
Betriebstemperatur	- 10 °C bis + 60 °C	72.2 (L) X 46.5 (B) X 20 (H) mm	
Lagertemperatur	- 20 °C bis + 60 °C		
Ladetemperatur	0 °C bis + 45 °C		
Zubehör		USB Bridge	
12V Auto Ladegerät	USB Kabel	Völlig konform mit USB2.0	
Aufladbarer Akku	Treibersoftware CD	Standard	
Quick Guide in verschiedenen Sprachen	Ledertasche	Höchstgeschwindigkeit	12Mbps

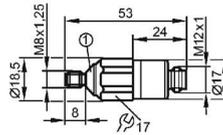
**efectoreo**



### VSA001

VIBRATION SENSOR

Diagnosesysteme



1: Konuswinkel = 90°



#### Produktmerkmale

Beschleunigungssensor

VSA

Steckverbindung

zum Anschluss an externe Diagnoseelektronik Typ VSE

#### Einsatzbereich

Einsatzbereich Schwingungserfassung bis  $\pm 25$  g

#### Elektrische Daten

Betriebsspannung [V] 7,2...10,8 DC

Stromaufnahme [mA] < 15

Schutzklasse III

#### Ausgänge

Analog

Stromausgang [mA] 0...10

#### Mess- / Einstellbereich

Messprinzip kapazitiv

Messbereich [g]  $\pm 25$

Frequenzbereich [Hz] 0...6000

#### Genauigkeit / Abweichungen

Empfindlichkeit [mg/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ] 0,2

Linearität 0,2 %

#### Umgebungsbedingungen

Umgebungstemperatur [°C] -30...125, cULus: max. 85 °C

Schutzart IP 68 / IP 69K

#### Zulassungen / Prüfungen

EMV EN 61000-6-2  
EN 61000-6-3  
EN 50178

MTTF [Jahre] 1818

#### Mechanische Daten

Sensorart Mikroelektromechanisches System (MEMS)

Anzahl Messachsen 1

Mechanische Überlastfestigkeit [g] 500

Max. Länge des Sensorkabels [m] 250

Gehäusewerkstoffe Gehäuse: V4A (1.4404)

Gewicht [kg] 0,048

#### Elektrischer Anschluss

Abbildung D.3: Schwingungssensor IFM VSA001 Datenblatt

**efectoreed**



**VSA001**

VIBRATION SENSOR

Diagnosesysteme

Anschluss	M12-Steckverbindung
<b>Anschlussbelegung</b>	
1: L+ (+9 V)	
2: I out	
3: GND	
4: Test	
<b>Zubehör</b>	
Zubehör (optional)	Konische Unterlegscheibe E30115 (5 Stück)
<b>Bemerkungen</b>	
Verpackungseinheit [Stück]	1

ifm electronic gmbh • Friedrichstraße 1 • 45128 Essen — Technische Änderungen behalten wir uns ohne Ankündigung vor! — DE — VSA001 — 08.10.2015

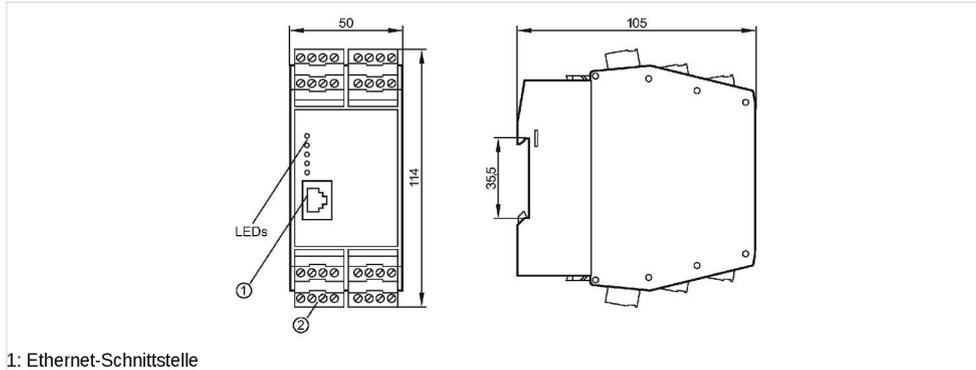
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

**efectoreo****VSE100**

DIAGNOSTIC ELECTRONICS



Diagnosesysteme



1: Ethernet-Schnittstelle

**Produktmerkmale**

Diagnoseelektronik für Schwingungssensoren

VSE

Kunststoffgehäuse

Combi-con Anschluss

Integrierter Historienspeicher mit Echtzeituhr

Zählerfunktion

Ethernet Schnittstelle TCP/IP

Aktive Kabelbruchererkennung und Selbsttest (nur MEMS) der angeschlossenen Beschleunigungssensoren

Parametrierbar über PC-Software VES004

**Elektrische Daten**Betriebsspannung [V] 24 DC  $\pm$  20 % \*)

Stromaufnahme [mA] 200 (24 V)

Schutzklasse III

**Ein- / Ausgänge**

Beschaltung 4 Eingänge dynamisch, einzeln konfigurierbar: 0...10 mA, IEPE oder 0/4...20 mA  
 2 Eingänge statisch: 0/4...20 mA (0...10 V) oder Impuls (galvanisch getrennt)  
 2 digitale Alarm-Ausgänge (PNP 100 mA) oder 1 digitaler Ausgang und 1 analoger Ausgang 0/4...20/22 mA (0...10 V)

Ein- / Ausgänge gesamt 16, konfigurierbar

Dynamisch (Anzahl) 4

**Eingänge**

Dynamischer Eingang 0...10 mA, IEPE oder 0/4...20 mA

Digital

Beschaltung HTL-Pegel

Analog

Eingangssignal 0/4...20 mA oder 0...10 V oder Impuls

Auflösung [Bit] 12

**Ausgänge**

Digital

Ausgang OU 1 = Schaltausgang oder Analogausgang / OU 2 (I/O 1...8) = Schaltausgang

Ausgangsfunktion Schließer / Öffner programmierbar

Abbildung D.4: Auswerteeinheit IFM VSE100 Datenblatt

**efectoreo®**

Diagnosesysteme

**VSE100**

DIAGNOSTIC ELECTRONICS

Strombelastbarkeit je Ausgang [mA]	100
Spannungsabfall [V]	< 2
Kurzschlusschutz	getaktet
Überlastfest	ja
Analog	
Stromausgang [mA]	0/4...20/22; oder 0...10 V
Max. Bürde [Ω]	500
<b>Mess- / Einstellbereich</b>	
Samplingrate [kSamples]	≤ 100
<b>Software / Programmierung</b>	
Historienspeicher	Ringspeicher, FIFO (max. 881664 Werte)
<b>Schnittstellen</b>	
Datenschnittstelle	Ethernet TCP/IP
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Umgebungstemperatur [°C]	0...70
Lagertemperatur [°C]	0...70
Schutzart	IP 20
<b>Zulassungen / Prüfungen</b>	
EMV	EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 EN 50178
MTTF [Jahre]	89
<b>Mechanische Daten</b>	
Max. Länge des Sensorkabels [m]	250
Gehäusewerkstoffe	PA
Montageart	Tragschienenmontage
Gewicht [kg]	0,357
<b>Elektrischer Anschluss</b>	
Anschluss	Combicon
<b>Anschlussbelegung</b>	



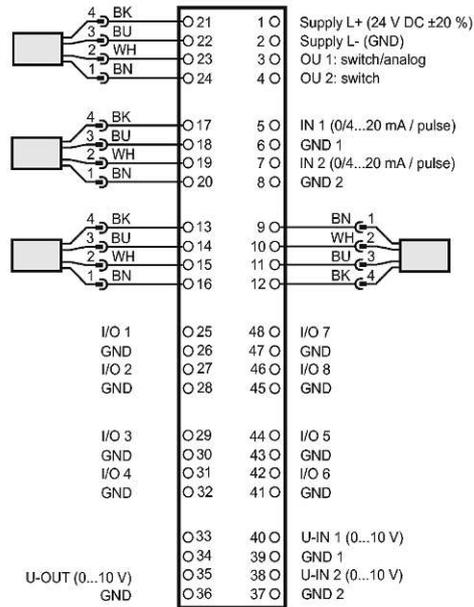
**VSE100**  
DIAGNOSTIC ELECTRONICS



Diagnosesysteme

1: L+ bei Verwendung eines VSP-Beschleunigungssensors oder IEPE-Sensors 24 V DC ± 20%

9...24: Sensorspezifisch siehe Bedienungsanleitung



**Zubehör**

Zubehör (optional)

Gekreuztes Patchkabel für die Direktverbindung von Diagnoseelektronik VSExxx an PC Ethernet-Schnittstelle

**Bemerkungen**

Bemerkungen

\*) bei Verwendung eines IEPE-Eingangs 24 V + 20% (Integrated Electronics Piezo Electric)

Verpackungseinheit [Stück]

1

ifm electronic gmbh • Friedrichstraße 1 • 45128 Essen — Technische Änderungen behalten wir uns ohne Ankündigung vor! — DE — VSE100 — 27.10.2015

Microsoft Lumia 640 LTE

[f](#)
[t](#)
[g+](#)



📅 Released 2015, April  
📱 145g, 8.8mm thickness  
</> Microsoft Windows Phone 8.1 with ...  
💾 8GB storage, microSD card slot

📈  
4.0%  
4,929,697 HITS

❤️  
191  
BECOME A FAN

📏  
5.0"  
720x1280 pixels

📷  
8MP  
1080p

💻  
1GB RAM  
Snapdragon 400

🔋  
2500mAh  
Li-Ion

👁️ REVIEW
 💬 OPINIONS
🔍 COMPARE
🖼️ PICTURES
🔄 360° VIEW

			COLLAPSE ▲	
<b>NETWORK</b>	<b>Technology</b>	GSM / HSPA / LTE		
	<b>2G bands</b>	GSM 850 / 900 / 1800 / 1900		
	<b>3G bands</b>	HSDPA 850 / 900 / 2100		
		HSDPA 850 / 1700(AWS) / 1900 / 2100 - T-Mobile		
	<b>4G bands</b>	LTE band 1(2100), 3(1800), 7(2600), 8(900), 20(800)		
		LTE band 1(2100), 2(1900), 4(1700/2100), 5(850), 7(2600), 12(700), 17(700) - T-Mobile		
	<b>Speed</b>	HSPA 42.2/5.76 Mbps, LTE Cat4 150/50 Mbps		
	<b>GPRS</b>	Yes		
	<b>EDGE</b>	Yes		
<b>LAUNCH</b>	<b>Announced</b>	2015, March		
	<b>Status</b>	Available. Released 2015, April		
<b>BODY</b>	<b>Dimensions</b>	141.3 x 72.2 x 8.8 mm (5.56 x 2.84 x 0.35 in)		
	<b>Weight</b>	145 g (5.11 oz)		
	<b>SIM</b>	Micro-SIM		
<b>DISPLAY</b>	<b>Type</b>	IPS LCD capacitive touchscreen, 16M colors		
	<b>Size</b>	5.0 inches (~67.6% screen-to-body ratio)		
	<b>Resolution</b>	720 x 1280 pixels (~294 ppi pixel density)		
	<b>Multitouch</b>	Yes		
	<b>Protection</b>	Corning Gorilla Glass 3 - ClearBlack display		
<b>PLATFORM</b>	<b>OS</b>	Microsoft Windows Phone 8.1 with Lumia Denim		
	<b>Chipset</b>	Qualcomm MSM8926 Snapdragon 400		
	<b>CPU</b>	Quad-core 1.2 GHz Cortex-A7		
	<b>GPU</b>	Adreno 305		
<b>MEMORY</b>	<b>Card slot</b>	microSD, up to 128 GB (dedicated slot)		
	<b>Internal</b>	8 GB, 1 GB RAM		
<b>CAMERA</b>	<b>Primary</b>	8 MP, f/2.2, 28mm, autofocus, LED flash, <a href="#">check quality</a>		
	<b>Features</b>	1/4" sensor size		
	<b>Video</b>	1080p@30fps, <a href="#">check quality</a>		
	<b>Secondary</b>	1 MP, 720p		
<b>SOUND</b>	<b>Alert types</b>	Vibration; MP3, WAV ringtones		
	<b>Loudspeaker</b>	Yes		
	<b>3.5mm jack</b>	Yes		

Abbildung D.5: Microsoft Lumia 640 LTE Datenblatt

<b>COMMS</b>	<b>WLAN</b>	Wi-Fi 802.11 b/g/n, DLNA, hotspot
	<b>Bluetooth</b>	v4.0, A2DP
	<b>GPS</b>	Yes, with A-GPS, GLONASS, BDS
	<b>NFC</b>	Yes
	<b>Radio</b>	FM radio
	<b>USB</b>	microUSB v2.0
<b>FEATURES</b>	<b>Sensors</b>	Accelerometer, proximity, compass
	<b>Messaging</b>	SMS (threaded view), MMS, Email, Push Email, IM
	<b>Browser</b>	HTML5
	<b>Java</b>	No
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- MP3/WAV/eAAC+/WMA player</li> <li>- MP4/H.264/WMV player</li> <li>- OneDrive (30 GB cloud storage)</li> <li>- Document viewer</li> <li>- Photo/video editor</li> </ul>
<b>BATTERY</b>		Removable Li-Ion 2500 mAh battery
	<b>Stand-by</b>	Up to 864 h (2G) / Up to 864 h (3G)
	<b>Talk time</b>	Up to 26 h 30 min (2G) / Up to 17 h 30 min (3G)

NXP Semiconductors

**NTAG213/215/216**

NFC Forum T2T compliant IC with 144/504/888 bytes user memory

**11. Limiting values**

Stresses exceeding one or more of the limiting values can cause permanent damage to the device. Exposure to limiting values for extended periods can affect device reliability.

Table 43. Limiting values  
In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
$I_i$	input current	-	40	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	-	120	mW
$T_{stg}$	storage temperature	-55	125	°C
$V_{ESD}$	electrostatic discharge voltage on LA/LB <sup>[1]</sup>	2	-	kV

[1] ANSI/ESDA/JEDEC JS-001; Human body model: C = 100 pF, R = 1.5 kΩ

**12. Characteristics**

Table 44. Characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$T_{amb}$	ambient temperature		-25	-	70	°C
$C_i$	input capacitance		-	50.0	-	pF
$f_i$	input frequency		-	13.56	-	MHz
EEPROM characteristics						
$t_{ret}$	retention time	$T_{amb} = 22\text{ °C}$	10	-	-	year
$N_{endu(W)}$	write endurance	$T_{amb} = 22\text{ °C}$	100.000	-	-	cycle

**13. Wafer specification**

For more details on the wafer delivery forms see [Ref. 5](#).

Table 45. Wafer specifications NTAG213/215/216

<b>Wafer</b>	
diameter	200 mm typical (8 inches)
maximum diameter after foil expansion	210 mm
thickness	
NT2L1x11G0DUD	120 μm ± 15 μm
NT2L1x11G0DUF	75 μm ± 10 μm
flatness	not applicable
Potential Good Dies per Wafer (PGDW)	86470
<b>Wafer backside</b>	
material	Si
treatment	ground and stress relieve
roughness	$R_a$ max = 0.5 μm
	$R_t$ max = 5 μm
Chip dimensions	

NTAG213\_215\_216

All information provided in this document is subject to legal disclaimers.

© NXP Semiconductors N.V. 2015. All rights reserved.

Product data sheet  
COMPANY PUBLICRev. 3.2 — 2 June 2015  
265332

48 of 60

## Abbildung D.6: NTAG213 Datenblatt

NXP Semiconductors

**NTAG213/215/216**

NFC Forum T2T compliant IC with 144/504/888 bytes user memory

Table 45. Wafer specifications NTAG213/215/216

step size <sup>[1]</sup>	x = 505 $\mu\text{m}$
	y = 720 $\mu\text{m}$
gap between chips <sup>[1]</sup>	typical = 20 $\mu\text{m}$
	minimum = 5 $\mu\text{m}$
Passivation	
type	sandwich structure
material	PSG / nitride
thickness	500 nm / 600 nm
Au bump (substrate connected to VSS)	
material	> 99.9 % pure Au
hardness	35 to 80 HV 0.005
shear strength	> 70 MPa
height	18 $\mu\text{m}$
height uniformity	within a die = $\pm 2 \mu\text{m}$
	within a wafer = $\pm 3 \mu\text{m}$
	wafer to wafer = $\pm 4 \mu\text{m}$
flatness	minimum = $\pm 1.5 \mu\text{m}$
size	LA, LB, GND, TP <sup>[2]</sup> = 60 $\mu\text{m}$ $\times$ 60 $\mu\text{m}$
size variation	$\pm 5 \mu\text{m}$
under bump metallization	sputtered TiW

[1] The step size and the gap between chips may vary due to changing foil expansion

[2] Pads GND and TP are disconnected when wafer is sawn

**13.1 Fail die identification**

Electronic wafer mapping covers the electrical test results and additionally the results of mechanical/visual inspection. No ink dots are applied.