



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN**

Diplomarbeit

Erstellung eines Datenflusskonzepts mit BPMN 2.0 für zukünftige digitalisierte Produktionsprozesse

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. rer. soc. oec. Selim Erol

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Philipp Lang

0925618 (066 482)

4030 Linz

Wien, im August 2016

Philipp Lang



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 August 2016

Philipp Lang

Vermerk

Den nachfolgenden Formulierungen dieser Arbeit liegen keine diskriminierenden Absichten zugrunde. Nicht geschlechtsneutrale Formulierungen sollen lediglich der besseren Lesbarkeit dienen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herr Prof. Dr. Wilfried Sihn und Herr Dr. Selim Erol, die meine Diplomarbeit betreut und begutachtet haben. Dank der hilfreichen Anregungen und konstruktiven Kritik haben sie maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Diplomarbeit in dieser Form vorliegt.

Ein besonderer Dank gilt Trumpf Maschinen Austria GmbH + Co. KG, dass ich diese Diplomarbeit für das Unternehmen verfassen durfte. Die durchgehende Informationsbereitschaft und die interessanten Beiträge des beteiligten Personals hatten ebenfalls einen großen Einfluss auf die Entstehung dieser Arbeit. Mein Dank gilt hierbei vor allem Herr Dipl.-Ing. Thomas Saiko, Frau Christine Hiermayer, Herr Thomas Reiter, Herr Florian Schöppl und Herr Thomas Stöger.

Meinen Freunden und Kommilitonen sowie meiner Freundin danke ich besonders für den starken emotionalen Rückhalt über die Dauer meines gesamten Studiums.

Abschließend möchte ich mich ganz besonders bei meinen Eltern Michaela Lang und Karl-Heinz Lang bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung und stets positive Einstellung ermöglicht haben und immer ein offenes Ohr für meine Sorgen hatten. Diese Diplomarbeit ist ihnen gewidmet.

Kurzfassung

TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG ist ein Biegewerkzeughersteller und plant im Rahmen eines eigenständigen Projekts namens Blechfertigung 4.0 die Modernisierung und Erweiterung der Blechfertigung im Unternehmen. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein Datenflusskonzept für die Blechfertigung zu erstellen, welches als Grundlage für die Digitalisierung und Vernetzung dienen und die Anforderungen des Unternehmens an das Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und -steuerung im Bezug auf Industrie 4.0 erfüllen soll. Das Datenflusskonzept und alle weiteren Prozessmodellierungen in dieser Arbeit wurden mit der Prozessmodellierungsmethode BPMN 2.0 dargestellt und beschrieben.

Industrie 4.0 beschreibt die vierte industrielle Revolution und ist in jedem Teil dieser Arbeit ein grundlegendes Thema. Um daher einen Überblick bezüglich allgemeiner Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und -steuerung im Sinne von Industrie 4.0 zu erhalten, wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Diese Literaturrecherche lieferte insgesamt 18 Anforderungen, die ausführlich beschrieben und abschließend in zwei Tabellen und einer Meta-Analyse zusammengefasst wurden.

In einem weiteren Teil der Arbeit wurden dann die speziellen Anforderungen von TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG hinsichtlich des Materialdatenmanagements und der Produktionsplanung und -steuerung im Bezug auf Industrie 4.0 analysiert. Dazu wurden die Prozesse für die Planung und Steuerung zur Herstellung von Biegemaschinen bezogen auf ein Geschäftsjahr durch Einsatz einer Prozessarchitektur genauer betrachtet. Insgesamt konnten sechs Anforderungen ermittelt werden, die sich mit einzelnen Anforderungen aus der Literaturrecherche decken. Die Anforderungen der Blechfertigung wurden in diesem Teil nicht behandelt.

Im Hauptteil der Arbeit wurde zunächst der aktuelle Ablauf in der Blechfertigung geschildert, um eine allgemeine Übersicht zu gewährleisten. Im Anschluss daran wurden die Anforderungen von TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG an die neue Blechfertigung anhand eines Workshops mit dem leitenden Personal und einer schriftlichen Befragung der Werker analysiert. Im weiteren Verlauf des Workshops wurden schließlich drei Maßnahmen entwickelt, welche den relevanten Anforderungen an das Datenflusskonzept entsprechen. Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein Datenflusskonzept, welches aufbauend auf den entwickelten Maßnahmen den neuen Prozessablauf in der Blechfertigung bildlich und textuell beschreibt. Durch die Einführung des Datenflusskonzepts in der Blechfertigung können der Material-, der Arbeits- und der Informationsfluss deutlich verbessert werden. Dank der permanent erfassten und digital zur Verfügung gestellten Daten herzustellender Bauteile kann eine verbesserte Planung und Steuerung in der Blechfertigung realisiert werden.

Abstract

TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co KG, a producer of bending tools, has initiated the project Sheet Metal Production 4.0 in order to modernize and expand their production. The objective of this thesis is the preparation of a data flow concept for the sheet metal production, which should function as a foundation for digitalization and networking and must fulfill the company requirements for material data management and production planning and -control in relation to industry 4.0. The data flow concept and all process models in this thesis are described and presented using the method for process modeling BPMN 2.0.

Industry 4.0 is a fundamental part of this thesis and can be seen as a fourth industrial revolution. In order to attain an outline of basic requirements concerning material data management and production planning and -control in light of Industry 4.0 literature research was conducted. This led to the formation of 18 prerequisites, which are explained in detail and summarized in two tables and a meta-analysis.

In order to analyze the specific requirements of TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG the processes for planning and control of the production of bending tools of one fiscal year are considered through process architecture. The analysis of the production process of bending tools led to the identification of six requirements, which conform to those determined in the literature research. The prerequisites of the sheet metal production are not included in this analysis.

To provide a general overview, the current process of sheet metal production is portrayed. The requisites of TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG concerning the revised sheet metal production were analyzed in a workshop with the executive personnel and a survey of the workforce. Further inspection and analysis led to the development of three measures to be taken, which fulfill the requirements of a data flow concept. The result of this thesis is a data flow concept describing the new process in the sheet metal production based on these measures. The implementation of the concept significantly improves material-, data- and workflow in the sheet metal production. Furthermore, digital handling and processing of construction component data leads to advancements in production planning and -control.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problembeschreibung.....	1
1.2	Konkrete Fragestellung	2
1.3	Ziele.....	2
1.4	Methoden	2
1.4.1	Literaturrecherche.....	2
1.4.2	Interviews und Dokumente	3
1.4.3	Fragenkatalog Blechfertigung	3
1.4.4	TruConnect Workshop	3
1.4.5	Prozessmodellierung	4
1.5	Aufbau der Arbeit.....	4
2	Grundlagen	6
2.1	Industrie 4.0.....	6
2.1.1	Automatische Identifikation	9
2.1.2	Ubiquitous Computing.....	13
2.1.3	Tracking & Tracing.....	14
2.2	Produktionsplanung und -steuerung PPS.....	15
2.2.1	Just in Time JIT.....	16
2.2.2	PULL-Prinzip.....	16
2.2.3	KANBAN	16
2.3	Prozesssichten	17
2.3.1	Arbeitsfluss	17
2.3.2	Materialfluss.....	17
2.3.3	Informationsfluss.....	17
2.4	Fertigungstechnische Verfahren.....	18
2.4.1	Laserschneiden.....	19
2.4.2	Entgraten	20
2.4.3	Walzrichten	20
2.4.4	Punktschweißen.....	20
2.4.5	Bohren/Gewindeschneiden	21

2.4.6	Biegen.....	21
2.4.7	Manuell Schweißen.....	23
2.4.8	Oberflächenbehandlung.....	25
2.5	BPMN 2.0	28
2.5.1	BPM und BPMN.....	28
2.5.2	Notation BPMN 2.0	29
3	Allgemeine Anforderungen.....	32
3.1	Anforderungen an Materialdatenmanagement in Industrie 4.0.....	32
3.1.1	Informationsfluss.....	32
3.1.2	Materialfluss.....	35
3.1.3	Zusammenspiel Material- und Informationsfluss.....	36
3.1.4	Smarte Produkte in der Produktion	37
3.1.5	Zusammenfassung der Anforderungen an Materialdatenmanagement	38
3.2	Anforderungen an PPS in Industrie 4.0	40
3.2.1	Horizontale und vertikale Integration.....	40
3.2.2	Zusammenspiel PPS und PLM	42
3.2.3	Dynamik in der Produktionsumgebung	43
3.2.4	Datenschutz.....	44
3.2.5	Produktionsplanung in der Produktion	44
3.2.6	Tracking & Tracing für die Produktionsplanung	45
3.2.7	Veränderung der Produktionssteuerung	45
3.2.8	Herausforderung in der Produktionssteuerung	47
3.2.9	Flexible Produktion	47
3.2.10	Zusammenfassung der Anforderungen an PPS	48
3.3	Meta-Analyse	50
4	Datenmanagementkonzept bei TAT	52
4.1	TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG	52
4.1.1	Manuell Biegen	53
4.1.2	Halbautomatisiert Biegen.....	54
4.1.3	Vollautomatisiert Biegen	54
4.1.4	Biegewerkzeuge	55
4.2	Spezielle Anforderungen bei TAT.....	56

4.2.1	Prozessarchitektur	56
4.2.2	Beschreibung der Anforderungen	69
4.3	Datenflusskonzept Blechfertigung 4.0	72
4.3.1	Blechfertigung Aktuell	72
4.3.2	Anforderungen an Blechfertigung 4.0	86
4.3.3	Priorisierung von Anforderungen und Maßnahmen im Bereich Blechfertigung	88
4.3.4	Beschreibung des Datenflusskonzepts	93
5	Ergebnisse und Ausblick	106
5.1	Literaturrecherche	106
5.2	Spezielle Anforderungen bei TAT	106
5.3	Datenflusskonzept für Blechfertigung	107
6	Resümee	109
7	Literaturverzeichnis	110
8	Abbildungsverzeichnis	115
9	Tabellenverzeichnis	117
10	Abkürzungsverzeichnis	118

1 Einleitung

Die vierte industrielle Revolution, bekannt als Industrie 4.0, bekam 2013 bei der Hannover Messe in Deutschland durch die Gründung der nationalen Plattform Industrie 4.0 einen hohen Aufschwung. Seitdem ist dieser Begriff in ständigem Gebrauch, wodurch das Wesentliche seiner eigentlichen Definition gemindert wird. vgl. [1, p. V] Allgemein definiert Industrie 4.0 die Vernetzung und Digitalisierung von Produkten, Wertschöpfungsketten und Geschäftsmodellen in Industrieunternehmen, wodurch unterschiedliche Chancen und Herausforderungen entstehen. Als Chancen seien die bessere Steuerung von Wertschöpfungsketten, die Digitalisierung und Vernetzung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und die neu entstehenden Geschäftsmodelle, welche einen Zusatznutzen für den Kunden bringen, zu verstehen. vgl. [2, p. 3f] Als große Herausforderung werden die Investitionskosten angesehen, die beispielsweise in Deutschland hochgerechnet bis zum Jahr 2020 jährlich 40 Milliarden € betragen werden. vgl. [2, p. 3] Im Vergleich dazu werden österreichische Unternehmen bis zum Jahr 2020 jährlich 4 Milliarden € investieren. vgl. [3, p. 9]

1.1 Problembeschreibung

Die aktuelle Blechfertigung bei TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG (TAT) wurde 2008 in Betrieb genommen. Seitdem werden in dieser Fertigung Blechteile für die intern produzierten Maschinen hergestellt. Da der Platzbedarf durch die zu fertigenden Bauteile immer größer wird, kämpfen die Mitarbeiter bereits mit kapazitiven Problemen. Viele Schritte wie die Beschaffung der Materialien, Daten über die Lokalisierung der Produkte in der Fertigung und den allgemeinen Fertigungsfortschritt, externe Bearbeitungsschritte, etc. werden nicht vernetzt, digitalisiert oder automatisiert durchgeführt, was zu einer hohen Auslastung der Mitarbeiter führt. TAT plant aus diesen Gründen die Fertigung zu vergrößern und zu modernisieren.

Wichtige Prozesse wie die Produktionsplanung und -steuerung zur Fertigung und Kontrolle eines Produkts und das Materialdatenmanagement werden sich im Bezug auf die vierte industrielle Revolution durch die Vernetzung und Digitalisierung ändern und neue Anforderungen an Unternehmen stellen.

Die genannten Prozesse haben in verschiedenen Unternehmen einen unterschiedlich hohen Stellenwert. Daher werden die Anforderungen an diese Prozesse im Bezug auf Industrie 4.0 durch die unterschiedlichen Anforderungen der Unternehmen variieren.

1.2 Konkrete Fragestellung

Aufgrund der genannten Problemstellungen ergeben sich die folgenden konkreten Fragestellungen

- Was sind die Anforderungen im Maschinenbau an ein zukünftiges Materialdatenmanagement und Produktionsplanungs- und –steuerungsprozesse im Sinne von Industrie 4.0?
- Welche Anforderungen hat TAT an ein zukünftiges Materialdatenmanagement und Produktionsplanungs- und –steuerungsprozesse im Sinne von Industrie 4.0?
- Wie kann ein zukünftiges Datenflusskonzept für eine echtzeitbasierte Produktionsplanung und -steuerung, Produktion und Instandhaltung im Sinne von Industrie 4.0 speziell auf die neue bei TAT eingesetzte Blechfertigung aussehen?

1.3 Ziele

Ein Ziel dieser Diplomarbeit ist es, allgemeine Anforderungen an das zukünftige Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und -steuerung in der Produktion im Bezug auf Industrie 4.0 in Folge einer durchgeführten Literaturrecherche auszuarbeiten. Die Ergebnisse werden abschließend zusammengefasst und evaluiert.

Durch die Zusammenarbeit mit Mitarbeitern von TAT sollen die spezifischen Anforderungen an das zukünftige Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und –steuerung im Bezug auf die Prozesse zur Herstellung von Biegemaschinen diskutiert und zusammengefasst werden.

Das Hauptziel der Arbeit ist es, ein Datenflusskonzept auf Basis der erarbeiteten Anforderungen bezüglich Industrie 4.0 für die neue Blechfertigung bei TAT mit der BPMN 2.0 Prozessmodellierungsmethode zu erstellen, zu visualisieren und zu beschreiben. Bei der Erstellung des Konzepts soll vor allem auf Prozesssichten wie den Arbeits-, Material- und Informationsfluss eingegangen werden.

1.4 Methoden

1.4.1 Literaturrecherche

Für die Anforderungen an zukünftiges Materialdatenmanagement und der damit zusammenhängenden Produktionsplanung und -steuerung wurde eine Literaturrecherche durchgeführt.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche wurden beschrieben, zusammengefasst und abschließend kritisch bewertet. Die Literaturrecherche gliedert sich in zwei Unterpunkte. Punkt 3.1 befasst sich mit dem Materialdatenmanagement und Punkt 3.2 mit

der Produktionsplanung und –steuerung. Abschließend wurde in Punkt 3.3 eine Meta-Analyse mit allen Anforderungen aus beiden Bereichen, also dem Materialdatenmanagement und der Produktionsplanung und –steuerung, durchgeführt.

1.4.2 Interviews und Dokumente

Um eine Übersicht über den Vorgang der durchzuführenden Prozesse der Planung und Steuerung zur Herstellung von Biegemaschinen und dem Materialdatenmanagement von TAT bezogen auf ein Geschäftsjahr zu erhalten, wurden Interviews mit dem zuständigen Personal durchgeführt. Zusätzlich wurde in firmeninterne Dokumente eingesehen. Die Informationen wurden in einer Prozessarchitektur, die ab Punkt 4.2.1 dargestellt und beschrieben ist, verarbeitet.

Der IST-Zustand der aktuellen Blechfertigung von TAT wurde ebenfalls durch Interviews mit der zuständigen Leitung und den Werkern in der Fertigung, sowie durch die Einsicht in firmeninterne Dokumente ermittelt. Der IST-Zustand wird in Punkt 4.3.1.1 ausführlich mit Hilfe der Prozessmodellierungsmethode BPMN 2.0 beschrieben und dargestellt.

Auf Wunsch des Personals von TAT wurden sämtliche Interviews anonymisiert.

1.4.3 Fragenkatalog Blechfertigung

Die Werker, welche in der Blechfertigung direkt an den Maschinen arbeiten, wurden zum IST- und SOLL-Zustand der Blechfertigung schriftlich befragt. Die drei zu beantworteten Fragen lauteten:

- Was sind für Sie persönlich die größten Herausforderungen in der aktuellen Blechfertigung?
- Wie können Ihrer Ansicht nach diese Herausforderungen in der neuen Blechfertigung beseitigt werden bzw. was erwarten Sie sich für Lösungen?
- Haben Sie weitere Anregungen, Ideen, Vorschläge für die neue Blechfertigung?

Die schriftliche Befragung wurde auf Wunsch des Personals von TAT ebenfalls anonym durchgeführt.

1.4.4 TruConnect Workshop

Das leitende Management und die Teamleitung der Blechfertigung analysierten mit Hilfe von TruConnect, einer vom Stammsitz der TRUMPF Gruppe in Ditzingen gegründeten Beratung für Vernetzung in Unternehmen, die Herausforderungen der aktuellen Blechfertigung. Diese sind in Punkt 4.3.2 angeführt. Gemeinsam wurden

Maßnahmen für die zukünftige Blechfertigung im Sinne von Industrie 4.0 erarbeitet, die ab Punkt 4.3.3 erläutert werden.

1.4.5 Prozessmodellierung

Die Prozesse der Planung und Steuerung zur Herstellung der Biegemaschinen bei TAT in einem Geschäftsjahr, der IST-, sowie der geplante SOLL-Zustand der Blechfertigung wurden mit der Prozessmodellierungsmethode BPMN 2.0 abgebildet und beschrieben. Bei allen Modellierungen wurde ein besonderer Fokus auf die Darstellung des Materialdatenmanagements und der Produktionsplanung und –steuerung gelegt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Abbildung 1 soll einen Überblick über den Aufbau der Arbeit geben.

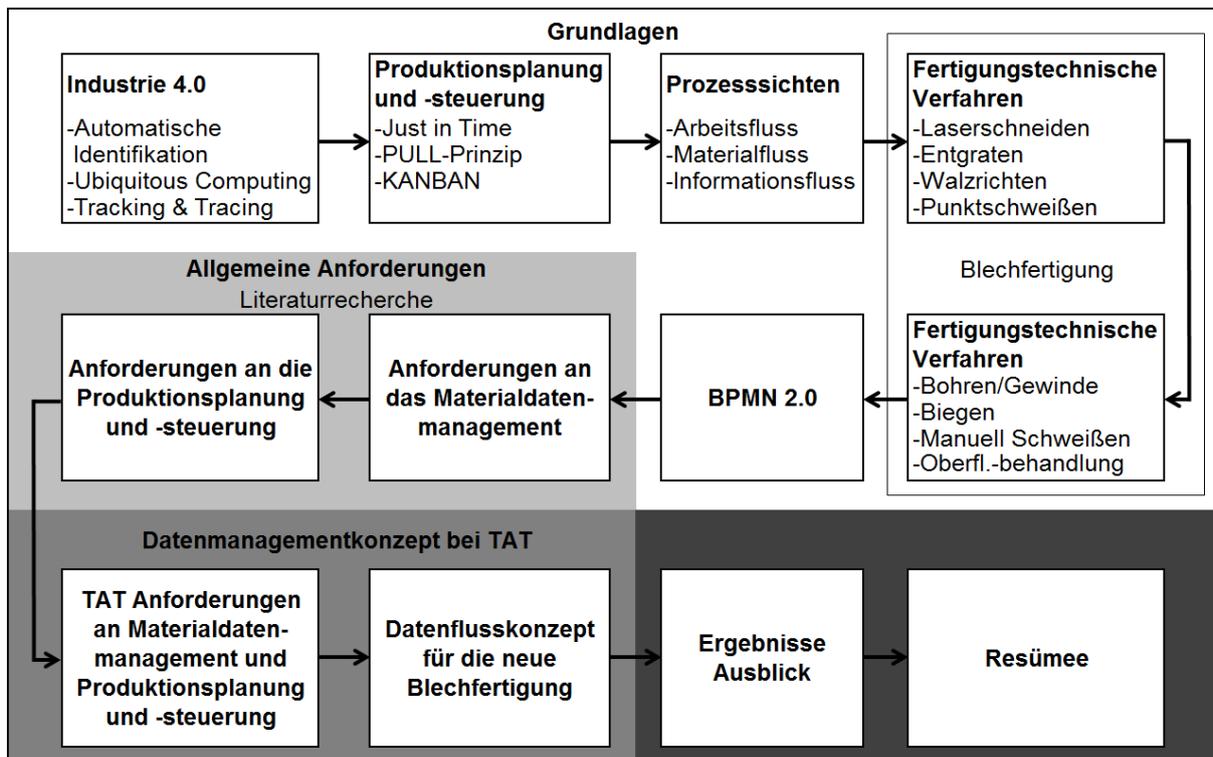


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

Im Grundlagenteil, welcher in der Abbildung 1 weiß hinterlegt ist, werden sämtliche für diese Arbeit relevanten Verfahren und Definitionen erläutert. Beginnend mit der geschichtlichen Entwicklung zu Industrie 4.0 und den wichtigsten Voraussetzungen wie Cyber-Physische-Systeme und Internet der Dinge und Dienste, sowie den erwarteten Entwicklungsstufen, werden ergänzend Definitionen beschrieben, die für die Realisierung dieser Revolution von großer Bedeutung sind. Darauf folgend wird die Produktionsplanung und -steuerung mit zusätzlichen Verfahren, die auch bei TAT eingesetzt werden, definiert. Als weiteren wichtigen Punkt werden unterschiedliche

Prozesssichten wie Arbeits-, Material- und Informationsfluss beschrieben, da diese eine wichtige Rolle bezüglich der Anforderungen von Materialdatenmanagement und Produktionsplanung und –steuerung im Zusammenhang mit Industrie 4.0 spielen. Die fertigungstechnischen Verfahren beschreiben die durchzuführenden Bearbeitungsschritte bei Blechteilen in der Blechfertigung. Abschließend wird das Business Process Management (BPM) und die Prozessmodellierungsmethode BPMN 2.0 einschließlich ihrer Notation erläutert.

Im praktischen Teil der Arbeit, bei der der erste Abschnitt hellgrau in Abbildung 1 hinterlegt ist, werden die durch die Literaturrecherche ermittelten Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und –steuerung in mehreren Unterpunkten geschildert und anschließend zusammengefasst und bewertet. Im Anschluss daran werden die ermittelten Anforderungen in einer Meta-Analyse zusammengefasst.

Im praktischen Teil, welcher in Abbildung 1 mittelgrau hinterlegt ist, wird auf das Datenmanagementkonzept bei TAT eingegangen. Dabei wird zuerst das Unternehmen TAT vorgestellt. Im Anschluss daran wird durch Hilfestellung einer Prozessarchitektur der IST-Zustand der Planung und Steuerung für die Prozesse zur Herstellung von Biegemaschinen bei TAT in einem Geschäftsjahr dargelegt. Die Darstellung dieser Prozesse wurde mit der BPMN 2.0 durchgeführt. Aufbauend darauf werden die Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und –steuerung von TAT erläutert und aufgelistet. Im Anschluss daran wird auf den IST-Zustand der Blechfertigung bei TAT eingegangen. Der allgemeine Ablauf zur Herstellung der Blechteile wird dabei genau beschrieben. Mit Hilfe der BPMN 2.0 wird der IST-Zustand der Blechfertigung detailliert analysiert und geschildert. Auf den Anforderungen an die neue Blechfertigung von TAT folgend wird das erstellte Datenflusskonzept für die neue Blechfertigung mit der BPMN 2.0 bildlich dargestellt und dazu textuell beschrieben.

Abschließend werden, wie in der Abbildung 1 dunkelgrau hinterlegt ist, die Ergebnisse zusammengefasst und mögliche Ausblicke im Anschluss daran erläutert. Schließlich wird die Arbeit in Form eines Resümees kritisch bewertet.

2 Grundlagen

2.1 Industrie 4.0

Industrie 4.0 ist ein Sammelbegriff für den Start der vierten industriellen Revolution. Bevor auf diese Revolution genauer eingegangen wird, ist es vorteilhaft sich einen groben Überblick über die ersten drei zu machen. vgl. [1, p. 5]

Die erste industrielle Revolution wurde gegen 1750 durch die Erfindung der Dampfmaschine hervorgerufen. Durch die daraus entstandenen Arbeits- und Kraftmaschinen konnte die Bevölkerung mit Kleidung und Nahrung versorgt werden, wodurch es schließlich zu einem enormen Bevölkerungswachstum kam. Zu dieser Zeit wurde die Arbeiterschaft jedoch sehr stark ausgelastet und die Arbeitsbedingungen waren unzureichend. vgl. [1, p. 5]

Aus diesen Gründen wird im Bezug auf die gegen 1870 entstandene zweite industrielle Revolution neben der arbeitsteiligen Massenproduktion mit Hilfe von elektrischer Energie auch von einer bürgerlichen Revolution gesprochen. Gewerkschaften bekamen eine immer größere Bedeutung zugeschrieben und beim Übergang von der ersten in die zweite Revolution entstand die Sozialdemokratie. Den sozialen Spannungen konnte somit entgegengewirkt werden und das Wohlstandsbedürfnis der Fabrikarbeiter konnte gedeckt werden. Durch elektrische Antriebe und Verbrennungsmotoren konnte eine großindustrielle Massenproduktion ermöglicht werden, die in der Chemie-, Elektro-, Autoindustrie und im Maschinenbau weiter gewachsen ist. vgl. [1, p. 5f]

Anfang der 60er Jahre wurde die dritte industrielle Revolution durch den Einsatz von Elektronik und darauf folgend von Informations- und Kommunikationstechnologie angeregt. Diese neuen Technologien ermöglichten eine Weiterentwicklung in der Automatisierung der Produktionsprozesse sowie die Einführung der variantenreichen Serienproduktion. vgl. [1, p. 6]

Studien zeigen, dass in den kommenden Jahren die weltweite Konsumgesellschaft durch die Globalisierung ständig steigen wird und die Ressourcen Energie, Material, Kapital und Personal, wie sie heute im Einsatz sind, zur Erfüllung der Bedürfnisse nicht ausreichen werden. Wie in Abbildung 2 deutlich erkennbar ist, wird prognostiziert, dass die Variantenvielfalt deutlich zunehmen wird und das Produktvolumen je Variante sinkt. Das Resultat daraus ist eine steigende Komplexität am Markt und im Unternehmen. vgl. [1, pp. 10–13]

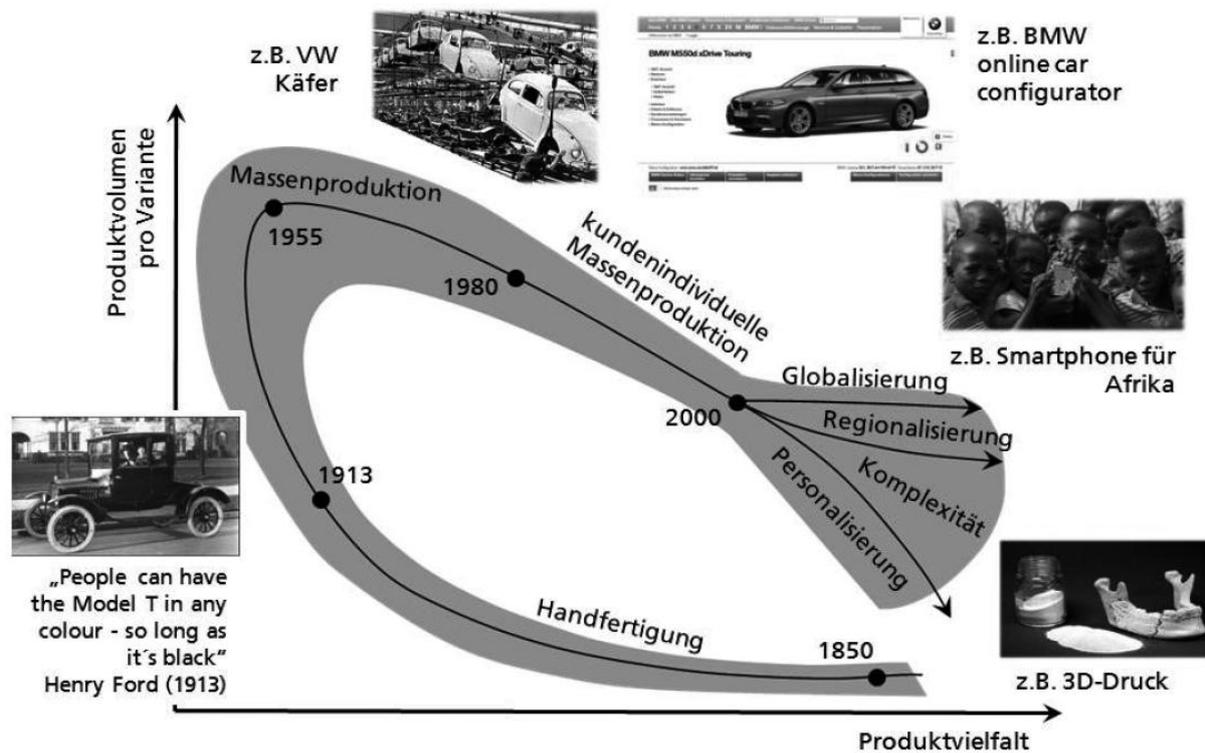


Abbildung 2: Geschichte der Produktion [1, p. 13]

Um dieser Komplexität entgegenzuwirken, müssen kommunikationsfähige Produktionsfraktale erzeugt werden, die zusätzlich selbst organisierend und selbstoptimierend aufgebaut sind. Die Dezentralisierung und Autonomie nehmen durch die Komplexitätssteigerung zu. Damit sich diese beiden Eigenschaften weiterentwickeln können, wird vom Einsatz cyber-physischer-Systeme (CPS) gesprochen. CPS sind kommunikationsfähige Geräte, Objekte, Produktionsanlagen, etc., die mit Hilfe des Internets Kommunikationen aufbauen können und Internetdienste nutzen. Durch die Vernetzung können CPS auf Dienste und Daten zugreifen und damit die von Sensoren aufgenommenen Zustandsgrößen auswerten. Die getroffenen Entscheidungen werden dann mit Hilfe von Aktoren in der Realität umgesetzt. vgl. [1, p. 15f]

Menschen sind mit Hilfe von Schnittstellen mit CPS verbunden und können diese über verschiedene Optionen steuern. Dadurch können CPS lernen, sich selbst optimieren und somit unter Hilfestellung des Menschen Probleme lösen. vgl. [1, p. 16]

Durch die Realisierung dieser Möglichkeiten werden Smarte Fabriken erschaffen, die mit Hilfe von Echtzeitdaten die reale und virtuelle Welt verbinden und sich somit neue Geschäftsmodelle entwickeln lassen. vgl. [1, p. 16]

In den Smarten Fabriken, bevorzugt Smart Factory in der Literatur genannt, werden intelligente Produkte hergestellt, die eindeutig identifizierbar und lokalisierbar sind. Zusätzlich haben diese Produkte Informationen über ihre Historie, den aktuellen Zustand und verschiedene Wege zum gewünschten Zielzustand. vgl. [4, p. 5]

Die individuellen Kundenwünsche bei der Herstellung dieser Produkte können berücksichtigt werden und selbst eine Losgröße von 1 ist rentabel zu produzieren. vgl. [4, p. 19]

Die Produktion wird dabei auch fähig sein auf kurzfristige Änderungen flexibel zu reagieren und bei Störungen oder Ausfällen gewisse Alternativen vorzuschlagen, um die Fertigung nicht zu sehr zu beeinflussen. vgl. [4, p. 5]

Im Zusammenspiel mit dem Internet gibt es auch drei neue Kategorien, die zu unterscheiden sind. Das Internet der Menschen ist die Vernetzung in sozialen Netzwerken. Das Internet der Dinge beschreibt die Vernetzung der Maschinen und kommunikationsfähigen smarten Objekten. Die dritte Kategorie ist das Internet der Dienste, in dem sämtliche serviceorientierte Dienste zusammengefasst sind. Mit Hilfe der CPS-Plattformen, welche die drei Internetkategorien verbinden, und der Menschen können schnelle Lösungen in unterschiedlichsten Bereichen realisiert werden. vgl. [1, p. 16]

Die Entwicklung der CPS ist noch ein langer Weg und wird im Unternehmen in mehreren Entwicklungsstufen, die in Abbildung 3 dargestellt sind, realisiert werden.

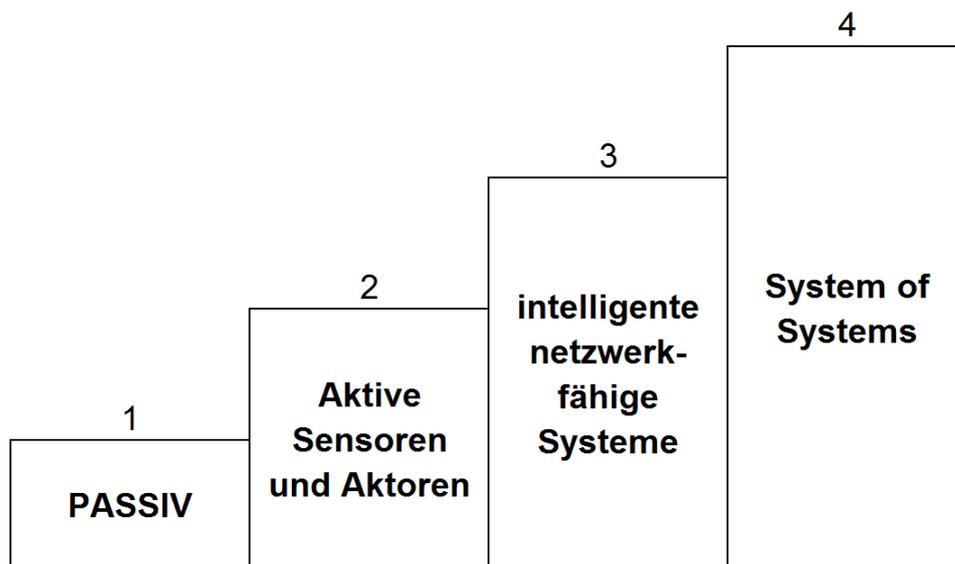


Abbildung 3: CPS Entwicklungsstufen vgl. [1, p. 16f]

Auf der ersten Ebene werden Automatische Identifikationsmethoden, auf die im folgenden Unterpunkt näher eingegangen wird, eingesetzt, um Produkte eindeutig identifizieren zu können. Das System selbst ist jedoch noch nicht intelligent und hat keine Speicher- und Auswahlmöglichkeiten. In der zweiten Stufe wird bereits mit aktiven Sensoren und Aktoren gearbeitet, die jedoch noch immer einen relativ geringen und genau definierten Funktionsumfang haben. In der dritten Ebene haben die Sensoren und Aktoren bereits Schnittstellen und können Verbindungen mit anderen Systemen aufnehmen. Die letzte Stufe liegt noch in ferner Zukunft. Hier können CPS intelligent die vorhandenen Einzelfähigkeiten selbst kombinieren und damit neue Fähigkeiten entwickeln und Dienste selbstständig zur Verfügung stellen. vgl. [1, p. 16f]

2.1.1 Automatische Identifikation

Automatische Identifikationsmethoden (Auto-ID) werden hauptsächlich in den Bereichen der Dienstleistung, Beschaffungs- und Distributionslogistik, im Handel in Produktionsbetrieben und Materialflusssystemen eingesetzt. Mit Hilfe der Auto-ID Verfahren ist es möglich Informationen über Personen, Tiere, Güter und Waren darzubieten. vgl. [5, p. 1] Die in Abbildung 4 zusammengefassten wichtigsten Auto-ID-Verfahren werden in diesem Unterpunkt grundlegend beschrieben.

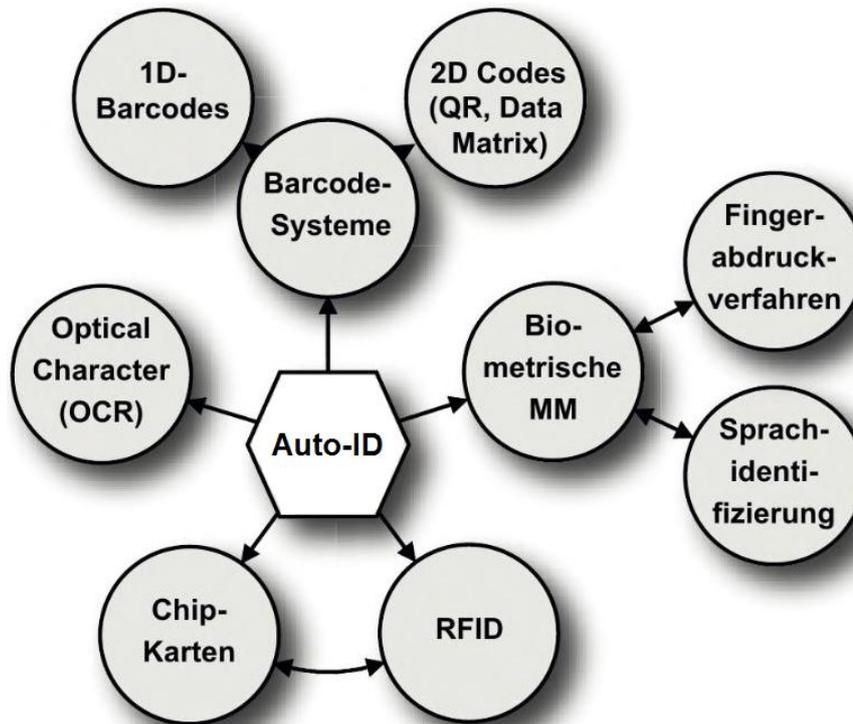


Abbildung 4: Automatische Identifikationsverfahren vgl. [5, p. 2]

2.1.1.1 Barcode Systeme

Der Barcode, auch bekannt als Strichcode, ist eine Zusammensetzung aus parallel angeordneten Strichen und Freiräumen zwischen diesen Strichen. Diese Striche und Freiräume können unterschiedliche Dicken haben und sind grundlegend als Binärcode aufgebaut. Das Lesen von Barcodes erfolgt mit Hilfe von Laserabtastung. Durch die unterschiedlich starke Reflexion der schwarzen Striche und der Freiräume kann der Barcode eindeutig identifiziert werden. In den 1970er Jahren wurde der Universal Product Code (UPC) eingeführt, welcher den eindeutigen Aufbau von Barcodes festlegte. 1976 wurde als Weiterentwicklung des UPC der European Article Number (EAN) Code entwickelt, der bis heute der am weitesten verbreitete Code ist. Der EAN-Code ist international standardisiert und hat zusätzlich zum Barcode eine 13-stellige Nummer, die Auskunft über das Land, das Unternehmen sowie den Artikel gibt. vgl. [5, p. 2f] Heute wird allgemein zwischen den in Abbildung 5 aufgezeigten 1D- und 2D-Barcodes unterschieden.

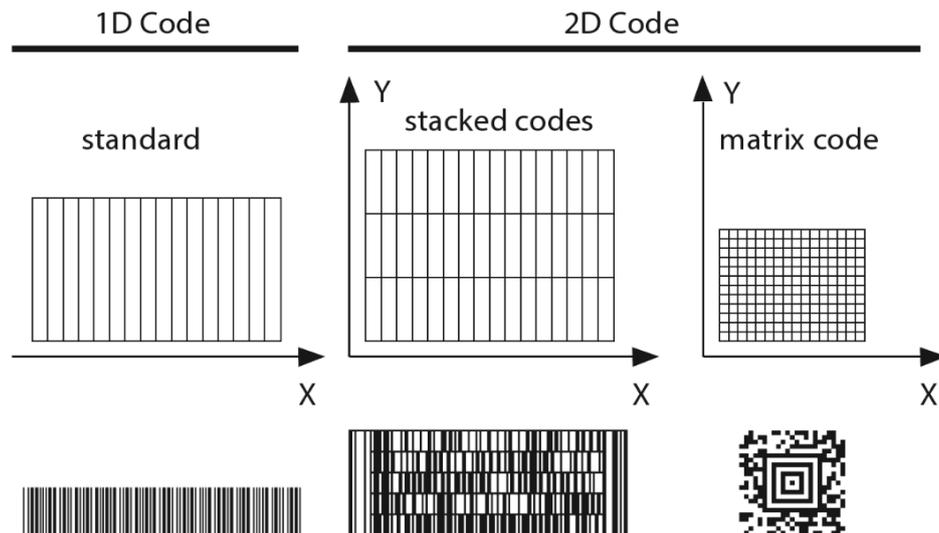


Abbildung 5: 1D-, 2D-Code vgl. [5, p. 3]

Die Entstehung von flächigen Codes wurde in den 1980er Jahren entwickelt. Diese sogenannten 2D-Barcodes werden mit der Erfindung des DataMatrix-Codes seit dem Ende der 1980er Jahre in vielen Bereichen eingegliedert. Der Quick Response Code (QR-Code), welcher 1994 entwickelt wurde, ist ein weiterer bekannter Vertreter der 2D-Codes. Der QR-Code ist ein quadratischer Matrix-Code, welcher in drei Ecken eine Markierung aufweist und sich bei einer Zerstörung von fast 30% immer noch erfassen lässt. Der Vorteil von 2D-Barcodes ist, dass im Gegensatz zu 1D-Barcodes mehr Datenvolumen gespeichert werden kann. vgl. [5, p. 3]

2.1.1.2 Optical Character Recognition

Optical Character Recognition (OCR) sind Klarschriftleser, welche in den 1960er Jahren erfunden wurden. 1968 entstand die erste maschinenlesbare Schrift, welche unter dem Namen OCR-A bekannt war. Danach wurde OCR-B entworfen und weltweit standardisiert. Ein großer Vorteil dieser OCR-Systeme ist, dass zur Kontrolle die Daten auch visuell erfasst werden können. Der Einsatz dieser OCR-Schriften liegt bei Formularen und anderen Dokumenten. Der allgemeine Einsatz von OCR findet im Bereich der Produktion, in Dienstleistungs- und Verwaltungsbereichen und in Banken Anwendung. Da für die Registrierung von OCR-Systemen komplizierte Lesegeräte verwendet werden müssen, findet diese Form der automatischen Identifikation im Vergleich zu anderen Verfahren keine große Verbreitung. vgl. [5, p. 4f]

2.1.1.3 Biometrische Verfahren

Biometrische Verfahren umfassen alle Identifikationssysteme, die Menschen anhand einzigartiger und spezieller Körpermerkmale wie beispielsweise dem Fingerabdruck, der Sprachidentifizierung und selten auch der Augen-Netzhautidentifikation beschreiben. vgl. [5, p. 5]

2.1.1.4 Chipkarten

Chipkarten sind elektronische Datenspeicher, die meist in Plastikkarten integriert sind. Die Anwendung von Chipkarten startete im Jahre 1984 mit dem Gebrauch von Telefonchipkarten. Zum Lesen der Chipkarten, werden diese in Lesegeräte geschoben. Diese Lesegeräte schaffen mit Hilfe von Kontaktfedern eine galvanische Verbindung zu den Kontaktflächen der Chipkarten. vgl. [5, p. 6f]

Die Abmessungen der Chipkarten sind einheitlich festgelegt. Die bekanntesten Größen sind hier die ID-1 mit 85,6mm x 53,98mm, welche für Bankomat-, Kredit-, Führerschein- und Krankenversicherungskarten herangezogen wird und die ID-000 mit 25mm x 15mm, die beispielsweise als SIM-Karte Anwendung findet. Die Abmessungen sind in der ISO/IEC 7816 definiert. vgl. [5, p. 7]

Ein großer Vorteil dieser Chipkarten ist, dass die gespeicherten Daten vor Fremdzugriffen gesichert werden können. Ein Nachteil beim Einsatz solcher Karten ist die Empfindlichkeit der Kontakte für Korrosion, Abnutzung und Verschmutzung. vgl. [5, p. 7]

2.1.1.5 RFID-Systeme

Eine Identifikation durch Radiowellen wird als Radio-Frequency-Identification (RFID) bezeichnet. RFID Systeme haben mit den oben beschriebenen Chipkarten viele Gemeinsamkeiten. Wie der Name jedoch bereits sagt ist die hergestellte Verbindung nicht durch eine galvanische Verbindung gegeben, sondern über Wellen. vgl. [5, p. 9]

Die Daten werden ebenfalls auf einem elektronischen Datenträger gespeichert. Da der Einsatz von RFID mit sehr vielen Vorteilen verbunden ist, gewinnt die Nutzung dieses Identifikationsverfahrens immer mehr an Bedeutung. vgl. [5, p. 9]

RFID Systeme brauchen zur Kommunikation einen Transponder, und ein Erfassungsgerät, dass als Lese- oder Schreib/Lesegerät dient. Die Erfassungsgeräte haben normalerweise ein Hochfrequenzmodul, welches als Sender und Empfänger agiert, eine Kontrolleinheit und ein Koppellement, welches als Antenne fungiert. Zusätzlich haben die meisten Erfassungsgeräte Schnittstellen integriert, damit die Daten an einen Computer übermittelt werden können. vgl. [5, p. 11f]

Der Transponder setzt sich aus einem Koppellement und einem elektronischen Mikrochip zusammen. Abseits des Lesebereichs bleibt ein Transponder vollkommen passiv, d.h. dass kein Austausch mit dem Erfassungsgerät stattfindet. Im Ansprechbereich werden wie in Abbildung 6 dargestellt Energie, Takt und Daten kontaktlos übertragen. vgl. [5, p. 11f] Diese Technologie wird auch durch die folgenden Unterkapitel Ubiquitous Computing und Tracking & Tracing immer wichtiger.

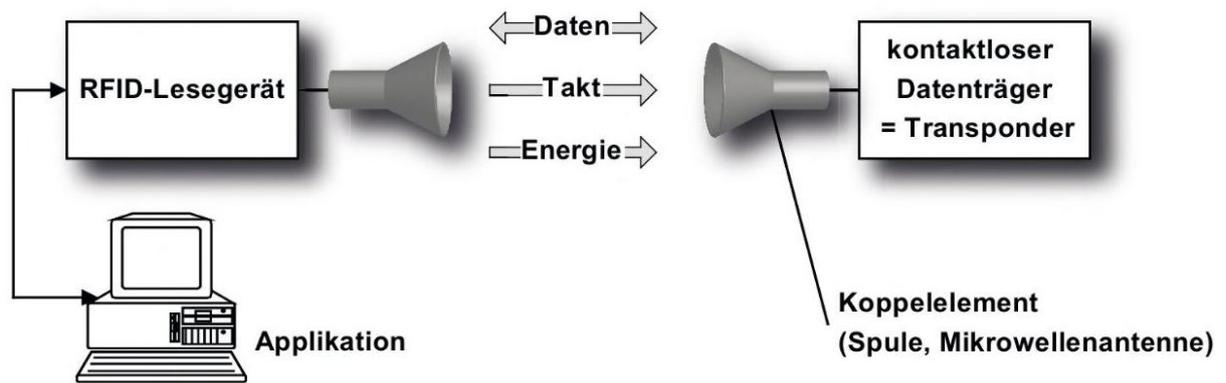


Abbildung 6: Funktionsweise RFID [5, p. 11]

In Tabelle 1 sind nochmal alle Auto-ID Verfahren mit sämtlichen Eigenschaften, sowie den Vor- und Nachteilen aufgelistet.

Parameter	1D-/2D-Barcode	OCR	Sprechererkennung	Biometrie	Chipkarte	RFID-Systeme
Typische Datenmenge/Byte:	1 ~ 100 10~5k	1 ~ 100	–	–	16 ~ 512k	16 ~ 512k
Datendichte	mittel	gering	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Maschinenlesbarkeit	gut	gut	aufwändig	aufwändig	gut	gut
Lesbarkeit durch Personen	bedingt	einfach	einfach	schwer	unmöglich	unmöglich
Einfluss von Schmutz/Nässe	stark	sehr stark	–	–	möglich (Kontakte)	kein Einfluss
Einfluss von (opt.) Abdeckung	totaler Ausfall	totaler Ausfall	–	möglich	–	kein Einfluss
Einfluss von Richtung und Lage	gering	gering	–	–	eine Steckrichtung	kein Einfluss
Abnutzung, Verschleiß	bedingt	bedingt	–	–	Kontakte	kein Einfluss
Anschaffungskosten Elektronik	sehr gering	mittel	sehr hoch	sehr hoch	gering	mittel
Betriebskosten (z. B. Drucker)	sehr gering	gering	keine	keine	mittel (Kontakte)	keine
unbefugtes Kopieren/Ändern	leicht	leicht	möglich ^a (Tonband)	unmöglich	unmöglich	unmöglich
Lesegeschwindigkeit (incl. Handhabung des Datenträgers)	gering ~ 4 s	gering ~ 3 s	sehr gering > 5 s	sehr gering > 5 ... 10 s	gering ~ 4 s	sehr schnell ~ 0,5 s
Maximale Entfernung zwischen Datenträger und Lesegerät	0 ... 50 cm	< 1 cm (Scanner)	0 ... 50 cm	direkter Kontakt ^b	direkter Kontakt	HF: 0 ... 1 m, UHF: 0 ... 12 m

Tabelle 1: Eigenschaften Auto-ID Verfahren [5, p. 10]

2.1.2 Ubiquitous Computing

Die Weiterentwicklung der Mikroelektronik und Informationstechnologie bietet die Gelegenheit einer neuen Qualität in der Computeranwendung. Durch die Weiterentwicklung dieser Technologien können Prozessoren, Speicherbausteine und Sensoren in Zukunft in einer winzigen Größe, mit einem niedrigen Energiebedarf und zu einem minimalen Preis hergestellt und in Alltagsgegenstände integriert werden. Diesen Gegenständen wird somit ein Mehrwert übergeben, da sie nun Informationsverarbeitung und Kommunikationsfähigkeit aufweisen und fähig sind ihr Verhalten auf

bestimmte Situationen abzustimmen. Somit sind die technischen Erfordernisse für das Eintreten eines „Internets der Dinge“ und die Kooperationsmöglichkeit von „smarten Dingen“ gegeben. vgl. [6, p. 39f] Dieser Fortschritt wird bereits Anfang der 1990er Jahre durch Mark Weiser, welcher zu dieser Zeit leitender Wissenschaftler am Xerox Forschungszentrum war, mit dem Begriff „Ubiquitous Computing“ (UbiComp) beschrieben. vgl. [6, p. 40]

2.1.3 Tracking & Tracing

Tracking & Tracing bedeutet übersetzt Sendungsverfolgung und beschreibt die Feststellung des Bearbeitungs- bzw. Lieferzustandes eines Objektes. Das Verfahren basiert auf IT-gestützten Systemen, die bei materiellen Lieferketten eines Produktions- bzw. Logistikunternehmens eingesetzt werden. vgl. [7, p. 4]

Das Ziel beim Einsatz von Tracking & Tracing ist der jederzeit mögliche Einblick des Kunden, Geschäftspartners und Logistikunternehmens auf den Produktionsstand bzw. Lieferzustand dieses Objektes. vgl. [7, p. 4] Die Systeme erfüllen dabei die zwei folgenden grundlegenden Aufgaben.

2.1.3.1 Tracking

Tracking bedeutet in der deutschen Sprache Verfolgung und hat die Aufgabe, den aktuellen Standort eines Objektes zu ermitteln. Dabei muss zwischen diskreten Verfahren, welche die Verfolgung nur bei bestimmten Ereignissen registrieren, und stetigen Verfahren, die eine durchgehende Verfolgung ermöglichen, unterschieden werden. Die beiden Verfahren sind in Abbildung 7 mit ihren möglichen Anwendungen zusammengefasst. Hier ist zu erkennen, dass für die diskrete Anwendung die beschriebenen Auto-ID Verfahren Barcode und RFID eingesetzt werden. vgl. [7, p. 4] vgl. [8, p. 52]

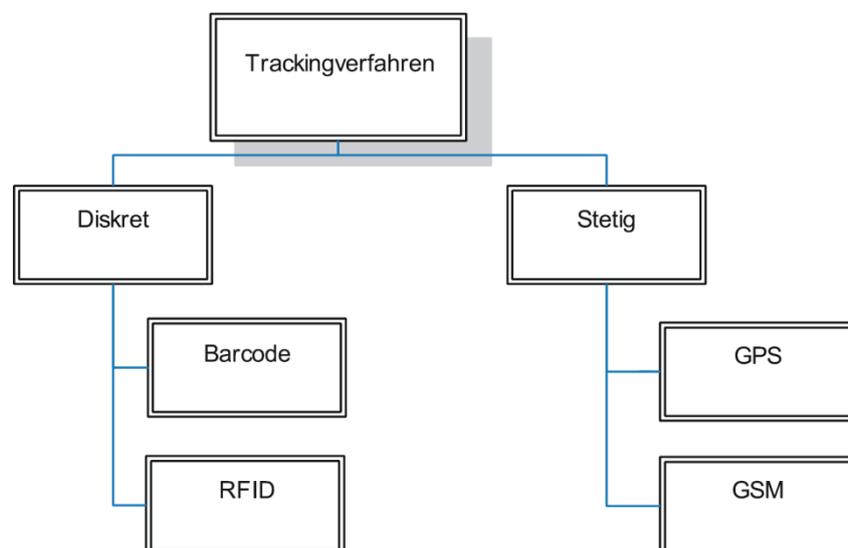


Abbildung 7: Trackingverfahren vgl. [8, p. 52]

2.1.3.2 Tracing

Tracing bedeutet hingegen Rückverfolgung und bildet die Abfolge einer Sendung ab. Es bietet einerseits die Möglichkeit die Historie eines Objektes abzufragen, um eine Einsicht auf alle Schritte, die bereits durchlaufen worden sind, zu haben, andererseits kann die Planung der folgenden Schritte vom momentanen Standort bis zum Zielzustand wiedergegeben werden. Durch diese Fähigkeiten kann es in der Produktionsplanung und -steuerung zur Klärung von Störungen oder Fehlern im Prozess dienen. vgl. [7, p. 4f] vgl. [8, p. 52]

2.2 Produktionsplanung und -steuerung PPS

Das Konzept Produktionsplanung und –steuerung wurde zu Beginn der 1980er Jahre genutzt, um einen Überblick über Material- und Zeitwirtschaft in der produzierenden Industrie zu geben. In der ersten weitläufig anerkannten Definition galt als Zielobjekt der PPS die gesamte Produktion inklusive der indirekt integrierten Bereiche, wie beispielsweise der Konstruktion. vgl. [9, p. 4]

Der Begriff wurde stets ausgedehnt und beinhaltete schließlich die komplette technische Auftragsabwicklung von der Angebotsbearbeitung bis zum Versand. Bereiche wie der Vertrieb, die Konstruktion, der Einkauf, die Fertigung und der Versand wurden hierbei im Bereich der Planungs- und Steuerungsaufgaben integriert. vgl. [9, p. 4]

Heute wird unter PPS die Organisation und Steuerung von Netzwerken anstelle der rein innerbetrieblichen Planung verstanden. Mit dem Begriff Netzwerk sind sämtliche überbetriebliche Kooperationen angesprochen, die immer mehr in den Mittelpunkt der unternehmerischen Planung rücken. Durch die Konzentration auf Netzwerke ist auch eine wachsende Komplexität vorhanden, die sich vor allem im IT-Bereich deutlich widerspiegelt. IT-Systeme müssen den wachsenden organisatorischen Vernetzungen standhalten und die innerbetriebliche Spezialisierung sowie die überbetriebliche Kooperation fördern, um weiterhin die positiven Wirkungen durch die Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen zu gewährleisten. vgl. [9, p. 3]

Zusammenfassend bedeutet dies, dass das Planungsobjekt der Wertschöpfungsprozess zuseiten der vollständigen Lieferkette vom Lieferanten bis zum Endkunden ist. vgl. [9, p. 4]

Bei der Produktionsplanung und –steuerung sollen sämtliche Ressourcen und Prozesse des Unternehmens und der Zulieferer nach dem Nutzen des Kunden und der Wertschöpfung für den Kunden orientiert werden. Das primäre Ziel ist das Produktionssystem zu perfektionieren. vgl. [9, p. 11] Durch diese Kundenorientierung werden Verfahren wie Just in Time, das Pull-Prinzip und KANBAN in den Unternehmen ein-

gesetzt. Für ein besseres Verständnis dieser Verfahren, werden diese in den Punkten 2.2.1-2.2.3 erläutert.

2.2.1 Just in Time JIT

Just-in-Time (JIT) wurde anfangs von Toyota in Japan entwickelt und hat sich durch den ständigen Triumph weiter in den Westen der Erde verbreitet. Der Begriff JIT beschreibt, dass Material zur richtigen Zeit, in der richtigen Qualität, in der richtigen Menge und am richtigen Ort bereitgestellt werden soll. vgl. [10, p. 16] Die Produktionsflüsse sollen nach Kundenbedarf orientiert sein. vgl. [10, p. 16] Das bedeutet, dass der Kundenbedarf die Fertigung bestimmt. Bei dieser Art der Fertigung muss auch auf das in Punkt 2.2.2 beschriebene PULL-Prinzip umgerüstet werden. vgl. [10, p. 17] Generell sollten die Arbeitsstationen so abgestimmt sein, dass das Material stets an die Folgestation ohne Liegezeit weitergegeben wird. Der sich daraus ergebende Vorteil ist eine kürzere Durchlaufzeit der Produkte. Dies ist jedoch nicht immer realisierbar, da beispielsweise manche Maschinen lange Rüstzeiten haben und es oft zu Taktunterschieden kommt. Daher werden teilweise Zwischenpuffer zwischen den einzelnen Arbeitsstationen eingesetzt. vgl. [10, p. 17]

2.2.2 PULL-Prinzip

Beim PULL-Prinzip, oder auch Hol-Prinzip genannt, findet eine Kundenorientierung statt. Das bedeutet, dass ausschließlich der Kundenauftrag im Produktionsprozess produziert wird. Es wird somit an jedem Prozess nur das gefertigt, was der Folgeprozess benötigt. vgl. [10, p. 14]

2.2.3 KANBAN

Kanban ist ein in Japan im Toyota-Produktionssystem hervorgebrachtes System und bedeutet übersetzt Karte, Label, Aufkleber, oder Behälterbeschriftung. vgl. [10, p. 10f] Die wichtigsten Elemente dieses Verfahrens sind Behälter, die mit Kanban-Karten versehen sind. Sobald das Material, welches sich im Behälter befindet, vollständig entnommen worden ist, wird die Kanban-Karte mit oder ohne Behälter zurück an die Nachschubquelle gegeben, damit das Material wieder produziert und anschließend in den Behälter gelegt werden kann. Dieses System weist eine hohe Prozesssicherheit auf, da der Ablauf kaum eintretende Störgrößen beinhaltet. Die ständige Befüllung der Behälter wird durch den Kunden ausgelöst, wodurch auch in diesem Fall wieder das PULL-Prinzip auftritt. vgl. [10, p. 11] Die Menge der zu produzierenden Teile wird durch die Kanban-Karte bestimmt. Dadurch kann ein gewisses Lager volumen nicht überschritten werden. Die in Umlauf gebrachten Kanban-Karten ermöglichen eine Kapitalbindung, die durch Lagerbestände oder Aufträge beschrieben werden kann. vgl. [10, p. 11]

2.3 Prozesssichten

Für die Veranschaulichung des Produktionsablaufs hat sich die bildliche Darstellung des Flusses durchgesetzt. Bei der Weiterleitung des Materials von einem Fertigungsschritt zum darauffolgenden wird vom Fließen des Materials und einer positiven Produktion gesprochen. Das Gegenteil dazu ist eine stockende Produktion, die eine Behinderung des Fließens auslöst und das Material sich somit aufstapelt. vgl. [11, p. 10] Es gibt mehrere Arten von Flüssen, die unterschiedliche Eigenschaften und Themen behandeln. Da die Flüsse wichtige Elemente für das Materialdatenmanagement und die PPS sind, werden davon drei in den Punkten 2.3.1-2.3.3 genauer erläutert.

2.3.1 Arbeitsfluss

Der Begriff Arbeitsfluss beinhaltet den Personalfluss, welcher die Wege der Mitarbeiter zur Erfüllung ihrer Tätigkeiten im Unternehmen beschreibt, und die in den folgenden Punkten beschriebenen Material- und Informationsflüsse. Das allgemeine Ziel in Unternehmen ist den Arbeitsfluss sichtbar zu bewerten und durch die Unterstützung von Variantenvergleichen wirtschaftlich zu verbessern. Eine Analyse des Arbeitsflusses kann mit Hilfe von Verfahren wie der Multimomentaufnahme, Verteilzeitstudien, Transportzeitstudien, etc. durchgeführt werden. vgl. [12, p. 132] Der Arbeitsfluss kann als logische Abfolge der einzelnen Produktionsprozesse zur Fertigung von Produkten angesehen werden. Bei dieser Abfolge sollten unnötige Wege vermieden werden und die Bereiche und Maschinen so angeordnet sein, dass die zu fertigen Produkte schnell und effizient hergestellt werden können.

2.3.2 Materialfluss

Der Materialfluss verbindet Produktionsprozesse und ist aus den drei Komponenten Transportieren, Handhaben und Lagern aufgebaut. Unter der Komponente Transportieren ist die Bewegung von Material, Teilen und Erzeugnissen zum nachfolgenden Produktionsprozess oder zu einem Lager zusammengefasst. Der Begriff Handhaben beschreibt die manuellen Tätigkeiten, die beim Ein- und Auslagern erforderlich sind. Die letzte Komponente Lagern umfasst das Liegen von Materialien, Teilen und Erzeugnissen über eine gewisse Zeit in Lagerbereichen. vgl. [11, p. 80]

2.3.3 Informationsfluss

Der Informationsfluss verknüpft Geschäftsprozesse durch das Übermitteln von Daten und Dokumenten. Informationsflüsse werden auch von Geschäftsprozessen zu Produktionsprozessen zur Regulierung dieser und des Materialflusses eingesetzt. vgl. [11, p. 91] Die zu sendenden Informationen einschließlich ihres Formats sind in vier Kategorien aufgeteilt:

- Daten
- Dokumente
- Listen
- Informelle Abstimmung vgl. [11, p. 91]

Die Daten werden mit Hilfe von Netzwerk-Kabeln oder handelsüblichen Datenträgern wie CD-ROM oder USB weitergeleitet. Die Weiterleitung erfolgt allgemein nur in elektronischer Form. Hierbei wird zwischen einem Datentransfer zwischen unterschiedlichen DV-Systemen und Steuerdaten für CNC-Maschinen, die die geometrischen Fertigungsdaten eines Produktes enthalten, unterschieden. vgl. [11, p. 91]

Bei Aufschreiben der Daten in Formulare wird von Dokumenten gesprochen. Die Weiterleitung von Dokumenten erfolgt elektronisch über Electronic Data Interface (EDI), E-Mail oder Fax, oder auf Papierform. Letzteres hat den großen Vorteil, dass es auch als Materialbegleitschein eingesetzt werden kann, damit sich dadurch die Gelegenheit für eine Identifikation des gesteuerten Materialflusses bietet. vgl. [11, p. 92]

Unter Listen sind alle Dokumente bzgl. eines Geschäftsfalles zusammengefasst. Zusätzlich können diese auch Informationen über Reihenfolgen, Prioritäten oder andere Klassifizierungen der Geschäftsvorfälle geben. Übliche Vertreter von Listen sind Produktionspläne, Abarbeitungslisten für die Produktionsprozesse, Kommissionierlisten, Versandlisten und Ladelisten. Sie werden als Ausdruck oder mit Hilfe von Anzeigegegeräten zur Verfügung gestellt. vgl. [11, p. 92]

Der Informationsfluss beeinflusst mit den ersten drei genannten Kategorien die Steuerung der Produktionsprozesse. Diese arbeiten die durch die Geschäftsprozesse erstellten Vorgaben ab, oder passen sich an die täglichen Gegebenheiten in der Produktion an. Unter diesen Gegebenheiten sind Fälle wie Störungen, Eilaufträge, oder Kundenbedarfsänderungen zusammengefasst. Durch diese kurzfristigen Eingriffe, die auch als „Go-See“-Steuerung bekannt sind, kann mit einer ungeplanten Anpassung des Produktionsplans reagiert werden. vgl. [11, p. 93] Regelmäßige Abstimmungsrunden werden beispielsweise zu Kapazitätsanpassungen, Änderung von Auftragsprioritäten, oder zum Einbau von Eilaufträgen durchgeführt. Zusätzlich können auch Themen wie der Produktionsplan und Rückfragen von Daten, Dokumenten oder Listen besprochen werden. Diese Abstimmungsrunden werden meist zwischen zwei oder mehreren Produktionsbereichen gehalten. vgl. [11, p. 93]

2.4 Fertigungstechnische Verfahren

Da die bei TAT eingesetzte Blechfertigung den wesentlichen Teil dieser Arbeit einnimmt, werden in den nächsten Unterpunkten fertigungstechnische Verfahren allgemein beschrieben, die bei TAT in der Fertigung angewendet werden. Die Bearbei-

tungsverfahren sind in der Reihenfolge beschrieben, wie ein zu bearbeitendes Blechteil diese in der Fertigung im Idealfall durchlaufen würde. Die Abbildung 8 soll dazu als Übersicht dienen.

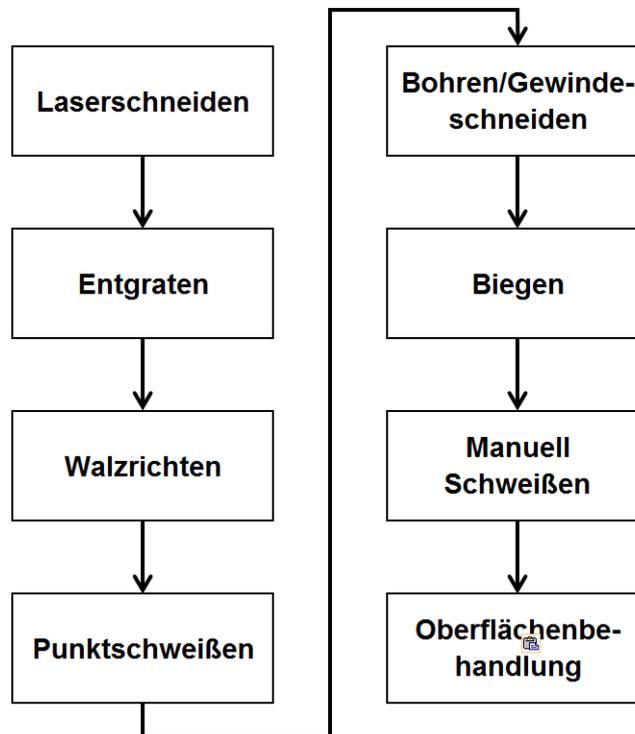


Abbildung 8: Fertigungstechnische Verfahren der Blechfertigung

2.4.1 Laserschneiden

Beim Aufsetzen des Laserstrahls am Werkstück wird je nach Oberflächenbeschaffenheit ein gewisser Anteil des Lichts reflektiert und der Rest absorbiert. Die im Werkstück absorbierte Laserenergie wird in Wärme umgeändert und kann somit für die Bearbeitung als Schweiß- aber auch Schneidprozess genutzt werden. vgl. [13, p. 90] Grundsätzlich werden die Laserarten durch das aktive Medium, welches den Laserstrahl entstehen lässt, unterteilt. Diese Lasertypen sind mit ihrem Medium und den Anwendungen in Tabelle 2 angeführt. vgl. [13, p. 90]

Lasertyp	Festkörperlaser	Gaslaser	Diodenlaser
Aktives Medium	Kristalle oder dotierte Gläser	Gase/Gasgemische	Halbleiter
Typische Anwendungen	Schweißen von Metallen, Schneiden, Löten, Beschriften, Bohren, Abtragen	Schweißen und Schneiden von Metallen, Härten, Beschriften	Direkte Anwendung: Löten, Härten, Wärmeleitungsschweißen
			Indirekte Anwendung: Pumpquelle Festkörperlaser (Scheibenlaser)

Tabelle 2: Lasertypen vgl. [13, p. 91]

2.4.2 Entgraten

Beim Entgraten werden unsaubere oder scharfe Kanten vom behandelten Werkstück für den Kunden aus optischen und für die Werker aus sicherheitstechnischen Anlässen beseitigt. Bei diesem Verfahren werden mechanische, thermische und auch elektrochemische Techniken herangezogen. vgl. [14, p. 90]

2.4.3 Walzrichten

Bei Werkstücken ist durch Richten das Bestreben die unerwünschten Krümmungen aus Blechen zu entfernen. vgl. [15, p. 382] Zum Walzrichten von flachen bandähnlichen Bauteilen werden Rollenrichtmaschinen eingesetzt. Diese Maschinen haben Richtrollen bzw. Richtwalzen, die oberhalb und unterhalb des Bauteils gegeneinander versetzt angeordnet sind. Durch diese Richtwalzen erfährt das Blechstück beim Durchlauf in einer solchen Richtmaschine plastische Dehnungen und Stauchungen in den Randfasern. Die Eintauchtiefe und der Anstellwinkel können bei den Richtwalzen verändert werden, sodass der Krümmungs- und Biegeverlauf des Werkstücks je nach Wunsch behandelt werden kann. Der Blechvorschub erfolgt maschinenabhängig. Das bedeutet, dass dieser direkt über die Richtwalzen, oder über eigene Antriebsrollen, die im Walzprozess nicht einbezogen sind, erfolgen kann. vgl. [15, p. 383] Zur Veranschaulichung einer Rollenrichtmaschine ist in Abbildung 9 das durchlaufende Werkstück grün dargestellt.



Abbildung 9: Walzrichten [16]

2.4.4 Punktschweißen

Das Punktschweißen ist ein Schweißverfahren der Hauptgruppe Widerstandsschweißen welches auch als konduktives Widerstandspressschweißen bekannt ist. Charakteristisch für Prozesse dieser Gruppe ist, dass die Wärme, welche zum Schweißen notwendig ist, durch eine Widerstandserwärmung verursacht wird und die somit erwärmten Teile unter Druck zusammengeschweißt werden. vgl. [13, p. 100]

Der allgemeine Aufbau des Punktschweißens ist in Abbildung 10 dargestellt. Zwei stiftförmige Elektroden drücken die beiden zu verschweißenden Werkstücke zusammen. Durch einen Stromstoß wird die Verbindungsstelle auf Schweißtemperatur erhitzt und durch den mechanischen Druck eine Schweißverbindung (Schweißpunkt) geschaffen. Während des Schweißvorgangs entstehen im Schweißpunkt Temperaturen von 1300-1500°C. Die Schweißspannungen an den Elektroden dürfen nur 1-5V betragen, wodurch eine Stromstärke von 1-100kA entsteht, damit die erforderliche Leistung realisiert werden kann. vgl. [13, p. 101] Das Punktschweißen ist bei Werkstoffen wie Titan, Austenite, Baustähle, Nickel, Zinn, Mg- und Cu-Zn-Legierungen aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften sehr gut anwendbar. vgl. [13, p. 103]

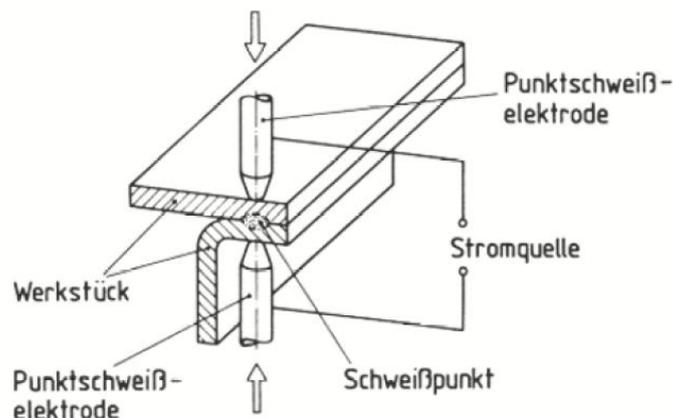


Abbildung 10: Punktschweißverfahren vgl. [13, p. 100]

2.4.5 Bohren/Gewindeschneiden

Der Begriff Bohren fasst sämtliche Verfahren zusammen, mit denen in einem Material Bohrungen für Innengewinde, Verschraubungen oder Zentrierungen durchgeführt werden. Bei den Verfahren kann zwischen konventionellem Bohren, Senken, Reiben und Gewindebohren unterschieden werden. vgl. [14, p. 496] Beim Gewindebohren, auch bekannt als Gewindeschneiden, werden Innengewinde ins Material eingebracht. Dazu wird zuerst ein Kernloch in das Material gebohrt, das einen kleineren Durchmesser als das Gewindemaß haben muss. Zusätzlich muss das Kernloch auch länger sein, damit genug Raum für den Auslauf des Gewindebohrers vorhanden ist. Abschließend wird mit einem Gewindebohrer manuell oder maschinell das Gewinde im Kernloch verarbeitet. vgl. [14, p. 497]

2.4.6 Biegen

Unter Biegen wird nach DIN8586 das Umformen von festen Körpern verstanden. Der plastische Zustand wird beim Werkstück durch eine Biegebeanspruchung hervorgerufen. Der Vorgang wird durch Maschinen wie Pressen, Abkant-, Profilwalz-, Walzrund- oder Richtmaschinen ausgeführt. Anwendung findet das Biegen bei metallischen Blechen, Bändern, Rohren, Drähten und Stäben. vgl. [15, p. 376] Grundsätz-

lich wird beim Biegevorgang zwischen dem unterschiedlichen Verlauf der Werkzeugbewegung unterschieden:

- Geradlinige Werkzeugbewegung:
Freies Biegen, Gesenkbiegen
- Drehende Werkzeugbewegung:
Schwenkbiegen, Walzrunden, Walzprofilieren vgl. [15, p. 377]

Da die TRUMPF Gruppe ausschließlich Biegemaschinen herstellt, die auf dem Prinzip des Gesenkbiegens und Schwenkbiegens aufgebaut sind und TAT in der Blechfertigung ausschließlich Gesenkbiegemaschinen einsetzt, wird auf andere Biegevorgänge nicht näher eingegangen.

2.4.6.1 Gesenkbiegen

Beim Gesenkbiegen liegt das Werkstück zwischen einem Biegestempel und einem Biegegesenk. Der Biegevorgang wird bis zum Anlegen des Werkstücks an dem Biegegesenk durchgeführt. Die wichtigste Behandlung in dieser Kategorie ist das Biegen im V-förmigen Gesenk. vgl. [15, p. 377] Wie in Abbildung 11 dargestellt teilt sich das Gesenkbiegen in zwei Abläufe auf:

- Freibiegen: Der Biegestempel sitzt auf dem Werkstück auf und drückt es in das Biegegesenk, bis die Schenkel an den Gesenkwänden anliegen. vgl. [15, p. 377]
- Nachformen: Das Werkstück gleicht sich an die Werkzeugform an. Die somit erzeugte Form ist abhängig von der Werkzeuggeometrie und der Rückfederung, wobei diese durch Einsatz hoher Kräfte gut eingeschränkt werden kann. vgl. [15, p. 377]

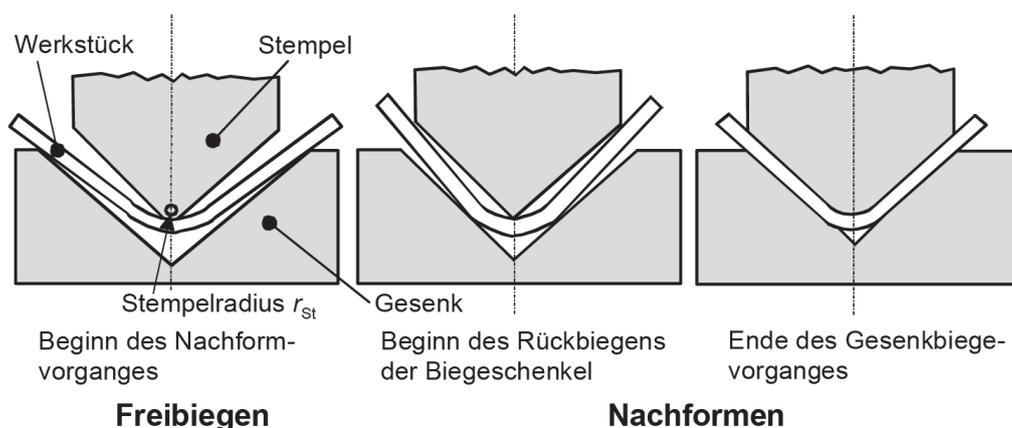


Abbildung 11: Ablauf Gesenkbiegen vgl. [15, p. 378]

Verwendung findet dieses Verfahren meist auf Abkantpressen. In Abbildung 12 ist das Gesenkbiegen mit einer Abkantpresse dargestellt. Bei Abkantpressen wird für den Biegestempel ein Oberwerkzeug und für das Biegegesenk ein Unterwerkzeug eingesetzt. vgl. [15, p. 377]

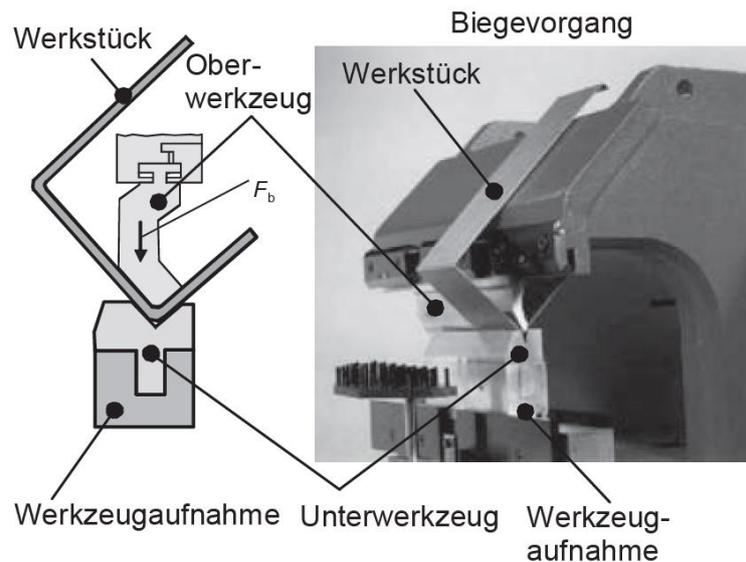


Abbildung 12: Gesenkbiegen mit Abkantpresse vgl. [15, p. 378]

2.4.6.2 Schwenkbiegen

Im Gegensatz zum Gesenkbiegen wird beim Schwenkbiegen das Werkstück zwischen einer Ober- und Unterwange befestigt und mit Hilfe einer Biegewange gebogen. Wie in Abbildung 13 vorgeführt verläuft der Biegevorgang normalerweise mit der Biegewange von unten nach oben auf einen beliebig eingestellten Winkel α . Es gibt auch Speziallösungen, mit denen das Werkstück von beiden Seiten gebogen werden kann. vgl. [15, p. 379]

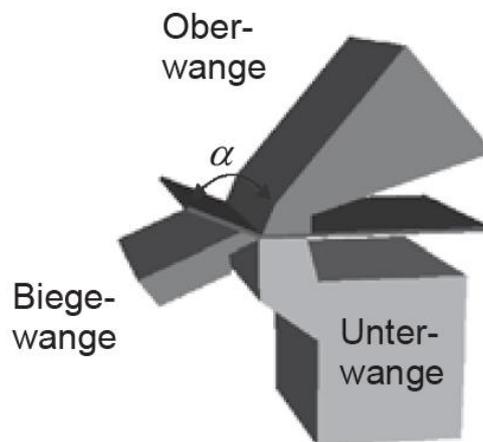


Abbildung 13: Schwenkbiegen vgl. [15, p. 380]

2.4.7 Manuell Schweißen

In diesem Punkt werden die Schweißverfahren beschrieben, die in den Schweißkabinen der Blechfertigung zum Schweißen der Blechteile eingesetzt werden.

2.4.7.1 MIG-/MAG-Schweißen

Metall-Aktivgasschweißen (MAG) und Metall-Inertgasschweißen (MIG) zählen zur Untergruppe Metall-Schutzgasschweißen (MSG), welche wiederum zur Hauptgruppe

Schutzgasschweißen zählt. Diese Hauptgruppe enthält alle Lichtbogen-Schweißprozesse. Die eingesetzten Schutzgase Argon, Kohlendioxid, Helium und Gemische aus diesen Gasen schützen das Schmelzbad vor unerwünschtem Zutritt von Luftsauerstoff. vgl. [13, p. 53] Für MAG-Prozesse werden aktive Gase wie Kohlendioxid oder ein Mischgas verwendet. Bei MIG-Prozessen werden chemisch inerte Gase wie Argon, Helium, oder ein Gemisch dieser Gase eingesetzt. MAG-Prozesse werden allgemein bei unlegierten und niedrig legierten Stählen herangezogen, während MIG-Prozesse bei höher legierten Stählen Anwendung finden. vgl. [13, p. 60] Sämtliche MSG-Prozesse basieren auf dem Prinzip, dass der Lichtbogen zwischen einer abschmelzenden Elektrode, die gleichzeitig auch Schweißzusatz ist, und dem Werkstück brennt. Der Aufbau dieses Prozesses ist in Abbildung 14 dargestellt. vgl. [13, p. 61]

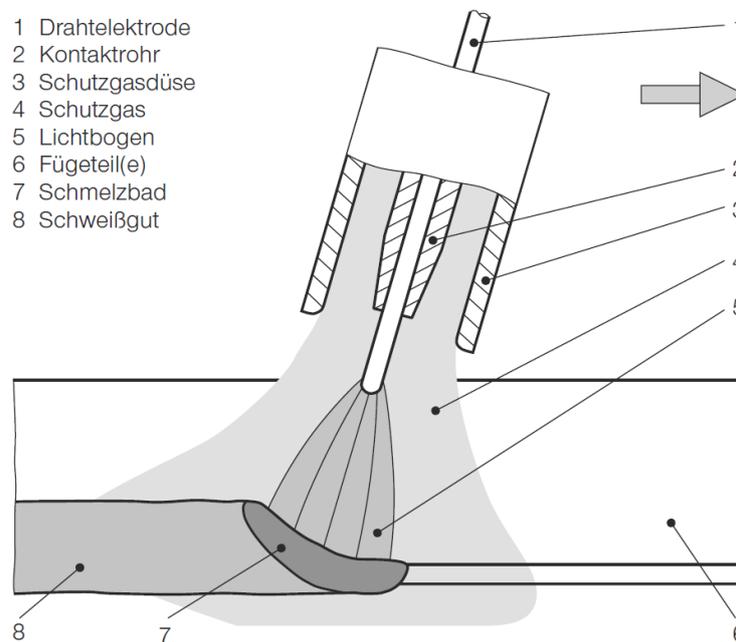


Abbildung 14: MIG/MAG-Schweißverfahren vgl. [17, p. 170]

2.4.7.2 WIG-Schweißen

Wolfram-Intergasschweißen (WIG) zählt zur Untergruppe Wolfram-Schutzgasschweißen, die wie Metall-Schutzgasschweißen zur Hauptgruppe Schutzgasschweißen gehört. vgl. [13, p. 53] Bei diesem Verfahren brennt zwischen einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode und dem behandelnden Werkstück der Lichtbogen. Damit Werkstücke gefügt werden können, wird ein stabförmiger Schweißzusatz verwendet, der seitlich in den Lichtbogen und das Schmelzbad mit der Hand gebracht wird. Durch einen Brenner, in dem sich die Wolframelektrode befindet, strömt inertes Schutzgas, damit die Wolframelektrode, das Schmelzbad und der abschmelzende Schweißzusatz gegen Oxidation durch Luftsauerstoff abgeschirmt sind. vgl. [13, p. 72]

Das in Abbildung 15 dargestellte WIG-Schweißen wird für hochwertige Nähte bei Blechdicken von 0,5-5mm eingesetzt. Geschweißt werden allgemein unlegierte bis hochlegierte Stähle, Aluminium, Kupfer, Titan, Nickelwerkstoffe und deren Legierungen, sowie Nichteisenmetalle. vgl. [13, p. 72]

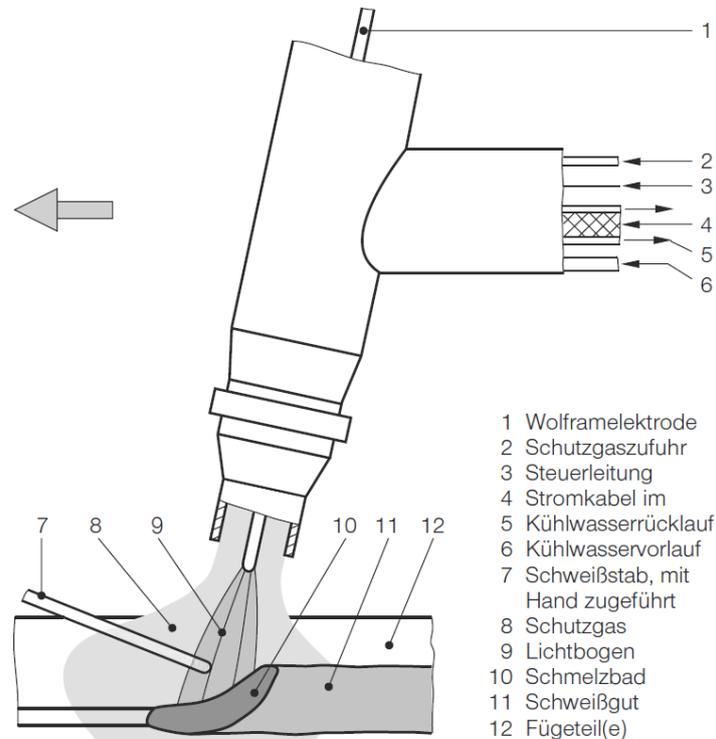


Abbildung 15: WIG-Schweißverfahren [17, p. 160]

2.4.8 Oberflächenbehandlung

In den Punkten 2.4.8.1-2.4.8.3 werden die unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen beschrieben, die für Blechteile aus der Blechfertigung eingesetzt werden.

2.4.8.1 Brünieren

Das Brünieren ist ein Verfahren, das bei Eisenwerkstoffen eingesetzt wird. Auf Eisenoberflächen wird ein kompakter, dichter Oxidfilm durch konzentrierte stark oxidierende Lösungen hergestellt. Brünieren kann allgemein in saurer oder alkalischer Lösung, oder in einer Salzsäure durchgeföhrt werden. Saure Lösungen haben zusätzlich zu den anorganischen Säuren Schwermetallsalze wie Nickelsalze, die für eine schwarze Oberfläche verantwortlich sind. Die grundsätzliche Abfolge beim Brünieren besteht aus Reinigen, Spülen, Brünieren, Spülen und abschließenden Beölen der gesamten Oberfläche. Dieses Verfahren wird, wie in Abbildung 16 ersichtlich, aus optischen Gründen, aber auch als Korrosionsschutz durch das abschließende Beölen, durchgeföhrt. vgl. [18, p. 105]



Abbildung 16: Werkstoffe brüniert [19]

2.4.8.2 Pulverbeschichten

Beim Pulverbeschichten wird mit Hilfe von Beschichtungsmaterialien, welche auch Pulverlacke genannt werden, ein verschlossener und gut haftender Überzug über Werkstücke gesprüht. Das Beschichtungsmaterial wird auf den Werkstücken unter der Einwirkung von Wärme geschmolzen oder chemisch vernetzt. Die Hauptgründe für den Einsatz der Pulverbeschichtung sind, ähnlich wie beim Brünie, ein optischer und ein funktioneller. vgl. [20, p. 1] Eine Auflistung der beiden Gründe zeigt Tabelle 3.

	Dekoration	Schutz
Pulverbeschichten	Farbe Glanz Verlauf/Struktur	mechanische Belastungen Korrosionsbeständigkeit Bewitterung Chemikalienbeständigkeit Elektroisolation

Tabelle 3: Aufgaben der Pulverlackschicht vgl. [20, p. 2]

Die Oberflächenbeschichtung erfolgt elektrostatisch. Das bedeutet, dass die Schichten mit Hilfe elektrischer Feldkraft auf dem Objekt aufgetragen werden. Das zu beschichtende Objekt ist dabei entgegengesetzt zu den Teilchen des Beschichtungsmaterials geladen, wodurch sich diese auf dem Objekt als Überzug niederschlagen. vgl. [20, p. 43]

2.4.8.3 Lackierung

Das Verfahren des Lackierens besteht im Wesentlichen aus den drei Schritten Vorbehandlung, Lackauftrag und Trocknung. Bei der Vorbehandlung werden die Werkstücke mechanisch oder chemisch gereinigt und entfettet. Bei der mechanischen Reinigung werden Methoden wie handgeführte Maschinen, Schleifmaschinen, Sandstrahlen und wässrige Reinigungssysteme herangezogen. Die zuletzt genannte Methode wird vor allem für metallische Werkstücke eingesetzt. Chemische Prozesse wie

Konversionsbehandlungen werden als Korrosionsschutz und zur Verbesserung der Lackschichthaftung eingesetzt. Ein Beispiel hierfür sind Eisen- und Zinkphosphatierungen, welche diesen Zweck besonders gut für Stahlteile erfüllen. vgl. [21, p. 137] Die anschließende Aufbringung von Lack erfolgt in flüssiger oder fester Form. Die Eigenschaften der gängigsten Lackierverfahren sind in Tabelle 4 angeführt. Die Nasslackierung ist bis heute das gängigste Lackierverfahren. Zu diesem Verfahren gehören das Spritzlackieren, das Tauchlackieren, das Walzen und das Gießen. vgl. [21, p. 138]

Verfahren	Anforderungen an die Oberflächen-			Lackier- geschw.	Lösemittel- emission	Material- nutzungs- grad
	-qualität	-dimension	-geometrie			
Streichen		kleine Flächen	–	++	+	++
Rollen	+		Zugänglichkeit	o	+	++
Konvent. Tauchen	o	Volumen begrenzt	Keine schöpfenden Teile	–	+	++
Zentrifugieren/ Trommeln	–	Kleinteile	schüttfähig	–	+	++
Fluten	o	Volumen begrenzt	Keine schöpfenden Teile	–	+	++
Flow Coating	o	Arbeitsbreite begrenzt	Keine schöpfenden Teile	–	+	++
Gießen (Lackvorhang)	++	Arbeitsbreite begrenzt	nahezu ebene Oberflächen	–	+	++
Walzen (Coil Coating)	o	Arbeitsbreite begrenzt	ebene Oberflächen	--	+	++
Elektrotauchen	–	Volumen begrenzt	Keine schöpfenden Teile	–	+	++
Luftzerstäubung Hochdruck	+++			+/o	--	--
Luftzerstäubung HVLP	++			+	–	–
Airless-Zerstäubung	o			–	o	+
Airmix-Zerstäubung	+			o	–	o
Hochrotations- zerstäubung	++		Keine Faradayschen Käfige	o	–	+
Elektrostat. Pulversprühen	+			o	++	++
Wirbelsintern	–			o	+	++

Tabelle 4: Eigenschaften von Lackierverfahren vgl. [21, p. 139]

Die somit erfolgte Beschichtung wird abschließend getrocknet bzw. gehärtet, wodurch die organischen Lösungsmittel und das enthaltene Wasser fast gänzlich verdampfen. Chemisch vernetzte Lacksysteme werden thermisch oder durch IR-/UV-Strahlung gehärtet. vgl. [21, p. 138]

2.5 BPMN 2.0

2.5.1 BPM und BPMN

Business Process Management (BPM) ist von der European Association of BPM folgendermaßen definiert:

„Business Process Management (BPM, zu deutsch „Geschäftsprozessmanagement“ oder einfach „Prozessmanagement“) ist ein systematischer Ansatz um sowohl automatisierte als auch nicht-automatisierte Prozesse zu erfassen, zu gestalten, auszuführen, zu dokumentieren, zu messen, zu überwachen und zu steuern und damit nachhaltig die mit der Unternehmensstrategie abgestimmten Prozessziele zu erreichen. BPM umfasst die bewusste, gemeinsame und zunehmend IT-unterstützte Bestimmung, Verbesserung, Innovation und Erhaltung von End-to-end-Prozessen. Auf diese Weise können Unternehmen immer schneller und flexibler gute Ergebnisse erreichen.

Mit Hilfe von BPM können Prozesse auf die Unternehmensstrategie abgestimmt werden, so dass sich die Leistung des Unternehmens verbessert, sobald Prozesse innerhalb einzelner Organisationseinheiten, unternehmensweit oder sogar unternehmensübergreifend optimiert werden.“ [22]

Der Begriff “End-to-end Prozesse” beschreibt die Betrachtung des gesamten Prozesses sowie seiner Bewertung und Optimierung und sollte zum allgemeinen Verständnis übersetzt als „Von Anfang bis Ende“ verstanden werden. vgl. [23, p. 2]

Business Process Management (BPM) dient zur Aufsicht, wie die Arbeit in einem Unternehmen durchgeführt wird, um geforderte Ergebnisse zu gewährleisten und Verbesserungsmöglichkeiten zu nutzen. Diese Verbesserungen können unternehmensabhängig unterschiedliche Ziele haben. Beispiele für diese Verbesserungsziele sind die Verringerung der Kosten, Reduzierung der Ausführungszeiten oder die Verringerung von Fehlerraten. Wichtig ist zu verstehen, dass mit Hilfe von BPM nicht einzelne Aktivitäten in ihrer Umsetzung verbessert werden. Das Ziel ist ganze Ketten von Ereignissen wie Verwaltung, Aktivitäten und Entscheidungen zu verbessern, um letztendlich einen Mehrwert für das Unternehmen und seine Kunden zu gewährleisten. Diese Ketten von Veranstaltungen, Aktivitäten und Entscheidungen werden Prozesse genannt. vgl. [24, p. 1] Zusammengefasst wird BPM in der Praxis für folgende drei Anwendungen herangezogen: vgl. [23, p. 2]

1. Organisatorische und/oder IT-gestützte Verbesserung bestehender Prozesse
2. Dokumentation bestehender Prozesse
3. Einführung neuer Prozesse vgl. [23, p. 2]

Zur Darstellung der Prozesse als Modelle mit einer einheitlichen Notation wurde die BPMN entwickelt. BPMN wurde in der ersten Übersetzung „Business Process Modeling Notation“ genannt und durch Stephen A. White von IBM entwickelt. 2004 wurde die BPMN von der Business Process Management Initiative (BPMI) veröffentlicht. 2005 wurde BPMI von der Object Management Group (OMG) übernommen. Dank dieser Übernahme begann die weltweite Nutzung von BPMN, da die Standardisierung einen großen Anreiz für Unternehmen dargestellt hatte. 2011 wurde die bis heute geltende neue Version BPMN 2.0 von der OMG verabschiedet. Das Kürzel BPMN bekam die neue Bedeutung „Business Process Model and Notation“, da nun außer der Notation auch das sogenannte „formale Metamodell“ definiert ist. Auf dieses Metamodell wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen, da es für die erstellten Prozessmodellierungen nicht relevant ist. Die BPMN ist materiell gesehen eine Spezifikation, die in Form eines Dokuments die BPMN-Symbole, sowie ihre Bedeutung und die Regeln, wie diese miteinander kombiniert und verknüpft werden dürfen, definiert. vgl. [23, p. 8f]

2.5.2 Notation BPMN 2.0

In der BPMN sind bestimmte Basiselemente festgelegt, die in Abbildung 17 dargestellt sind.

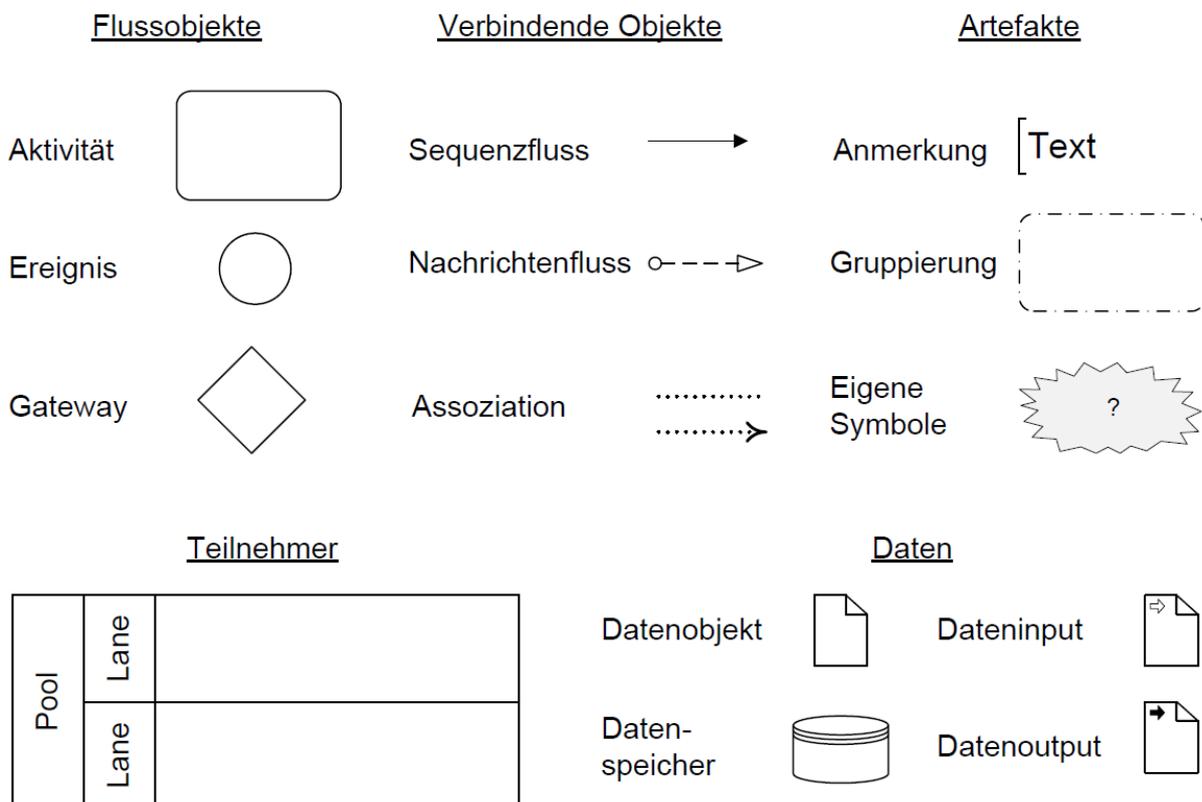


Abbildung 17: BPMN Basiselemente [23, p. 21]

Unter der Kategorie der Flussobjekte beschreiben Aktivitäten gewisse Dinge, die getan werden müssen. Die Gateways stellen Bedingungen, welche Pfade und Aktivitä-

ten eingeschlagen werden können. Die Ereignisse beschreiben Dinge, die am Start, Ende oder zwischen einzelnen Schritten auftreten können. Diese genannten Flussobjekte werden mit Hilfe von Sequenzflüssen, die zur Kategorie der verbindenden Objekte gehören, innerhalb eines Pools bzw. einer Lane miteinander verbunden. Verbindungen über Pool-Grenzen werden durch Nachrichtenflüsse realisiert. Die Artefakte dienen der Beschreibung der Flussobjekte und geben zusätzliche Informationen preis, um den Prozess besser auszuleuchten. Die Verbindung von Artefakten und Flussobjekten wird durch Assoziationen realisiert. Es können auch eigene Symbole als Artefakte in den BPMN Modellen eingesetzt werden. BPMN 2.0 hat als weitere Kategorie die Daten integriert. Diese Daten sind Platzhalter für Informationen, die im Prozess erzeugt, verarbeitet oder abgelegt werden. Die Verbindung dieser Daten zu Flussobjekten erfolgt ebenfalls über Assoziationen. vgl. [23, p. 21f] Viele der Basiselemente können noch weitere Informationen über die einzelnen Abläufe in Prozessmodellen angeben. Da die detaillierte Beschreibung jedes Basiselements jedoch zu umfangreich ist, wird auf die Literatur verwiesen.

Weitere wichtige Symbole, die vor allem bei den Darstellungen der Blechfertigung eingesetzt werden, sind Links. Links können als Ersatz für Sequenzflüsse eingesetzt werden. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass sich weniger Sequenzflüsse überschneiden und somit die Komplexität in den Modellen reduziert werden kann. Die richtige Anwendung der Links ist in Abbildung 18 dargestellt. vgl. [23, p. 60f]

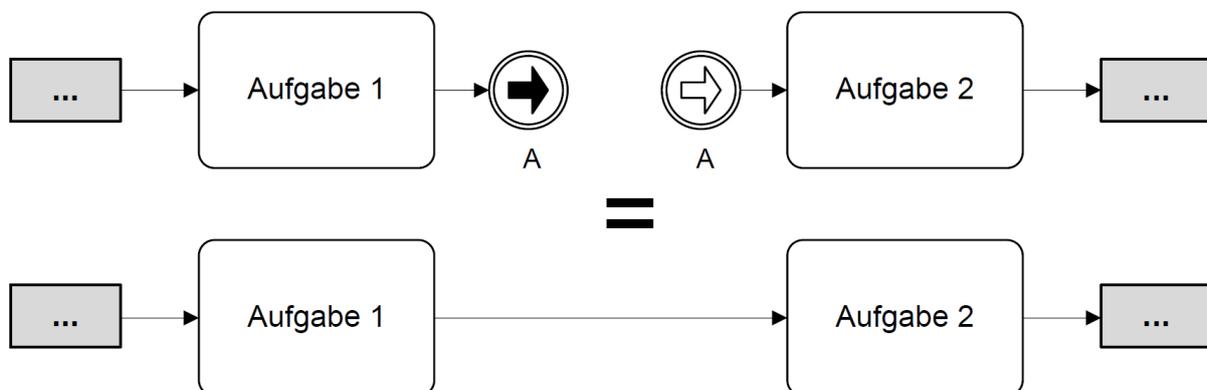


Abbildung 18: Links [23, p. 61]

Als Artefakte können wie bereits erwähnt eigene Symbole eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden in den Prozessmodellierungen drei Symbole für materielle Güter wie Bauteile, Komponenten, und Biegemaschinen eingesetzt. Diese Symbole sind in Abbildung 19 angeführt.

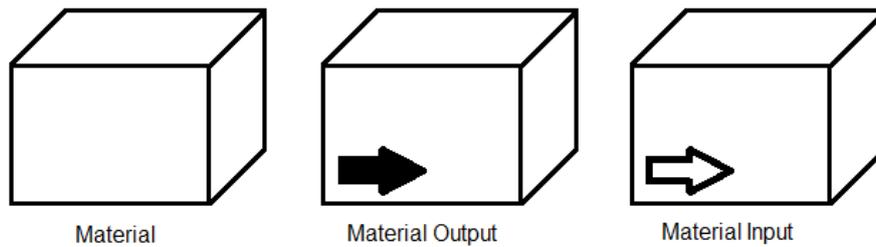


Abbildung 19: Symbole für materielle Güter [25]

Das Symbol Material wird verwendet, um Informationen über gefertigte Bauteile, Komponenten und Biegemaschinen bei den durchgeführten Aktivitäten mitzuteilen. Das Symbol Material Output wird eingesetzt, um die Weiterleitung von materiellen Gütern zu beschreiben. Im Fall der Blechfertigung bedeutet dies beispielsweise, dass die Bauteile für die Oberflächenbehandlung zu einem Bereich außerhalb der Blechfertigung weitergeleitet werden. Das dritte Symbol Material Input beschreibt in den erstellten Prozessmodellen die zugeführten bzw. rückgeführten materiellen Güter. Bei der Blechfertigung wiederum wird dieses Symbol beispielsweise zur Beschreibung der Rückführung von oberflächenbehandelten Bauteilen eingesetzt.

3 Allgemeine Anforderungen

In diesem Teil der Arbeit wird die erste Fragestellung aus Punkt 1.2 bzgl. der zukünftigen Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS im Sinne von Industrie 4.0 behandelt. Dazu wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, für die eine Basisliteratur zur Verfügung gestellt wurde, um sich einen allgemeinen Überblick über die unterschiedlichen Themen verschaffen zu können. Aufbauend auf dieser Basisliteratur wurden weitere Quellen mit Hilfe des Internets recherchiert. Dabei wurde das Dokument „Recherchequellen (Stand 2013.12.19)“ vom Managementinstitut der Technischen Universität Wien eingesetzt, welches sämtliche Internetseiten anführt, die eine wissenschaftlich belegte und überprüfte Literatur gewährleisten. Generell besteht die verwendete Literatur aus Texten in deutscher und englischer Sprache. Die Anforderungen an zukünftiges Materialdatenmanagement und PPS werden in zwei separat getrennten Unterpunkten 3.1 und 3.2 behandelt und beschrieben. Am Ende eines jeden Punktes wird stets eine Zusammenfassung der zuvor analysierten Anforderungen in Form einer Tabelle dargestellt und darauffolgend bewertet. Für eine abschließende Veranschaulichung aller genannten Anforderungen, wurde eine Meta-Analyse erstellt, in der sämtliche Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS zusammengefasst sind.

3.1 Anforderungen an Materialdatenmanagement in Industrie 4.0

In den folgenden Unterpunkten werden die Anforderungen an das Materialdatenmanagement im Sinne von Industrie 4.0 beschrieben. Dafür werden der Informations- und Materialfluss sowie deren Zusammenhang in eigene Punkte gegliedert und erläutert. Das Ergebnis des Zusammenspiels dieser beiden Prozesssichten ergibt smarte Produkte, die auch in einem Punkt erwähnt werden, da diese ebenfalls Anforderungen an das Materialdatenmanagement erfüllen müssen.

3.1.1 Informationsfluss

In den letzten Jahrzehnten konnten unternehmensinterne und –übergreifende Prozesse dank der betriebswirtschaftlichen Informationsverarbeitung deutlich an Geschwindigkeit, Effizienz und Genauigkeit zulegen. Trotz dieses Fortschritts gibt es weiterhin Probleme durch die mäßige Vereinigung zwischen der realen aus Molekülen bestehenden Welt auf der einen Seite und der virtuellen aus Daten und Bits bestehenden Welt auf der anderen Seite. Beispielhaft seien hier das 1999 gegründete Auto-ID Center und das 2001 gegründete M-Lab erwähnt, die die Grundlagen zur Lösung dieser Probleme auf Basis von UbiComp untersuchen. vgl. [6, p. 3f]

Als allgemeine Verbindung zwischen der realen und virtuellen Welt wird die digitale Fabrik eingesetzt, die ein digitales Modell der realen Fabrik abbildet. Das Ziel der digitalen Fabrik ist die gesamte Planung, Evaluierung und Verbesserung der Prozesse, Ressourcen und Strukturen der realen Fabrik im Zusammenhang mit den Produkten. vgl. [26, p. 33]

Der logische Einsatz von UbiComp zur betrieblichen Informationsverarbeitung kann mit Hilfe von vier zusammenhängenden Modellen veranschaulicht werden. Das erste Modell stellt die Entwicklungsphasen der betrieblichen Informationsverarbeitung dar. Mit jeder neuen Informationssystemgeneration vergrößert sich der Integrationsbereich, der alle Aufgaben eines Unternehmens, die in einem integrierten Informationssystem abgewickelt werden, zusammenfasst. vgl. [6, p. 5] Im zweiten Modell wird als weitere Ausbaustufe des Integrationsbereichs die Vereinigung von realer und virtueller Welt mit Hilfe von Sensoren und Aktoren dargestellt. vgl. [6, p. 5] Dies hat zur Folge, dass ein geschlossener digitaler Managementregelkreis, der in Modell drei dargestellt ist, zustande gebracht werden kann. Nun sind erstmals vollautomatisierte Führungsregelkreise umsetzbar wodurch Echtzeitmanagement realisiert werden kann. vgl. [6, p. 5] Ein zusätzlicher Vorteil der Integration von realer und virtueller Welt ist die Verfügbarkeit von Daten des Zustands der realen Welt zu einem geringen Preis. Dadurch bietet sich die Gelegenheit neue Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle, wie sie in Modell vier beschrieben werden, umzusetzen. vgl. [6, p. 5] Besonderes Augenmerk ist hierbei auf das letzte Modell zu legen. Das Sammeln und Verarbeiten von Daten ist sehr kostspielig. Mit Hilfe von UbiComp können die Kosten deutlich reduziert werden, wie in Abbildung 20 gezeigt wird. vgl. [6, p. 12]

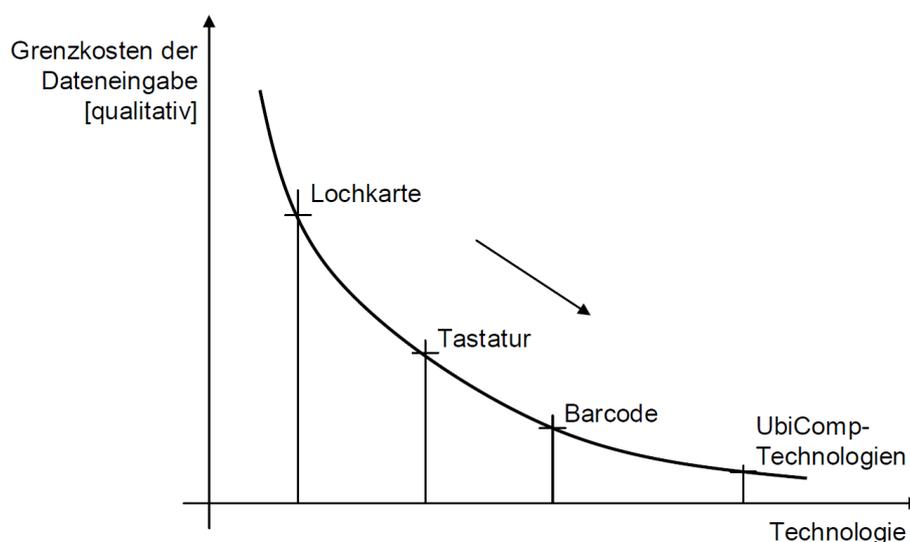


Abbildung 20: Reduzierung der Kosten durch UbiComp vgl. [6, p. 12]

Sensoren erfassen automatisch Daten wie die Identifikationsnummern verschiedener Produkte von ihrer Umgebung. Aktoren setzen diese Daten in nützliche Aktionen wie das Versenden einer Nachricht an ein anderes Informationssystem oder einen Mitarbeiter um. Durch das automatische Sammeln und Verarbeiten von Echtzeitdaten ist

ein digitaler Managementregelkreis möglich und eine menschliche Intervention nicht mehr erforderlich. Einen wichtigen Faktor spielen hierbei die sinkenden Preise der Sensoren und Aktoren durch den Fortschritt der Technologie. vgl. [6, p. 12f]

Die Datenqualität und damit verbunden die Informationsqualität ist eine grundlegende Basis für Industrie 4.0 und entwickelt sich damit zu einer Managementfunktion zusammengefasst als Information Quality Management (IQM). Die Maschinen, die anhand der festen Regeln aus ihrer Programmierung entscheiden, müssen die erhaltenen Daten richtig interpretieren und dementsprechend richtig handeln. Durch die erhöhte Vernetzung können Falschentscheidungen zu Kettenreaktionen mit fatalen Folgen führen. Als Beispiel sei hier der Börsencrash von 2010 angeführt, bei dem 1 Milliarde Dollar Marktanteil eliminiert wurde. Die Daten, die dazu geführt haben waren nicht falsch, wurden jedoch von den Maschinen falsch interpretiert. vgl. [27, p. 314ff] Die Darlegung der Datenqualität im Bezug auf den Elastizitätseffekt, der besagt dass höhere Datenqualität durch Einsatz von Aktoren und Sensoren mehr Wert bildet als die für den Einsatz benötigten Kosten, setzt sich aus den vier Dimensionen „Zeit“, „Objekt“, „Ort“ und „Inhalt“ zusammen. vgl. [6, p. 13]

Bei der Dimension „Zeit“ sind zwei wichtige Aspekte zu berücksichtigen, um die Qualität von Informationen zu gewährleisten. Der erste Aspekt ist die Frequenz der Dateneingabe. UbiComp ermöglicht eine hohe Granularität der Datenermittlung bei niedrigen Grenzkosten. Die Entscheidungen von Informationssystemen können somit aufgrund von Fakten und nicht mit Hilfe von statistischen Methoden getroffen werden. Der zweite Aspekt ist die Zeitspanne der Erzeugung und Verwendung der gewonnenen Daten. Sie müssen stets zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereit zur Einsicht stehen. vgl. [6, p. 13] In Abbildung 21 sind mehrere Verfahren im Bezug auf ihre Kosten und der Häufigkeit an Dateneingabe abgebildet.

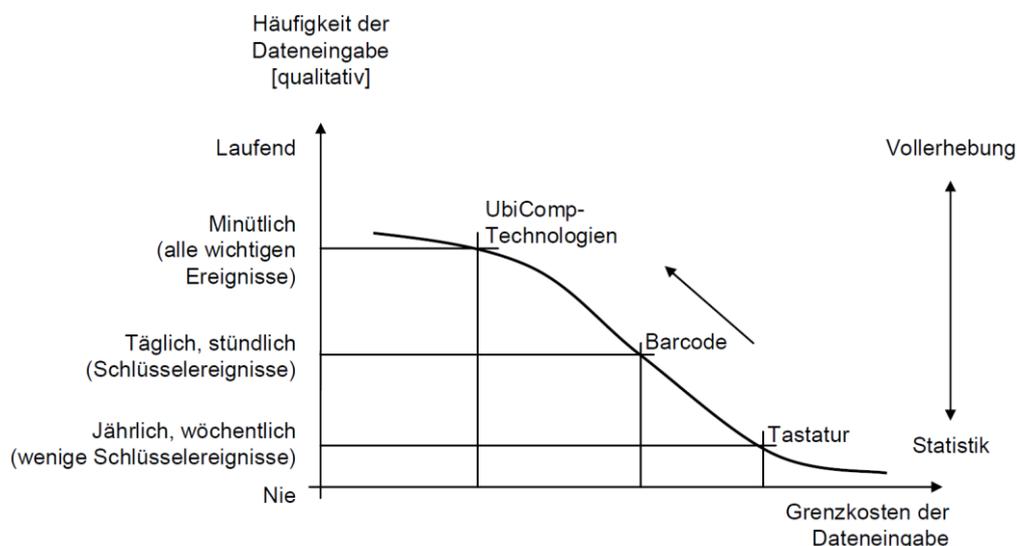


Abbildung 21: Häufigkeit der Dateneingabe vgl. [6, p. 13]

Die Dimension „Objekt“ wird ebenfalls von zwei Aspekten bestimmt. Beim ersten Aspekt handelt es sich um den Objekttyp. Die Einbettung von UbiComp-Technologien in immer kleinere kostengünstige Objekte wird durch die Weiterentwicklung und die damit verbundene Kostenstruktur ermöglicht. Der zweite Aspekt definiert die Anzahl der integrierten Objekte einer Klasse. Objekte einer Objektklasse werden mit UbiComp-Technologie bestückt. Dadurch kann analysiert werden, an welchen Orten der Supply Chain Lieferungen verzögert, verloren gehen oder gestohlen werden. Als Beispiel hierfür können Schachteln als Objektklasse herangezogen werden, bei denen bestimmte Objekte, Instanzen von Schachteln, mit dieser Technologie ausgestattet werden. vgl. [6, p. 14f]

Bei der Dimension „Ort“ handelt es sich um die Einbettung von UbiComp-Technologien an mehreren Orten. Hier können mehrere Bereiche mit Auto-ID Verfahren ausgestattet sein, um eine größere Datensammlung zu gewährleisten. Diese Bereiche beziehen sich auf die gesamte Wertschöpfungskette, angefangen vom Lieferanten bis zum Endkunden. vgl. [6, p. 15]

Die Dimension „Inhalt“ beschäftigt sich mit der Datenvielfalt bzw. dem Inhalt der gesammelten Daten. Mindestvoraussetzung für die Integration der realen Welt ist ein exakter Identifikator der Objektklasse oder der Objektinstanz. Für solch einen exakten Indikator stellte 2003 das Auto-ID Center den Electronic Product Code (ePC) vor, welcher auf Instanzenebene arbeitet. Seit 2004 stehen ePC-Nummernkreise durch EPCglobal, einer 100%-Tochter von EAN/UCC zur Verfügung. Zusätzlich können auch objektspezifische Daten, wie nächste Produktionsschritte, Kundenname und Zielkonfiguration gespeichert werden. Sensoren, die fähig sind Temperatur, Helligkeit, etc. zu messen, erweitern die Datenvielfalt durch Informationen über die Umgebung des Objekts. vgl. [6, p. 15] Um sich einen Überblick bzgl. der anderen Modelle verschaffen zu können sei hier auf die Literatur verwiesen.

Unternehmen legen gegenwärtig den Schwerpunkt auf den nützlichen Datenaustausch entlang der eigenen Wertschöpfungskette, die exakte Kennzeichnung der Produkte mittels Auto-ID Verfahren und auf den Einsatz von Echtzeitdaten zur beispielsweise Steuerung der Produktion. Die Problemstellung aus heutiger Sicht ist die umfangreiche Nutzung dieser Daten, da diese meist nicht eingesetzt werden können, oder es keinen unternehmensweiten möglichen Zugang zu diesen gibt. vgl. [2, p. 23] Die Daten müssen den Mitarbeitern auf einem möglichst einfachen Weg zur Verfügung stehen. Das bedeutet, dass diese nicht konvertiert werden müssen, damit sie effektiv eingesetzt werden können. vgl. [27, p. 317]

3.1.2 Materialfluss

Die Materialflüsse werden in Zukunft durch die wachsende Produktvarianz eine hohe Komplexität aufweisen, sodass die Vorhersagbarkeit von Produktionsverläufen zu-

rückgehen wird. Die wachsende Produktvarianz ist auf die sich entwickelnde Kundenorientierung zurückzuführen. Damit diese Materialflüsse beherrscht werden können, werden Softwaresysteme entwickelt, die große Datenmengen bearbeiten, speichern und somit eine hohe Informationsverfügbarkeit sicherstellen. Die Softwaresysteme müssen ebenfalls in der Lage sein, die Reaktionsfähigkeit auf unvorhersehbare Zwischenfälle zu verkürzen, damit die Produktion ohne zu großen Zeit- und Wertverlust voranschreiten kann. vgl. [1, p. 277f]

Die im Materialfluss geführten smarten Produkte, welche in Punkt 3.1.4 nochmals genauer beschrieben werden, sollen stets zweifellos identifizierbar und lokalisierbar sein und schon im Laufe der Produktion die Informationen über ihren Herstellungsprozess haben. Daraus ergibt sich der entscheidende Vorteil, dass einzelne Stationen in der Produktion durch das Produkt eigenständig angesteuert werden können. vgl. [4, p. 25]

Für den Transport von Materialien in der Produktion werden intelligente Transportfahrzeuge eingesetzt, die den Materialfluss selbstständig ausführen. Im deutschsprachigen Raum werden diese selbstnavigierenden mit Batterieversorgung fahrenden Transportfahrzeuge „Fahrerlose Transportsysteme“, (FTS) genannt. Diese FTS umfassen ein oder mehrere selbstgesteuerte Fahrzeuge, die mittels einer zentralen Auftragsverwaltung mit dem Lager und den Maschinen in Verbindung stehen. Diese Verbindung und die Auftragsverwaltung sind grundlegende Elemente von FTS. vgl. [28, p. 149f]

3.1.3 Zusammenspiel Material- und Informationsfluss

Die Form der Produkte ändert sich stets durch den Herstellungsprozess. Informationen über die Ausgangsstoffe haben jedoch weiterhin eine Relevanz und können als Vererbung von Attributen angesehen werden. Für einen nutzenstiftenden Einsatz der hohen Menge an Daten sind zwei Konzepte entscheidend: vgl. [6, p. 168]

- **Aggregation von Daten**

Ähnlich wie die Aggregation von Komponenten in der Fertigung ist es möglich Schlüsse über Produkte durch Informationen über deren Komponenten zu ziehen. Dies realisiert Tracking & Tracing. vgl. [6, p. 168]

- **Vererbung von Daten**

Die Vererbung von Daten beschreibt die Verknüpfung von Informationen über die Ausgangs- und Endprodukte. Die Historie der Produkte beinhaltet zusätzlich die Historie der Ausgangsprodukte. Dies führt zu einem Stammbaum vergleichbaren Aufbau. vgl. [6, p. 168f]

Die Lesezugriffe können dank Aggregation und Vererbung herabgesetzt werden, wodurch die Gestaltung der Informationen für Tracking & Tracing, oder die Überprü-

fung der Integrität von Produkten erleichtert wird. Die Datenaggregation und Vererbung ermöglichen die eindeutige Identifizierung einer Palette beispielsweise durch das Lesen eines RFID-Tags. Somit können Informationen über die auf der Palette befindlichen Produkte preisgegeben und ein hoher Aufwand durch das gesonderte Einlesen aller Produkte verhindert werden. Dadurch wird die Einsparung von Kosten und Zeit ermöglicht. vgl. [6, p. 169] In Abbildung 22 sind diese beiden Konzepte für den Informationsfluss, der parallel zum Materialfluss verläuft, zwischen zwei Unternehmen dargestellt.

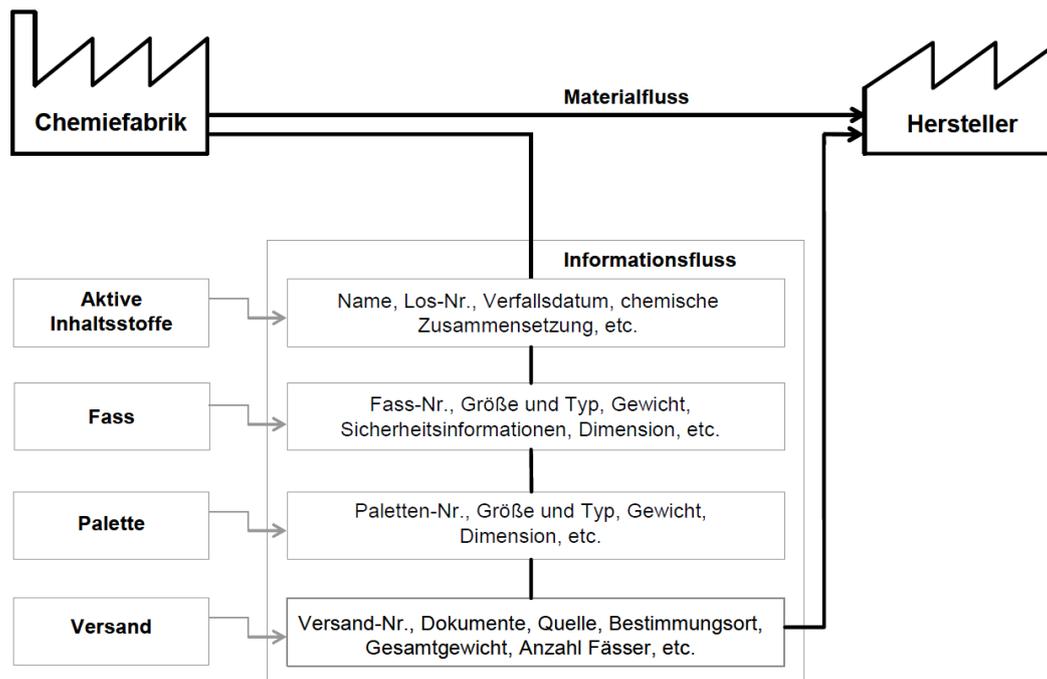


Abbildung 22: Datenaggregation und Vererbung vgl. [6, p. 169]

3.1.4 Smarte Produkte in der Produktion

Smarte Produkte sollen durch den Einsatz von UbiComp Zusatzfunktionen schaffen, indem sie abhängig von ihrer Umgebung individuell interagieren. Das bedeutet, dass ihre Funktionen von den Eigenschaften der Betriebsmittel, Bauteile, Verbrauchsteile, Ersatzteile und Werkzeuge untereinander, mit denen die Produkte im Zusammenhang stehen, abhängig sind. Als Beispiel für diese Produktfunktionen sind folgende Punkte angeführt, die teilweise schon in Unternehmen eingesetzt werden: vgl. [6, p. 22]

- Bauteile geben während der Montage durch Signale bekannt, ob sie an der richtigen Baugruppe montiert sind.
- Bauteile geben Informationen über ihre genauen Maße bekannt, sodass das Abstimmen von Toleranzen erleichtert wird.
- Im Werkzeugkoffer erfolgt eine automatische Überprüfung auf Vollständigkeit
- Produktionslose informieren über ihren aktuellen Aufenthaltsort.

- Produktionsmaschinen überwachen anhand von Informationen, ob das richtige Los für den nächsten Arbeitsschritt bereitgestellt ist. vgl. [6, p. 23]

Als wichtige Zusatzfunktion von Produkten hat sich die Kommunikationsdimension hervorgehoben, die sowohl Kunden, als auch Produzenten hilfreiche Informationen zukommen lassen kann. vgl. [6, p. 23] Beide Parteien können großen Nutzen aus Statusinformationen wie Ort, Produktidentifikationsnummer und Umgebungszustand ziehen. Damit könnte beispielsweise ein Produkt in einer Fertigung stets lokalisiert und eindeutig identifiziert werden und dem Kunden Informationen über den fortgeschrittenen Fertigungszustand zusenden. vgl. [6, p. 24] Smarte Produkte werden somit in Zukunft in einem Netzwerk aus Nutzern, Produzenten und verschiedenen Organisationseinheiten oder Dienstleistern wie Versicherern, Controllern, Prozessoptimierern stehen und die Wettbewerbslandschaft deutlich beeinflussen. vgl. [6, p. 24]

3.1.5 Zusammenfassung der Anforderungen an Materialdatenmanagement

Abschließend werden die beschriebenen Anforderungen an das Materialdatenmanagement im Sinne von Industrie 4.0 in Tabelle 5 zusammengefasst und darauffolgend bewertet. Die erste Spalte gibt die jeweiligen Kapitel an, in denen die Anforderungen ausführlich beschrieben sind. Die zweite Spalte gibt die Identifikationsnummern (Nr. Id.) der einzelnen Anforderungen an. Diese Identifikationsnummern werden bei der Meta-Analyse im Punkt 3.3 zur Erkennung der einzelnen Anforderungen eingesetzt. Die dritte Spalte fasst die Anforderungen mit den wichtigsten Punkten zusammen. Die vierte Spalte gibt die verwendete Literatur an. Nicht alle hinzugefügten Literaturquellen in Tabelle 5 wurden zur Beschreibung der einzelnen Punkte in den Kapiteln eingesetzt, führen diese jedoch ebenfalls an.

Anforderungen an Materialdatenmanagement			
Kapitel	Nr. Id.	Anforderungen	Literatur
3.1.1	AM 1	In Unternehmen muss sich der Integrationsbereich vergrößern, damit die reale- und virtuelle Welt beispielsweise mittels der digitalen Fabrik verknüpft werden können und somit Echtzeitdaten für die gesamte Wertschöpfungskette zur Verfügung stehen	vgl. [1, p. 16] vgl. [2, p. 5] vgl. [3, p. 6] vgl. [4, p. 46f] vgl. [6, p. 3f] vgl. [26, p. 33] vgl. [29, p. 23f]
3.1.1	AM 2	Unternehmen sollten durch den technischen Fortschritt UbiComp einsetzen, wenn dadurch die Grenzkosten und die qualitative Häufigkeit der Dateneingabe effektiv beeinflusst werden können	vgl. [1, p. 57] vgl. [4, p. 17] vgl. [6, p. 5ff]
3.1.1	AM 3	Die Datenqualität muss richtig interpretiert werden und die beschriebenen vier Dimensionen erfüllen, damit sie in Unternehmen unterstützend eingesetzt werden kann	vgl. [1, p. 278f] vgl. [6, p. 13ff] vgl. [26, p. 350] vgl. [27, p. 314ff]
3.1.1	AM 4	Die Unternehmen müssen gewährleisten, dass Mitarbeiter einen einfachen Zugang zu den Daten haben, damit diese nützlich eingesetzt werden können	vgl. [1, p. 287] vgl. [2, p. 23] vgl. [27, p. 317]
3.1.2	AM 5	Der Materialfluss wird durch die hohe Kundenorientierung sehr komplex und muss mit Hilfe von Softwaresystemen beherrscht werden	vgl. [1, p. 277f] vgl. [26, p. 395ff]
3.1.2	AM 6	Der Materialfluss sollte mit Hilfe von automatisierten fahrerlosen Transportsystemen (FTS) erfolgen, um Mitarbeiter zu entlasten	vgl. [1, p. 299ff] vgl. [4, p. 109] vgl. [28, p. 149f]
3.1.3	AM 7	Der Informationsfluss soll laufend Echtzeitdaten und Informationen wie Datenaggregation und Vererbung über die Produkte im Materialfluss preisgeben und parallel zu diesem mitlaufen	vgl. [1, p. 123] vgl. [6, p. 168f]
3.1.4	AM 8	Unternehmen sollen laufend Informationen durch smarte Produkte bereitstellen um Netzwerke aufzubauen und die zukünftigen Wettbewerbslandschaft zu beeinflussen	vgl. [1, p. 42ff] vgl. [4, p. 23] vgl. [6, p. 22ff]

Tabelle 5: Anforderungen an Materialdatenmanagement

Die Vereinigung der realen mit der virtuellen Welt ist die am häufigsten in der verwendeten Literatur genannte Anforderung an Materialdatenmanagement im Bezug auf Industrie 4.0. Zur Realisierung dieser Anforderung werden Auto-ID Verfahren benötigt, wobei hierfür die RFID Technologie, welche sich durch die Weiterentwicklung von UbiComp weiter verbessern wird, am häufigsten erwähnt wird. Unternehmen müssen selbst entscheiden, ob diese Technologie relevant für den Herstellungsprozess ihrer Produkte ist. Die Frage über den Einsatz des richtigen Auto-ID Verfahrens wird im Punkt 4.3.3.2 nochmals bezüglich des Datenflusskonzepts für die Blechfertigung erwähnt. Der einfache Zugang zu Daten sowie die enthaltene Datenqualität sind auch oft erwähnte Anforderungen. Wichtig ist vor allem, dass aus diesen ein Nutzen gezogen werden kann und diese von Menschen und Maschinen richtig inter-

pretiert werden. Beim Materialfluss wird die zukünftige Komplexität oft erwähnt und die steigende Variantenanzahl aufgrund der Kundenorientierung. Der Transport des Materialflusses wird oft, jedoch in unterschiedlicher Weise geschildert. Hier sei beispielsweise angeführt, dass der Transport über FTS oder Förderbänder ausgeführt werden kann. Dies lässt darauf schließen, dass es abhängig sein wird, inwieweit die Weiterleitung des Materialflusses von gegebenen Umständen im Unternehmen wie beispielsweise Größe der Hallen, Anzahl der Mitarbeiter, etc. ist. Die Bereitstellung von Echtzeitdaten über den Materialfluss durch den Informationsfluss baut auf der Vereinigung der realen und virtuellen Welt auf und ist eine wichtige Anforderung, da somit die Unternehmen schnell auf Veränderungen reagieren können. Die smarten Produkte werden mäßig oft angesprochen. Diese können die Produktion grundlegend verändern und viele Vorteile mit sich bringen. Diese sind jedoch abhängig von der Bereitstellung ihrer Informationen. Es muss somit gewährleistet sein, dass diese in einem Netzwerk von Menschen eingesetzt und eingesehen werden können.

3.2 Anforderungen an PPS in Industrie 4.0

Bei den Anforderungen an die PPS im Bezug auf Industrie 4.0 wird zuerst allgemein auf die Wertschöpfungskette unternehmensintern und –extern eingegangen. Danach wird beschrieben, wie das Zusammenspiel zwischen der PPS und dem Product Lifecycle Management aussehen wird. Darauffolgend wird auf die Dynamik im Unternehmen eingegangen und welche Anforderungen dadurch an die PPS entstehen. Bei der Sammlung und Verwertung von Daten spielt der Datenschutz, welcher an die Dynamik als weiteren Punkt anschließt, eine wichtige Rolle. Im Anschluss werden Anforderungen getrennt an die Produktionsplanung und Produktionssteuerung betrachtet. Bei der Produktionsplanung werden Anforderungen in der Produktion und zusammenhängend damit die Planung vor Ankunft der Produkte mittels Tracking & Tracing erläutert. Bei der Produktionssteuerung werden die Anforderungen an die Veränderungen und Herausforderungen sowie die flexible Gestaltung der Produktion durchgenommen.

3.2.1 Horizontale und vertikale Integration

Der Begriff „Internet der Dinge“ beschreibt die Vernetzung von realen Objekten mit der virtuellen Welt und untereinander. Durch diese Verknüpfung können die Objekte Informationen im Internet zur Verfügung stellen, wodurch die Trennung beider Welten weitgehend aufgehoben wird. Diese Verbindung ist im Wesentlichen die Kernaussage von Industrie 4.0. In der Produktion haben sich für die Einführung von Industrie 4.0 mit dem Internet der Dinge drei Anwendungsgebiete hervorgehoben: vgl. [1, p. 58]

- **Horizontale Integration**

Darunter versteht sich der Informationsaustausch mehrerer Unternehmen, die in einem Wertschöpfungsnetzwerk miteinander verbunden sind vgl. [1, p. 59] Durch die Digitalisierung der horizontalen Wertschöpfungskette wird der Informations- und Materialfluss angefangen vom Kunden über das Unternehmen bis zum Lieferanten integriert und optimiert. Unternehmensbereiche wie beispielsweise Einkauf, Produktion, Logistik und Planung werden mit den externen Wertschöpfungspartnern zusammen verbunden und gesteuert. vgl. [2, p. 16]; vgl. [4, p. 24]

- **Vertikale Integration**

Diese richtet ihr Hauptaugenmerk auf den direkten Zugriff von Feld- und Planungsinformationen innerhalb eines Unternehmens. vgl. [1, p. 59] Dank der vertikalen Digitalisierung wird wie in Abbildung 23 erkennbar ist, ein durchgängiger Informations- und Datenfluss über die Hierarchieebenen angefangen vom Vertrieb über die Produktentwicklung, Planung, etc. sichergestellt. Die Verbesserung der Qualität und Flexibilität bei gleichzeitiger Verringerung der Kosten ist abhängig von der Vernetzung von Produktionssystemen, Verhinderung von Systembrüchen und gesteigerten Analysefähigkeiten. vgl. [2, p. 18]; vgl. [4, p. 24]

- **Digitale Durchgängigkeit des Engineerings**

Diese Durchgängigkeit betrifft den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Produktionsmitteln über die gesamte Wertschöpfungskette. Das Resultat ist eine firmenübergreifende Vereinigung der digitalen und realen Welt unter Rücksicht von Kundenanforderungen. vgl. [1, p. 59; 362]; vgl. [4, p. 35] Auf diesen Punkt wird nun nicht näher eingegangen, da dieser bereits in Punkt 3.1.1 behandelt wurde.

In Abbildung 23 sind alle betroffenen Bereiche der horizontalen und vertikalen Integration zusammenfassend abgebildet.

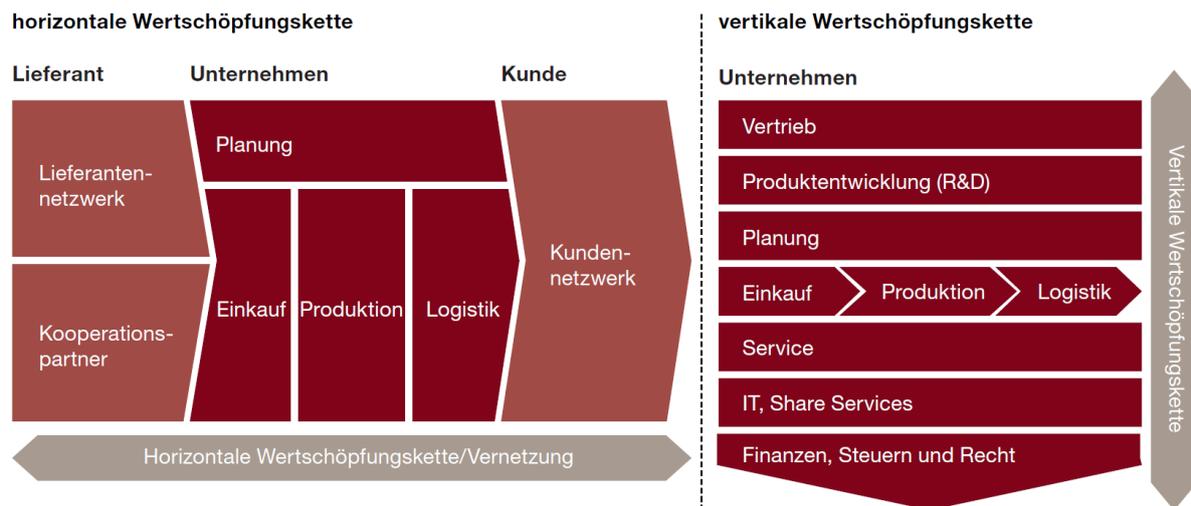


Abbildung 23: Horizontale und vertikale Integration [2, p. 17]

Wie genau die PPS in einem Zusammenhang mit den genannten Anwendungsgebieten steht, wird aus den folgenden Punkten ersichtlich.

3.2.2 Zusammenspiel PPS und PLM

Durch die Einbettung von IT-Systemen, angetrieben durch den Grundgedanken von Industrie 4.0, in der Produktionsumgebung hat die Nutzung der Planungs- und Steuerungsqualitäten dieser Systeme einen hohen Stellenwert gewonnen. In der Vergangenheit wurden Informationen durch Schnittstellenprobleme teilweise zusammenhanglos und unvollständig zwischen den Abteilungen weitergeleitet. Als Beispiel sei hier die Übertragung der Konstruktionsdaten in Produktionsdaten erwähnt. Die Informationen über Produkte müssen so aufbereitet werden, dass sie bei der Weiterleitung in andere Abteilungen genützt werden können. Das Product Lifecycle Management (PLM) hat den Auftrag Produktdaten, Informationen zum Produkt- und Prozessmanagement für den Produktlebenszyklus zu leiten. Die IT-Landschaft sollte so gestaltet werden, dass ein konstanter Datentransfer, dargestellt in Abbildung 24, zwischen der PLM und dem PPS sichergestellt ist. Die PLM schließt dabei zusätzlich die Verwaltung der Konstruktions- und Produktdaten ein. vgl. [1, p. 283]

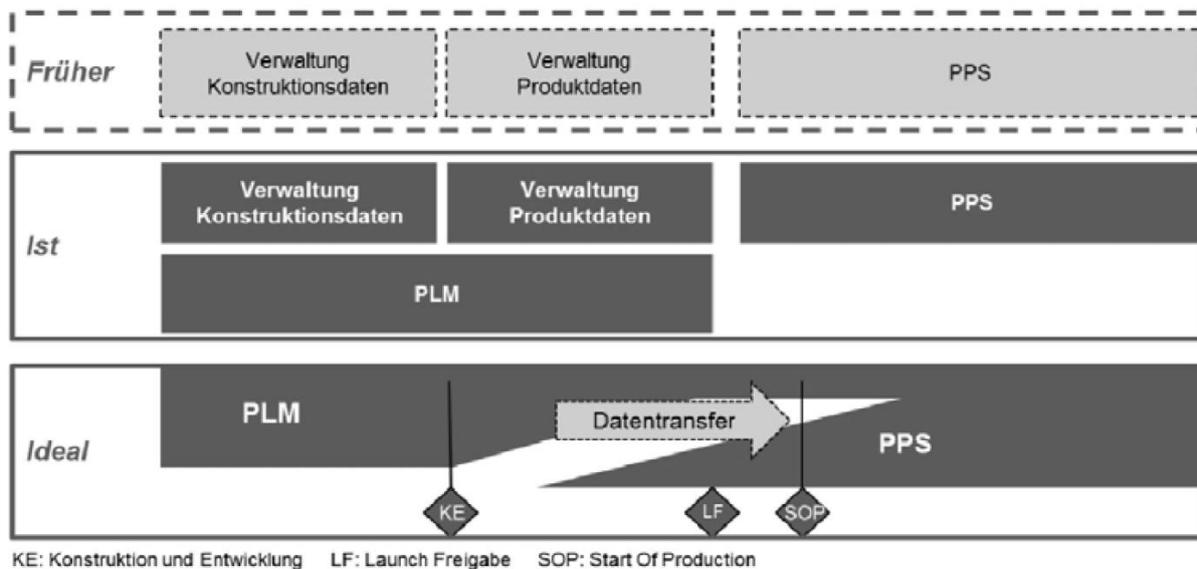


Abbildung 24: Datentransfer PLM und PPS [1, p. 283]

Durch das Zusammenlegen auf ein Haupt IT-System wird die Datenkonsistenz gesteigert. Diese einzige Datenquelle wird auch „Single Source of Truth“ genannt und hat den entscheidenden Vorteil, dass nicht mehrere Datenquellen zusammengelegt werden müssen, die untereinander auch inkonsistent sein können. Diese Datengrundlage wird dann für die PPS eingesetzt. Nur aufgrund einer soliden Datengrundlage kann eine Planung und Steuerung auf Dauer erfolgreich sein. Für eine gute Datenqualität müssen fehlerfreie Rückmeldungen und genaue Datenerfassungen erfolgen. Diese Daten können mit Hilfe von Auto-ID Verfahren erfasst werden, wodurch die Qualität und die zeitliche Genauigkeit dieser effizient verbessert werden. Im Bezug auf die Produktionsabläufe können die Echtzeitdaten für die Entscheidungsfindung bei der Produktionssteuerung herangezogen werden. vgl. [1, p. 284]

3.2.3 Dynamik in der Produktionsumgebung

Die Dynamik beschreibt in der Produktion unvorhersehbare Ereignisse wie kurzfristige Veränderungen von Kundenaufträgen, Lieferanten mit mangelhafter Liefertermintreue, oder interne Störungen, die Produktionsverzögerungen verursachen. Die Aufgabe der PPS ist daher solche Einflüsse zu berücksichtigen und einen beständigen Produktionsablauf zu schaffen. In Zukunft könnte diese Aufgabe mit Hilfe der cloudbasierten und echtzeitfähigen Simulation der Abläufe in einer Produktion, gemeistert werden. Da sich die Leistung und Speicherkapazität ständig erhöht, entstehen völlig neue Blickwinkel für die PPS. Diese Simulation muss sich stets mit Echtzeitinformationen aus der Produktion aktualisieren, um somit den Mitarbeitern bei komplexen Entscheidungssituationen als Hilfestellung zu dienen. Die Realität wird mit Hilfe der gewonnenen Echtzeitdaten in einem Simulationsmodell dargestellt. Durch Simulationsanalysen und Mustererkennungen kann die bestehende Produktionssteuerung dargestellt und die optimale Konfiguration der Produktionssteuerung bestimmt werden. Damit können Handlungsempfehlungen vorgeschlagen und daraus

Verbesserungen zur Steuerung entwickelt werden. Die Simulation bietet auch die Gelegenheit Folgen von Störungen anzuzeigen und mögliche Auswirkungen von Lösungsmaßnahmen vorauszusagen. vgl. [1, p. 284f]; vgl. [27, p. 315]

3.2.4 Datenschutz

In Zukunft wird sich die hohe Anzahl an gesammelten Daten in einer Cloud befinden. Dabei muss sichergestellt werden, dass Unberechtigte keinen Zugang zu diesen haben. Durch einen Zugriffsschutz wie beispielsweise der Vergabe von Rechten muss garantiert sein, dass Daten nur von Berechtigten eingesehen, verarbeitet, oder weitergegeben werden können. vgl. [1, p. 414]; vgl. [27, p. 205]

Die Produktionsplanungsdaten beinhalten Informationen über kommende Konfigurationen von Produktionsanlagen und Fertigungsprozessen der Unternehmen, deren Fertigungsanlagen über eine gemeinsame Cloud-Plattform verbunden sind. Hier sind Geheimnisse und ausführliches Wissen über die Herstellungsweise der Produkte von den zusammenarbeitenden Unternehmen gesammelt. Geraten diese Daten in die Hände von Konkurrenten, könnten diese die gewonnenen Informationen zur Verbesserung und Weiterentwicklung der eigenen Produkte nutzen. Eine weitere Gefahr wäre eine Veränderung der in der Cloud befindlichen Daten, sodass die Konfigurationen oder eventuelle Verbesserungen in den Produktionsabläufen nicht verwirklicht werden, da Simulationen falsch sind. vgl. [1, p. 414] Ein weiterer Fokus ist auf personenbezogene Daten zu setzen, da der Umgang mit diesen ein sensibles Thema ist. vgl. [4, p. 55] Für IT-Systeme müssen daher Lösungsansätze ausgearbeitet und umgesetzt werden, damit die gesammelten Daten gesichert sind und die genannten Probleme nicht eintreten können. vgl. [1, p. 414] Im Vergleich zu Unternehmen soll jedoch die Sicherheit bei Cloud-Dienstleistern höher sein, da hier viel mehr Sicherheitsvorkehrungen existieren. vgl. [30, p. 119]

3.2.5 Produktionsplanung in der Produktion

Bei der Bearbeitung von Fertigungsaufträgen werden oft Produktionsplanungssysteme eingesetzt, die die Reihenfolge einzelner Produktionsprozesse für bestimmte Aufträge anzeigen. Diese Systeme sind normalerweise Softwarewerkzeuge, welche das Personal in der Planungsebene einsetzt. In manchen Unternehmen werden die Systeme für die Abarbeitung von einzelnen Prozessschritten auf Ebenen von Maschinenbedienern nicht eingesetzt. Stattdessen kommen Plantafeln zum Einsatz, welche auf dem Einsatz von Steckkarten basieren, auf denen Informationen wie Auftragsnummer, Maschinenummer, Materialnummer und Losgröße aufgebracht sind. Hier kommt es zu einem hohen Aufwand, da eine manuelle Synchronisation zwischen der IT-gestützten Planung und der papiergestützten Planung durchgeführt wird. Auf der operativen Ebene kann eine gute Steuerung der Auftragsabwicklung stattfinden, der

konkrete Nachteil jedoch liegt bei der Unstimmigkeit der Auftragsabarbeitung der digitalen und realen Planungswelt. Bei Bedarf von Informationen über den aktuellen Auftragsbearbeitungsstand muss verbunden mit Zeitverlust direkt beim Mitarbeiter in der Produktionshalle nachgefragt werden. Besonders bei der Beurteilung von Problemeskalationen in der Auftragsbearbeitung und deren Lösung kann diese Informationsbeschaffung mit organisatorischen Verlusten verbunden sein. Für eine effiziente und schnelle Entscheidungsfindung, müssen den Mitarbeitern der Planungsebene stets Informationen digital zum Abruf zur Verfügung stehen. vgl. [1, p. 69] Die Beurteilung und Beseitigung der genannten Eskalationen ist ebenfalls durch schlecht dokumentierte oder in unübersichtlichen Tabellen in IT-basierten Systemen aufgeschriebene Notizen von Mitarbeitern schwierig. vgl. [1, p. 69]

Um diesen genannten Problemen effizient entgegenzuwirken, muss als ersten Schritt eine digitale Plantafel eingesetzt werden, in die der Mitarbeiter die Fertigungsaufträge einträgt und somit alle aktuellen Informationsstände auch auf der Planungsebene abrufbar sind. Mit dieser Lösung kann die Abstimmung zwischen Produktionsplanung und der Auftragsabarbeitung ohne organisatorische Verluste stattfinden und eine Erfassung bzw. Lösung von Eskalationen schneller realisiert werden. vgl. [1, p. 70f] In einem weiteren Schritt können auch noch Anwendungen kreiert werden, mit denen der Anwender Komplikationen durch Eskalationen und bearbeitende Fertigungsaufträge dokumentieren kann. vgl. [1, p. 72] Ein langfristiger Schritt wäre, aufbauend auf den bereits genannten, die gewonnenen Informationen in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess einzubauen, damit Prozessoptimierungen durchgeführt werden können. vgl. [1, p. 72]

3.2.6 Tracking & Tracing für die Produktionsplanung

Durch den Einsatz von Tracking & Tracing sollen Empfänger und Sender stets Informationen über den Aufenthaltsort von Material erhalten. Durch die somit erhaltenen Informationen, die auch Auskunft über die Lieferzeiten geben, können die am schnellsten lieferenden Anbieter herausgefiltert werden und somit zukünftige Engpässe verhindert werden. Die Produktionsplanung kann anhand der Lieferzeitpunkte planen, wie sich die Fertigung durch die Anlieferung der benötigten Teile orientiert. vgl. [8, p. 52] In Zukunft wird sich die RFID-Technik für Tracking & Tracing durch die ständige Weiterentwicklung der Technik durchsetzen. vgl. [8, p. 53]

3.2.7 Veränderung der Produktionssteuerung

In gegenwärtigen Produktionssteuerungen besteht wie in Abbildung 25 zu sehen ist zwischen den Steuerungsebenen eine hierarchische Trennung. Mit Hilfe von Ziel- und IST-Werten werden in einer Ebene SOLL-Werte ausgerechnet und an die nächs-

te Ebene weitergeleitet. Der Informationsaustausch erfolgt über festgelegte Schnittstellen (HMI). vgl. [1, p. 236]

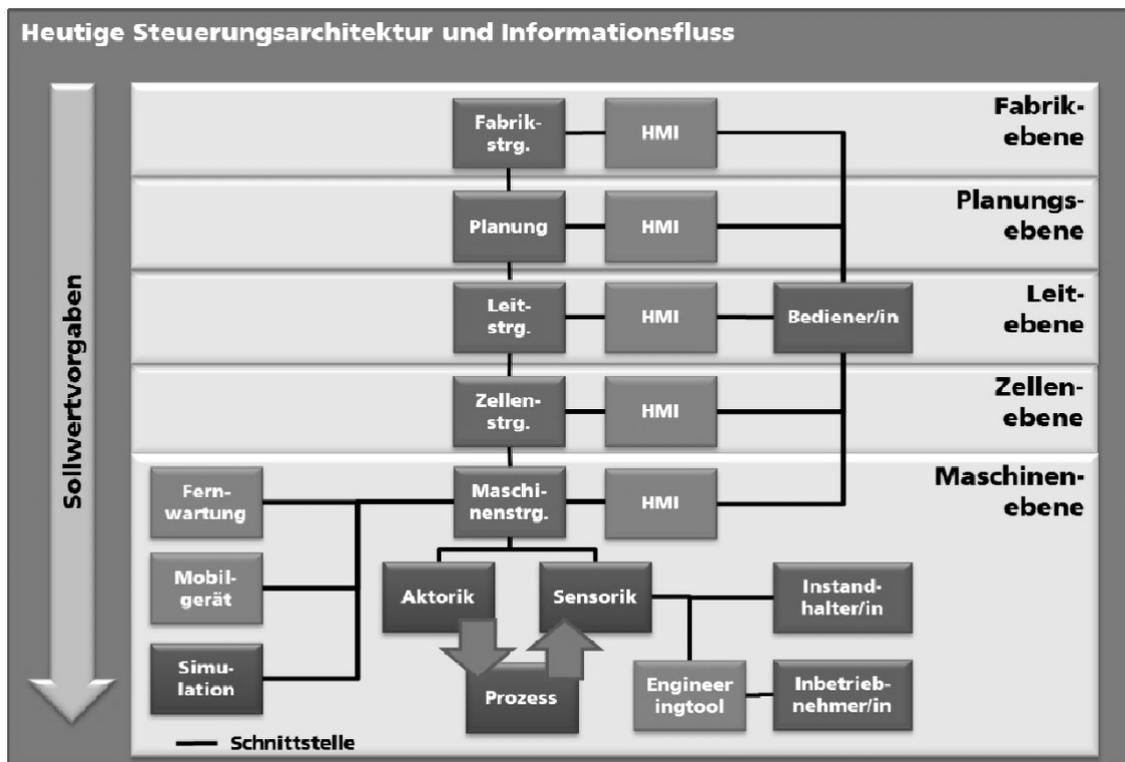


Abbildung 25: Gegenwärtige Produktionssteuerung vgl. [1, p. 236]

Diese Regelung führt zu Einschränkungen in der Produktivität, da einige Bereiche wie die Selbstoptimierung von Produktionen, die Berechnung komplexer Algorithmen im Bezug auf Simulationen, Identifikationsverfahren und Signalanalysen, die mangelnde Sicherheit und Schutz des Prozess Know-Hows und weitere dadurch Defizite aufweisen. vgl. [1, p. 237]

In Zukunft könnten cloudbasierte Steuerungssysteme eingesetzt werden, mit deren Hilfe nur die Sensorik und Aktorik bei den Prozessen als Ressourcen bleiben. CPS wie eine Maschine, ein Roboter oder das gesamte Produktionssystem werden durch die Steuerung in der Cloud mit anderen Maschinen Informationen über Services austauschen und somit lernend und abwechselnd auf die Umgebung reagieren können. Eine Abstimmung auf äußere Einflüsse ist somit automatisch und schneller zu verwirklichen. Der Vergleich zur heutigen und zukünftigen Steuerung von Produktionen ist in Abbildung 26 zusammengefasst. vgl. [1, p. 238f]

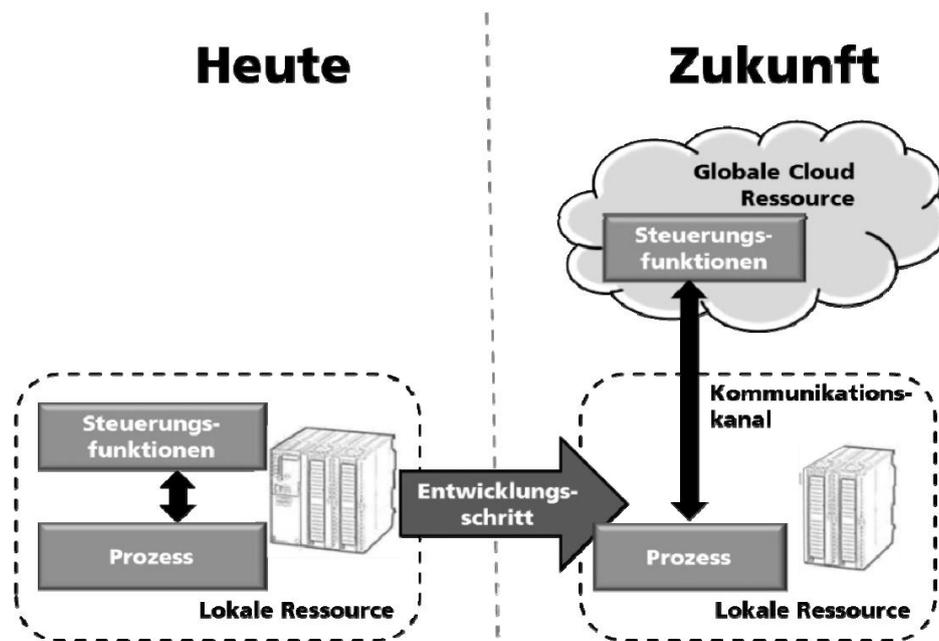


Abbildung 26: Verlagerung der Steuerungsfunktion vgl. [1, p. 239]

3.2.8 Herausforderung in der Produktionssteuerung

Wie in Punkt 3.1.2 bereits erwähnt werden die Materialflüsse in Zukunft durch die zunehmende Kundenorientierung und der daraus resultierenden Produktvarianz sehr komplex. Fokus ist hierbei auf die Liefertreue und Lieferzeit zu setzen, da diese Leistungsmerkmale in der Maschinen- und Anlagensparte von Kunden als Differenzierungsmerkmal festgestellt werden. vgl. [1, p. 277f]; vgl. [26, p. 572] Die Umsetzung ist aufgrund der schwer verständlichen Materialflüsse sowie der komplizierten Prognose von Produktionsverläufen eine große Herausforderung. vgl. [1, p. 277f]

Zur Bewältigung der Materialflüsse wurden mehrere Softwaresysteme für einzelne Bereiche wie das Supply Chain Management, Planung und Steuerung von Ressourcen oder der Feinplanung entwickelt. Zur Steuerung in der Produktion selbst werden CPS eingesetzt, die die Produktionssteuerung mit Hilfe von Sensoren mit Echtzeitdaten unterstützen. vgl. [1, p. 277f]

3.2.9 Flexible Produktion

Durch die zunehmende Kundenorientierung muss das Unternehmen im Stande sein, schnell und flexibel auf Kundenanforderungen einzugehen und hohe Variantenzahlen bei gleichzeitig geringen Losgrößen von bis zu 1 gewinnbringend zu produzieren. Bei Erfüllung dieser Eigenschaft durch die Produktionssteuerung, kann die Wettbewerbsfähigkeit erhöht werden. vgl. [30, p. 2]

3.2.10 Zusammenfassung der Anforderungen an PPS

Tabelle 6 fasst die Anforderungen an die PPS im Sinne von Industrie 4.0 zusammen. Der Aufbau von Tabelle 6 ist äquivalent zu Tabelle 5, in der die Anforderungen des Materialdatenmanagements angeführt sind.

Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung			
Kapitel	Nr. Id.	Anforderungen	Literatur
3.2.1	AP 1	Horizontale Digitalisierung zur Optimierung des Informations- und Materialflusses, sowie der verbesserten Steuerung aller betroffenen Bereiche	vgl. [1, p. 59] vgl. [2, p. 16] vgl. [3, p. 18] vgl. [4, p. 24] vgl. [29, p. 16]
3.2.1	AP 2	Vertikale Digitalisierung für einen unternehmensinternen durchgängigen Informations- und Datenfluss zur Steigerung der Qualität und Flexibilität bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten	vgl. [1, p. 59] vgl. [2, p. 16] vgl. [3, p. 18] vgl. [4, p. 24] vgl. [29, p. 16]
3.2.2	AP 3	Schaffung einer Datenquelle "Single Source of Truth" um Inkonsistenz mehrerer Datenquellen zu vermeiden. Dient als Datengrundlage für die PPS	vgl. [1, p. 284]
3.2.3	AP 4	Schnelle Reaktion auf entstehende Dynamik mit Hilfe von echtzeitbasierten Daten zur Erstellung einer Simulation um auf mögliche Störungen bestmöglich zu reagieren	vgl. [1, p. 284f] vgl. [26, p. 147] vgl. [27, p. 315]
3.2.4	AP 5	Die gesammelten Daten dürfen nicht von Unberechtigten eingesehen, verändert oder verbreitet werden. Die Daten müssen mit Hilfe von Sicherheitsschlüsseln und Vergaben von Rechten gesichert werden	vgl. [1, p. 414] vgl. [4, p. 55] vgl. [27, p. 205] vgl. [29, p. 71ff] vgl. [30, p. 119]
3.2.5	AP 6	Eine Digitalisierung aller verwendeten Methoden (Bsp.: Plantafel) in allen Ebenen, damit der Aufwand zur Synchronisation der IT-gestützten Planung und der papiergestützten Planung eliminiert wird	vgl. [1, p. 69ff]
3.2.6	AP 7	Einsatz von Tracking & Tracing zur Orientierung der Produktionsplanung anhand von Anlieferungszeitpunkten um so die Fertigung ideal darauf vorzubereiten	vgl. [8, p. 52f]
3.2.7	AP 8	Die cloudbasierte Produktionssteuerung soll mit Hilfe der Cloud in der Lage sein, Informationen zwischen CPS austauschen zu können, damit selbstständiges Lernen und Verbessern ermöglicht wird	vgl. [1, p. 236ff] vgl. [29, p. 9]
3.2.8	AP 9	Einhalten der Liefertreue und Lieferzeiten im Maschinen- und Anlagenbau mit Hilfe der Produktionssteuerung durch Einsatz von Softwaresystemen zur Haltung bzw. Vergrößerung des Kundenstammbaums	vgl. [1, p. 277f] vgl. [26, p. 572]
3.2.9	AP 10	Die Produktionssteuerung soll in der Lage sein eine flexible Produktion, die eine hohe Variantenanzahl und gleichzeitig eine geringe Losgröße von bis zu 1 realisiert, zu steuern um somit die Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen	vgl. [1, p. 179] vgl. [2, p. 26] vgl. [4, p. 19] vgl. [30, p. 2] vgl. [31, p. 154]

Tabelle 6: Anforderungen an die PPS

Die horizontale und vertikale Digitalisierung sind in der verwendeten Literatur wichtige und oft genannte Anforderungen im Bezug auf Industrie 4.0, da durch diese der Informations- und Materialfluss und die Zusammenarbeit im Unternehmen und unternehmensübergreifend verbessert werden können. Die Schaffung einer Datenquelle „Single Source of Truth“ wird eher selten erwähnt, wobei die Idee selbst oft aufgegriffen wird. Wichtig ist, dass die Inkonsistenz von mehreren Datenquellen vermieden wird. Die Daten müssen für Mitarbeiter in einer einfachen Weise zur Verfügung stehen. Die Dynamik unterstreicht nochmals die Wichtigkeit von zur Verfügung gestellten Echtzeitdaten, damit in Zukunft mittels einer Simulation schneller auf verschiedene Einflüsse reagiert werden kann. Die Zusammenfassung der Probleme als Begriff Dynamik wird nur in einer Literatur verwendet. Eine weitere sehr wichtige Anforderung ist der Datenschutz. Es muss gewährleistet sein, dass Unberechtigte niemals einen Zugang zu diesen haben. Eine Kopie, Veränderung, etc. der Daten könnte beispielsweise bei der cloudbasierten Produktionssteuerung im Unternehmen fatale Folgen haben. Die Digitalisierung aller verwendeten Methoden, speziell in allen Ebenen wie beispielsweise bei den Maschinenbedienern, ist eine Anforderung, die in der verwendeten Literatur nicht oft erwähnt ist. Trotzdem sollte sie umgesetzt werden, um die Komplexität der digitalen und realen Planungswelt im Unternehmen zwischen den Bereichen zu reduzieren. Im Bezug auf die Lieferung von Material soll Tracking & Tracing mit der RFID-Technologie eingesetzt werden. Im Bezug auf die Produktionsplanung hat diese durch Angabe von Anlieferungszeitpunkten große Auswirkungen. Die Einhaltung der Lieferzeit und Liefertreue sind auch wichtige Anforderungen für die Produktionssteuerung in Unternehmen, da diese wichtige Differenzierungsmerkmale für Kunden sind. Die Produktionssteuerung muss in der Lage sein, die Produktion flexibel zu gestalten, sodass eine Reduzierung der Losgröße aufgrund von Kundenorientierung realisierbar ist. Auch diese Anforderung wird sehr oft erwähnt und ist somit für zukünftige Unternehmen ein wichtiger Punkt.

3.3 Meta-Analyse

Mit Hilfe der Meta-Analyse können die Ergebnisse von Studien durch die Anwendung von statistischen Verfahren dargestellt werden. Allgemein werden Meta-Analysen bei der Vorlage von quantitativen Daten eingesetzt. vgl. [32, p. 18]

Für die erstellte Meta-Analyse wurden die Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS in einem Diagramm zusammengefasst. Als quantitative Daten wurde die vorkommende Häufigkeit der erwähnten Anforderungen in der Literatur herangezogen. Vertikal sind die einzelnen Anforderungen mit der zugehörigen Identifikationsnummer angeführt. Diese sind in den Tabellen 5 und 6, in denen die Anforderungen angeführt sind, in der zweiten Spalte angegeben. Zusätzlich sind zu jeder Anforderung Schlagwörter angeführt, um zusätzliche Informationen zu gewährleisten. Durch die Länge der Balken ist verdeutlicht, wie oft die jeweiligen Anforderungen in

der verwendeten Literatur, die in der fünften Spalte der Tabellen 5 und 6 angeführt sind, vorkommen. Abbildung 27 stellt die resultierende Meta-Analyse dar.

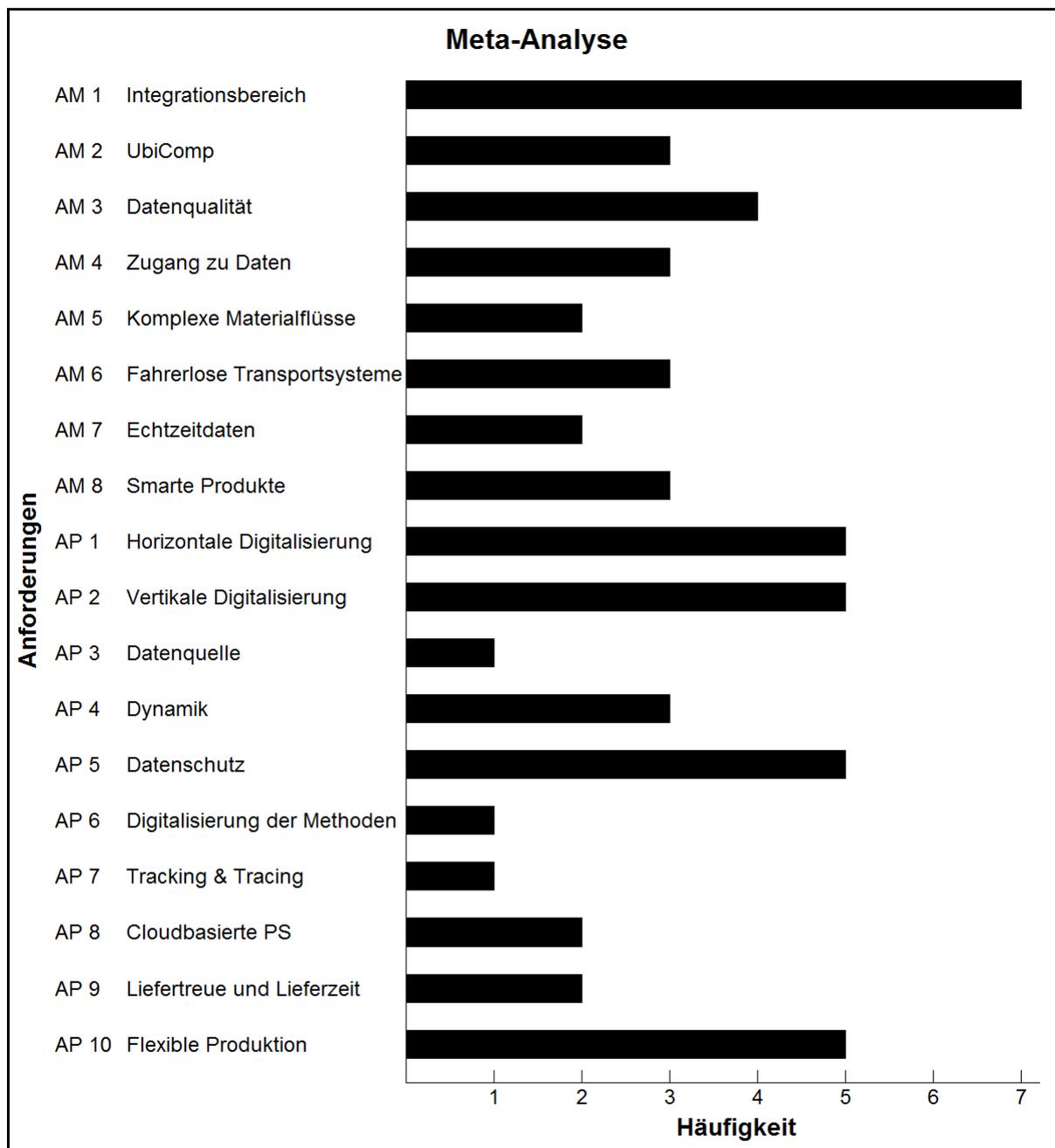


Abbildung 27: Meta-Analyse

4 Datenmanagementkonzept bei TAT

In diesem Teil der Arbeit wird zunächst im Punkt 4.1 das Unternehmen TAT vorgestellt. Anschließend werden im Punkt 4.2 die Anforderungen von TAT für das Materialdatenmanagement und die PPS zur Herstellung von Biegemaschinen bezogen auf ein Geschäftsjahr erläutert. Dazu wird zuerst der aktuelle IST-Zustand zur Herstellung der Biegemaschinen bei TAT beschrieben und dargestellt. Dabei wird eine Prozessarchitektur verwendet, die schrittweise in mehreren Ebenen immer detaillierter den Ablauf der durchzuführenden Prozesse abbildet. In der letzten Ebene wird zur Darstellung der Prozesse die BPMN 2.0 angewendet. Abschließend werden die von TAT gestellten Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS im Sinne von Industrie 4.0 bezogen auf diese Prozesse vorgestellt und bewertet. Die Anforderungen an die Blechfertigung werden in diesem Kapitel ausgelassen, da diese ab Punkt 4.3.2 genauer behandelt werden. Sämtliche Informationen über den Aufbau und Ablauf der Prozesse sowie der Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS wurden durch Interviews mit dem Personal von TAT und durch die Einsicht in firmeninterne Dokumente analysiert. Im letzten Punkt 4.3 wird das Datenflusskonzept für das Projekt „Blechfertigung 4.0“ dargestellt und erläutert. Dazu wird zuerst der aktuelle IST-Zustand der Blechfertigung ausführlich beschrieben und abgebildet, um die geplanten Änderungen für die neue Blechfertigung verständlich und nachvollziehbar zu machen. Im Anschluss daran wird das Datenflusskonzept angefangen bei den analysierten Herausforderungen bis zu den Zielen und Maßnahmen detailliert erläutert. Für einen guten Überblick des IST- und des SOLL-Zustands werden Hallenlayouts und die BPMN 2.0 eingesetzt.

4.1 TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG

Das TRUMPF Werk in Pasching wurde 1991 in der Umgebung des Linzer Flughafens gegründet. Das Unternehmen ist eines von weltweit mehr als 50 Niederlassungen und Tochtergesellschaften der deutschen TRUMPF Gruppe. Speziell in Österreich gibt es nur dieses Werk. Dieser Standort ist ein Kompetenzzentrum für Biegetechnologie in dem TruBend Biegemaschinen, automatisierte TruBend Cell Biegezellen sowie lasergehärtete Biegewerkzeuge hergestellt werden. vgl. [33]

Das Werk ist auch für den Vertrieb und Service der Produktpalette im Bereich Werkzeugmaschinen für die Blechbearbeitung in Österreich zuständig. Zusätzlich werden auch Vertrieb und Service für Elektronik, Elektrowerkzeuge und Lasertechnik bereitgestellt. vgl. [33]

Der Standort wurde seit seiner Gründung ständig erweitert und verfügte 2008 über eine Größe von mehr als 22000m². Ende 2014 wurde der Neubau eröffnet, durch den nun ein erweiterter Entwicklungsbereich und neue Produktionshallen zur Verfü-

gung stehen. vgl. [33] Ein beachtliches Augenmerk ist das Vorfürzentrum. Dort können Kunden TruBend Abkantpressen, Automatisierungslösungen und Markierlaser bei Probeläufen unter realen Anforderungen betrachten. In Abbildung 28 ist das aktuelle Werk in Pasching abgebildet. vgl. [33] Herr Dipl.-Ing. Armin Rau ist seit 2004 Geschäftsführer bei TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG. vgl. [34]



Abbildung 28: TRUMPF Werk Pasching [33]

4.1.1 Manuell Biegen

Allgemein werden drei unterschiedliche Serien von Biegemaschinen mit den Bezeichnungen 3000, 5000 und 7000, die sich bzgl. ihrer Geometrien und Presskräfte unterscheiden, im Werk hergestellt. Es gibt auch noch eine weitere Serie mit der Bezeichnung 8000, die jedoch nicht in Österreich hergestellt wird. Um sich ein Bild einer Biegemaschine machen zu können, ist in Abbildung 29 das Modell „TruBend 5130“ dargestellt. Bei den vierstelligen Maschinenbezeichnungen gibt von links gesehen die erste Zahl, in diesem Fall die 5, immer die Serie der Maschinen an. Es handelt sich somit um eine Biegemaschine der Serie 5000. Die darauffolgenden drei Zahlen geben eine Information über die Presskraft in Tonnen an. Die „TruBend 5130“ hat somit eine Presskraft von 130t. Die einzelnen Modelle einer Serie unterscheiden sich außer der Presskraft durch die unterschiedliche Abkantlänge, Geschwindigkeit, Gehäuseabmessung, etc. voneinander. Modelle mit der alleinigen Bezeichnung „TruBend“ zählen zu den Manuellen Biegemaschinen. vgl. [35]



Abbildung 29: TruBend 5130 vgl. [35]

4.1.2 Halbautomatisiert Biegen

TRUMPF bietet auch eine halbautomatisierte Biegemaschine namens „TruBend Center 5030“ an. Diese Biegemaschinen werden jedoch nicht in Österreich hergestellt. Da diese aber auch zur Palette der TRUMPF Biegemaschinen zählt und im Vorführcentrum im Werk in Pasching steht, wird sie für einen besseren Überblick ebenfalls erwähnt. Das Rüsten der Biegewerkzeuge sowie das Biegen aller Kanten auf einer Seite erfolgen automatisiert. Die zu biegenden Blechteile werden manuell in die Maschine eingeführt. Die „TruBend Center 5030“, welche in Abbildung 30 zu sehen ist, basiert auf dem Prinzip des Schwenkbiegens, während alle in Pasching gefertigten Biegemaschinen zur Kategorie Gesenkbiegen zählen. vgl. [36]



Abbildung 30: TruBend Center 5030 vgl. [36]

4.1.3 Vollautomatisiert Biegen

„TruBend Cell“ Biegezellen sind vollautomatisierte Biegemaschinen. Das Rüsten und Kanten wird von einem extern hinzugefügten Roboter namens „BendMaster“ durch-

geführt. Das zu bearbeitende Blech wird ebenfalls vom „BendMaster“ selbstständig von einer an einem definierten Stellplatz abgelegten Palette aufgenommen. Hier können mit einer Zangen- und Vakuumtechnik Lasten von bis zu 100kg gehoben werden. „TruBend Cell“ stehen für Manuelle Biegemaschinen der Serie 5000 und 7000 zur Verfügung. vgl. [37] In Abbildung 31 ist die „TruBend Cell 5000“ mit einer „TruBend 5130“ abgebildet.



Abbildung 31: TruBend Cell 5000 vgl. [37]

4.1.4 Biegewerkzeuge

Die Biegewerkzeuge für die Biegemaschinen werden ebenfalls im Werk produziert. Dabei wird zwischen Standard- und Sonderwerkzeugen unterschieden. Die Standardwerkzeuge bieten eine Vielfalt von über 150 unterschiedlichen Ober- und Unterwerkzeugtypen. Sonderwerkzeuge werden speziell auf Kundenwünsche angefertigt. Je nachdem welches Material zu biegen ist, werden die Sonderwerkzeuge mit diesem Material getestet und dementsprechend gefertigt. In Abbildung 32 sind Ober- und Unterteile von Standardwerkzeugen ersichtlich. vgl. [38]

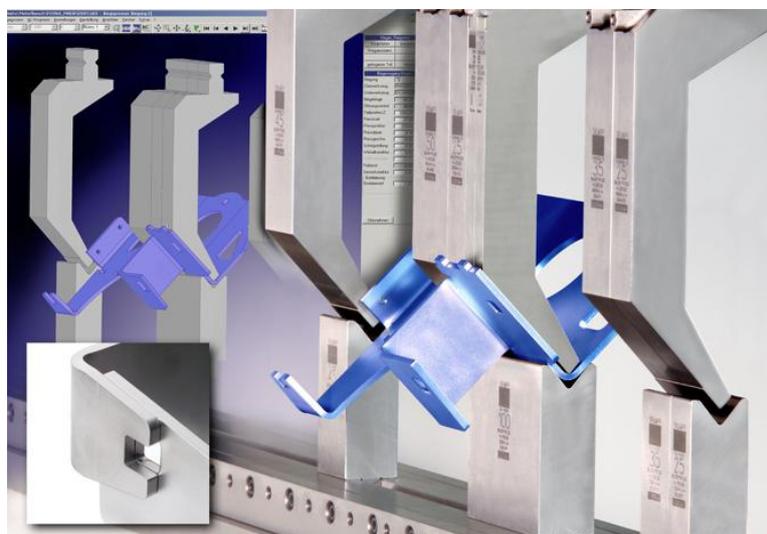


Abbildung 32: Biegewerkzeuge vgl. [38]

4.2 Spezielle Anforderungen bei TAT

In diesem Punkt wird die Prozessarchitektur einschließlich ihrer einzelnen Ebenen beschrieben. Für jede beschriebene Ebene in den Unterpunkten 4.2.1.1-4.2.1.3 werden im Anschluss die Prozesse zur Herstellung von Biegemaschinen bezogen auf ein Geschäftsjahr erläutert und dargestellt. Im Punkt 4.2.2 werden die Anforderungen von TAT an das Materialdatenmanagement und die PPS im Sinne von Industrie 4.0 beschrieben. Dabei werden die Anforderungen an die Blechfertigung ausgelassen, da diese im Punkt 4.3.2 detailliert behandelt werden.

4.2.1 Prozessarchitektur

Eine Prozessarchitektur ist allgemein ein Modell, welches die Prozesse eines Unternehmens und ihre Beziehungen zueinander darstellt. Die Prozessarchitektur kann wie in Abbildung 33 gezeigt als Pyramide mit mehreren Detailebenen aufgebaut sein. vgl. [24, p. 42]

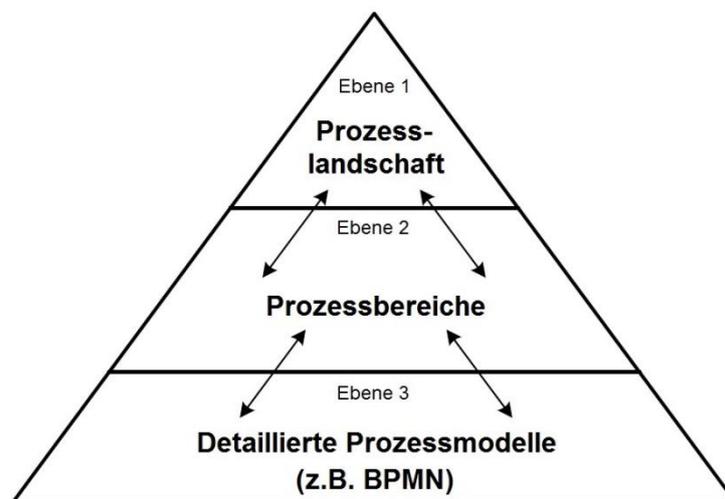


Abbildung 33: Prozessarchitektur-Pyramide vgl. [24, p. 42]

Auf Ebene 1, der sogenannten Prozesslandschaft, werden die Hauptprozesse auf eine noch sehr abstrakte Weise dargestellt. Alle Elemente dieser Prozesslandschaft zeigen auf konkretere Prozesse, welche sich in Ebene 2 befinden. In dieser Ebene werden die Prozesse bereits feiner dargestellt, jedoch allgemein immer noch in einer sehr abstrakten Art und Weise. Jedes Element auf Ebene 2 zeigt wiederum auf ein Prozessmodell in Ebene 3. In dieser letzten Ebene werden die Prozesse anhand detaillierter Modelle erläutert. Einzelheiten wie Informations- und Materialfluss, Daten Ein- und Ausgänge sowie die Abfolge einzelner Prozessschritte werden hier abgebildet. vgl. [24, p. 42] In den folgenden Punkten werden die einzelnen Ebenen nochmals für die Planung und Steuerung zur Herstellung der Biegemaschinen bei TAT in einem Geschäftsjahr genauer beschrieben und aufgebaut.

4.2.1.1 Ebene 1 Prozesslandschaft

Die Prozesslandschaft eines Unternehmens kann auf mehrere Arten dargestellt werden. In dieser Arbeit wird die Prozesslandschaft in die beiden Dimensionen Fallart und Geschäftsfunktion aufgeteilt. Die Dimension Fallart beschreibt die Arten von Fällen, die von einer Organisation behandelt werden. Als Beispiel für einen Fall kann ein in der Organisation hergestelltes Produkt oder eine Dienstleistung wie eine Versicherung herangezogen werden. Die Fälle können zusätzlich auch aufgeteilt werden. Als Beispiel sei hier wiederum die Versicherung angeführt, die eine Aufteilung in Haushalts- und Unfallversicherung ermöglichen würde. Die Fälle müssen nicht zwingend die fertigen Produkte oder Dienstleistungen für Endkunden beschreiben. Diese können auch für unternehmensinterne Produkte, oder Dienstleistungen stehen. Es besteht somit die Alternative Produkte abzubilden, die ein Prozess für den Nachfolgeprozess herstellt. vgl. [24, p. 43] Die Dimension Geschäftsfunktion beschreibt Funktionen, die eine Organisation ausführt. Diese Funktionen können wieder in Unterfunktionen aufgeteilt werden. Als Beispiel hierfür sei als Funktion der Einkauf angenommen, welcher eine Aufspaltung in Beschaffungsfunktion und Lieferantenauswahl erlauben würde. Die beiden Dimensionen sind durch Prozesse miteinander verbunden. Die Prozesse umfassen dabei jeweils alle Funktionen, die für eine bestimmte Aufgabe zur Erfüllung der Fallarten eingesetzt werden. vgl. [24, p. 43]

Die in Abbildung 34 dargestellte Prozesslandschaft zeigt die wichtigsten Prozesse bei der Planung und Steuerung zur Herstellung der Biegemaschinen bei TAT. Da für alle Biegemaschinen der generelle Ablauf bezüglich der Planung, Steuerung, Herstellung, etc. gleich ist, werden für die Dimension Fallart sämtliche Biegemaschinen zusammengefasst. Es sei hier angeführt, dass die Biegemaschinenserien 3000 und 5000 zusammen geplant und in denselben Hallen hergestellt werden, während die 7000 Serie separat geplant und in eigenen Hallen hergestellt wird. Für die Dimension Geschäftsfunktion sind die wichtigsten Funktionen, die im Zusammenhang mit diesen Prozessen stehen angeführt. Die Prozesslandschaft selbst wurde durch Interviews mit Mitarbeitern und firmeninternen Dokumenten aus den angeführten Funktionen erstellt. Besonderer Fokus wurde hierbei auf das Materialdatenmanagement und die PPS gelegt. Die vier angeführten Prozesse Jahresvorplanung, Auftragsabwicklung, Beschaffung und Herstellungsprozess werden in den folgenden Punkten im Bezug auf den Aufbau und ihren Zusammenhang geschildert. Der Prozess der Beschaffung ist durch die Geschäftsfunktionen getrennt, soll jedoch als ein einziger Prozess angesehen werden.

		Fallart				
		Biegemaschinen				
Geschäftsfunktion	TRUMPF Ditzingen	Jahres- vorplanung				
	Geschäftsführung TAT					
	Betriebsleitung TAT					
	Kunde	Auftrags- abwicklung				
	Vertrieb					
	PPS		Beschaffung			
	Produktion	Montage				Herstellungs- prozess
		Rahmenfertigung				
		Blechfertigung				
		Elektrik				
Wareneingang			Beschaffung			
Disponent						
Lieferant						

Abbildung 34: Prozesslandschaft

4.2.1.2 Ebene 2 Prozessbereiche

Ebene 2 gibt eine etwas detailliertere Auskunft über die einzelnen Prozesse. Es werden die Hauptschritte, die in jedem Prozess vorkommen aufgezeigt und welche Funktionen zur Durchführung dieser Prozesse beteiligt sind. Die ausführlichere Darstellung wird in Form einer Prozesslandkarte wiedergegeben. Der Ablauf ist hier sehr vereinfacht dargestellt. Sämtliche alternativen Wege, mögliche Ausnahmen, parallele Vorgänge, Zeitangaben für Schritte, etc. werden hier noch völlig ausgelassen. vgl. [24, p. 55f] In den folgenden vier Punkten werden die Prozesse durch Prozesslandkarten abgebildet. Es sei darauf hingewiesen, dass die folgenden Abbildungen rein zur Veranschaulichung dienen. Diese wurden nach keiner Modellierungsmethode oder Notation erstellt.

Jahresvorplanung

Zu Beginn eines neuen Geschäftsjahres wird als Planung für die herzustellenden Biegemaschinen eine Jahresvorplanung in einer Excel Datei erstellt. Für diese Vorjahresplanung wird die Anzahl an hergestellten Biegemaschinen bezogen auf Tage, Wochen und Monate aus dem alten Geschäftsjahr herangezogen, wodurch sich eine Zielvorgabe für das neue Geschäftsjahr ergibt. Bei der Erstellung dieser Jahresvorplanung sind noch keine Kundenaufträge integriert. Es handelt sich dabei rein um die Anzahl der herzustellenden Biegemaschinen im neuen Geschäftsjahr. Sobald dieser Plan durch die Geschäftsführung und Betriebsleitung von TAT erstellt ist, wird er mit der Geschäftsführung vom TRUMPF Stammsitz in Ditzingen durchgegangen und besprochen. Sobald dieser Plan allgemein abgesegnet ist, werden die nächsten Schritte für die Auftragsabwicklung durchgeführt. Die tatsächliche Anzahl an gefertigten Maschinen kann sich gegenüber der Jahresvorplanung im Geschäftsjahr laufend durch die wirtschaftliche Lage, Anzahl der tatsächlichen Kundenaufträge und vieler weiterer Gründe ändern. In Abbildung 35 sind die Hauptschritte dieses Prozesses dargestellt.

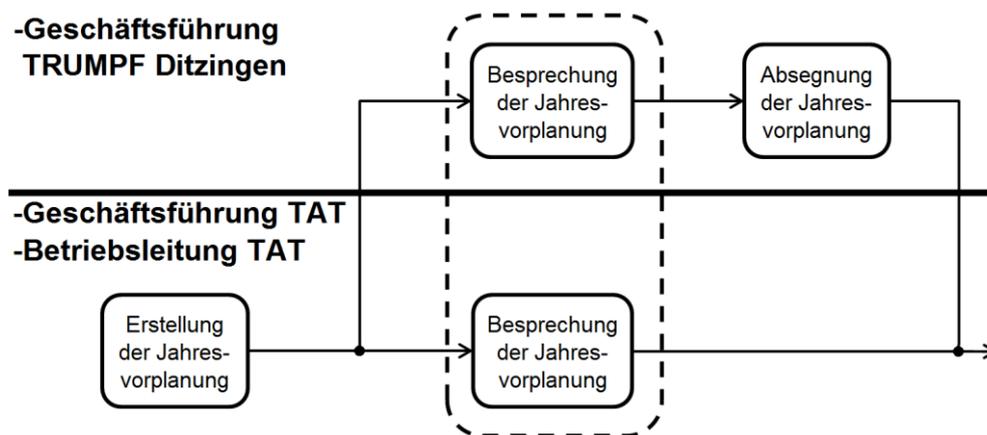


Abbildung 35: Jahresvorplanung

Auftragsabwicklung

Im Prozess der Auftragsabwicklung wird als erster Schritt die Vorplanung erstellt. Dabei werden die Daten der Jahresvorplanung, wann genau eine Biegemaschine versandfertig bereitgestellt sein muss, in die Software SAP übernommen. Zusätzlich werden den einzelnen Maschinentypen fixe Seriennummern zugeteilt. Der Vertrieb nutzt die Vorplanung sowie die neu eingetroffenen Aufträge von Kunden zur Erstellung des Liefer- und Produktionsplans in SAP. In diesem Plan werden alle Kundenaufträge den Maschinen zugewiesen. Darüber hinaus werden Informationen über das Fertigungsdatum in der Montage eingetragen. Durch die geplante Fertigstellung in der Montage kann der Vertrieb bereits den Lieferzeitpunkt zum Kunden planen. Aufbauend auf diesem Liefer- und Produktionsplan wird der Produktionsplan in Excel erstellt. Dieser Plan enthält nun alle fertigungsrelevanten Informationen, wodurch die Fertigungen eine Einsicht über die benötigten Teile erhalten. Mit Hilfe des Produktionsplans werden abschließend Wochenpläne und biegemaschinenspezifische Aufträge erstellt. Diese Wochenpläne sind im Prinzip stets Teilausschnitte aus dem Produktionsplan. Einen Überblick über die unterschiedlichen Pläne sowie der Reihenfolge ihrer Entstehung gibt Abbildung 36.

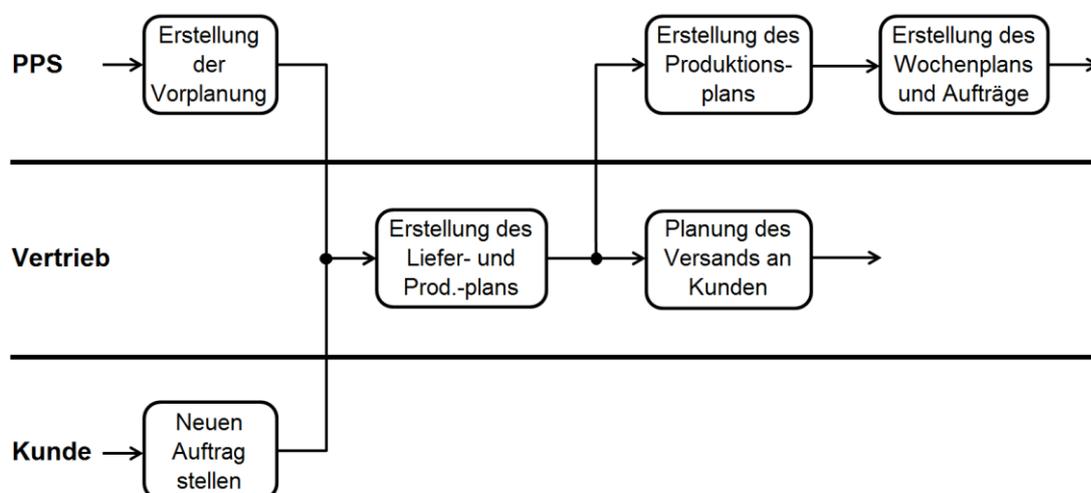


Abbildung 36: Auftragsabwicklung

Beschaffung

Die PPS leitet unterschiedliche Pläne an die betroffenen Teilnehmer des Prozesses Beschaffung weiter. Der Disponent erhält den Produktionsplan, damit er die nötigen Rohmaterialien zur Herstellung von unterschiedlichen Teilen für die Biegemaschinen sowie fertige Komponenten ebenfalls für die Zusammensetzung der Biegemaschinen bestellen kann. Eigentlich verfügt jeder Bereich über einen eigenen Disponenten zur Bestellung von relevanten Rohmaterialien oder fertigen Komponenten. Zur vereinfachten Darstellung ist jedoch in sämtlichen Prozessabbildungen eine eigene Geschäftsfunktion als Disponent abgebildet. Sobald der Lieferant die Bestellung beim Wareneingang anliefert, wird diese auf die benötigten Rohmaterialien und Komponenten in den jeweiligen Unterfunktionen der Produktion aufgeteilt und an definierten Plätzen bereitgestellt. In Abbildung 37 ist der Prozess der Beschaffung dargestellt.

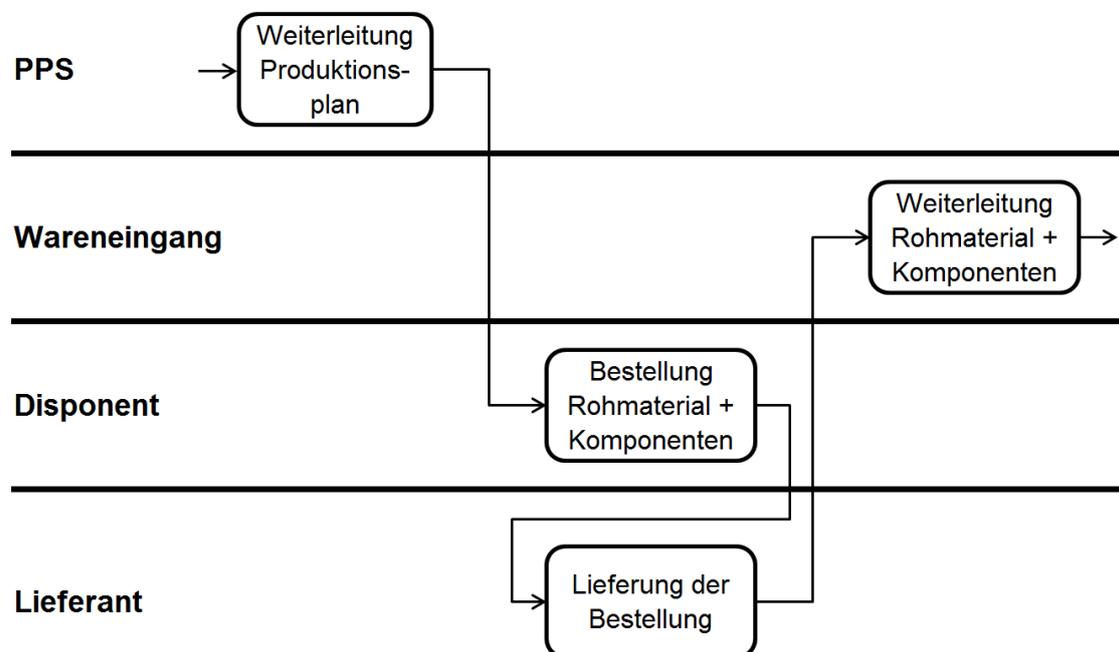


Abbildung 37: Beschaffung

Herstellungsprozess

Beim Herstellungsprozess werden die einzelnen Teile zur Zusammenstellung von Biegemaschinen gefertigt und die Biegemaschinen im Anschluss daran zusammengestellt. Dabei setzt sich die Produktion aus den einzelnen Unterfunktionen Rahmenfertigung, Blechfertigung, Elektrik und Montage zusammen. Die in der Rahmenfertigung, Blechfertigung und Elektrik gefertigten Teile werden aus den vom Disponent bestellten und vom Wareneingang weitergeleiteten Rohmaterialien und Komponenten gefertigt. Anschließend wandern alle hergestellten Bauteile einschließlich weiterer Komponenten, die vom Disponenten bestellt wurden, in die Montage, wo sie zu Biegemaschinen zusammengebaut werden. Die einzelnen Unterfunktionen bekommen die Informationen über die zu fertigenden Teile und herzustellenden Biegemaschinen auf verschiedene Weise. Die PPS leitet ausgedruckte Pläne wie den Produktionsplan oder Wochenplan weiter an die Rahmenfertigung, Elektrik und die Monta-

ge, wobei die Montage zusätzlich auch noch ausgedruckte Aufträge erhält. Diese Aufträge entstehen aus dem Produktionsplan und haben zusätzliche Informationen über die Eigenschaften und Konfigurationen der einzelnen Biegemaschinen und begleiten diese entlang der gesamten Montage. Die Blechfertigung macht eine tägliche Einsicht in SAP und in den Produktionsplan, um ein Update über die zu fertigenden Blechteile zu erhalten. Sobald die Biegemaschinen fertig zusammengestellt, eine Inbetriebnahme und Testung stattgefunden haben und diese versandfertig vorbereitet sind, wird von der Montage der fertige Auftrag an die PPS zurückgemeldet, so dass dieser Kundenauftrag als vollkommen abgeschlossen in SAP eingetragen werden kann. Der Verlauf des Herstellungsprozesses ist in vereinfachter Weise in Abbildung 38 dargestellt.

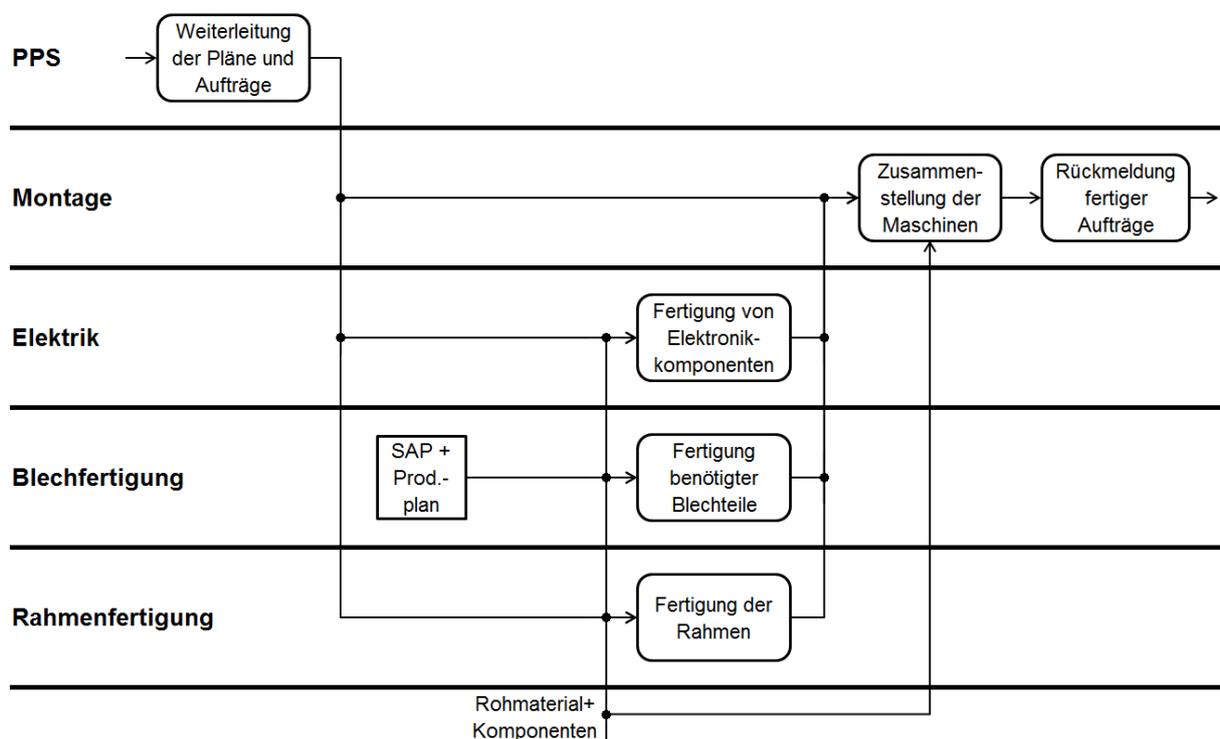


Abbildung 38: Herstellungsprozess

4.2.1.3 Ebene 3 Detaillierte Prozessmodelle

In Ebene 3 werden die Prozessmodelle detailliert dargestellt. Die Modelle sind nach bestimmten Regeln aufgebaut und ermöglichen einen Einblick in das Prozessmanagement eines Unternehmens. vgl. [24, p. 57] Das Prozessmodell für die Planung und Steuerung zur Herstellung der Biegemaschinen ist nach den Regeln der BPMN 2.0 aufgebaut und dargestellt. Da das Modell sehr groß ist, muss dieses in mehrere einzelne Ausschnitte aufgeteilt werden. Um eine gute Übersicht über alle beteiligten Teilnehmer zu erhalten, sind diese in Abbildung 39 als Swimlanes, wie sie in der Prozessmodellierung eingesetzt werden, abgebildet.

Lieferant	Disponent	Wareneingang	Produktion				Kunde	Vertrieb	PPS	Betriebsleitung	Geschäftsführung	TRUMPF Ditzingen
			Rahmenfertigung	BleCHFertigung	Elektrik	Montage						

Abbildung 39: Teilnehmer Herstellung Biegemaschinen

Die Aufteilung des Modells erfolgt anhand der einzelnen Prozesse zur Herstellung der Biegemaschinen. Da die Prozesse im Modell selbst sehr lang sind, werden diese wie in Abbildung 39 nach den Swimlanes abgebildet. Sämtliche Abbildungen werden für ein besseres Verständnis zusätzlich textuell beschrieben. In Abbildung 40 ist der Prozess der Jahresvorplanung dargestellt.

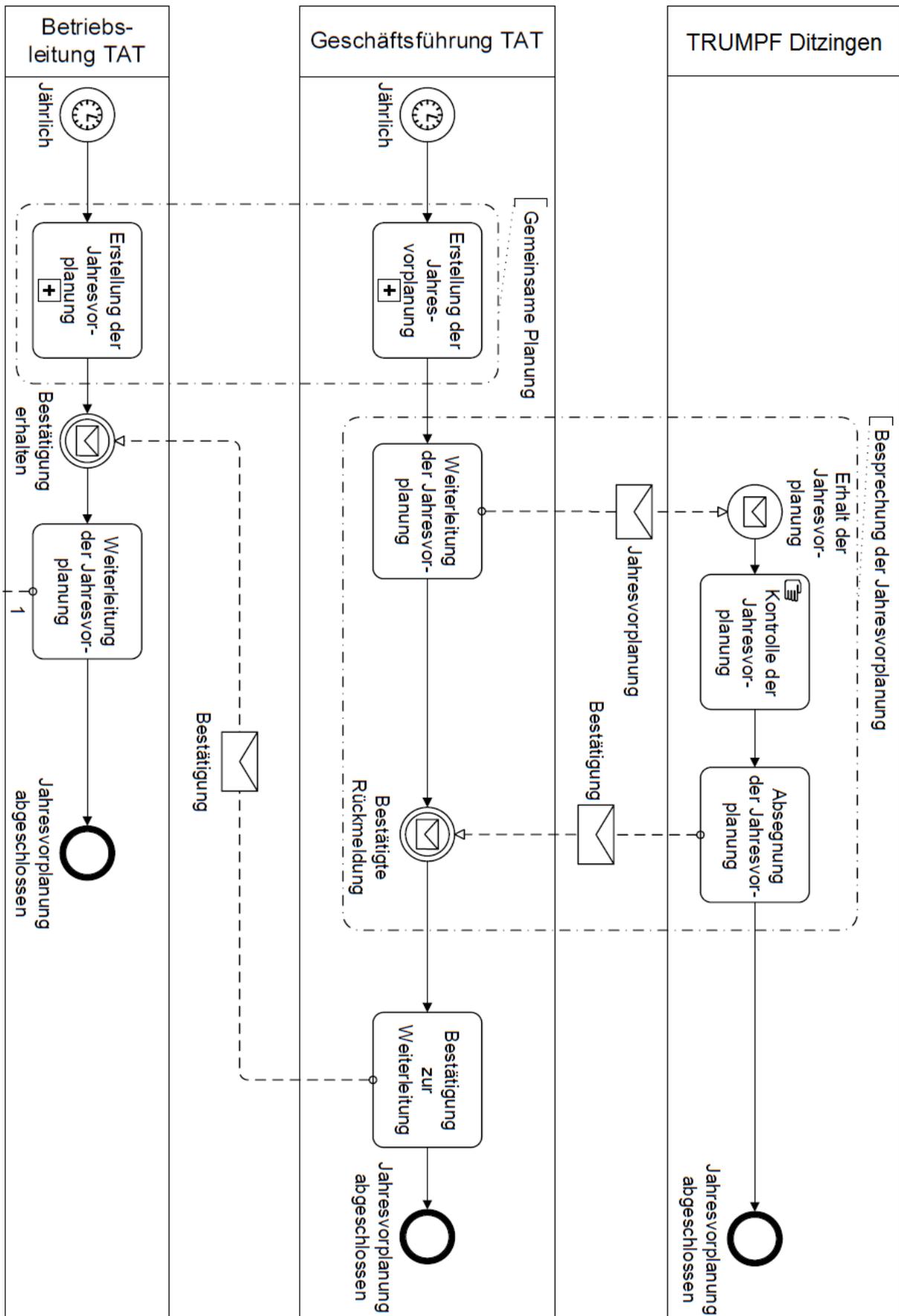


Abbildung 40: Prozessmodell Jahresvorplanung

Der Prozess beginnt mit der jährlichen Erstellung der Jahresvorplanung durch die Geschäftsführung und die Betriebsleitung von TAT für das neue Geschäftsjahr. Die Jahresvorplanung wird zuerst mündlich besprochen und dann in einer Excel Datei mit den entsprechenden Eigenschaften aus Punkt 4.2.1.2 erstellt. Dieser Entwurf wird dann von der Geschäftsführung von TAT mit der Geschäftsführung vom Stammsitz der TRUMPF Gruppe in Ditzingen besprochen. Nach Absegnung der Jahresvorplanung wird die Bestätigung zur Weiterleitung der Jahresvorplanung von der Geschäftsführung an die Betriebsleitung von TAT gesendet. Die Betriebsleitung von TAT leitet daraufhin die Jahresvorplanung an die PPS weiter. Diese Weiterleitung ist in den Abbildungen 40 und 41 mit der Zahl „1“ markiert. Nach erfolgreicher Weiterleitung ist die allgemeine Jahresvorplanung abgeschlossen. In Abbildung 41 ist der Prozess der Auftragsabwicklung abgebildet.

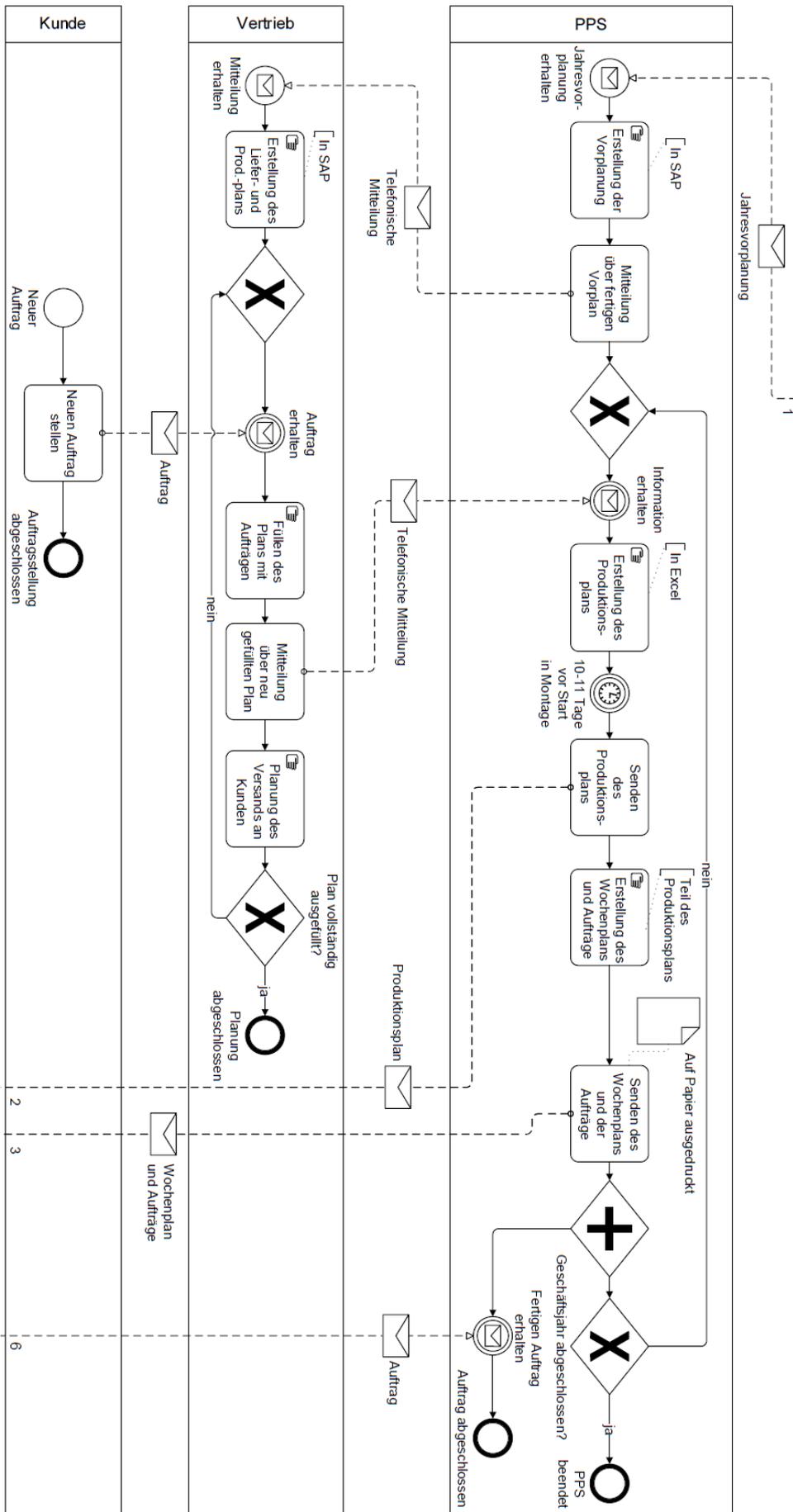


Abbildung 41: Prozessmodell Auftragsabwicklung

Die Vorplanung wird nach dem Erhalt der Jahresvorplanung durch die PPS in SAP auch mit den dafür vorgesehenen Merkmalen aus Punkt 4.2.1.2 erstellt. Nach Fertigstellung der Vorplanung wird der Vertrieb mittels Telefongespräche darüber informiert. Der Vertrieb erstellt daraufhin aufbauend auf der Vorplanung und eingetroffener Kundenaufträge den Liefer- und Produktionsplan, ebenfalls in SAP. Dieser Plan wird während des Geschäftsjahres laufend mit neuen Kundenaufträgen aktualisiert und in SAP gespeichert, sodass die PPS stets Zugriff auf die aktuellste Version hat. Die Mitteilung über den aktuellen Liefer- und Produktionsplan und Aktualisierungen erfolgt an die PPS ebenfalls über Telefongespräche. Da in diesen Plänen bereits die geplante Fertigstellung in der Montage eingetragen ist, kann der Vertrieb den Lieferzeitpunkt zum Kunden planen. Mit Hilfe des Liefer- und Produktionsplans wird durch die PPS der Produktionsplan in Excel erstellt. Dieser wird laufend in Hinsicht auf bestimmte Faktoren wie Priorität, Dringlichkeit, etc. der herzustellenden Biegemaschinen aktualisiert. Bei der Erstellung des Produktionsplans sind Regeln für die Montage zu beachten. Als Regel für die Montage sei hier als Beispiel angeführt, dass nie zwei Biegemaschinen mit einer Länge von 4m hintereinander zusammengestellt werden dürfen. Ein weiteres Beispiel für eine Regel ist, dass nach einer Biegemaschine der Serie 3000 mindestens zwei Biegemaschinen der Serie 5000 folgen müssen. Diese dürfen aber nach der ersten genannten Regel keine Länge von 4m haben. Wie an diesen beiden Beispielen erkennbar ist, sind viele der Regeln voneinander abhängig und verlangen viel Genauigkeit und Geduld bei der Planung. Die Aktualisierung der Pläne erfolgt so lange, bis das Geschäftsjahr abgeschlossen ist. Der aktualisierte Produktionsplan wird stets elektronisch an die Rahmenfertigung und den Disponenten weitergeleitet. Diese Weiterleitung ist in den Abbildungen 41 und 43 durch die Zahl „2“ und in den Abbildungen 42 und 43 mit der Zahl „4“ gekennzeichnet. Aus dem Produktionsplan werden auch Wochenpläne herauskopiert, ausgedruckt und an die Elektrik und die Montage weitergeleitet. Die Montage erhält zusätzlich ausgedruckte biegemaschinenbezogenen Aufträge, die ebenfalls mit Hilfe des Produktionsplans erstellt werden. Die Weiterleitung der Wochenpläne und Aufträge ist in den Abbildungen 41 und 43 mit der Zahl „3“ markiert. Die Aufträge begleiten die Biegemaschinen durch die gesamte Montage und enthalten alle fertigungsbezogenen Informationen. Die abgeschlossenen Aufträge der fertig hergestellten Biegemaschinen, welche in Abbildung 41 und 43 mit der Zahl „6“ markiert sind, werden an die PPS zurückgeleitet und schließlich als abgeschlossene Aufträge in SAP gespeichert. In Abbildung 42 ist der Prozess der Beschaffung abgebildet.

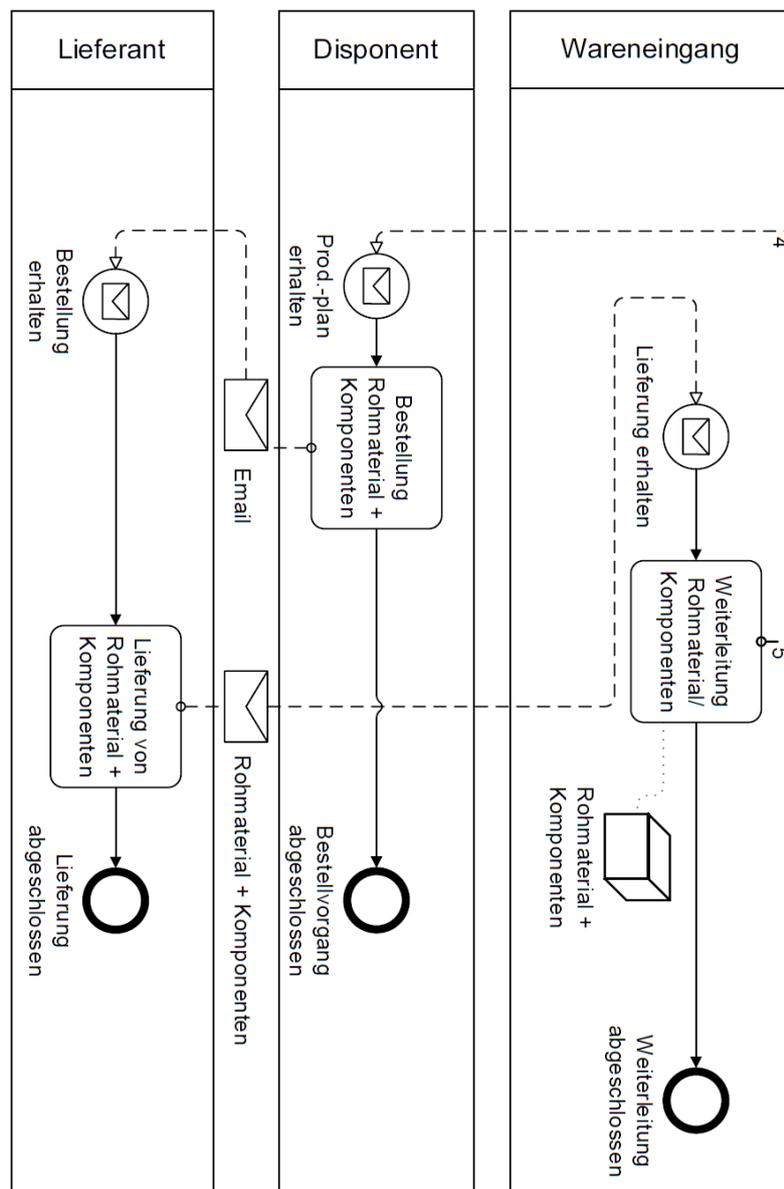


Abbildung 42: Prozessmodell Beschaffung

Der Disponent hat nun die Aufgabe mit Hilfe des erhaltenen Produktionsplans alle relevanten Rohmaterialien und fertigen Komponenten für die Zusammensetzung der Biegemaschinen zu bestellen. Zur Komplexitätsreduzierung sind alle Disponenten der einzelnen Bereiche in der Prozessmodellierung zu einem Disponenten zusammengefasst. Die Bestellung an den Lieferanten erfolgt über Emails. Die Rohmaterialien und Komponenten werden vom Lieferanten an den Wareneingang von TAT geliefert. Diese werden dann an die einzelnen Fertigungen zur Erstellung der Bauteile und an die Montage für die Zusammenstellung der Biegemaschinen weitergeleitet. Die Weiterleitung der Rohmaterialien und Komponenten durch den Wareneingang ist in den Abbildungen 42 und 43 mit der Zahl „5“ gekennzeichnet. In Abbildung 43 wird als letzter Prozess der Herstellungsprozess der Biegemaschinen dargestellt.

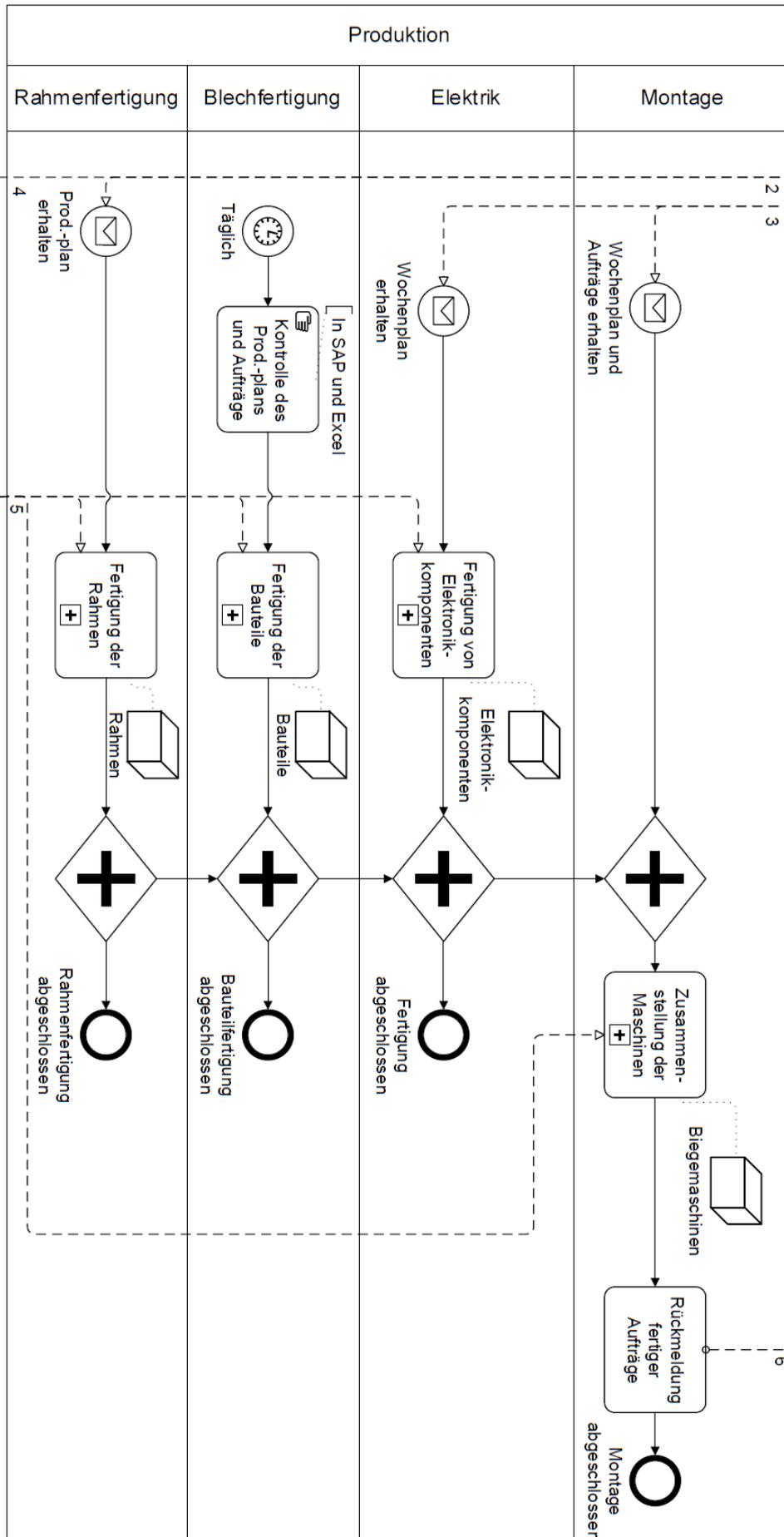


Abbildung 43: Prozessmodell Herstellungsprozess

Der Herstellungsprozess umfasst die PPS und die Produktion, die sich aus der Rahmenfertigung, Blechfertigung, Elektrik und Montage zusammensetzt. Für eine bessere Übersicht wird in Abbildung 43 nur die Produktion dargestellt.

In der Rahmenfertigung werden der durch die PPS weitergeleitete Produktionsplan, sowie die weitergeleiteten Rohmaterialien und Komponenten eingesetzt, um die Rahmen für die Biegemaschinen herzustellen. Der Produktionsplan wird durch das leitende Personal der Rahmenfertigung in Wochenpläne aufgeteilt. Die Mitarbeiter in der Fertigungshalle haben dadurch in einem bestimmten Bereich beim Rüst- und Schweißverfahren mittels einer Plantafel eine Übersicht über die zu fertigenden Rahmen innerhalb einer Woche. Auf dieser Plantafel werden die verschiedenen Rahmen den Tagen, an denen sie gefertigt werden müssen, zugeteilt. Für die restlichen Bearbeitungsschritte werden in der Halle Zettel mit den zu fertigenden Biegemaschinen ausgehängt. Diese Zettel sind ebenfalls Teilausschnitte aus dem Produktionsplan für eine Woche und enthalten zusätzliche Informationen über die durchzuführenden technischen Verfahren.

Die Blechfertigung nützt den stets aktualisierten Liefer- und Produktionsplan in SAP sowie den Produktionsplan in Excel zur Erstellung der geforderten Bauteile für die Biegemaschinen.

Die Elektrik baut mit Hilfe des von der PPS ausgedruckten Wochenplans die benötigten elektronischen Komponenten für die Biegemaschinen.

All die gefertigten sowie bestellten Komponenten werden dann an die Montage weitergeleitet, damit eine Zusammenstellung der Biegemaschinen erfolgen kann. Bei dieser Zusammenstellung werden die Biegemaschinen stets von den dazugehörigen Aufträgen begleitet. Diese enthalten zusätzliche Informationen über die Konfigurationen der einzelnen Maschinen. Nach erfolgreichem Abschluss der Herstellung einer Biegemaschine wird der dazugehörige ausgedruckte Auftrag wie zu Abbildung 41 bereits erwähnt an die PPS rückgemeldet und übergeben. Als letzten Schritt speichert die PPS die abgeschlossenen Aufträge in SAP.

4.2.2 Beschreibung der Anforderungen

TAT hat in mehreren Bereichen unterschiedliche Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS. Diese werden in diesem Punkt beschrieben und abschließend in einer Tabelle zusammengefasst. Die Anforderungen werden dabei nach dem Ablauf der durchlaufenden Prozesse zur Herstellung von Biegemaschinen gereiht. Die Anforderungen an die Blechfertigung werden in diesem Teil der Arbeit ausgelassen, da diese in Punkt 4.3.2 detailliert beschrieben werden.

Auftragsabwicklung

Der Vertrieb erstellt anhand der eingelangten Kundenaufträge und der Vorplanung den Liefer- und Produktionsplan. Dabei wäre es sehr hilfreich, wenn ein Kundenauftrag durch eine automatisierte Auftragsbearbeitung erfasst wird. Sollten noch weitere Fragen offen sein, sollte das Personal von TAT mit dem Kunden in Kontakt treten um weitere Details zu klären. Nach erfolgreicher Aufstellung des Kundenauftrags soll dieser automatisch im Liefer- und Produktionsplan abhängig vom Herstellungsdatum, Priorität, etc. eingetragen werden.

Der Produktionsplan ist ein sehr komplexer Plan, bei dessen Entwicklung viele Regeln für Kundenaufträge, Prioritäten und die Zusammensetzung der Biegemaschinen in der Montage zu beachten sind. Das zuständige Personal für die PPS benötigt für die Ausarbeitung dieses Plans viel kostbare Zeit, die in andere unternehmensbezogene Tätigkeiten investiert werden könnte. Die Entwicklung einer Software, die diese Regeln beherrscht und somit den Produktionsplan selbstständig ausarbeiten könnte, würde das Personal deutlich entlasten. Damit verbunden wäre auch der Wochenplan, welcher eine Kopie des Produktionsplans darstellt, schneller herzustellen.

Beschaffung

Der Disponent erhält den Produktionsplan und kontrolliert anhand von diesem, welche Rohmaterialien und Komponenten bereits bei TAT auf Lager sind und welche er nachbestellen muss. Oft muss der Disponent selbst das Lager kontrollieren, um festzustellen, ob die benötigten Materialmengen vorhanden sind. Eine weitere Anforderung ist daher, dass der Disponent stets den aktuellen Bestand aller Rohmaterialien und Komponenten gesammelt über eine Software zur Verfügung stehen hat. Als weiteren Schritt könnten die nachzubestellenden Gegenstände automatisch bestellt werden, sobald ein gewisser Mindestbestand erreicht worden ist.

Herstellungsprozess

Die Rahmenfertigung erhält ebenfalls den Produktionsplan und erstellt damit die Rahmen für die Biegemaschinen. Dabei wird beim Schweiß- und Rüstvorgang der einzelnen Rohplatten zu Maschinenrahmen eine Plantafel verwendet, auf der alle zu fertigenden Biegemaschinen für eine Woche angeführt sind. Diese Plantafel wird jede Woche neu mit Magnetstreifen versehen, auf denen die zu fertigenden Biegemaschinen notiert sind. Durch die Synchronisation der IT-gestützten Planung und der papiergestützten Planung entsteht ein hoher Aufwand. Es sollte daher in diesem Bereich eine Digitalisierung erfolgen, indem eine digitale Plantafel, oder ein anderes digitales Verfahren eingesetzt wird.

Die Elektrik, die Montage und der restliche Teil der Rahmenfertigung erhalten Wochenpläne in ausgedruckter Form, wobei die Montage zusätzlich ausgedruckte Aufträge erhält. Diese Pläne und Aufträge sollten ebenfalls digitalisiert werden um den Aufwand der Synchronisation zu reduzieren. Außerdem kann auf Dauer die hohe

Anzahl an Papier, die benötigten Druckerpatronen und die laufenden Wartungen der Drucker effizient eingespart werden.

Durch die Digitalisierung in allen Bereichen wird ein durchgängiger elektronischer Informationsfluss erstellt, der jederzeit eine Möglichkeit zur Einsicht über den Fortschritt und die Lokalisierung von Fertigungsteilen und den Biegemaschinen selbst bietet. Diese Realisierung führt zu einer verbesserten Produktionssteuerung in den unterschiedlichen Fertigungs- und Montagebereichen.

In Tabelle 7 sind die beschriebenen Anforderungen zusammengefasst. Diese Anforderungen decken sich mit manchen aus den bereits erfassten Anforderungen aus der Literaturrecherche für das Materialdatenmanagement und die PPS. Die beiden Spalten rechts neben den aufgelisteten Anforderungen geben die Identifikationsnummern und Kapitel der zusammenhängenden Anforderungen aus der Literaturrecherche an.

Anforderungen zur Herstellung von Biegemaschinen		
Anforderungen	Nr. Id.	Kapitel
Automatische Erfassung von Kundenaufträgen mit anschließender automatischer Eintragung im Liefer- und Produktionsplan	AM 1	3.1.1
Erstellung einer Software zur selbstständigen Ausarbeitung des Produktionsplans anhand der geforderten Regeln	AM 5	3.1.2
Bereitstellung des aktuellen Bestands der Rohmaterialien und Komponenten und damit verbunden eine automatische Nachbestellung bei Erreichen von Mindestbeständen	AM 4	3.1.1
Einsatz einer digitalen Plantafel im Bereich der Rahmenfertigung zur Reduzierung des Synchronisationsaufwands	AP 6	3.2.5
Produktions-, Wochenpläne und Aufträge digital zur Verfügung stellen, damit der Synchronisationsaufwand zwischen IT-gestützter und papiergestützter Planung reduziert werden kann	AP 1 AP 2 AP 6	3.2.1 3.2.5
Schaffung eines durchgängigen Informationsflusses, um eine Einsicht über den Fortschritt von Fertigungsteilen und Biegemaschinen zu erhalten	AM 7 AM 8	3.1.3 3.1.4

Tabelle 7: Anforderungen von TAT an Materialdatenmanagement und PPS

Für die automatische Kundenauftragserfassung und die automatische Eintragung im Liefer- und Produktionsplan, muss sich der Integrationsbereich vergrößern, um die Verknüpfung der realen mit der virtuellen Welt zu realisieren. Die Ausarbeitung des Produktionsplans erfordert ein Softwaresystem, das den komplexen Materialfluss in der Montage beherrscht. Die Bestände müssen in einem Programm vorhanden sein und laufend aktualisiert werden. Die Daten müssen dann beispielsweise für Bestellungen vom Disponenten auf einfache Weise zur Verfügung stehen. Der Einsatz einer digitalen Plantafel ist ein Schritt zur Digitalisierung aller verwendeten Methoden. Die Digitalisierung der Pläne und Aufträge deckt sich mit den Anforderungen an eine horizontale und vertikale Digitalisierung. Zusätzlich kann der Aufwand bezüglich der

IT-gestützten und papiergestützten Planung verhindert werden. Der durchgängige Informationsfluss ermöglicht die Einsicht auf den Fortschritt der zu fertigenden Bauteile und Biegemaschinen.

4.3 Datenflusskonzept Blechfertigung 4.0

In diesem Teil der Arbeit wird das Datenflusskonzept, welches für das Projekt Blechfertigung 4.0 erstellt wurde, abgebildet und detailliert beschrieben. Das Projekt Blechfertigung 4.0 behandelt allgemein die Modernisierung bzw. Erweiterung der aktuellen Blechfertigung. Um die einzelnen Anforderungen bezüglich der neuen Blechfertigung verständlich zu machen, wird zuerst in Punkt 4.3.1 der Ablauf der aktuellen Blechfertigung geschildert. Dies erfolgt mit Hilfe einer textuellen und bildlichen Beschreibung des Layouts und des Prozessablaufs durch die BPMN 2.0. Sämtliche Informationen über den Aufbau und die Organisation der aktuellen Blechfertigung wurden durch Interviews der zuständigen Leitung und Werker und durch eine Einsicht in firmeninterne Dokumente dieser Fertigung erfasst. Im Punkt 4.3.2 werden die Anforderungen an die neue Blechfertigung beschrieben und zusammengefasst. Im Punkt 4.3.3 werden die entwickelten Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an die neue Blechfertigung vorgestellt und erläutert. Abschließend wird in Punkt 4.3.4 das erstellte Datenflusskonzept mit Hilfe des neuen Layouts und der BPMN 2.0 bildlich dargestellt und zusätzlich textuell detailliert beschrieben.

4.3.1 Blechfertigung Aktuell

Bei TAT werden in der Blechfertigung ausschließlich Produkte für interne Kunden hergestellt. Darunter sind verschiedenste Bauteile für Biegemaschinen aus Aluminium, Niro und Stahl zu verstehen. Zusätzlich werden in der Blechfertigung die Rahmen für die Biegemaschinen der Serie 7000 aus Stahl produziert. Manche der erwähnten Bauteile werden zu Baugruppen zusammengefügt, die in Tabelle 8 aufgelistet sind. Ein sehr geringer Anteil der Bauteile wird nach dem KANBAN Prinzip erzeugt und gelagert. Zusätzlich werden interne Aufträge für den Vertrieb und die Entwicklung gefertigt. Diese internen Aufträge sind beispielsweise Bauteile, die im Vorführzentrum zum Einsatz kommen, um Kunden die im Werk hergestellten Maschinen zu präsentieren. Außer der KANBAN Teile werden nur Bauteile gefertigt, die vom Kunden bestellt wurden. Die Blechfertigung arbeitet somit nach dem PULL-Prinzip und stellt die gefertigten Bauteile nach dem JIT-Prinzip für die Montage zur Verfügung. Insgesamt beanspruchen die Aufträge zur Herstellung von Bauteilen und Baugruppen 80-85% und die internen Aufträge 15-20% des Herstellungsvolumens. Jedes Monat werden im Schnitt 9500 Bauteile gefertigt. Das ergibt über das gesamte Jahr hinweg eine Verarbeitung von über 480t Dünnblech. Insgesamt arbeiten in der Blechfertigung 12 Mitarbeiter, von denen neun ihren Arbeitsplatz direkt an den Maschinen haben und drei die administrativen Tätigkeiten im Büro abwickeln. Die Ferti-

gung ist ein wichtiger Bestandteil im Werk und macht einen jährlichen Umsatz von ~2,1Mio.€ aus. Die Blechfertigung befindet sich zurzeit in einer eigenen Halle und verfügt über ein zusätzliches Lager (Lager 294) außerhalb der Halle.

	TruBend 3000	TruBend 5000	TruBend 7000	TruBend 7000 Cell
Stück/Jahr	300	6	300	40
Baugruppen	Abdeckungen BendGuard Türen hinten	Abdeckungen Ölbehälter Edelstahlkomponenten BendGuard	Abdeckungen Sicherheitstüren Steuerungsgehäuse	Abdeckungen Roboterfahrbahn Schutzeinhausung

Tabelle 8: Blechfertigung Baugruppen

4.3.1.1 Aktuelle Blechfertigung mit BPMN 2.0

Das Layout der aktuellen Blechfertigung ist in Abbildung 44 ersichtlich.

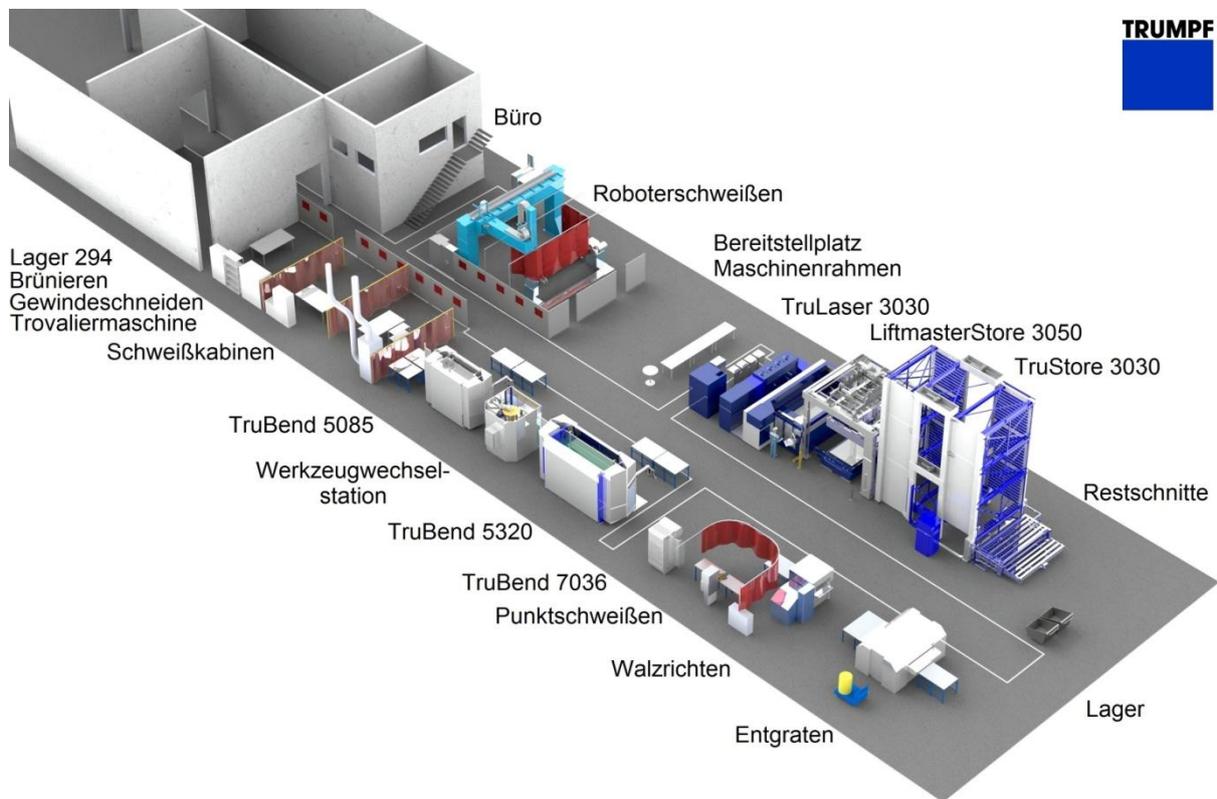


Abbildung 44: Aktuelle Blechfertigung

Der Prozessablauf der aktuellen Blechfertigung wird durch die folgenden Abbildungen 46-50 mit Hilfe der Prozessmodellierung BPMN 2.0 dargestellt und beschrieben. Zusätzlich soll die Abbildung 44 als Übersicht der einzelnen Maschinen und Räumlichkeiten in der Blechfertigung dienen. Da auch dieses Prozessmodell sehr groß ist, wird es in einzelne Ausschnitte aufgeteilt und erläutert. Um auch hier eine Übersicht über alle beteiligten Teilnehmer zu erhalten, werden diese in Abbildung 45 als Swimlanes angeführt. Die Blechfertigung setzt sich aus dem Büro, der allgemeinen Fertigung und dem Lager 294 zusammen. Das Büro und das Lager 294 sind in Ab-

bildung 44 an ihren jeweiligen Standorten beschriftet. Das interne Lackieren befindet sich in einer anderen Halle bei TAT und die externe Pulverbeschichtung wird in einem anderen Unternehmen durchgeführt.

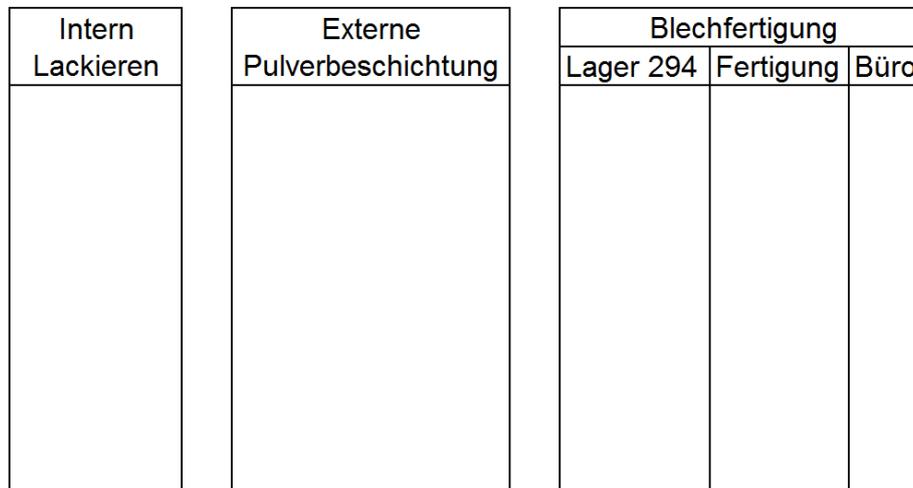


Abbildung 45: Swimlanes Blechfertigung Aktuell

In den folgenden Abbildungen wird der Ablauf zur Herstellung eines Fertigungsauftrags für Baugruppen und Bauteile abgebildet. Dabei wird der Ablauf von der Kenntnisnahme eines neuen Auftrags zur Erstellung von Baugruppen und Bauteilen im Büro bis zur Weiterleitung der fertiggestellten Bauteile in die Fließmontage beschrieben. Da sich die Baugruppen aus Bauteilen zusammensetzen und an bestimmten Bauteilen einzelne fertigungstechnische Verfahren nicht durchgeführt werden, da diese nicht relevant sind, bzw. eine Durchführung durch geometrische Eigenschaften nicht möglich ist, wird in den Abbildungen und weiteren Texten allgemein von Bauteilen gesprochen. Somit wird nicht unterschieden, welche Bauteile in einem Fertigungsauftrag die Bearbeitungsschritte durchlaufen und welche diese überspringen.

Der Ablauf zur Fertigung eines Auftrags beginnt, wie in Abbildung 46 dargestellt, durch die tägliche Einsicht des Personals im Büro auf den Produktionsplan in Excel und den Liefer- und Produktionsplan in SAP. So werden Informationen über die herzustellenden Bauteile und die dafür zu verwendenden Rohtafeln ermittelt. Anhand dieser Informationen werden Fertigungsaufträge erstellt, die nun bis 16 Tage vor der Fertigstellung flexibel, je nach Dringlichkeit, priorisiert und gereiht werden können. 15 Tage bevor die fertigen Bauteile zur Verfügung stehen müssen, wird die Fertigungsplanung in SAP jedoch automatisch fixiert. Produziert wird allgemein in Losmengen von höchstens sechs Stück. Sobald ein Auftrag mit Word erstellt wurde und ausgedruckt ist, wird dieser an die Werker in der Fertigung weitergeleitet. Zur Einsicht des Rohtafelbestands der einzelnen Rohtafelgruppen wird zwei bis dreimal wöchentlich eine Kontrolle durch das Personal vom Büro im Lager „TruStore 3030“, das im nächsten Absatz genauer beschrieben wird, durchgeführt. Diese Rohtafelgruppen haben die einheitlichen Abmessungen von 3000x1500mm bzw. 2500x1250mm und unterscheiden sich in ihrer Dicke, die in einem Bereich von 1mm-20mm liegt. Jede

Rohtafelgruppe hat einen bestimmten Lagerplatz im „TruStore 3030“. Ist ein gewisser Mindestbestand bei einer der Rohtafelgruppen erreicht, werden neue mittels Email beim Lieferanten nachbestellt. Die Einsicht in das Lager wird mit Hilfe eines Terminals durchgeführt, das durch eine Software namens Cell Server in Verbindung mit dem Lager steht und die einzelnen Lagerplätze einschließlich der darauf befindlichen Rohtafelgruppen anzeigen kann. Dieses Terminal ist direkt beim Lager angebracht. Da die Software Cell Server mit keiner anderen Software in Verbindung stehen kann, müssen diese Kontrollen direkt beim „TruStore 3030“ durchgeführt werden. Nach erfolgreicher Bestellung, dauert es im Schnitt drei Tage, bis die Rohtafeln bei TAT ankommen. Sobald diese beim Wareneingang im Lager übernommen werden, wird die gelieferte Stückzahl in SAP aufgenommen. Diese werden stets zusammen mit den bereits vorhandenen Tafeln derselben Dicke als Summe in m² in SAP gespeichert. Die m² der gerade bearbeiteten Rohtafeln werden erst nach der Rückmeldung eines vollkommen abgeschlossenen Auftrags abgezogen. Aus diesem Grund ist es schwierig mit Hilfe von SAP zu sagen, wie viele Rohtafeln einer bestimmten Dicke vorhanden sind, da einige Tafeln eventuell in der Fertigung, extern beim Pulverbeschichten, oder noch im Lager sind. Nach der Eingabe in SAP durch den Wareneingang, werden die Tafeln an einem definierten Platz im Lager vor dem Eingang zur Blechfertigung abgelegt. Sämtliche Rohtafeln werden vom selben Lieferanten geliefert. Die Weiterleitung eines ausgedruckten Auftrags in die Fertigung ist in den Abbildungen 46 und 47 mit der Zahl „1“ markiert. Der Bestellvorgang ist sehr vereinfacht dargestellt. Es wird eine Email an den Lieferanten gesendet, der daraufhin die bestellten Rohtafeln liefert. Dies ist die Bedingung, welche in Abbildung 47 ersichtlich ist und zum Start des Prozesses der Einlagerung im „TruStore 3030“ führt. Der Link mit der Bezeichnung „H“ in Abbildung 46 beschreibt den fortlaufenden Sequenzfluss, der in Abbildung 49 ebenfalls mit einem „H“ markiert ist.

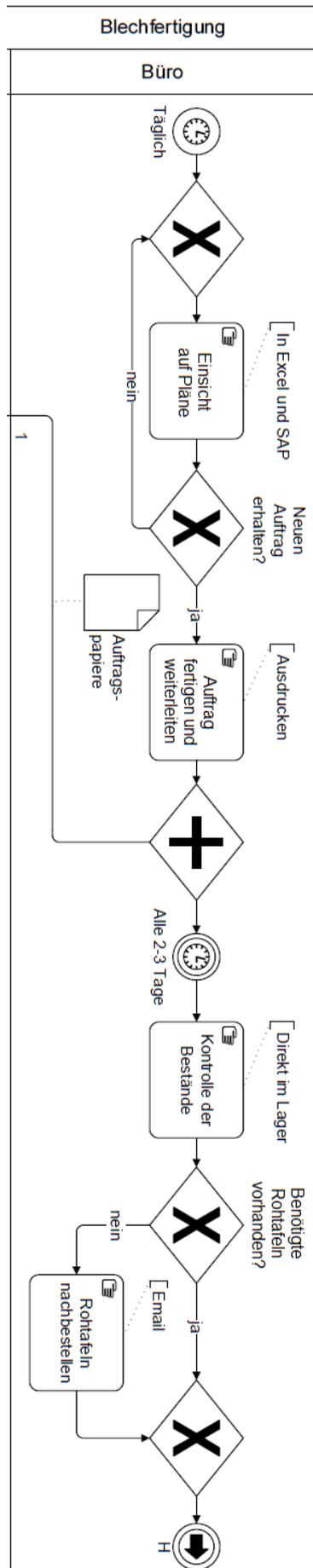


Abbildung 46: Prozessmodell Auftragsbearbeitung Blechfertigung Aktuell

In der Fertigung werden die Rohtafeln mit Hilfe eines Kranes zum „TruStore 3030“ gehoben und in dieses eingelagert. Das „TruStore 3030“ ist ein dynamisches Kompaktlager, welches in der Form und Größe je nach Bedarf unterschiedlich zusammengestellt werden kann. Somit ist eine ideale Anpassung an die Anforderungen des Unternehmens möglich. In der Blechfertigung besteht das „TruStore 3030“ aus zwei Türmen, in denen je 20 Lagerplätze vorhanden sind. Jeder dieser Lagerplätze kann einem Gesamtgewicht von 3t standhalten. Das „TruStore 3030“ hat gute Anbindungsmöglichkeiten für weitere Maschinen, wodurch bestimmte Fertigungsprozesse schneller abgewickelt werden können. vgl. [39]

Der „LiftMaster Store 3050“ ist ein Verbindungstool zwischen Maschine und Lager. Eine zu bearbeitende Rohtafel wird mit Hilfe des „LiftMaster Store 3050“ aus dem „TruStore 3030“ weiter in den „TruLaser 3030“ geleitet. Er zeichnet sich durch eine hohe Tragfähigkeit und eine äußerst kompakte Aufstellung aus. Das Be- und Entladen von „TruLaser 3030“ und „TruStore 3030“ erfolgt parallel, wodurch eine gesteigerte Produktivität erzielt werden kann. vgl. [40]

Mit Hilfe des „TruLaser 3030“ werden die Bauteile aus den Rohtafeln geschnitten. Durch die hohe Laserleistung können Schnitte bei Blechdicken von bis zu 25mm erfolgen. Durch die kompakte Aufstellungsvariante konnte bereits in der aktuellen Fertigung Platz gespart werden. vgl. [41] Bei manchen Aufträgen kann es vorkommen, dass ein Großteil der Platten unbearbeitet bleibt. Diese ungenutzten Flächen werden in sogenannte Restschnitte zerkleinert, welche die einheitlichen Größen von 500x500mm bzw. 1500x500mm aufweisen. Diese Restschnitte werden in einem Bereich nahe des „TruStore 3030“ gelagert und zur Herstellung von internen Aufträgen wie Kanban-Teilen und Bauteilen für das Vorführcentrum eingesetzt.

Nachdem die Bauteile fertig geschnitten wurden, entscheiden mehrere Faktoren wie beispielsweise die Priorität, welche Bauteile mit Hilfe des „LiftMaster Store 3050“ bei genügend vorhandenem Platz wieder zurück in den „TruStore 3030“ rückgelagert werden. Aufträge, die über Nacht, also außerhalb einer Schicht, geschnitten werden, kommen automatisch in einen vorgesehenen Lagerplatz im „TruStore 3030“ zurück. Zusätzlich werden so viele Einzelteile wie möglich, die sehr groß sind bzw. eine große Blechdicke aufweisen, rückgelagert. Für die Rücklagerung stehen nach Anzahl der vorhandenen eingelagerten Rohtafeln 5-7 Lagerplätze zur Verfügung. Sehr kleine Bauteile, die während des Laservorgangs durch die Auflagefläche beim „TruLaser 3030“ fallen, werden in eine Schütte weitergeleitet, die sich hinter dem Laser befindet. Diese Teile werden auf einen Transportwagen gegeben, mit denen sie dann die restliche Fertigung manuell durch die Werker durchfahren. Sämtliche Bauteile, die dringend gefertigt werden müssen oder für die kein Lagerplatz mehr vorhanden ist, werden ebenfalls direkt auf Transportwagen gelegt.

Die auf den Transportwagen bereitgestellten Bauteile erfahren als nächsten Bearbeitungsschritt das Entgraten, welches zum Entfernen des Grates, der sich teilweise bei lasergeschnittenen Teilen bildet, angewendet wird. Ab einer bestimmten Bauteillänge von 350mm steht zum Entgraten die Maschine mit der Modellbezeichnung „5 N II +2F“ der Firma Paul Ernst Maschinenfabrik GmbH zur Verfügung. Diese arbeitet auf dem Prinzip der Nassschlifftechnik und ist für die Werkstoffe Stahl, Edelstahl und Aluminium geeignet. Hierbei werden nach der Entfernung des Grates mit Hilfe einer hochflexiblen Schleifwalze die Kanten zusätzlich mit Hilfe von zwei gegenläufigen Edelstahl-Drahtbürsten entschärft und abschließend mit gefilterter Emulsion abgewaschen und durch Quetschrollen und einem Hochleistungsgebläse getrocknet. Die „5 N II +2F“ ist zusätzlich mit zwei weiteren Edelstahl-Drahtbürsten ausgestattet, damit die lasergeschnittenen Teile bis zu einer Dicke von 25mm von einer möglichen Oxidschicht an den Schmalseiten befreit werden können. vgl. [42] Sämtliche Bauteile, die für diese Entgratungsmaschine zu klein sind, werden mit Hilfe einer von TAT selbst kreierten Trovaliermaschine entgratet. Die Trovaliermaschine ist mit Keramik-Schleifkörnern und einem Reinigungs- bzw. Entfettungsmittel gefüllt. Da in der Fertigung nicht ausreichend Platz vorhanden ist, steht die Trovaliermaschine in der Nähe des Lagers 294, wodurch eine unregelmäßige Abfolge im Arbeits- und Materialfluss entsteht. Die Bauteile müssen für diesen Vorgang aus der Fertigungshalle in die Nähe des Lagers 294 geschafft werden und für die weitere Bearbeitung wieder in die Fertigungshalle zurückgebracht werden.

Die beschriebenen Schritte sind in Abbildung 47 dargestellt. Zusätzlich sind in der Abbildung sämtliche Links mit den Bezeichnungen A-D zur neuen Fertigung eines fehlerhaften Bauteils abgebildet. Fehlerhafte Bauteile, die entweder durch maschinenbezogene oder menschliche Fehler entstanden sind, müssen ab dem Laserschneiden neu gefertigt werden. Fehlerhafte Bauteile lösen ein bedingtes Ereignis aus. Das bedeutet, dass fehlerfreie Bauteile dem ursprünglich geplanten Sequenzfluss weiter folgen, während fehlerhafte Teile einen der vier Sequenzflüsse A-D hervorrufen, der zur erneuten Fertigung der fehlerhaften Bauteile führt. Bei der erneuten Fertigung eines Bauteils, wird dieses im CAD-Programm geöffnet, um festzustellen, welche genauen Maße es hat. Dadurch kann festgestellt werden, ob dieses Bauteil zu einem anderen Auftrag hinzugefügt werden kann, damit so viel Material wie möglich von den vorhandenen Rohstoffen verbraucht wird. Kann das Bauteil zu einem anderen Auftrag hinzugefügt werden, wandert es dargestellt durch den Link „G“ direkt zur Abarbeitung beim Laserschneiden. Kann es zu keinem anderen Auftrag hinzugefügt werden, muss ein neuer Auftrag erstellt werden, der anschließend ebenfalls über den Link „G“ zum Laserschneiden wandert.

Die Weiterleitung zum Folgeschritt nach dem Entgraten ist in den Abbildungen 47 und 48 mit der Zahl „2“ markiert. Die Markierung „3“ in den Abbildungen 47 und 48 beschreibt die Weiterleitung zum Link A, der in Abbildung 48 dargestellt ist.

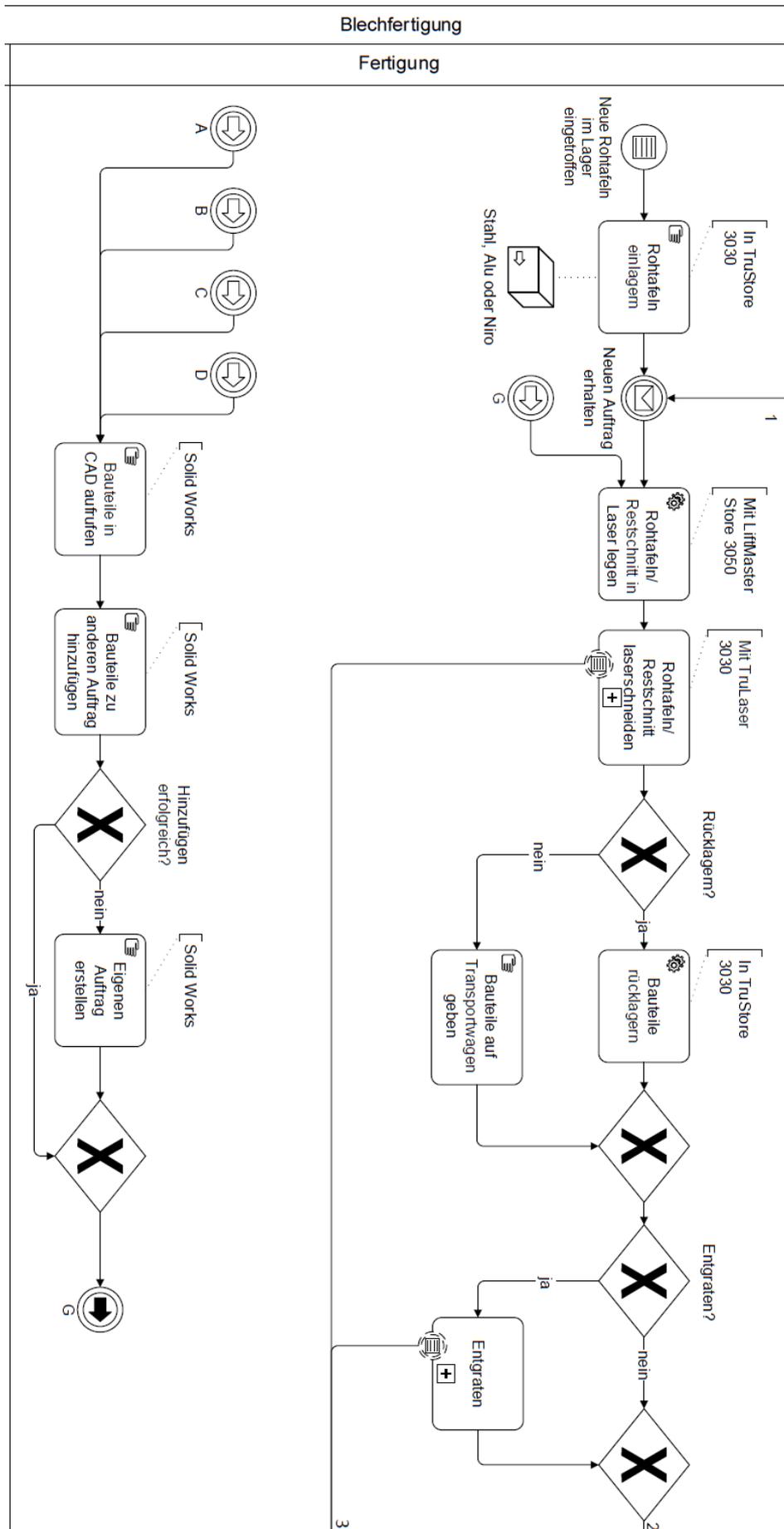


Abbildung 47: Prozessmodell Fertigung 1 Blechfertigung Aktuell

Nachdem die Bauteile entgratet wurden, werden sie durch das Walzrichten eben und spannungsfrei gemacht. Dieser Vorgang wird mit dem Maschinenmodell „Flat Master 5080“ der Firma Arku durchgeführt. Bei dieser Maschine können Blechteile mit einer Dicke von bis zu 60mm bearbeitet werden. vgl. [43]

Beim anschließenden Punktschweißen werden beispielsweise Schraubenmuttern angeschweißt. Als Widerstandsschweißmaschine wird hierbei die „PL 63 EHK“ von DALEX eingesetzt. Mit dieser Maschine kann ein Höchst-Schweißstrom von 25,2kA realisiert werden. Die Sekundär-Leerlaufspannung beträgt ~7V. vgl. [44] Es ist bauteilabhängig, ob zuerst das Punktschweißen und anschließend das Biegen oder der umgekehrte Vorgang stattfindet.

Vor dem Biegen werden die erforderlichen Gewinde geschnitten und noch fehlende Löcher gebohrt, die der Laser nicht durchführen kann. Der Laser ist beim Schneiden der Bohrlöcher nämlich auf die Dicke der Rohtafeln begrenzt. Das bedeutet beispielsweise, dass er bei einer Tafel mit 2mm Dicke nur Löcher ab einem Durchmesser von 2mm schneiden kann. Zur Abarbeitung dieser beiden Verfahren wird die Maschine „A2608 M“ der Firma Machinery Scandinavia eingesetzt. Diese liefert bei Material wie Stahl eine Bohrleistung von 25mm im Durchmesser sowie eine Gewindeleistung von M16 bei einer Motorleistung von 650W und einer Versorgung von 50Hz. Die Eindringtiefe in den Werkstoff ist auf 135mm begrenzt. vgl. [45] Der Standort dieser Maschine ist ebenfalls nahe dem Lager 294, da in der Fertigung nicht genügend Platz vorhanden ist. Dadurch entsteht erneut eine unregelmäßige Abfolge im Arbeits- und Materialfluss, da die zu bearbeitenden Teile zur Gewindeschneidmaschine gebracht werden müssen und anschließend wieder ein Rücktransport zum Biegevorgang in die Fertigung stattfinden muss.

Für den Biegevorgang der Bauteile stehen drei Biegemaschinen zur Verfügung. Der Einsatz dieser Maschinen wird nach der Abkantlänge der zu fertigenden Teile geplant. Die Bezeichnungen der drei Maschinen und deren technische Daten sind in Tabelle 9 angeführt.

	TruBend 5085	TruBend 5320	TruBend 7036
Presskraft [kN]	850	3200	360
Abkantlänge [mm]	2210	4420	1020
Arbeitsgeschwindigkeit [mm/s]	10-20	10-15	10-25

Tabelle 9: Technische Daten Biegemaschinen vgl. [35]; vgl. [46]

Zwischen den beiden größeren Biegemaschinen „TruBend 5320“ und „TruBend 5085“ ist die Werkzeugwechselstation „Tool Shuttle“ platziert, damit ein schneller Werkzeugwechsel möglich ist. Diese Station ist speziell für die Serie 5000 konstruiert worden. Es können unterschiedlichste Biegewerkzeuge wie auch Sonderwerkzeuge in vier Ebenen auf 32 Flächen gelagert werden. Der Werker gibt das benötigte Werk-

zeug in den „Tool Shuttle“ ein und erhält es in weniger als zehn Sekunden. Da die Werkzeugwechselfmaschine genau zwischen den Biegemaschinen steht ist ein schnelles manuelles Rüsten auf beiden Seiten gegeben. vgl. [47]

Zwischen der „TruBend 5085“ und den darauffolgenden Schweißkabinen befindet sich zurzeit ein Prototyp des „Tool Master“, welcher in Abbildung 44 nicht eingetragen ist. Im „Tool Master“ können bis zu 60 Ober- und 48 Unterwerkzeuge gelagert werden. Das Rüsten wird von der Station automatisch übernommen und die Rüstdauer befindet sich im Sekundenbereich. vgl. [48]

Nachdem die Teile fertig gebogen sind, werden sie entweder zurück zur Arbeitsstation des Punktschweißens gebracht, oder in einer der drei vorhandenen Schweißkabinen mit manuell eingesetzten Handschweißgeräten, welche auf dem MAG, MIG und WIG-Schweißprozess basieren, bearbeitet. Die erwähnten Verfahren sind in Abbildung 48 dargestellt. Die Markierung mit der Nummer „4“ in den Abbildungen 48 und 49 beschreibt dabei die Weiterleitung der Bauteile zu möglichen Oberflächenbehandlungen, die in den Abbildungen 49 und 50 dargestellt sind.

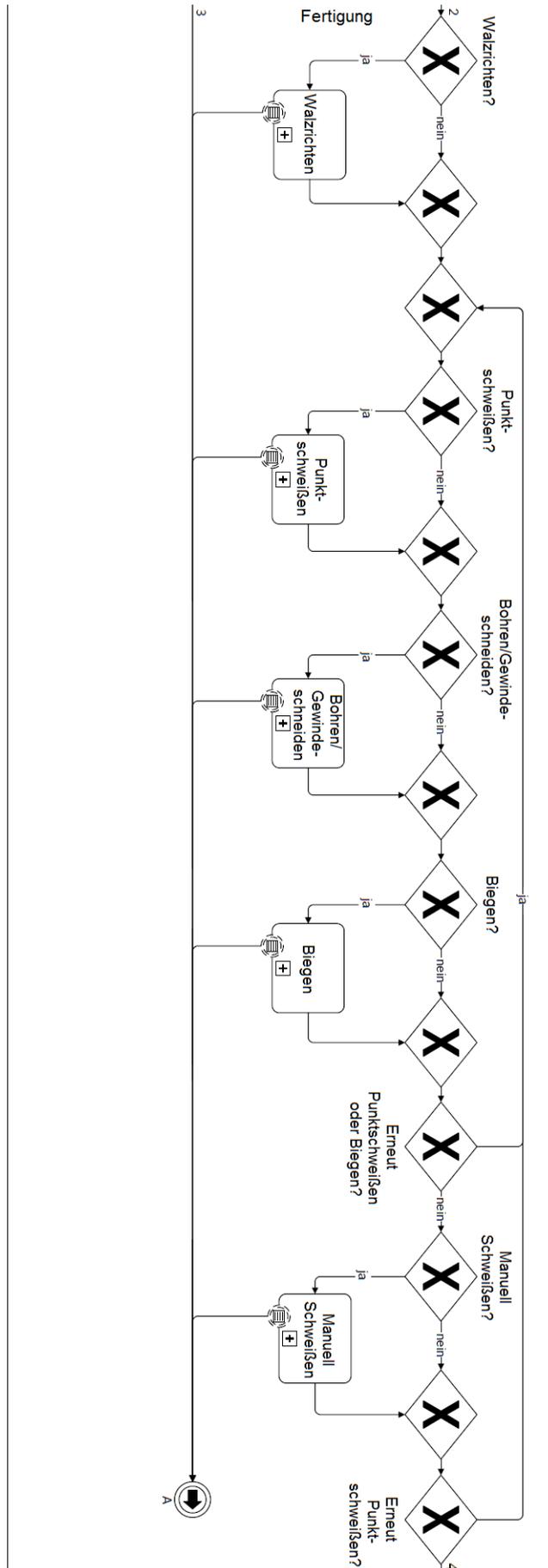


Abbildung 48: Prozessmodell Fertigung 2 Blechfertigung Aktuell

Abschließend werden, wie in Abbildung 49 dargestellt, als Oberflächenbehandlung Bauteile brüniert, intern lackiert oder extern pulverbeschichtet. Bauteile, für die keine Oberflächenbehandlung vorgesehen ist, werden einer kurzen Kontrolle über eine eventuelle Nachbearbeitung unterzogen und anschließend im Lager 294 für die Weiterleitung in die Montage bereitgestellt.

In der eigens angefertigten Brünieranlage von TAT werden nur kleine Bauteile aus Stahl brüniert. Bei Beschädigung der Bauteile durch den Brüniervorgang, erfolgt der Sequenzfluss mit dem Link „B“ nach Abbildung 47, wo eine neue Fertigung der Bauteile erfolgt.

In der internen Lackiererei wird ein sehr geringer Prozentanteil der Bauteile lackiert, da die Lackiererei primär für die Bearbeitung von Rahmen der Biegemaschinen eingesetzt wird. Der Sequenzfluss des Lackierverfahrens wird in den Abbildungen 49 und 50 mit dem Link „E“ markiert. Das Verfahren selbst wird in Abbildung 50 geschildert. Die zu lackierenden Teile werden auf einen Wagen gegeben und in die Lackierhalle weitergeleitet. Nachdem die Teile lackiert zurückgebracht wurden, wird kontrolliert, ob die Lackierung erfolgreich war. Nach erfolgreicher Lackierung erfolgt die Weiterleitung an weitere Schritte. Dies ist durch den Link „F“ in den Abbildungen 49 und 50 dargestellt. Bei fehlerhafter Lackierung müssen die beschädigten Teile neu gefertigt werden. Dies ist mit dem Link „D“ in den Abbildungen 47 und 50 abgebildet.

Bauteile, die für eine Pulverbeschichtung bestimmt sind, werden im Lager 294 verpackt und an einem Abstellplatz in einer anderen Halle bereitgestellt, bis sie in ein externes Unternehmen gebracht werden. Die zu pulverbeschichtenden Bauteile werden immer am Montag und Mittwoch abgeholt und auch wieder retourniert. Es findet somit an diesen Tagen immer ein mehrfaches Be- und Entladen statt. Sobald sie pulverbeschichtet zurückgeliefert sind, werden sie im Lager 294 auf eventuelle Nachbearbeitungen der Bohrlöcher und Gewinde kontrolliert. Bei einer Beschädigung der Bauteile erfolgt der in den Abbildungen 47 und 49 angeführte Link „C“ zu einer erneuten Fertigung dieser Bauteile.

Gibt es bei der Kontrolle über Nachbearbeitungen an den Bauteilen keine Mängel, ist die Bauteilfertigung abgeschlossen. Die Bauteile werden dann im Lager 294 bereitgestellt, bis sie in die Montage zum Verbauen in den Biegemaschinen weitergeleitet werden. Die abgeschlossenen und ausgedruckten Aufträge werden anschließend für das Personal im Büro in einem dafür vorgesehenen Ordner abgelegt. Das Personal vom Büro pflegt diesen Auftrag als abgeschlossen im SAP ein, wodurch der Auftrag vollständig abgeschlossen ist. In den Abbildungen 49 und 50 sind die unterschiedlichen Verfahren zur Oberflächenbehandlung und der Abschluss eines Auftrags dargestellt.

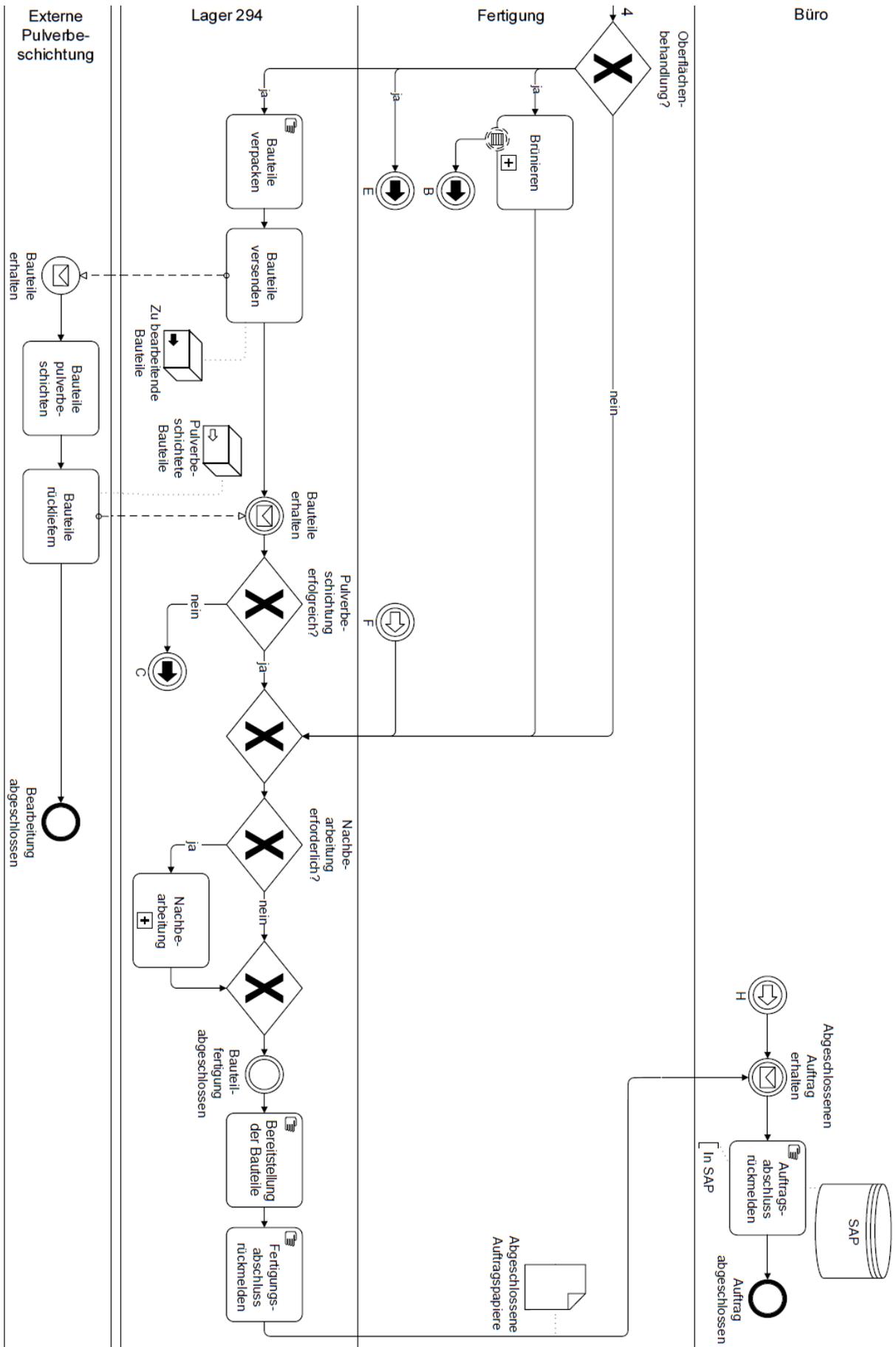


Abbildung 49: Prozessmodell Fertigung 3 Blechfertigung Aktuell

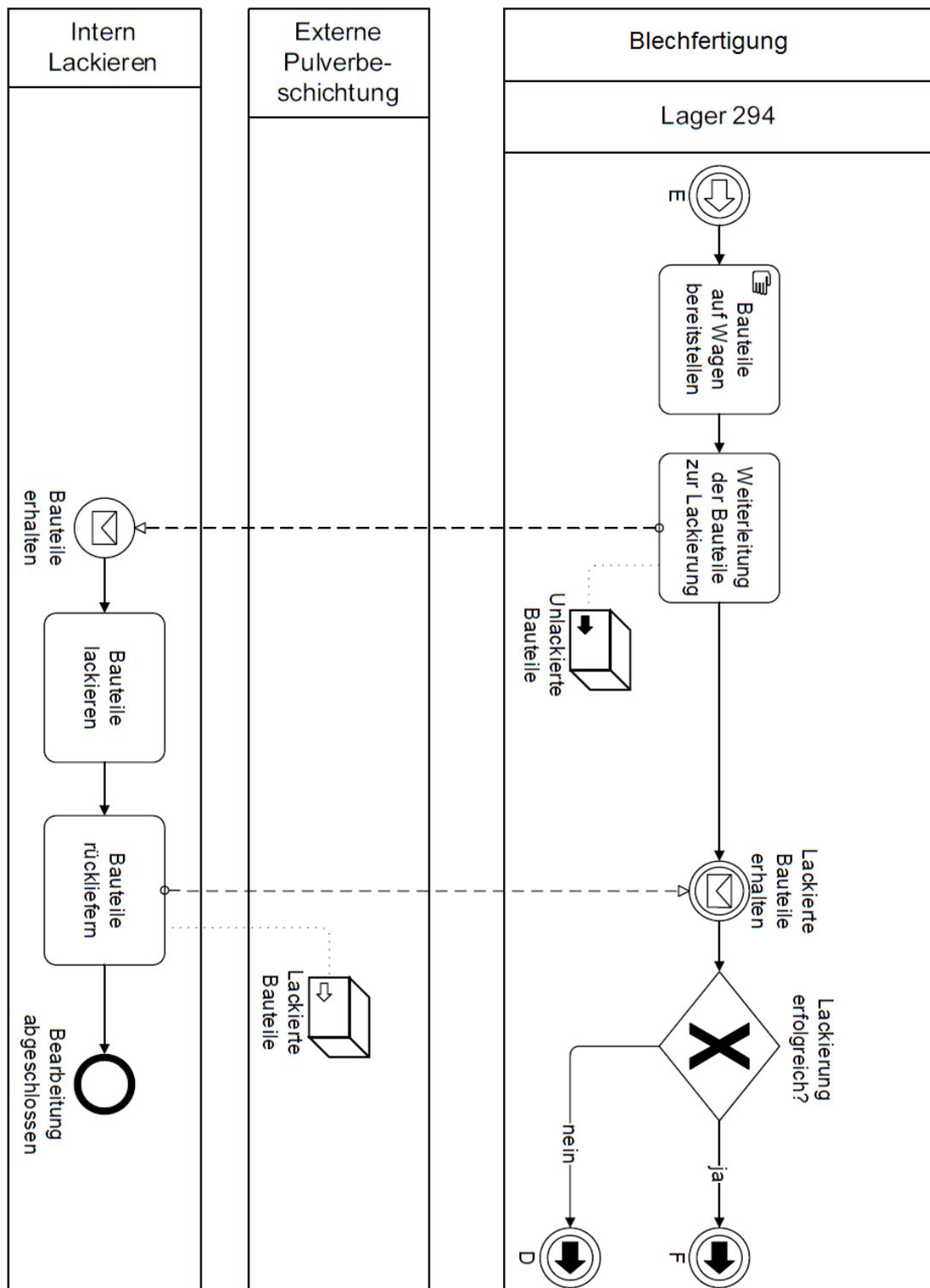


Abbildung 50: Prozessmodell Fertigung 4 Blechfertigung Aktuell

Neben der Fertigung von Blechteilen werden auch Rahmen für Biegemaschinen der Serie-7000 und Bodenfahrbahnen für den Bendmaster der vollautomatisierten „TruBend Cell 7000“ gefertigt. Dazu stehen, wie in Abbildung 44 ersichtlich ist, ein Bereitstellplatz für die Maschinenrahmen und eine Roboterschweißmaschine von Motoman Robotec, welche nach dem MAG-Schweißprozess verfährt, zur Verfügung. Nachdem die Rahmen fertig geschweißt sind, werden sie direkt in eine andere Halle zur internen Lackierung gebracht. Die Bodenfahrbahnen werden ebenfalls extern

pulverbeschichtet und zur weiteren Verarbeitung in ein anderes Trumpf-Werk weitergeleitet.

Aus der beschriebenen IST-Situation zur Fertigung von Bauteilen in der aktuellen Blechfertigung kann zusammengefasst werden, dass im Arbeits- und Materialfluss teilweise lange Wege entstehen. Speziell sind hier die Verfahren für das Gewindecneiden und Entgraten gemeint, da die Bauteile für diese Schritte die Halle verlassen und anschließend wieder retourniert werden müssen. Der Informationsfluss ist nur anhand der mitgeführten ausgedruckten Fertigungsaufträge ersichtlich. Um verschiedenste Informationen, wie beispielsweise den Fertigungsfortschritt von Bauteilen, in Erfahrung zu bringen, muss das Büropersonal mit den Werkern in der Fertigung kommunizieren.

4.3.2 Anforderungen an Blechfertigung 4.0

Für eine Analyse der Anforderungen an die neue Blechfertigung wurden sämtliche Herausforderungen der aktuellen Blechfertigung zusammengefasst. Für diese Analyse wurde das für die Blechfertigung zuständige Personal für eine Befragung herangezogen. Hierbei wurde zwischen dem leitenden Management, der Teamleitung und den Werkern, welche direkt in der Fertigung an den Maschinen arbeiten, unterschieden. Mit Hilfe des leitenden Managements und der Teamleitung wurde ein 1,5 wöchiger Workshop mit TruConnect, einer vom Stammsitz der TRUMPF Gruppe in Ditzingen gegründeten Beratung für Vernetzung in Unternehmen, durchgeführt. Dabei wurden zu Beginn die wichtigsten Herausforderungen aus der Sicht des Managements erarbeitet. TruConnect analysierte anschließend auch gemeinsam mit der Teamleitung den aktuellen Ablauf zur Fertigung von Bauteilen in der Blechfertigung. Die dadurch erhaltenen Herausforderungen aus Sicht der Teamleitung wurden ebenfalls aufgenommen und zusammengefasst. Die Werker wurden gebeten an einer schriftlichen Befragung teilzunehmen. Ihnen wurden folgende drei Fragen gestellt:

1. Was sind für Sie persönlich die größten Herausforderungen in der aktuellen Blechfertigung?
2. Wie können Ihrer Ansicht nach diese Herausforderungen in der neuen Blechfertigung beseitigt werden bzw. was erwarten Sie sich für Lösungen?
3. Haben Sie weitere Anregungen, Ideen, Vorschläge für die neue Blechfertigung?

Die erste Frage sollte Einsicht in die Herausforderungen der aktuellen Blechfertigung geben. Die zweite und dritte Frage sollten als Ansatz für umzusetzende Maßnahmen dienen und werden ab Punkt 4.3.3 behandelt. Das Ergebnis des Workshops und die Auswertung der schriftlichen Befragung über die Herausforderungen (Frage 1) sind in Tabelle 10 zusammengefasst. Es hat sich dabei herausgestellt, dass die Anforderungen der Werker durch die Erstellung eines Datenflusskonzepts und somit im Rahmen

dieser Arbeit nicht umgesetzt werden können. Die für das Datenflusskonzept relevanten Herausforderungen, die auch als Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS im Sinne von Industrie 4.0 angesehen werden können, sind fett hervorgehoben.

Personal	Herausforderungen
Management (Hauptabteilungsleiter, Abteilungsleiter)	Niedriger Preis Auslastungssituation der Mitarbeiter und Maschinen Prozesseffizienz der manuellen Prozesse Prozesseffizienz der administrativen Prozesse Disposition und Programmieren Hohe Terminflexibilität Transparenz im Rückmeldeprozess Durchlaufzeit Engpassanalyse
Teamleitung (Teamleiter)	Automatisierung Auftragsabwicklung Transparenz über Tafelbestände in allen Systemen Automatisieren des Bestellvorgangs für Rohtafeln Einführung von IST-Rückmeldungen für SOLL-/IST Vergleiche Erhöhung der Transparenz & Vereinfachung der Steuerung durch Echtzeitrückmeldung Transparenz über Auftragsstatus Rückmeldung der gesamten Arbeitspakete an den wichtigsten Arbeitsstationen Erhöhung der Transparenz und Reduzierung des Fehlteilrisikos, sowie Verbesserung der Planbarkeit durch Anlage der Baugruppen in SAP Maschinenleerzeiten mit vorgezogener Arbeit füllen Nivellierung der Belastung durch Kapazitätsüberblick
Werker (Laserschneider, Entgrater, Walzrichter, Bieger, Schweißer, etc.)	Räumliche Kapazität Mitarbeiterauslastung Teilweise fehlende Automatisierung Staubbelastung Transportmöglichkeiten der Baugruppen Koordination Fertigungsaufträge

Tabelle 10: Herausforderungen

Mit Hilfe der beschriebenen Analyse hat sich das leitende Personal der Blechfertigung auf folgende Zielklärung für das Datenflusskonzept geeinigt:

Bei der Erneuerung bzw. Erweiterung der Blechfertigung sollen einzelne Bearbeitungsschritte zur Fertigung der Bauteile im Sinne von Industrie 4.0 miteinander vernetzt und digitalisiert werden. Durch diese Vernetzung und Digitalisierung soll der Informationsfluss elektronisch erfasst, gesammelt und digital aufbereitet werden. Die aus dem Informationsfluss gewonnenen Daten sollen helfen, den Herstellungspreis zu reduzieren und die Flexibilität in der Fertigung zu erhöhen. Zusätzlich wird erwartet, dass mit Hilfe dieser Daten eine

- Verringerung der Durchlaufzeiten
- einfachere Bestellung und Kontrolle der benötigten Rohtafeln
- verbesserte Unterstützung der PPS im Bezug auf die Feinplanung
- schnellere Reaktion auf eventuelle Dynamik
- Lokalisierung der Baugruppen in der Fertigung
- Analyse des Materialflusses
- Einsparung von Ressourcen

ermöglicht wird. Das Ziel ist erreicht, wenn die Informationen erfolgreich aufgenommen und verarbeitet werden können. Der daraus entstehende Nutzen ist durch die gemeinsam erstellte Zielklärung des leitenden Personals durchgehend akzeptiert. Da diese Vernetzung im TRUMPF Werk in Ditzingen bereits zu einem gewissen Teil in der Blechfertigung eingesetzt wird, werden diese Ziele als anspruchsvoll, jedoch durchaus erreichbar eingeschätzt. Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll das Datenflusskonzept fertig erstellt werden, damit es letztendlich bei der Realisierung der neuen Blechfertigung umgesetzt werden kann.

4.3.3 Priorisierung von Anforderungen und Maßnahmen im Bereich Blechfertigung

Zur Erfüllung der angeführten Anforderungen an das Datenflusskonzept aus Tabelle 10 wurden Maßnahmen entwickelt, die in der neuen Blechfertigung umgesetzt werden sollen. Diese Maßnahmen wurden ebenfalls mit Hilfe von TruConnect und dem leitenden Personal der Blechfertigung erstellt. Das leitende Management und die Teamleitung arbeiteten im Rahmen des TruConnect Workshops alle relevanten Anforderungen aus Tabelle 10 systematisch ab und unterzogen sie einer Bewertung. Im Zuge der Bewertung wurden die verschiedenen Anforderungen hinsichtlich ihres Nutzens und dem dafür benötigten Aufwand an einer Pinnwand kategorisiert. Anschließend wurden für die entstandenen Kategorien bzw. Maßnahmen folgende Bezeichnungen definiert:

- Automatische Auftragsabwicklung und Rohteilbestellung
- Automatische Rückmeldung
- Feinplanung

Eine Skizzierung der Pinnwand mit den resultierenden Maßnahmen ist in Abbildung 51 dargestellt.

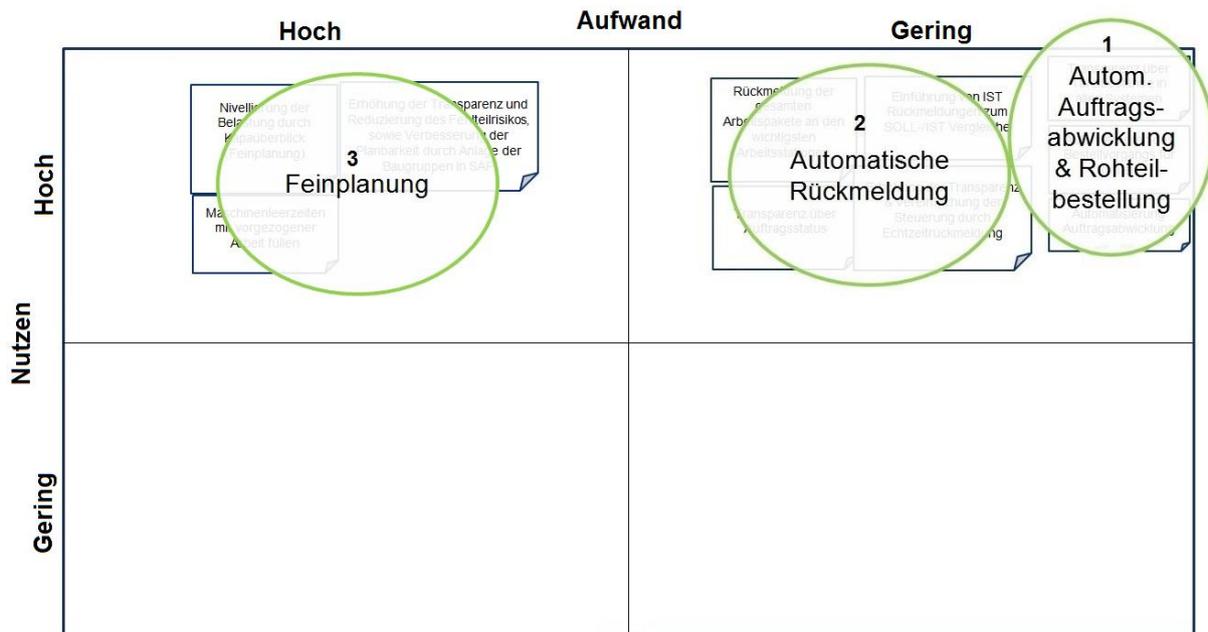


Abbildung 51: Maßnahmen Blechfertigung 4.0

Die geplanten Maßnahmen sind voneinander abhängig und werden daher in einer bestimmten Reihenfolge umgesetzt. Diese Reihenfolge ist anhand der Nummerierung 1-3 aus Abbildung 51 ersichtlich. In den Punkten 4.3.3.1-4.3.3.3 werden die geplanten Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an das neue Datenflusskonzept beschrieben. In diesen Punkten wird auch die Abhängigkeit der Maßnahmen untereinander erläutert.

Bei den Werkern wurden die geplanten Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen aus Tabelle 10 mit Hilfe der zweiten und dritten Frage des Fragebogens erstellt. Diese Maßnahmen wurden vom leitenden Personal von TAT selbst entwickelt. Tabelle 11 listet sämtliche geplanten und umzusetzenden Maßnahmen für die neue Blechfertigung auf. Die für das Datenflusskonzept relevanten Maßnahmen sind auch hier wieder fett hervorgehoben.

Personal	Maßnahmen
Management (Hauptabteilungsleiter, Abteilungsleiter) Teamleitung (Teamleiter)	Automatische Auftragsabwicklung und Rohteilbestellung Automatische Rückmeldung Feinplanung
Werker (Laserschneider, Entgrater, Walzrichter, Bieger, Schweißer, etc.)	Vergrößerung des Areals der Fertigung Mehr Mitarbeiter Automatisierte Biegemaschine Hallenabsaugung bzw. Frischluftzufuhr Auftragsbezogene Transportwagen Einteilung nach Blechstärken, nicht Aufträgen

Tabelle 11: Maßnahmen

In den folgenden Punkten werden die drei hervorgehobenen Maßnahmen beschrieben. Die zusammengefassten Anforderungen aus Tabelle 10 werden anfangs bei jeder Maßnahme erläutert. Abschließend werden bei jeder Maßnahme die resultierenden Eigenschaften und die erfüllten Anforderungen aus Tabelle 10 dargelegt.

4.3.3.1 Automatische Auftragsabwicklung und Rohteilbestellung

Viele Fertigungsaufträge enthalten nur sehr wenige Bauteile und Baugruppen. TAT plant daher mehrere Fertigungsaufträge zu Arbeitspaketen zusammenzufügen, um die Komplexität der Abläufe in der Fertigung zu reduzieren. Somit sind weniger Aufträge in der Fertigung im Umlauf. Dabei sollen Fertigungsaufträge vereint werden, deren Bauteile und Baugruppen zur selben Zeit am selben Ort in der Montage benötigt werden. Als Beispiel seien hier die linke und die rechte Tür einer beliebigen Biegemaschine angeführt. Diese beiden Türen werden aktuell in zwei getrennten Fertigungsaufträgen gefertigt, obwohl sie exakt zur gleichen Zeit in der Montage an der Maschine verbaut werden. Zur Realisierung dieser Arbeitspakete soll im Büro die Software XETICS LEAN (XETICS) eingesetzt werden, die in der folgenden Maßnahme im Punkt 4.3.3.2 beschrieben wird. Diese Software soll die verschiedenen Fertigungsaufträge in SAP erkennen und automatisch in Arbeitspakete zusammenfassen.

Die Software Cell Server, mit dem das Lager „TruStore 3030“ aktuell bedient wird, hat keine Funktionen, um mit anderen Softwares verbunden werden zu können. Der Disponent der Blechfertigung muss somit in regelmäßigen Abständen zwei bis dreimal wöchentlich eine Kontrolle der Bestände direkt am Terminal des „TruStore 3030“ vor Ort durchführen. Dadurch ist die Einführung einer neuen Software namens TruTops Fab mit dem Modul Storage in diesem Lager geplant. Diese Software ermöglicht über eine Schnittstelle die Verbindung des Lagers mit SAP. Die Software verwaltet Lagerbestände und kann die vorhandenen Bestände mit Hilfe von Echtzeitdaten wiedergeben. Durch eine Angabe von Mindestbeständen können auch automatische Bestellvorschläge an den Disponenten weitergeleitet werden. vgl. [49]

Ein Werker in der Fertigung lagert und speichert die vom Wareneingang gelieferten Rohtafeln in das Lager „TruStore 3030“. Sobald diese für die Fertigung von Bauteilen entnommen werden, zieht die Software die Anzahl dieser Rohtafeln vom aktuellen Bestand ab und gibt diese Echtzeitdaten an SAP weiter. Somit kann jederzeit durch den Disponenten eine Einsicht über den aktuellen Rohtafelbestand direkt im Büro in SAP durchgeführt werden.

Im folgenden Punkt sind die wichtigsten Eigenschaften für die automatische Auftragsabwicklung und die Rohteilbestellung durch die Einführung von XETICS und TruTops Fab mit dem Modul Storage angeführt. Im darauffolgenden Punkt werden die Anforderungen aus Tabelle 10 erwähnt, die durch die Einführung dieser Softwares erfüllt werden.

- Eigenschaften:
 - Automatische Zusammenfassung in Arbeitspakete
 - Automatische Information über Rohtafelbestand
 - Schnittstelle zu SAP
 - Bestellerinnerung
 - Aktualisierung der Lagerbestände (stündlich; täglich;...)
 - Unterschiedliche Informationsdarstellung (m²; Anzahl der Tafeln;...)
 - Arbeit im Büro fortlaufend in SAP

- Erfüllte Anforderungen:
 - Automatisierung Auftragsabwicklung
 - Transparenz über Tafelbestände in allen Systemen
 - Automatisieren des Bestellvorgangs für Rohtafeln

4.3.3.2 Automatische Rückmeldung

Sobald die Bauteile fertig lasergeschnitten sind und auftragsabhängig auf Transportwagen zu weiteren Bearbeitungsschritten transportiert werden, sind der Bearbeitungsfortschritt sowie der Ort an dem sich die Bauteile befinden für die Mitarbeiter im Büro nicht mehr nachvollziehbar. Für Informationen über den IST-Zustand von Bauteilen muss das Personal aus dem Büro in die Blechfertigung gehen und nachsehen, wo sich diese befinden. Bei der Vergrößerung des Areals, wie es in der neuen Blechfertigung geplant ist, würde dies zu einer noch längeren Suche der Bauteile und zu noch längeren Wegen führen. In der aktuellen Blechfertigung wird auch nicht festgehalten, wie viel Zeit die Bauteile bei den unterschiedlichen Bearbeitungsschritten in Anspruch nehmen. Somit können auch keine Analysen über IST- und SOLL-Zeiten der einzelnen Prozesse erstellt werden.

Um sich ein Bild über die aktuelle Lösung dieser Anforderungen in der Blechfertigung von TRUMPF in Ditzingen verschaffen zu können, wurde das leitende Personal der

Blechfertigung von TAT für einen zweitägigen Informationsaustausch nach Ditzingen eingeladen. Das leitende Personal in Ditzingen erklärte, dass es zur Aufnahme von relevanten Daten von Blechteilen RFID bei den Maschinen als Auto-ID Verfahren einsetzt. Die dadurch erhaltenen Daten werden mit Hilfe der Software XETICS, die mit den Maschinen und SAP vernetzt ist, erfasst, gesammelt und digital aufbereitet.

TAT hat daraufhin beschlossen ebenfalls XETICS in der neuen Blechfertigung einzuführen. XETICS ermöglicht es die geforderten Daten aus der Produktion in Form von Kennzahlen auszugeben. Damit können Echtzeitdaten stets übersichtlich angezeigt werden. Durch die Speicherung von Daten ist auch eine Rückverfolgung von Produktionsdaten möglich. Diese Daten umfassen unterschiedlichste Informationen wie Betriebs-, Maschinen-, Qualitätsdaten, Umrüstzeiten, Stillstände, Auslastung, die Abfolge der durchgeführten Arbeitsschritte, etc. und können durch verschiedene Möglichkeiten dargestellt werden. vgl. [50]

Bei Bearbeitungsschritten, die mit TRUMPF Maschinen und in den manuellen Schweißkabinen erfolgen, soll zum Erhalt der Daten ein Auto-ID Verfahren eingesetzt werden. TAT hat sich dabei für den Einsatz von Scanvorgängen mit QR-Codes entschieden. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass der neue „TruLaser 3030“, welcher in der neuen Blechfertigung eingesetzt wird, diese Codes auf die Oberflächen der zu behandelnden Blechteile lasern kann. Die somit auf den Blechteilen gelaserten QR-Codes enthalten sämtliche relevanten Informationen über das zu bearbeitende Blechteil. Damit ist ein wichtiger Schritt zu einer papierlosen Fertigung gesetzt. In den folgenden Punkten sind die Eigenschaften dieser Maßnahme sowie die dadurch erfüllten Anforderungen aus Tabelle 10 aufgelistet.

- Eigenschaften
 - Vernetzung von TRUMPF Maschinen
 - Bereitstellung und Auswertung verschiedener Analysen
 - SOLL/IST-Vergleich von Prozesszeiten
 - Lokalisierung der Baugruppen in der Fertigung
 - Automatische Rückmeldung erfolgt
 - Manuell (Barcode Scanner)
 - Automatisch (Beim Starten eines NC-Programms an „TruLaser 3030“)

- Erfüllte Anforderungen
 - Einführung von IST-Rückmeldungen für SOLL-/IST Vergleiche
 - Erhöhung der Transparenz & Vereinfachung der Steuerung durch Echtzeitrückmeldung
 - Transparenz über Auftragsstatus
 - Rückmeldung der Bauteile an den wichtigsten Arbeitsstationen

4.3.3.3 Feinplanung

Bei den Bearbeitungsschritten der Blechteile stehen teilweise mehrere Maschinen zur Verfügung. Als Beispiel sei das Biegen erwähnt, das in der aktuellen Blechfertigung bereits mit drei Maschinen abgewickelt wird. Um Maschinenleerzeiten zu vermeiden, müssen nicht aktive Maschinen mit Fertigungsaufträgen gefüllt werden. Gleichzeitig muss auch beachtet werden, dass nicht zu viele Fertigungsaufträge auf eine Maschine zugewiesen werden. Die Belastung aller Maschinen sollte ungefähr gleich sein. Die erstellten Arbeitspakete enthalten viele unterschiedliche Bauteile. Es sollte daher bei der Planung und Steuerung dieser Teile berücksichtigt werden, dass alle Bauteile eines Arbeitspakets geschlossen die Fertigung durchlaufen.

In der neuen Blechfertigung soll die PPS durch ein Add-On in XETICS namens XETICS Scheduler unterstützt werden. Mit Hilfe dieses Add-Ons können sämtliche Arbeitspakete, die geplant sind bzw. sich gerade in der Blechfertigung befinden, abgebildet und laufend aktualisiert werden. Durch diese Abbildung können beispielsweise die erwähnten Maschinenleerzeiten verhindert werden und die im folgenden Punkt angeführten Eigenschaften umgesetzt werden.

- Eigenschaften
 - Allgemeine Verbesserung der Feinplanung
 - Stabilere Prozesse durch transparentere Planung
 - Reduzierung von Fehlteilen durch Simulation
 - Verbesserte Nutzung der Kapazitäten durch Simulation
 - Erhöhung der Ausbringung durch Beplanung der Engpässe
 - Steigerung der Maschinenauslastung

Die folgende Aufzählung enthält die Anforderungen aus Tabelle 10, die durch die Feinplanung erfüllt werden können.

- Erfüllte Anforderungen
 - Erhöhung der Transparenz und Reduzierung des Fehlteilrisikos, sowie Verbesserung der Planbarkeit durch Anlage der Baugruppen in SAP
 - Maschinenleerzeiten mit vorgezogener Arbeit füllen
 - Nivellierung der Belastung durch Kapazitätsüberblick

4.3.4 Beschreibung des Datenflusskonzepts

In diesem Punkt werden zuerst die entwickelten Maßnahmen im Punkt 4.3.4.1 verbindend mit dem Datenflusskonzept zur Einführung in die neue Blechfertigung abgebildet. Diese Kernstruktur soll als Überblick für die detaillierte Beschreibung des Datenflusskonzepts dienen. Das Datenflusskonzept wird anhand des neuen Layouts im Punkt 4.3.4.2 und der BPMN 2.0 im darauffolgenden Punkt 4.3.4.3 textuell und bildlich detailliert beschrieben.

Bei der detaillierten Beschreibung sollte aus der Perspektive eines Empfängers geschrieben werden, damit das Konzept klar und verständlich ist. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Texte zur Beschreibung des Konzepts in einer einfachen und verständlichen Weise formuliert sind, damit der Empfänger dem Konzept folgen und sich dieses auch besser vorstellen kann. vgl. [51, p. 125]

Da das Datenflusskonzept in der neuen Blechfertigung umgesetzt wird und vom gesamten beteiligten Personal so gut wie möglich verstanden werden soll, ist die Beschreibung dieses Konzepts möglichst allgemeinverständlich aufgebaut.

4.3.4.1 Kernstruktur des Datenflusskonzepts

Bevor das Konzept detailliert beschrieben wird, soll der Aufbau des Konzepts strukturiert abgebildet werden. Dabei soll die Kernstruktur des Konzepts dargestellt werden. In dieser Kernstruktur sollen bereits Details dargestellt werden, die anschließend beschrieben werden. vgl. [51, p. 107f] Die Kernstruktur des Datenflusskonzepts ist in Abbildung 52 abgebildet.

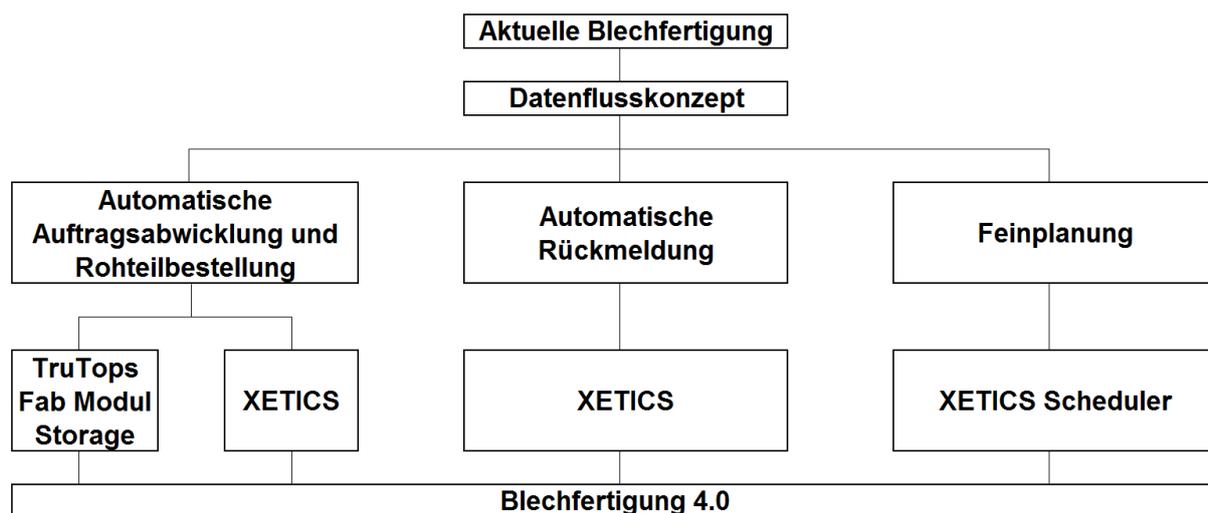


Abbildung 52: Kernstruktur Datenflusskonzept

Die Abbildung 52 zeigt nochmals die Maßnahmen als Komponenten des Datenflusskonzepts für die Einführung in die neue Blechfertigung. Diese Komponenten sind auch bereits in der Reihenfolge von links nach rechts angeordnet, wie sie in der Blechfertigung umgesetzt werden. Als ersten großen Schritt wird für die Übersicht des Rohtafelbestands und der Rohtafelbestellung die Software TruTops Fab mit dem Modul Storage im „TruStore 3030“ eingeführt. Sobald diese Änderung einigermaßen fehlerfrei funktioniert, wird als nächsten Schritt XETICS in der Blechfertigung integriert, um die automatische Auftragsabwicklung und die automatische Rückmeldung mit sämtlichen genannten Eigenschaften zu realisieren. Bei angemessener Anwendbarkeit dieser Software, wird abschließend XETICS mit dem Add-On XETICS Scheduler erweitert, damit die PPS in der Feinplanung unterstützt werden kann.

4.3.4.2 Layout Blechfertigung 4.0

Die beschriebenen Maßnahmen sollen in der neuen Blechfertigung berücksichtigt und umgesetzt werden. Die Fertigung soll vergrößert und die eingesetzten Maschinen vorteilhaft im Bezug auf den Arbeits- und Materialfluss in den zur Verfügung stehenden Arealen platziert werden. Der vorhandene Maschinenpark selbst wird zum Teil weiterhin eingesetzt, durch neue Maschinen ersetzt bzw. erweitert. Das Layout der neuen Blechfertigung ist in Abbildung 53 dargestellt.

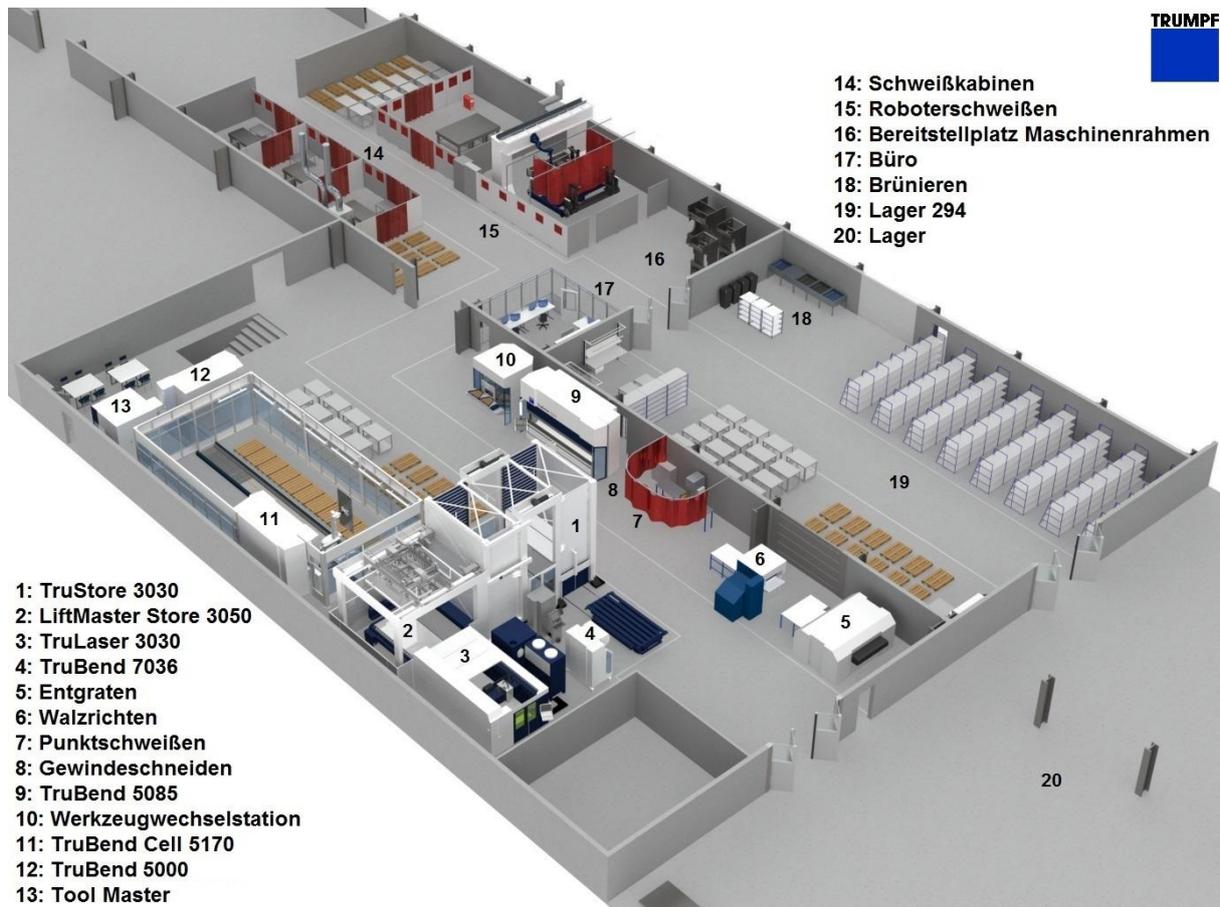


Abbildung 53: Layout Blechfertigung 4.0

Die Blechfertigung wird auf zwei Hallen erweitert. Dabei bleibt die ursprüngliche Halle bestehen und wird mit der direkt benachbarten Halle verbunden. Die Maschinen mit der Nummerierung 1-13 werden in die neue Halle umgesiedelt. Dabei werden das „TruStore 3030“ (1) und der „TruLaser 3030“ (3) durch neuere Versionen ihrer Modelle ersetzt. Beim Entgraten (5) werden die Maschine „5N II +2F“ und die Trovaliermaschine nebeneinander platziert, damit alle zu entgratenden Bauteile keine unnötig langen Wege beanspruchen. Die Gewindeschneidmaschine (8) wird zwischen die Punktschweißanlage (7) und die Biegemaschine „TruBend 5085“ (9) gestellt, um auch hier lange Wege zukünftig zu verhindern. Die „TruBend 5320“ wird durch eine „TruBend Cell 5170“ (11) ersetzt, welche die großen schweren Blechteile automatisiert biegen kann. Dies führt zu einer erhöhten Automatisierung und Entlastung der Werker. Neben der „TruBend Cell 5170“ (11) werden Prototypen der Biege-

maschinenserie 5000 (12) getestet, die mit einem „ToolMaster“ (13) verbunden sind. Die drei manuellen Schweißplätze (14) zum Schweißen der Bauteile und der Schweißbereich zur Erstellung der Rahmen für die Biegemaschinen der Serie 7000 (15) bleiben in der aktuellen Halle erhalten. Zusätzlich wird ein vierter manueller Schweißplatz im Bereich des aktuellen Büros errichtet, wodurch die Bauteile mit einem zusätzlichen Werker schneller geschweißt werden können. Das neue Büro (17) wird beim Tor zwischen den beiden Hallen der Blechfertigung eingerichtet, damit ein schneller Zugang zu sämtlichen Bereichen ermöglicht wird. Die Brünieranlage (18) wird vor dem Lager 294 (19) angesiedelt, damit die Bauteile direkt nach ihrer Bearbeitung brüniert und abschließend eingelagert werden können. Das Lager 294 selbst wird in der ursprünglichen Halle nahe dem allgemeinen Lager (20) platziert. Der Lagerplatz der gelieferten Rohtafeln verschiebt sich um einen geringen Bereich zum Eingangstor der neuen Halle. Der Prozessablauf zur Herstellung der Bauteile wird mit Hilfe der BPMN 2.0 erläutert.

4.3.4.3 Prozessmodell Blechfertigung 4.0

Das Prozessmodell der neuen Blechfertigung wird ebenfalls wegen der Größe in einzelne Ausschnitte aufgeteilt und erläutert. In Abbildung 54 sind sämtliche beteiligten Teilnehmer und neu eingeführten Systeme als Swimlanes abgebildet. Dazu wurden im Gegensatz zum Prozessmodell der aktuellen Blechfertigung die Swimlanes für die Softwares XETICS und TruTops Fab mit dem Modul Storage hinzugefügt. Durch diese Erweiterung können die Abläufe in den Softwares besser dargestellt werden.

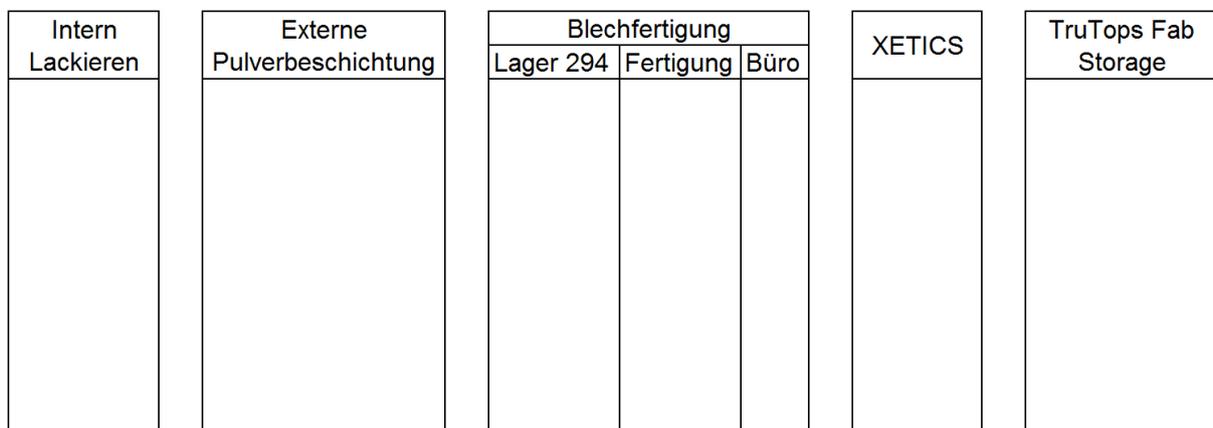


Abbildung 54: Swimlanes Blechfertigung 4.0

In den folgenden Abbildungen wird der Prozess zur Herstellung von Arbeitspaketen dargestellt. Dabei wird der gesamte Ablauf, vom Eintreffen neuer Aufträge zur Erstellung von Baugruppen und Bauteilen im Büro, bis zur Weiterleitung der fertiggestellten Arbeitspakete in die Fließmontage, beschrieben. Da sich die Arbeitspakete aus Fertigungsaufträgen zusammensetzen, die aus Baugruppen und Bauteilen bestehen, wird in den Abbildungen und weiteren Texten bei den Bearbeitungsschritten ebenfalls wieder lediglich von Bauteilen gesprochen.

Der Prozess beginnt, wie in Abbildung 55 dargestellt, mit dem Eintreffen der allgemeinen Aufträge zur Fertigung von Bauteilen durch den Liefer- und Produktionsplan in SAP. XETICS erstellt aus den zusammenpassenden eingetroffenen Aufträgen Arbeitspakete. Diese werden anschließend in XETICS selbst abgespeichert. Das Personal im Büro hat dann die Möglichkeit diese Arbeitspakete in SAP nach Dringlichkeit zu priorisieren. Nachdem die Priorisierung festgelegt ist, wird eine automatische Bestandsabfrage im „TruStore 3030“ durchgeführt. Dabei wird festgestellt, ob genügend Roh tafeln mit den richtigen Abmessungen zur Fertigung der Arbeitspakete zur Verfügung stehen bzw. ob gewisse Mindestbestände erreicht sind. Sollten genügend Roh tafeln vorhanden sein, wird eine einfache Meldung von TruTops Fab zurückgeschickt. Ist jedoch ein gewisser Mindestbestand erreicht, wird ein zusätzlicher Bestellvorschlag mit rückgemeldet. Nachdem die Mitteilung elektronisch an das Personal im Büro erfolgt ist, werden also entweder sofort Fertigungsaufträge aus den Arbeitspaketen für die Fertigung der Bauteile erstellt oder zuvor noch eine Bestellung für die benötigten Roh tafeln durchgeführt. Diese Fertigungsaufträge werden dann abschließend elektronisch an den „TruLaser 3030“ durch das Personal im Büro weitergeleitet. Die Abbildung 55 stellt die beschriebenen Vorgänge dar. Die Weiterleitung der Fertigungsaufträge ist in den Abbildungen 55 und 56 mit der Zahl „1“ markiert. Das Personal des Büros kann nun jederzeit in den Fertigungsfortschritt der Bauteile Einsicht nehmen. Dieser Vorgang wird in Abbildung 56 dargestellt. Der weiterlaufende Sequenzfluss des Büros ist in den Abbildungen 55 und 56 mit der Zahl „2“ markiert.

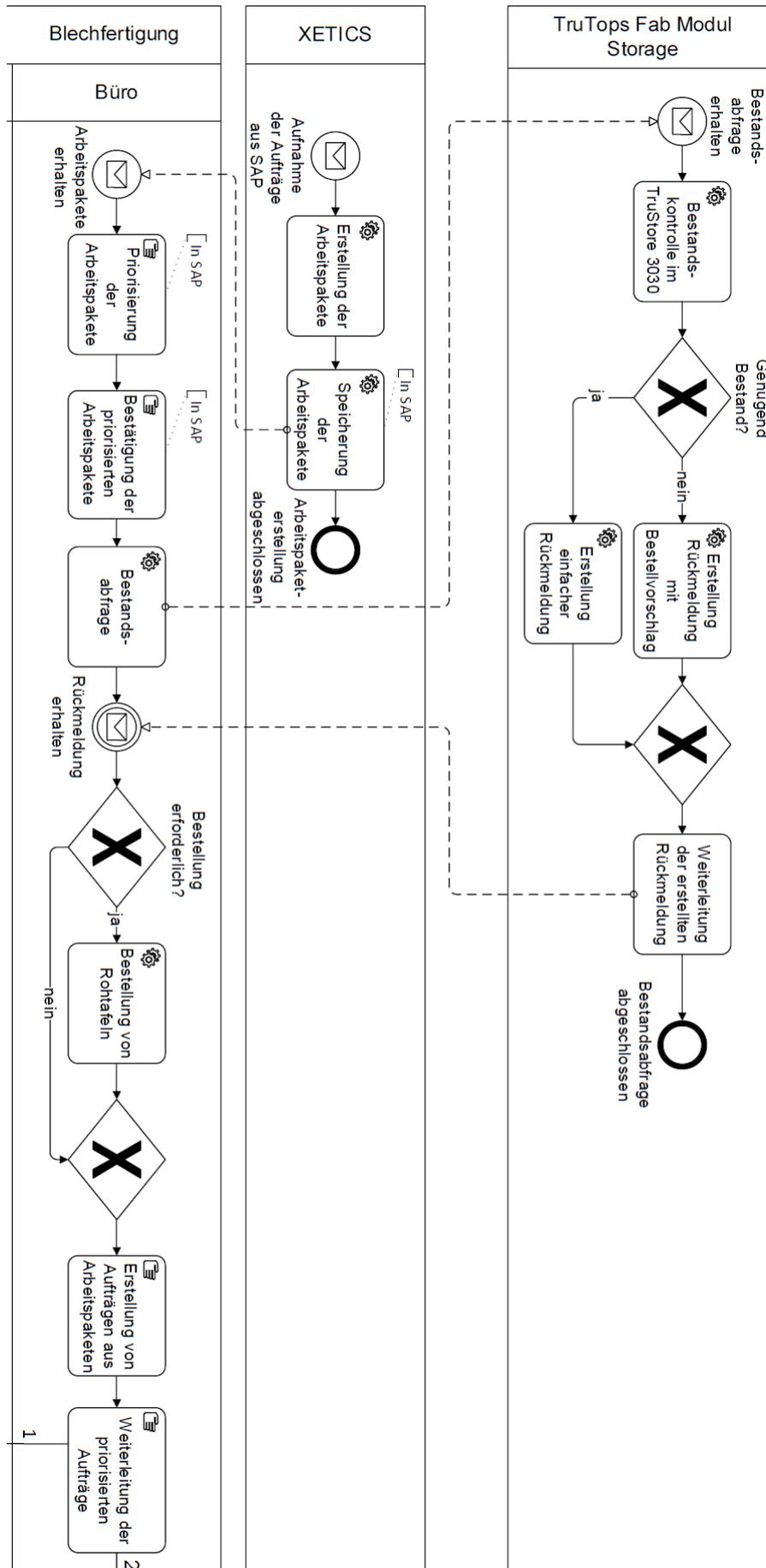


Abbildung 55: Prozessmodell Auftragsbearbeitung Blechfertigung 4.0

In Abbildung 56 sind die ersten Schritte in der Fertigung sowie die Fehlerbehebung von defekten Bauteilen ersichtlich. Das bedingte Starterereignis zur anschließenden Einlagerung der bestellten Rohtafeln im „TruStore 3030“ wird durch den Bestellvorgang des Personals im Büro in Abbildung 55 hervorgerufen. Die Fertigung erhält die priorisierten Fertigungsaufträge direkt am Bildschirm des „TruLaser 3030“. Die Aufträge können anhand der Priorisierung nacheinander gestartet werden. Davor kann noch ausgewählt werden, ob der „LiftMaster Store 3050“ Rohtafeln aus dem „TruStore 3030“ für den Laservorgang auslagert, oder ob der Werker Restschnitte einlegt. Beim Start des Laservorgangs wird automatisch durch XETICS die Aufnahme der Daten gestartet. Dabei werden Daten wie beispielsweise die Startzeit des Vorgangs, die Auftragsnummer, die Anzahl der erstellten Bauteile, etc. als Kennzahlen aufgenommen und grafisch bereitgestellt. Das Personal im Büro hat ständigen Zugriff auf diese Daten und kann während der gesamten Fertigung der Bauteile in diese einsehen. Der dazugehörige Sequenzfluss wird durch den Link „H“ in den Abbildungen 56 und 58 dargestellt. Beim Laservorgang werden auf die Oberflächen der Bauteile QR-Codes durch den Laser gelasert, um bei weiteren Bearbeitungsschritten Scanvorgänge durchführen zu können. Dadurch wird eine Aufbereitung der Daten durch XETICS auch bei weiteren Maschinen und Bereichen in der Blechfertigung ermöglicht. Der Sequenzfluss zur Datensammlung durch XETICS ist in den Abbildungen 56 und 57 mit der Zahl „3“ und in den Abbildungen 57 und 58 mit der Zahl „7“ markiert. Nach Abschluss des Laservorgangs ist die Entscheidung über die Rücklagerung oder Bereitstellung auf Transportwagen genau gleich wie in der aktuellen Blechfertigung. Die Weiterleitung zum nächsten Bearbeitungsschritt ist mit der Zahl „4“ in den Abbildungen 56 und 57 gekennzeichnet. Die Behebung von fehlerhaften Bauteilen ist in Abbildung 56 ebenfalls dargestellt. Diese Bearbeitung hat sich im Vergleich zur aktuellen Blechfertigung nicht geändert. Die Sequenzflüsse zu Link „A“ sind in den Abbildungen 56 und 57 mit der Zahl „5“ markiert. Die Links „B“ und „C“ beschreiben auftretende Fehler beim Brünieren und Pulverbeschichten und sind in den Abbildungen 56 und 58 dargestellt. Der Link „D“ beschreibt einen Fehler beim Lackieren der Bauteile und ist in den Abbildungen 56 und 59 visualisiert.

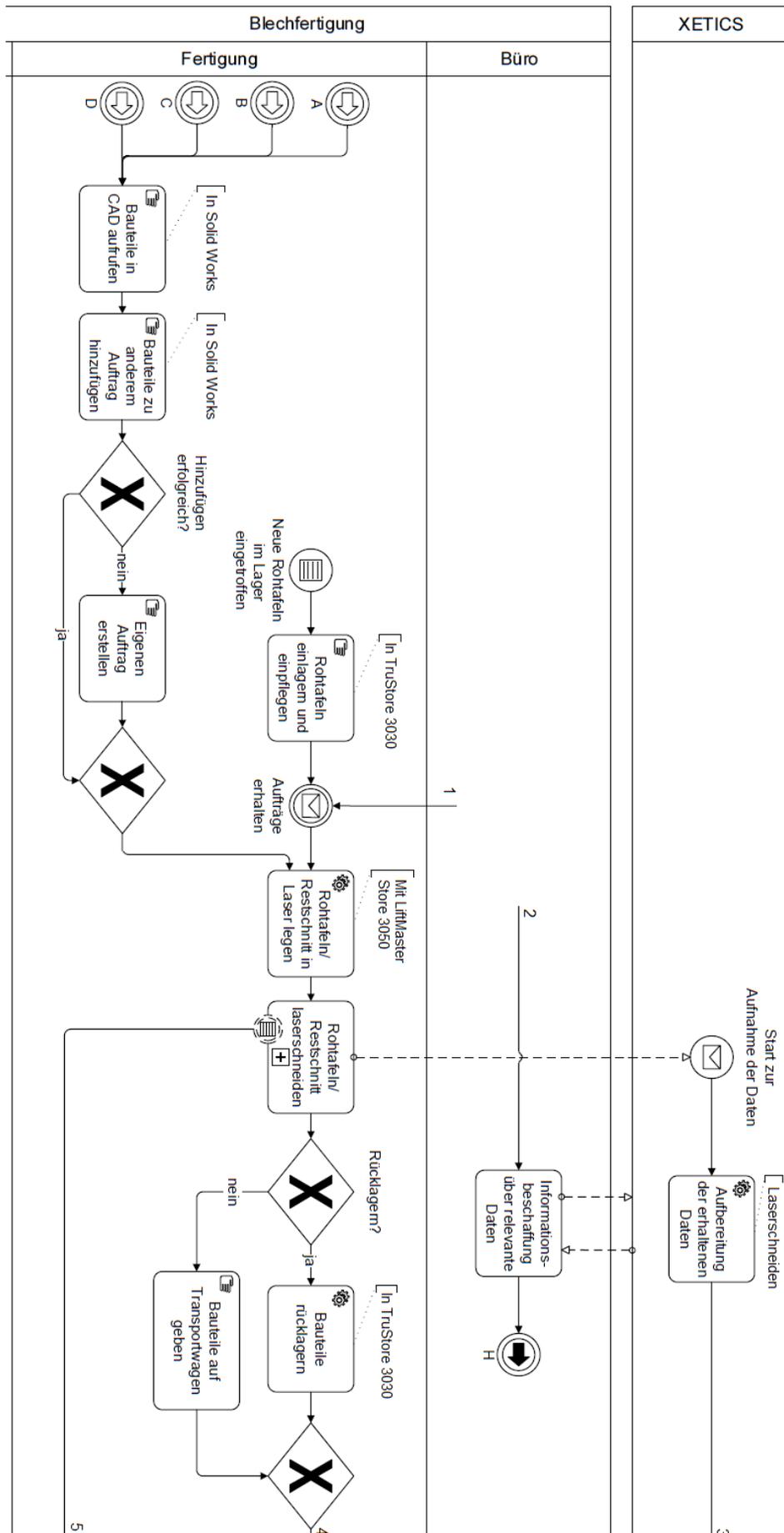


Abbildung 56: Prozessmodell Fertigung 1 Blechfertigung 4.0

In Abbildung 57 sind die Bearbeitungsschritte vom Entgraten bis zum Manuellen Schweißen dargestellt. Die Abläufe der Bearbeitungsschritte Entgraten, Walzrichten, Punktschweißen und Bohren bzw. Gewindeschneiden bleiben in der neuen Blechfertigung unverändert. Bei diesen Bearbeitungsschritten werden keine Daten durch XETICS aufgenommen. Dies ist nicht erforderlich, da diese Bearbeitungsschritte wie aus Abbildung 53 ersichtlich ist in der neuen Halle nahe nebeneinander erfolgen. An dieser Stelle ist nochmals erwähnenswert, dass obwohl die Bearbeitungsschritte gleich geblieben sind, der Arbeits- und Materialfluss durch die Umstellung der Maschinen, wie zu Abbildung 53 bereits erläutert, verbessert werden konnten. Beim Biegevorgang werden die mit QR-Codes versehenen Bauteile mit einem Scanner identifiziert. Dadurch wird das Biegeprogramm für das entsprechende Bauteil automatisch geladen und gleichzeitig die relevanten Daten von XETICS aufgenommen und grafisch für das Personal im Büro aufbereitet. In den Schweißkabinen werden die Bauteile ebenfalls gescannt und identifiziert. An Terminals, welche in den Schweißkabinen bereitgestellt sind, werden nach erfolgtem Scanvorgang die Fertigungsinformationen wie beispielsweise die technischen Zeichnungen der einzelnen Bauteile abgebildet. Somit hat der Werker stets eine Übersicht über die vorzunehmenden manuellen Schweißvorgänge am Bauteil. Durch den Scanvorgang werden auch hier sämtliche relevante Informationen von XETICS aufgenommen und aufbereitet. Die Weiterleitung der fertig geschweißten Bauteile zur Oberflächenbehandlung ist mit dem Sequenzfluss in den Abbildungen 59 und 60 dargestellt, welcher mit der Zahl „6“ gekennzeichnet ist.

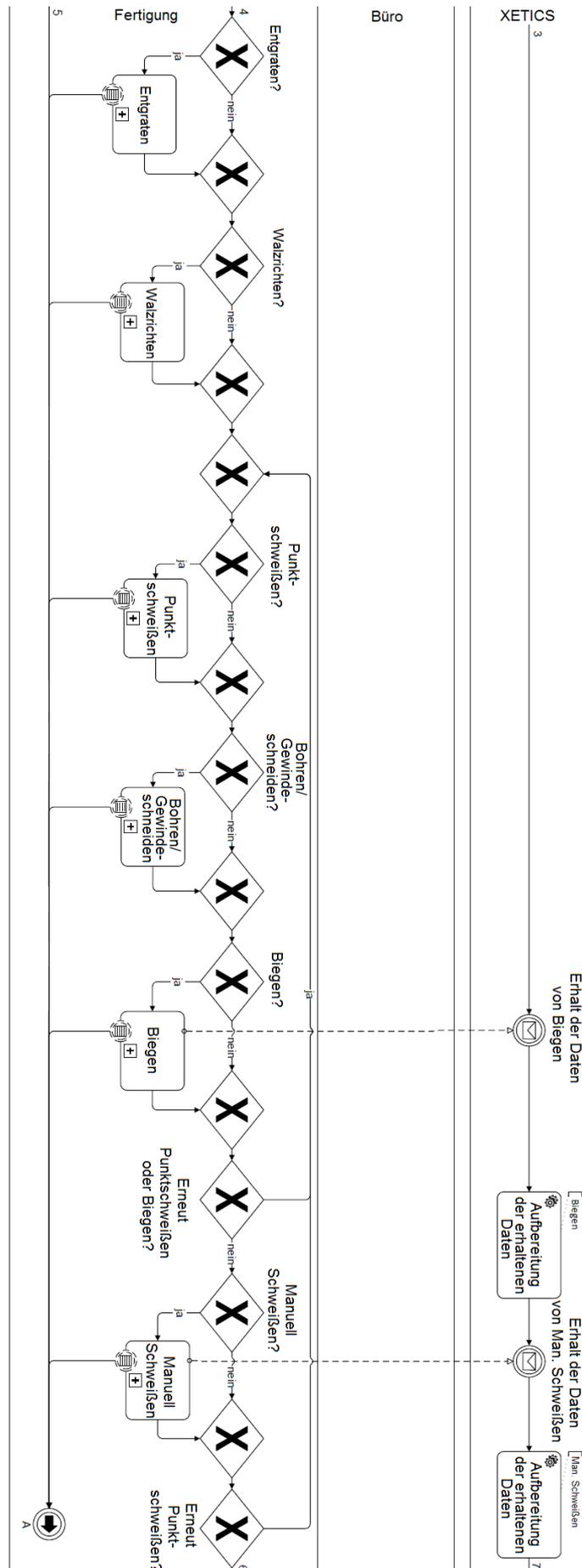


Abbildung 57: Prozessmodell Fertigung 2 Blechfertigung 4.0

Bei den Oberflächenbehandlungen Brünieren, Lackieren und Pulverbeschichten, die in den Abbildungen 60 und 61 dargestellt sind, erfolgt vor der Weiterleitung der Bauteile eine Speicherung der Fertigungsaufträge am Computer. Dies ist erforderlich, da nach erfolgter Oberflächenbehandlung keine Scanyvorgänge mehr durchgeführt werden können. Der zuständige Werker muss wissen, welche Bauteile die Blechfertigung für eine Oberflächenbehandlung verlassen, damit er überprüfen kann, ob auch sämtliche Bauteile wieder zurückgeliefert werden. Sämtliche Vorgänge zur Oberflächenbehandlung der Bauteile erfolgen äquivalent zur aktuellen Blechfertigung. Der Link E in Abbildung 58 verweist auf den Sequenzfluss zum Lackieren in Abbildung 59. Der Link F zeigt in den Abbildung 58 und 59 die Weiterleitung der fertig lackierten Teile in der Blechfertigung.

Sobald die Bauteile nach der Oberflächenbehandlung in das Lager 294 rückgeliefert wurden, erfolgt eine Kontrolle über erforderliche Nachbearbeitungen. Nachdem dieser Vorgang beendet ist, gilt die Bauteilfertigung als abgeschlossen. Die Bauteile werden im Lager 294 für die Weiterleitung zur Montage bereitgestellt. Das Personal im Büro erhält eine Email über die abgeschlossenen Fertigungsaufträge vom Werker des Lagers 294.

Abschließend pflegen die Mitarbeiter im Büro den Auftrag als abgeschlossen in SAP ein. Parallel zu diesem Vorgang erhält auch XETICS eine Mitteilung und kann somit den Fertigungsauftrag als abgeschlossen verbuchen und die Datenaufnahme für diesen beenden.

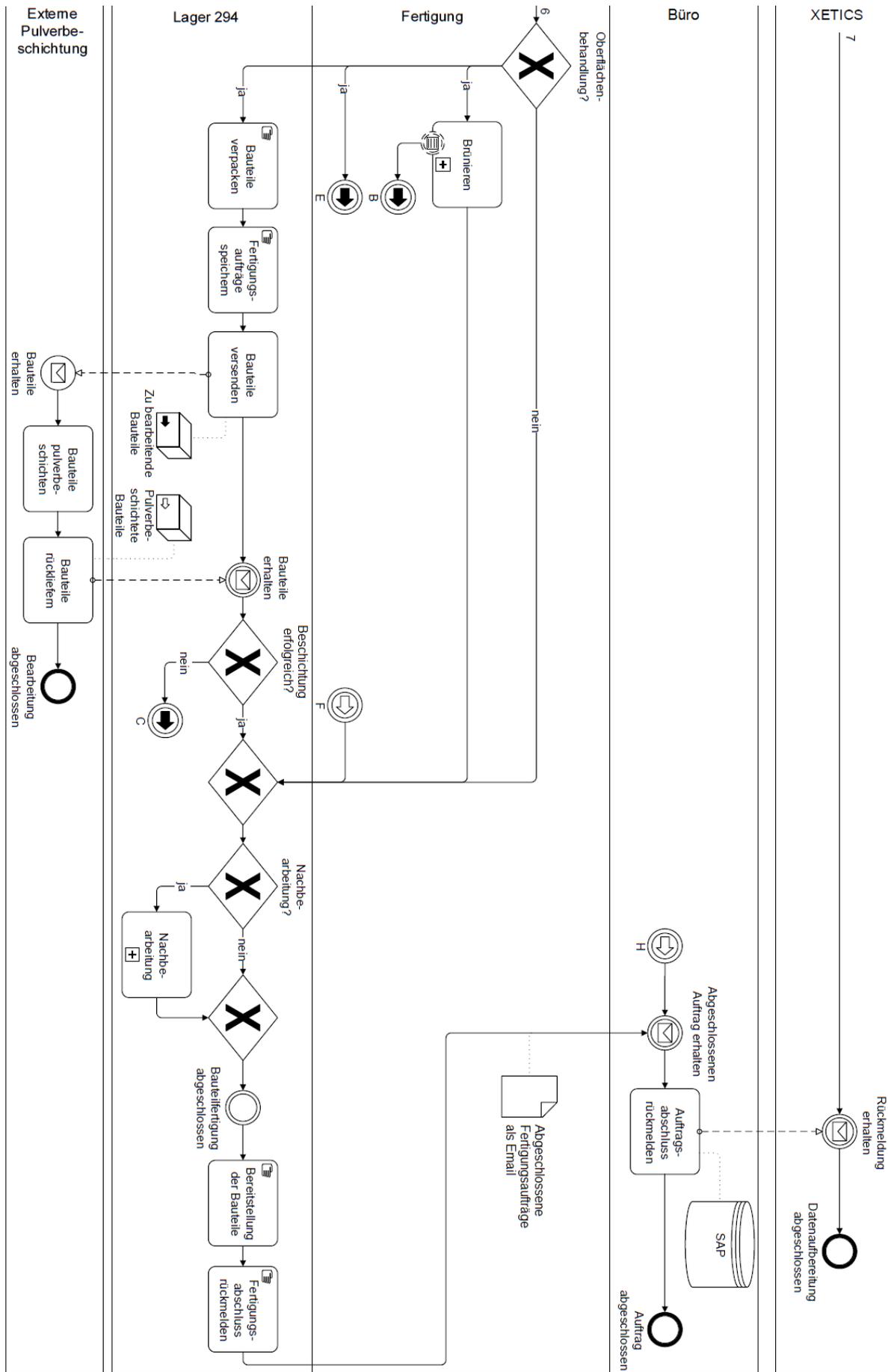


Abbildung 58: Prozessmodell Fertigung 3 Blechfertigung 4.0

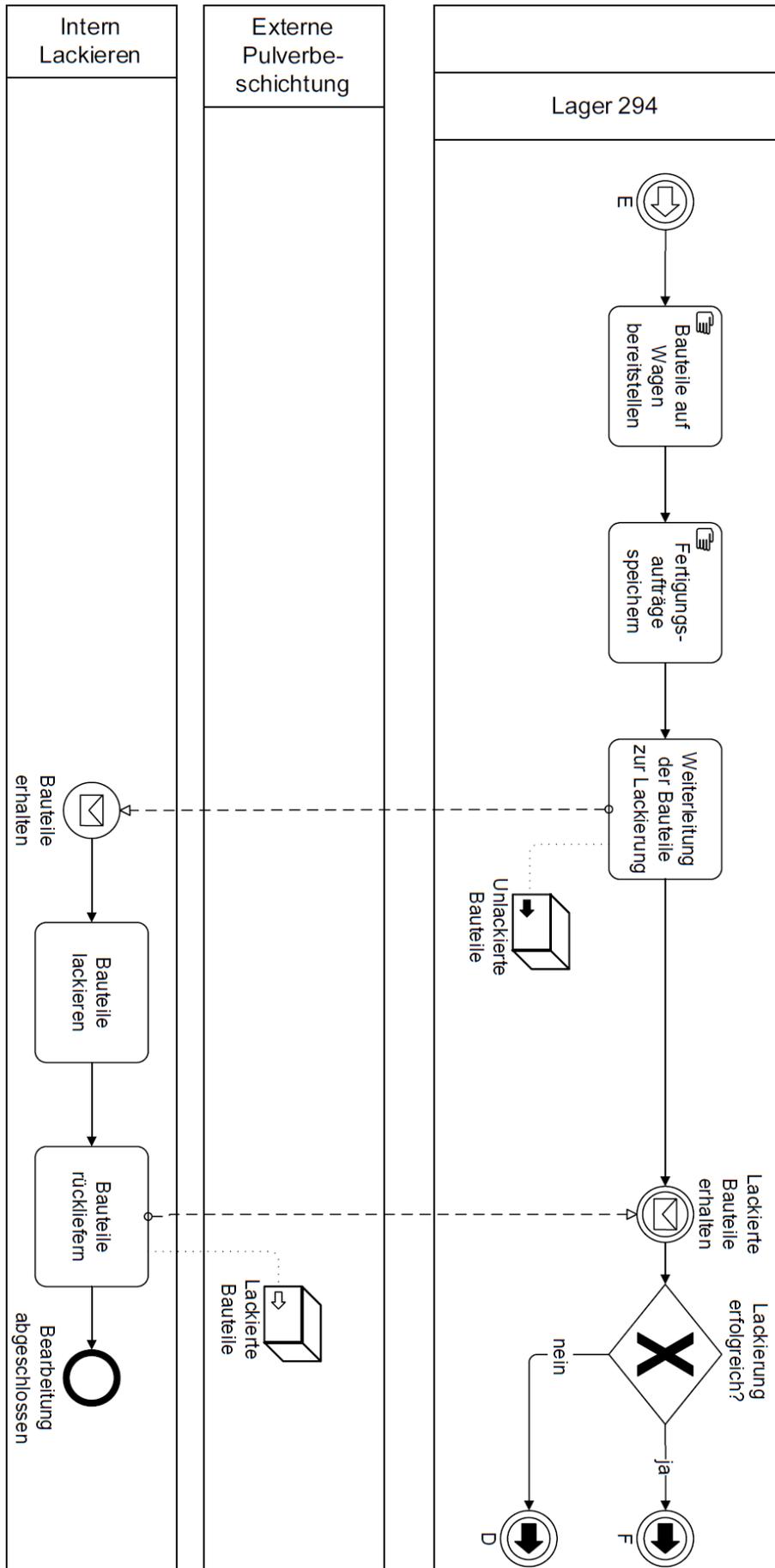


Abbildung 59: Prozessmodell Fertigung 4 Blechfertigung 4.0

5 Ergebnisse und Ausblick

In diesem Kapitel werden sämtliche Ergebnisse der Diplomarbeit zusammengefasst. Dazu werden die drei behandelten Felder, also die Literaturrecherche, die speziellen Anforderungen bei TAT und das Datenflusskonzept für die neue Blechfertigung, welches auch das Hauptergebnis dieser Arbeit ist, in Unterpunkte aufgeteilt. In jedem Unterpunkt wird abschließend ein Ausblick bzgl. der erhaltenen Ergebnisse angeführt.

5.1 Literaturrecherche

Im Zuge der Literaturrecherche konnten insgesamt 18 Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS im Bezug auf Industrie 4.0 analysiert werden. Diese setzen sich aus acht Anforderungen an das Materialdatenmanagement und zehn Anforderungen an die PPS zusammen. Die Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS wurden in Punkt 3.1 und 3.2 beschrieben und zusammengefasst. In der verwendeten Literatur wurden die gesammelten Anforderungen unterschiedlich oft erwähnt. Um einen besseren Überblick über die Häufigkeit im Bezug auf das Vorkommen der verschiedenen Anforderungen in der verwendeten Literatur zu erhalten, wurde in Punkt 3.3 eine Meta-Analyse erstellt. Allgemein wurde bei der Literaturrecherche großer Wert auf qualitativ hochwertige und wissenschaftlich belegte Artikel, Journale und Bücher gelegt.

Die vierte industrielle Revolution ist noch ein relativ junges Thema. Im Laufe der Zeit könnten sich die Prioritäten der Anforderungen verändern. Das heißt, dass aktuelle Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPs aus der Literaturrecherche wegfallen oder durch neue Anforderungen ergänzt werden könnten. Somit wäre es sinnvoll, die Entwicklung der Anforderungen im Bezug auf Industrie 4.0 laufend zu analysieren und zu aktualisieren.

5.2 Spezielle Anforderungen bei TAT

Für die Analyse der Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die PPS im Sinne von Industrie 4.0 wurde die Herstellung von Biegemaschinen bezogen auf ein Geschäftsjahr detailliert analysiert. Die dafür notwendigen Prozesse wurden mit Hilfe einer Prozessarchitektur dargestellt und beschrieben. Der Ablauf sämtlicher Prozesse wurde durch Interviews mit den dafür zuständigen Mitarbeitern, sowie durch Einsicht in firmeninterne Dokumente ermittelt. Anschließend wurden die Prozesse mit der BPMN 2.0 im Detail dargestellt und zusätzlich textuell beschrieben. Bei dieser Analyse wurden insgesamt sechs Anforderungen ermittelt. Diese decken sich mit Anforderungen aus der zuvor durchgeführten Literaturrecherche. Die Anforderun-

gen an die neue Blechfertigung sind in diesen sechs Anforderungen nicht enthalten, da diese bei der Erstellung des Datenflusskonzepts eigens ausgearbeitet wurden. Die speziellen Anforderungen von TAT haben einen großen Umfang und könnten durch mehrere Projekte, eventuell auch in Form von weiteren Diplomarbeiten, umgesetzt werden. Dazu empfiehlt es sich zuerst eine Priorisierung der einzelnen Anforderungen aus der Sicht von TAT durchzuführen. Anschließend wäre es sinnvoll die einzelnen Anforderungen auszuarbeiten und durch Maßnahmen schließlich schrittweise umzusetzen.

5.3 Datenflusskonzept für Blechfertigung

Im Hauptteil wurde schließlich ein Datenflusskonzept entwickelt, welches als Grundlage für die Anforderungen an das Materialdatenmanagement und die Produktionsplanung und –steuerung in der neu geplanten Blechfertigung von TAT dienen soll. Dazu wurde zuerst der Ablauf in der aktuellen Blechfertigung analysiert und mit Hilfe der BPMN 2.0 dargestellt und textuell beschrieben. Anschließend wurden die aktuellen Herausforderungen in der Blechfertigung durch die Einbeziehung des leitenden Personals der Blechfertigung und dem aus Ditzingen stammenden Beratungsteam für Vernetzung und Digitalisierung namens TruConnect zusammengefasst. Zusätzlich wurde ein Fragebogen erstellt, mit dem die Werker aus der Blechfertigung die aktuellen Herausforderungen angeben sollten. Bei der Analyse der ausgefüllten Fragebögen stellte sich heraus, dass die von den Werkern genannten Herausforderungen bzw. Anforderungen durch das neue Datenflusskonzept nicht erfüllt werden können. Von den Werkern erwähnte Herausforderungen betreffen beispielsweise einen Mangel an Werkern in der Blechfertigung oder die ständige Staubbelastung im Bereich des Manuellen Schweißens. Hier bedarf es anderer Formen der Prozessverbesserung, die in dieser Arbeit jedoch nicht behandelt werden. Die für das Datenflusskonzept relevanten Anforderungen stammen somit aus dem Workshop mit dem leitenden Personal der Blechfertigung und dem Beratungsteam TruConnect. Im weiteren Verlauf des Workshops wurden drei Maßnahmen entwickelt, die eine automatische Auftragsabwicklung und Rohteilbestellung, eine automatische Rückmeldung an den Maschinen in der Fertigung, sowie eine Feinplanung als Unterstützung für die PPS behandeln. Diese Maßnahmen wurden ausführlich bezüglich ihrer Eigenschaften und der relevanten Anforderungen, die sie erfüllen, geschildert. Das anschließend erstellte Datenflusskonzept beinhaltet die entwickelten Maßnahmen und beschreibt unter Anwendung der BPMN 2.0 bildlich und textuell den neuen Prozessablauf in der zukünftigen Blechfertigung. Im Bezug auf die unterschiedlichen Prozesssichten konnten der Material-, der Arbeits- und der Informationsfluss deutlich verbessert werden. Die Bauteile durchlaufen die einzelnen Fertigungsschritte durch die Umstellung der Maschinen in einer geordneten Reihenfolge. Somit ist gewährleistet, dass die Bauteile die Fertigung selbst bis zum Abschluss des Manuellen Schweißverfahrens nicht verlassen müssen. Diese Veränderungen steigern den Ablauf des Ma-

terial- und Arbeitsflusses. Der Informationsfluss wird digitalisiert und durch die Software XETICS grafisch aufbereitet. Das gesamte zuständige Personal der Blechfertigung hat somit stets einen aktualisierten Stand über unterschiedlichste Daten bezüglich der gefertigten Bauteile. Durch die elektronisch zur Verfügung gestellten Daten kann das Personal die herzustellenden Bauteile in der neuen Blechfertigung effizienter planen und steuern. Das neue Datenflusskonzept wurde allen Mitarbeitern der Blechfertigung vorgestellt. Das Feedback zu den Neuerungen war durchgehend positiv. Dies stellt eine gute Basis für eine zukünftige erfolgreiche Implementierung der entwickelten Maßnahmen in der neuen Blechfertigung dar. Sollte die Einführung der Maßnahmen in der Blechfertigung gut umgesetzt werden können und eine sichtliche Verbesserung im Bezug auf den Umgang mit Daten ermöglicht werden, plant TAT diese Maßnahmen auch in anderen Fertigungen und in der Montage, angepasst an die dort vorherrschenden Anforderungen, einzusetzen.

6 Resümee

Bei der Entwicklung des Datenflusskonzepts wurde ein hoher Stellenwert auf die zu erfüllenden Anforderungen gelegt. Das auf Grundlage der kreierte Maßnahmen erstellte Datenflusskonzept kann in der Lage sein, dem zuständigen Personal der Blechfertigung als Unterstützung zu dienen. Die Software XETICS wird bereits in der aktuellen Blechfertigung am Standort der TRUMPF Gruppe in Ditzingen eingesetzt, getestet und laufend verbessert. Dadurch erhofft sich TAT, dass bei der Einführung von XETICS in der neuen Blechfertigung bereits von Beginn an die Datenerfassung mit wenigen Fehlern umgesetzt werden kann. Es ist schwierig zu sagen, wie aufwendig es ist, die digital bereitgestellten Daten zu analysieren und daraus stets die richtigen Entscheidungen zu treffen. Auch in der Fertigung muss zu Beginn eine genaue Beobachtung stattfinden, wie die Werker ohne die üblichen Auftragspapiere zurechtkommen.

Als Auto-ID Verfahren werden Scanvorgänge durchgeführt, während die Blechfertigung in Ditzingen mit RFID arbeitet. Welche Technologie sich im Bezug auf Industrie 4.0 durchsetzen wird ist ebenfalls schwer vorauszusagen, wobei in der Literatur eher vom RFID Verfahren ausgegangen wird.

Im Laufe des Workshops wäre es eventuell von Vorteil gewesen die Werker der Blechfertigung ebenfalls einzubeziehen. Dadurch wären vielleicht weitere Anforderungen bezüglich des neuen Datenflusskonzepts aufgetaucht, die weitere Maßnahmen verlangen.

Die BPMN 2.0 erwies sich als sehr nützliche Modellierungsmethode, da sämtliche Prozessabläufe dieser Arbeit detailliert und verständlich aufgebaut werden konnten. Für das Verständnis der Notation im Bezug auf die allgemeinen Regeln und den richtigen Einsatz der einzelnen Komponenten muss eine gewisse Zeit aufgewendet werden. Ist dieser Schritt jedoch vollbracht, kann die BPMN 2.0 für verschiedenste Modellierungen äußerst praktisch eingesetzt werden.

Bei der Ermittlung der speziellen Anforderungen bei TAT an das Materialdatenmanagement und die PPS war es sehr interessant, dass sich alle Anforderungen mit der zuvor durchgeführten Literaturrecherche decken. Dies scheint daran zu liegen, dass TAT sich bereits seit längerer Zeit mit Industrie 4.0 auseinandersetzt und in dieser Sparte von Anfang an mit an der Spitze sein möchte.

7 Literaturverzeichnis

- [1] T. Bauernhansl, M. ten Hompel, and B. Vogel-Heuser, *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung · Technologien · Migration*. Springer-Verlag, 2014.
- [2] V. Koch, S. Kuge, D. R. Geissbauer, and S. Schrauf, "Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution," 14-Oct-2014. [Online]. Available: <http://www.strategyand.pwc.com/reports/industrie-4-0>. [Accessed: 28-Apr-2016].
- [3] J. Busch, A. Soukup, H. Dutzler, M. Loinig, and A. Gorholt, "Industrie 4.0: Österreichs Industrie im Wandel," Jun-2015. [Online]. Available: <https://www.pwc.at/publikationen/industrie-4-0-oesterreichs-industrie-im-wandel-2015.pdf>. [Accessed: 28-Apr-2016].
- [4] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, "Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0," Apr-2013. [Online]. Available: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Abschlussbericht_Industrie4.0_barrierefrei.pdf. [Accessed: 28-Apr-2016].
- [5] K. Finkenzeller, *RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2015.
- [6] E. Fleisch and F. Mattern, *Das Internet der Dinge: Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*. Springer-Verlag, 2005.
- [7] M. Martus, "Tracking & Tracing: Analyse und Entwicklung von Anforderungspotentialen sowie die Bestimmung kritischer Erfolgsfaktoren," 06-Sep-2013. [Online]. Available: <http://www.grin.com/de/e-book/262884/tracking-tracing>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [8] S. Schmid and C. Brockmann, "Marktübersicht: Tracking & Tracing Lösungen in der Logistik," 2006. [Online]. Available: [http://www.gito.de/homepage/pps/ppshp.nsf/0/80ED76B894FBCE80C125718F0045C352/\\$FILE/recherche_PPS2-2006.pdf](http://www.gito.de/homepage/pps/ppshp.nsf/0/80ED76B894FBCE80C125718F0045C352/$FILE/recherche_PPS2-2006.pdf). [Accessed: 29-Apr-2016].
- [9] G. Schuh and V. Stich, *Produktionsplanung und -steuerung 1: Grundlagen der PPS*. Springer-Verlag, 2012.
- [10] P. Dickmann, *Schlanker Materialfluss: mit Lean Production, Kanban und Innovationen*. Springer Science & Business Media, 2008.

- [11] K. Erlach, *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*. Springer-Verlag, 2010.
- [12] A. Bronner, *Handbuch der Rationalisierung*. expert verlag, 2003.
- [13] H. J. Fahrenwaldt, V. Schuler, and J. Twrdek, *Praxiswissen Schweißtechnik: Werkstoffe, Prozesse, Fertigung*. Springer-Verlag, 2013.
- [14] A. Kalweit, C. Paul, S. Peters, and R. Wallbaum, *Handbuch für Technisches Produktdesign: Material und Fertigung, Entscheidungsgrundlagen für Designer und Ingenieure*. Springer-Verlag, 2011.
- [15] E. Doege and B.-A. Behrens, *Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen*. Springer-Verlag, 2010.
- [16] Reutter Blechbearbeitung GmbH, "Walzrichten - Reutter Blechbearbeitung aus Ingoldingen," 2011. [Online]. Available: <http://www.reutterblech.de/index.php/de/verfahren-und-technik/planrichten/walzrichten>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [17] A. H. Fritz and G. Schulze, *Fertigungstechnik*, 10th ed. Springer, 2012.
- [18] K.-P. Müller, *Praktische Oberflächentechnik: Vorbehandeln · Beschichten · Prüfen*. Springer-Verlag, 2013.
- [19] Rohde AG, "Brünieren | Rohde AG," 2016. [Online]. Available: <http://www.rohde-technics.de/oberflaechentechnik/brunieren/>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [20] J. Pietschmann, *Industrielle Pulverbeschichtung: Grundlagen, Verfahren, Praxiseinsatz*, 4th ed. Springer Vieweg, 2013.
- [21] M. Blesl and A. Kessler, *Energieeffizienz in der Industrie*, 2013th ed. Springer Vieweg, 2013.
- [22] European Association of Business Process Management, "BPM," 2016. [Online]. Available: http://www.eabpm.org/?page_id=5. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [23] J. Freund and B. Rücker, *Praxishandbuch BPMN 2.0*, 3rd ed. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2012.
- [24] M. Dumas, M. L. Rosa, J. Mendling, and H. Reijers, *Fundamentals of Business Process Management*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [25] S. Erol, "BPMN-extended." [Online]. Available: <http://bazaar.launchpad.net/~selim-j/bpmn-visio/trunk/files>. [Accessed: 27-Jul-2016].

- [26] W. Dangelmaier, C. Laroque, and A. Klaas, *Simulation in Produktion und Logistik: Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung*, vol. 316. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, 2013.
- [27] K. Hildebrand, M. Gebauer, H. Hinrichs, and M. Mielke, Eds., *Daten- und Informationsqualität*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [28] C. Pinnow and S. Schäfer, *Industrie 4.0 - Grundlagen und Anwendungen: Branchentreff der Berliner Wissenschaft und Industrie*. Beuth Verlag, 2015.
- [29] Plattform Industrie 4.0, "Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0," Apr-2015. [Online]. Available: <https://www.bitkom.org/Publikationen/2015/Leitfaden/Umsetzungsstrategie-Industrie-40/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [30] D. Spath, O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause, and S. Schlund, *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013.
- [31] L. Windelband, "Zukunft der Facharbeit im Zeitalter „Industrie 4.0“," *J. Tech. Educ. JOTED*, vol. 2, no. 2, Dec. 2014.
- [32] B. Kitchenham, "Procedures for performing systematic reviews," *Keele UK Keele Univ.*, vol. 33, no. 2004, pp. 1–26, Jul. 2004.
- [33] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "Standort Pasching - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/uebertrumpf/standort-pasching.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [34] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "Geschäftsführung - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/uebertrumpf/standort-pasching/geschaeftsfuehrung.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [35] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "TruBend Serie 5000 (B03/B04) - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/biegen/manuell-biegen/trubend-serie-5000-b03b04.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [36] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "TruBend Center Serie 5000 - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/biegen/halbautomatisch-biegen/trubend-center-serie-5000.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].

- [37] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "TruBend Cell 5000 - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/biegen/vollautomatisch-biegen/trubend-cell-5000.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [38] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "Biegewerkzeuge - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/services/biegewerkzeuge-und-zubehoer/biegewerkzeuge.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [39] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "TruStore Serie 3000 - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/lager/lagesysteme/trustore-serie-3000.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [40] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "LiftMaster Store - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/2-d-laserschneiden/automatisierung/liftmaster-store.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [41] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "Lasermaschinen TruLaser 3030 / 3040 - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/2-d-laserschneiden/laserschneidanlagen/trulaser-3030-3040.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [42] Paul Ernst Maschinenfabrik GmbH, "EM 5N II." [Online]. Available: http://www.ernst-maschinen.de/fileadmin/pdf/EM5NII_DE.pdf. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [43] ARKU Maschinenbau GmbH, "FlatMaster®: ARKU Maschinenbau GmbH," 2016. [Online]. Available: <http://www.arku.de/de/produkte/teilerichtmaschinen-precisionrichtmaschinen-zum-richten-von-blechteilen/flatmaster.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [44] DALEX Schweißmaschinen GmbH & Co. KG, "Widerstandsschweißmaschine PL 40/63/80/100," Sep-2012. [Online]. Available: http://www.dalex.de/fileadmin/media/pdf/datenblaetter/standardmaschinen/pl/datenblatt_pl_dt.pdf. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [45] Machinery Scandinavia AB, "Arboga Drilling Machine - A 2608 (M) - Arboga," 2016. [Online]. Available: [http://www.arbogamachinery.com/en/products1/drilling-machines/a-2608-\(m\)/](http://www.arbogamachinery.com/en/products1/drilling-machines/a-2608-(m)/). [Accessed: 30-Apr-2016].

- [46] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "TruBend Serie 7000 - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/biegen/manuell-biegen/trubend-serie-7000.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [47] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "Tool Shuttle," 24-Apr-2013. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/metanavigation/news-archiv/2013-04-24-schneller-ruesten-bei-voller-flexibilitaet/rec-uid/248238.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [48] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "ToolMaster für Biegemaschinen - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/produkte/biegen/manuell-biegen/toolmaster.html>. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [49] TRUMPF Maschinen Austria GmbH + Co. KG, "Lagerverwaltung - TRUMPF Österreich," 2016. [Online]. Available: <http://www.at.trumpf.com/de/produkte/werkzeugmaschinen/services/software/rutops-fab/lagerverwaltung.html>. [Accessed: 15-May-2016].
- [50] XETICS GmbH, "Startseite," XETICS, 2016. [Online]. Available: <http://www.xetics.com/>. [Accessed: 15-May-2016].
- [51] K. Ischebeck, *Erfolgreiche Konzepte: Eine Praxisanleitung in 6 Schritten*. GABAL Verlag GmbH, 2013.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit.....	4
Abbildung 2: Geschichte der Produktion [1, p. 13].....	7
Abbildung 3: CPS Entwicklungsstufen vgl. [1, p. 16f]	8
Abbildung 4: Automatische Identifikationsverfahren vgl. [5, p. 2].....	9
Abbildung 5: 1D-, 2D-Code vgl. [5, p. 3]	10
Abbildung 6: Funktionsweise RFID [5, p. 11].....	12
Abbildung 7: Trackingverfahren vgl. [8, p. 52]	14
Abbildung 8: Fertigungstechnische Verfahren der Blechfertigung	19
Abbildung 9: Walzrichten [16].....	20
Abbildung 10: Punktschweißverfahren vgl. [13, p. 100].....	21
Abbildung 11: Ablauf Gesenkbiegen vgl. [15, p. 378].....	22
Abbildung 12: Gesenkbiegen mit Abkantpresse vgl. [15, p. 378].....	23
Abbildung 13: Schwenkbiegen vgl. [15, p. 380].....	23
Abbildung 14: MIG/MAG-Schweißverfahren vgl. [17, p. 170]	24
Abbildung 15: WIG-Schweißverfahren [17, p. 160].....	25
Abbildung 16: Werkstoffe brüniert [19]	26
Abbildung 17: BPMN Basiselemente [23, p. 21].....	29
Abbildung 18: Links [23, p. 61]	30
Abbildung 19: Symbole für materielle Güter S. Erol?	31
Abbildung 20: Reduzierung der Kosten durch UbiComp vgl. [6, p. 12].....	33
Abbildung 21: Häufigkeit der Dateneingabe vgl. [6, p. 13].....	34
Abbildung 22: Datenaggregation und Vererbung vgl. [6, p. 169]	37
Abbildung 23: Horizontale und vertikale Integration [2, p. 17]	42
Abbildung 24: Datentransfer PLM und PPS [1, p. 283].....	43
Abbildung 25: Gegenwärtige Produktionssteuerung vgl. [1, p. 236].....	46
Abbildung 26: Verlagerung der Steuerungsfunktion vgl. [1, p. 239].....	47
Abbildung 27: Meta-Analyse.....	51
Abbildung 28: TRUMPF Werk Pasching [32].....	53
Abbildung 29: TruBend 5130 vgl. [34]	54
Abbildung 30: TruBend Center 5030 vgl. [35].....	54
Abbildung 31: TruBend Cell 5000 vgl. [36]	55
Abbildung 32: Biegewerkzeuge vgl. [37].....	55
Abbildung 33: Prozessarchitektur-Pyramide vgl. [24, p. 42]	56
Abbildung 34: Prozesslandschaft	58
Abbildung 35: Jahresvorplanung	59
Abbildung 36: Auftragsabwicklung.....	59
Abbildung 37: Beschaffung.....	60
Abbildung 38: Herstellungsprozess	61

Abbildung 39: Teilnehmer Herstellung Biegemaschinen	62
Abbildung 40: Prozessmodell Jahresvorplanung	63
Abbildung 41: Prozessmodell Auftragsabwicklung	65
Abbildung 42: Prozessmodell Beschaffung	67
Abbildung 43: Prozessmodell Herstellungsprozess	68
Abbildung 44: Aktuelle Blechfertigung	73
Abbildung 45: Swimlanes Blechfertigung Aktuell	74
Abbildung 46: Prozessmodell Auftragsbearbeitung Blechfertigung Aktuell	76
Abbildung 47: Prozessmodell Fertigung 1 Blechfertigung Aktuell	79
Abbildung 48: Prozessmodell Fertigung 2 Blechfertigung Aktuell	82
Abbildung 49: Prozessmodell Fertigung 3 Blechfertigung Aktuell	84
Abbildung 50: Prozessmodell Fertigung 4 Blechfertigung Aktuell	85
Abbildung 51: Maßnahmen Blechfertigung 4.0	89
Abbildung 52: Kernstruktur Datenflusskonzept	94
Abbildung 53: Layout Blechfertigung 4.0	95
Abbildung 54: Swimlanes Blechfertigung 4.0	96
Abbildung 55: Prozessmodell Auftragsbearbeitung Blechfertigung 4.0	98
Abbildung 56: Prozessmodell Fertigung 1 Blechfertigung 4.0	100
Abbildung 57: Prozessmodell Fertigung 2 Blechfertigung 4.0	102
Abbildung 58: Prozessmodell Fertigung 3 Blechfertigung 4.0	104
Abbildung 59: Prozessmodell Fertigung 4 Blechfertigung 4.0	105

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften Auto-ID Verfahren [5, p. 10]	13
Tabelle 2: Lasertypen vgl. [13, p. 91].....	19
Tabelle 3: Aufgaben der Pulverlackschicht vgl. [20, p. 2]	26
Tabelle 4: Eigenschaften von Lackierverfahren vgl. [21, p. 139]	27
Tabelle 5: Anforderungen an Materialdatenmanagement.....	39
Tabelle 6: Anforderungen an die PPS	49
Tabelle 7: Anforderungen von TAT an Materialdatenmanagement und PPS	71
Tabelle 8: Blechfertigung Baugruppen	73
Tabelle 9: Technische Daten Biegemaschinen vgl. [34]; vgl. [45].....	80
Tabelle 10: Herausforderungen.....	87
Tabelle 11: Maßnahmen.....	90

10 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
~	ungefähr
α	Alpha
€	Euro
°C	Grad Celsius
1D-Code	Eindimensionaler Code
2D-Code	Zweidimensionaler Code
Auto-ID	Automatische Identifikationsmethode
BPM	Business Process Management
BPMI	Business Process Management Initiative
BPMN 2.0	Business Process Model and Notation 2.0
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CNC-Maschine	Computerized-Numerical-Control-Maschine
CPS	Cyber-Physische-Systeme
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
DV-System	Datenverarbeitendes-System
EAN	European Article Number
EDI	Electronic Data Interface
ePC	electronic Product Code
etc.	et cetera
FTS	Fahrerlose Transportsysteme
HMI	Human-Machine-Interface
IBM	International Business Machines
IQM	Information Quality Management
IR	Infrarot
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
JIT	Just in Time
kA	Kiloampere
kg	Kilogramm
kN	Kilonewton
m	Meter
m ²	Quadratmeter
MAG	Metall-Aktivgasschweißen
Mg	Magnesium
MIG	Metall-Inertgasschweißen

mm	Millimeter
mm/s	Millimeter pro Sekunde
MSG	Metall-Schutzgasschweißen
Nr. Id.	Identifikationsnummer
OCR	Optical Character Recognition
OMG	Object Management Group
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
QR-Code	Quick-Response-Code
RFID	Radio-Frequency-Identification
t	Tonne
TAT	Trumpf Maschinen Austria GmbH + Co. KG
UbiComp	Ubiquitous Computing
UPC	Universal Product Code
UV	Ultraviolett
V	Volt
WIG	Wolfram-Inertgasschweißen
Zn	Zink