



Diplomarbeit

Konzept zur Produktionsplanung und -steuerung in einer Zentralwerkstätte

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)

Dipl.-Ing. Thomas Ryback

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

Mag. Ing. Herbert Zwickelhuber

(TSM - Mechanisch Technisches Zentrum: Prozessverantwortlicher Fertigungssteuerung und Logistik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Florian Öhlinger BSc

01226511 (E 066 482)

Nelkenweg 8

4502 Sankt Marien

Wien, im Juni 2019

Florian Öhlinger



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 Juni 2019

Florian Öhlinger

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Dank an meine Eltern aussprechen. Nicht nur weil sie mich während der Zeit dieser Diplomarbeit unterstützt haben, sondern vielmehr, weil sie mir seitdem ich denken kann in allen Lebenslagen mit Rat und Tat zur Seite stehen!

Danke!

Im Studium ist es das primäre Ziel Wissen anzuhäufen, jedoch der Weg dahin wäre ohne euch, George, Jodsch, Kühli und Wiesi, die ihr mich auf diesem begleitet habt, zweifellos ein weniger erfreulicher und mit nur halb so lustigen Erinnerungen gefüllter gewesen. In euch habe ich neben fachlichen Kollegen auch Freunde fürs Leben gefunden.

Meiner Freundin, Ines, gebührt an dieser Diplomarbeit besonderer Dank. Denn Tag für Tag in allen Phasen der Diplomarbeit einen Menschen an seiner Seite zu haben, der einem seine Unterstützung spüren lässt, ist ein unschätzbare Wert!

Weiters ist es mir wichtig die gute Zusammenarbeit mit Herrn Seyr, Stöger und Zwickelhuber der voestalpine Stahl GmbH in Linz, sowie die mit meinem Betreuer Herrn Ryback am Fraunhofer Austria Institut zu betonen.

Kurzfassung

Eine valide Abschätzung des Liefertermins bei Auftragseingang und seine Einhaltung sind für viele Unternehmen essenziell, um sich bei der jeweiligen Konkurrenzsituation am Markt zu behaupten. Gerade bei in Werkstattform organisierten Betrieben, die einen sehr heterogenen Produktmix aufweisen (z.B.: viele unterschiedliche Instandsetzungsaufträge), gestaltet sich dieses Vorhaben aber zumeist als sehr schwierig. An dieser Tatsache setzt die vorliegende Diplomarbeit an und fokussiert sich dabei auf die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) solcher Unternehmen in ganzheitlicher Betrachtung des Produktionssystems.

Auf die konkrete Ausgangssituation des Mechanisch Technischen Zentrums der voestalpine Stahl GmbH in Linz abgestimmt, etabliert diese Arbeit ein Konzept in Form konkreter Handlungsempfehlungen, welches dazu verhelfen soll, eine frühere Nennung eines ersten Liefertermins sowie eine Erhöhung der Liefertreue zu erreichen. Das Konzept ist dabei auch für andere Unternehmen, welche diese Ziele verfolgen, von hohem Wert.

Für die Realisierung der definierten Ziele soll zu Beginn im Rahmen einer ausführlichen Literaturrecherche die grundlegende Bedeutung der Produktionsplanung und -steuerung für Unternehmen erörtert sowie in Folge ihren Kerngebieten und konkreten Aufgaben Betrachtung geschenkt werden. Im Rahmen der State-of-the-Art Analyse werden die momentan bestehenden Lösungsmöglichkeiten für die Kapazitätsterminierung vorgestellt und anhand ihrer unterschiedlichen Steuerungsmethoden diskutiert. Auf Basis der theoretischen Grundlagen werden in Folge eine Turbulenzanalyse und eine Wertstromanalyse durchgeführt, um den aktuellen Ist-Zustand am TSM hinsichtlich möglicher Verbesserungspotentiale zu erschließen. In Verbindung mit den unternehmensspezifischen Daten ist es schließlich möglich anhand ausgewählter Prognoseverfahren eine geeignete Konzeptstruktur zur Erreichung der Ziele zu entwickeln.

Durch die Erkenntnisse aus den durchgeführten Analysen zeigt sich dabei eine Notwendigkeit sehr deutlich: die Umstellung der Planung von der derzeit unbegrenzten in eine künftige begrenzte Kapazität. Diese Neuerung bringt letztlich nicht nur Vorteile für die Beantwortung der Forschungsfrage, sondern erhöht zudem auch die Transparenz im Unternehmen.

Abstract

A valid estimation of the scheduled delivery date by the time of order receipt and its adherence are essential factors for many companies to assert themselves in the respective competitive situation on the global market. Especially for companies that are organized in the form of job shop production and show a very heterogeneous product mix (e.g.: many different maintenance orders), this intent appears to be very difficult. The present master thesis is based on this exact fact and focuses on the production planning and control (PPC) of such companies while taking a holistic view of the production system.

Based on the concrete initial situation of the Mechanical Technical Center of the voestalpine Stahl GmbH in Linz, this work is about to establish a concept in terms of practical recommendations, which should help to achieve an earlier nomination of a first delivery date and an increase in delivery reliability. The concept is also of great value to other companies pursuing these goals.

In order to realize the defined objectives, the fundamental importance of production planning and control for companies, as well as the core areas and specific tasks, should be initially discussed as part of a detailed literature research. Related to the state-of-the-art analysis, the existing solutions for capacity scheduling are presented and discussed according to their different control methods. On the basis of the theoretical foundations a turbulence analysis and a value stream mapping will be carried out in order to raise the actual state present at the TSM with regard to potential improvements. In relation with the company-specific data and with the help of reliable forecasting methods, it will finally be possible to develop a suitable concept for achieving the objectives defined above.

The results gained from the analyzes show one clear necessity: the shift of planning from the currently unlimited into a future limited capacity. Ultimately, this innovation not only brings benefits for answering the research questions, but also increases transparency within the company.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation.....	9
1.1	voestalpine AG.....	9
1.1.1	TSM – Mechanisch Technisches Zentrum.....	10
1.2	Problemstellung und Forschungsfrage.....	11
1.2.1	Use-Case und Ausgangssituation am TSM.....	12
1.3	Lösungsansatz und Arbeitspakete	14
1.4	Aufbau und Struktur der Arbeit.....	15
2	Theoretische Grundlagen	18
2.1	Instandhaltung.....	18
2.2	Fertigungsorganisation.....	19
2.2.1	Einzelfertigung.....	19
2.2.2	Werkstattfertigung.....	19
2.3	Produktionsplanung und -steuerung.....	20
2.3.1	Begriffsdefinition	21
2.3.2	Aachner – PPS Modell.....	22
2.3.2.1	Aufgabensicht	23
2.3.2.2	Prozessarchitektursicht	24
2.3.2.3	Prozesssicht.....	24
2.3.2.4	Funktionssicht.....	25
2.4	Produktionsprogrammplanung und -bedarfsplanung.....	25
2.5	Materialbedarfsplanung.....	26
2.5.1	Deterministische Bedarfsermittlung	27
2.5.2	Stochastische Bedarfsermittlung	28
2.5.3	Heuristische Bedarfsermittlung.....	29
2.5.4	Brutto- und Nettosekundärbedarf.....	29
2.6	Terminplanung	30
2.6.1	Durchlaufzeit.....	31
2.6.2	Durchlaufterminierung	33
2.7	Kapazitätsplanung.....	37
2.7.1	Kapazitätsabstimmung	37

2.8	Eigenfertigungs- und Fremdbezugsprogramm	39
2.9	Querschnittsaufgaben	40
2.9.1	Angebotsbearbeitung.....	40
2.9.2	Auftragsbearbeitung	41
2.9.3	Auftragskoordination.....	41
3	State-of-the-Art von Produktionsplanungskonzepten und Steuerungsmethoden.....	42
3.1	Kapazitätsterminierungen.....	42
3.2	Steuerungsmethoden	44
3.2.1	Planung in die unbegrenzte Kapazität	45
3.2.2	Planung in die begrenzte Kapazität	45
3.3	Beispielhafter Ablauf der Produktionsplanung und -steuerung in der Einzelfertigung.....	52
4	Verwendete Methoden.....	54
4.1	Turbulenzanalyse.....	54
4.2	Wertstromanalyse	55
4.3	ABC und XYZ Analyse	58
4.3.1	ABC Analyse	58
4.3.2	XYZ Analyse.....	59
5	Produktionsplanung und -steuerung am Mechanisch Technischen Zentrum	61
5.1	Auftragsmanagement.....	62
5.2	Fertigungssteuerung	68
5.3	Turbulenzanalyse im Auftragsmanagement und in der Fertigungssteuerung	71
6	Daten	74
7	Prognose der reinen Planzeit.....	82
8	Prognose der Bearbeitungszeit in der Fertigung.....	89
9	Auswertung / Resultate.....	93
9.1	Auswertung der Turbulenzanalyse.....	93
9.2	Auswertung der Wertstromanalyse anhand der Beispielaufträge.....	95
9.3	Resultate in Bezug auf die Problemstellung und Forschungsfragen	98
9.3.1	Konzept	98
9.3.2	Fahrplan	105

10	Ausblick	108
11	Literaturverzeichnis	110
12	Abbildungsverzeichnis	114
13	Tabellenverzeichnis	116
14	Abkürzungsverzeichnis	117

1 Einleitung und Motivation

Globalisierung, Einführung neuer Technologien, Dynamisierung der Produktlebenszyklen und Ressourcenverknappung sind nur vier von bedeutenden Entwicklungen, denen sich Betriebe in der Gegenwart stellen müssen. Um für die Zukunft gerüstet zu sein, sollten Trends antizipiert, richtungsweisende Entwicklungen erkannt und darauf rechtzeitig reagiert werden. Denn vor allem in der produzierenden Industrie herrscht eine Vielzahl an Herausforderungen vor, die es zu konfrontieren heißt, um die eigene Stellung am Markt zu halten bzw. auszubauen.¹

Zur Bewältigung der zunehmend komplexeren Aufgaben wird die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) als Dreh- und Angelpunkt eines jeden Industrieunternehmens gesehen.² Die Kernaufgabe der Produktionsplanung und -steuerung ist dabei die „*Koordination der konkurrierenden Aufträge unter Beachtung des untergeordneten produktionswirtschaftlichen Zielsystems*“.³ So befasst sich die Produktionsplanung mit dem „*systematischen Suchen und Festlegen von Zielen für die Produktion und dem Vorbereiten von Produktionsaufgaben und der Festlegung des Ablaufes zum Erreichen dieser Ziele*“.⁴ Hingegen ist die Produktionssteuerung definiert als „*Veranlassen, Überwachen und Sichern der Durchführung von Produktionsaufgaben hinsichtlich des Bedarfs (Menge und Termin), der Qualität und der Kosten und Arbeitsbedingungen*“.⁵

Im Vordergrund dieser beiden Bereiche steht die ganzheitliche Betrachtung eines Produktionssystems. So sollen die Ressourcen und Prozesse sowohl unternehmerseitig als auch lieferantenseitig auf den Nutzen des Kunden abgestimmt sein. Dem Ziel der Wertschöpfung sollen sämtliche Konzepte, Methoden, Werkzeuge und deren Zusammenspiel dienen. Hinzu kommt, dass der gesamte Produktionsablauf möglichst ohne jegliche Verschwendung erfolgen soll.⁶

1.1 voestalpine AG

Die voestalpine AG ist ein weltweit agierender Technologie- und Industriegüterkonzern mit Hauptsitz in Linz und ist mit 500 Konzerngesellschaften und -standorten in mehr als 50 Ländern auf allen fünf Kontinenten vertreten. Die Unternehmensgruppe besteht insgesamt aus vier Divisionen: der *Steel Division*, der *High Performance Metals Division*, der *Metal Engineering Division* und der *Metal*

¹ vgl. Abele und Reinhart, 2011, S.10-17

² vgl. Schuh, 2006, S.11

³ Vahrenkamp und Siepermann, 2008, S.196

⁴ Gesellschaft Produktionstechnik, 1992, S.167

⁵ vgl. ebenda

⁶ vgl. Schuh, 2006, S.11

Forming Division. Insgesamt wurde im Geschäftsjahr 2017/18 ein Umsatz von 12.897,8 (in Mio. Euro) erwirtschaftet und weltweit wurden zum Stichtag 31.03.2018 51.621 Mitarbeiter beschäftigt.⁷

1.1.1 TSM – Mechanisch Technisches Zentrum⁸



Abbildung 1: voestalpine Standort Linz⁹

Die Diplomarbeit wird in Kooperation mit der voestalpine Stahl GmbH in Linz, welche der Leitbetrieb der Steel Division ist, im Bereich TSM – Mechanisch Technisches Zentrum verfasst. Mit seinen rund 300 Beschäftigten gliedert sich das Mechanisch Technische Zentrum in folgende Bereiche:

- Auftragsmanagement
- Mechanische Bearbeitung
- Schlosserei und Hydraulik
- Stahlbau, Schweißerei und thermische Beschichtungstechnik
- Fertigungssteuerung
- Logistik

Generell werden in der mit 40 Werkzeugmaschinen ausgestatteten Zentralwerkstätte des TSM hauptsächlich Einzellose und Kleinserien produziert. Diese dienen vorwiegend zur Instandhaltung der Anlagen für Bereiche der voestalpine Steel Division und Tochterunternehmen am Standort Linz. Während 95% der Aufträge von internen Kunden erteilt werden, sind lediglich 5% auf externe Kunden

⁷ vgl. <https://www.voestalpine.com/group/static/sites/group/downloads/de/aktie/hv/hv2018/2018-hv-jahresabschluss-der-voestalpine.pdf> (Gelesen am: 16.04.2019)

⁸ vgl. voestalpine AG, Bereichsvorstellung TSM, 2018

⁹ vgl. ebenda

zurückzuführen. Insgesamt erstrecken sie sich über die folgenden technischen Leistungen, Service und Produkte:

- Fertigung von mechanischen Anlagekomponenten
- Neufertigung von Reserveteilen
- Kupferplattenfertigung
- Diverse Lohnarbeiten
 - wie Brennschneiden, hochwertige Schweißarbeiten, Vibrationsentspannen, verschiedene Maßkontrollen, thermische Spritztechnik, Press-, Kant- und Einrollarbeiten
- Gesetzliche Überprüfungen
- Beratung und Personalbereitstellung
 - Unterstützung der Vorort - Instandhaltung bei Großreparaturen

1.2 Problemstellung und Forschungsfrage

Insbesondere in Unternehmen mit Werkstattfertigungen, zu deren Aufgaben auch die Bearbeitung von Instandsetzungsaufträgen zählt, ergeben sich spezielle Anforderungen für die Produktionsplanung und -steuerung. Die Eigenschaften der Instandsetzungsaufträge, wie ihre schlechte Planbarkeit und ihre ständig wechselnden Prioritäten, spielen dabei nämlich eine maßgebliche Rolle. So kommt es, dass die logistischen Zielgrößen dieser Unternehmen, dazu zählen u.a. niedrige Durchlaufzeiten, eine hohe Termintreue, ein niedriger Bestand und eine hohe Auslastung der Kapazitäten, nur schwer miteinander vereinbar sind und sich in einem regelrechten Zielkonflikt befinden.

In Bezug auf die Termintreue liefert eine Studie der Technischen Universität München interessante Ergebnisse: Tatsächlich können weniger als die Hälfte der Unternehmen, die ihre Produktion nach dem Werkstattprinzip organisiert haben, ihren Liefertermin genau festlegen. Erschwerend kommt bei der Werkstattfertigung im Vergleich zur Gruppenfertigung und Fließfertigung hinzu, dass die Liefertermine am wenigsten eingehalten werden. Laut Studie liegt die Ursache davon in der Planung selbst sowie in ihrer Durchsetzung und damit in der Produktionssteuerung. Im Detail werden an dieser Stelle lange Durchlaufzeiten, organisationsbedingte Arbeitsunterbrechungen, ungerichtete Materialflüsse und schwankende Bearbeitungszeiten als beeinflussende Faktoren genannt. Denn diese führen dazu, dass Engpässe an unterschiedlichen Maschinen entstehen und Abweichungen vom Produktionsplan auftreten. Letztendlich resultiert all das in einer schwierigen Vorhersage des Liefertermins sowie in seiner Einhaltung. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, ist es für Unternehmen somit unerlässlich durch gewisse Maßnahmen in der Produktionsplanung und -steuerung (z.B.: Vorhersage der reinen

Bearbeitungszeit, Findung geeigneter Steuerungskonzepte, Priorisierungsregeln, etc.) zu reagieren.¹⁰

Die soeben beschriebenen Problemstellungen bei in Werkstattform organisierten Unternehmen führen zu folgender allgemeinen Forschungsfrage:

Wie können Unternehmen, welche sich durch Werkstattfertigung und Instandsetzungsaufgaben charakterisieren, durch Einwirken auf die Prozessführung in den Bereichen Planung und Steuerung sowohl eine frühere Nennung eines ersten Liefertermins als auch eine höhere Liefertreue erreichen?

1.2.1 Use-Case und Ausgangssituation am TSM

Das Mechanisch Technische Zentrum (TSM) der voestalpine Stahl GmbH Linz ist eines dieser Unternehmen. Dort sind lange Durchlaufzeiten, ein hoher Aufwand bei Umrüstungen sowie ein erschwerter Transport der Güter zwischen den Bearbeitungsplätzen unter anderem Problemstellungen, denen man in seiner Zentralwerkstätte begegnet. All diese Faktoren erschweren zum derzeitigen Zeitpunkt die genaue Vorhersage und Einhaltung der Liefertermine der zu fertigenden Industriegüter. Ein durchdachtes Konzept für die Produktionsplanung und -steuerung ist daher essenziell. Von dieser Situation ausgehend, konzentriert sich diese Diplomarbeit auf zwei konkrete Problembereiche, für welche im Verlauf der folgenden Kapitel Lösungsansätze geboten werden.

Eine konkrete Problemstellung bezieht sich auf die Vorhersage des Liefertermins. Derzeit erfährt der Kunde erst dann einen vorläufigen Liefertermin, sobald die Planung abgeschlossen ist und der Auftrag in der Fertigung eingesteuert wird. Es können also Wochen und Monate verstreichen bis eine Lieferinformation an den Kunden gesendet wird. Hinzu kommt, dass dieser Termin zu einem hohen Prozentsatz nicht eingehalten wird. Die oben genannte Studie der Technischen Universität München belegt, dass das Mechanisch Technische Zentrum kein Einzelfall ist.

Die zweite konkrete Problemstellung liegt in der Einhaltung der Liefertermine und somit in der Liefertreue. Gegenwärtig setzen sich die Aufträge zu 70% aus planmäßigen Instandhaltungsaufträgen und zu 30% aus Eil- und Störaufträgen zusammen. Als Letztere werden jene Aufträge bezeichnet, deren Abarbeitung im direkten Zusammenhang mit der Aufrechterhaltung der Stahlproduktion am Standort Linz steht. Diese unvorhergesehenen Bearbeitungen, wie auch viele

¹⁰ vgl. Niehues et al., 2012, S.892f

Schnellplanungen, erschweren den Ablauf in Planung, Steuerung und Werkstätte, was als Hindernis für eine höhere Liefertreue angesehen wird. Unter Schnellplanungen verstehen sich höher priorisierte Aufträge, die bereits nach Eröffnung und Annahme des Auftrags gesondert behandelt werden und, wie später in Abbildung 28 zu sehen ist, einen eigens für sie angepassten Auftragsfluss durchlaufen.

Hinzu kommt der derzeit intransparente Auslastungsgrad der Planungsmitarbeiter. Eingehende Aufträge werden entweder direkt an einen Mitarbeiter gestellt oder müssen diesem vom Leiter des Auftragsmanagements zugeordnet werden. Zu welcher Abwicklung es schlussendlich kommt, hängt von keinen konkreten Faktoren ab. Vielmehr können interne Kunden dabei mitwirken. Falls sie nämlich die Präferenzen eines Planungsmitarbeiters kennen (z.B.: die Abwicklung ähnlicher, vorangegangener Aufträge), dann werden sie diesem den Auftrag direkt zuweisen. Aktuell steht für die Planung ein SAP PP System (Version SAP ERP 6.0) zur Verfügung. Darin ist zwar die Zuordnung der Aufträge auf den verantwortlichen Planer ersichtlich, jedoch lässt sich anhand der Anzahl der Aufträge pro Planer nicht auf die tatsächliche Auslastung des Mitarbeiters schließen. Der Aufwand pro Auftrag kann nämlich stark variieren. Nach der Zuweisung eines Auftrags gibt es bei der Abarbeitung grundsätzlich zwei verschiedene Herangehensweisen: Handelt es sich um ein *Neuteil* (=eine von Grund auf beginnende Fertigung eines Produktes), wird der Auftrag nach seiner vollständigen Ausplanung an die Fertigungssteuerung weitergegeben, damit ihn diese zur Bearbeitung in der Werkstätte freigibt. Hingegen erfolgt der Ablauf bei *Reparaturteilen* (=Reparaturen, Änderungen oder Ähnliches an bereits bestehenden Betriebsmitteln) mit einem Zwischenschritt, nämlich der Begutachtung des Bauteils. Sie ist notwendig, um eine Fehlerbeschreibung zu erhalten, denn darauf basiert schließlich die Erstellung der Arbeitspläne und somit die Ausplanung. Zur Freigabe in der Fertigungssteuerung wird die SAP Plantafel genutzt, in der, unabhängig von der Ressourcenauslastung alle Aufträge in die nächste Kalenderwoche eingeplant werden. So wird der gesamte eingeplante Auftragsbestand Woche für Woche in die darauffolgende Woche verschoben und ein Überblick über die voraussichtliche Beendigung des Auftrags erweist sich als schwierig. Es erfolgt derzeit eine Planung in die unbegrenzte Kapazität.

Die oben beschriebene Ausgangssituation und die dadurch mitgebrachten Problemstellungen führen zur konkreten Forschungsfrage, die es im Zuge dieser Diplomarbeit zu beantworten gibt:

Wie kann am TSM der voestalpine Stahl GmbH durch Einwirken auf die Prozessführung in den Bereichen Planung und Steuerung sowohl eine frühere Nennung eines ersten Liefertermins als auch eine höhere Liefertreue erreicht werden?

1.3 Lösungsansatz und Arbeitspakete

Um die genannten Forschungsfragen zu beantworten, sind die Prozesse in der Planung und Steuerung eines Unternehmens, in diesem speziellen Fall am TSM, hinsichtlich des Ist-Zustandes zu analysieren und Verbesserungspotentiale aufzuzeigen. Auf Basis davon gilt es ein Konzept zu erstellen, welches an den obengenannten allgemeinen und konkreten Problemstellungen ansetzt. Einerseits soll dieses Konzept dazu verhelfen, dem Kunden frühestmöglich einen ersten Liefertermin zu kommunizieren und andererseits soll es ermöglichen, diesen auch einzuhalten und somit zu einer höheren Liefertreue zu gelangen. Die zur Beantwortung der Forschungsfragen relevanten Schritte können folglich in einzelne Arbeitspakete gegliedert werden:

Arbeitspaket 1: Theorie und Grundlagen

Das erste Arbeitspaket stellt eine eingehende Literaturrecherche zum Thema Produktionsplanung und -steuerung dar. Insbesondere wird der Fokus auf die Materialbedarfsplanung, Terminplanung und Kapazitätsplanung gelegt. Mögliche in der Literatur beschriebene Lösungsstrategien zur Handhabung der Kapazitätsterminierung (Planung in die unbegrenzte und begrenzte Kapazität) und damit einhergehende Steuerungsmethoden werden im Rahmen der State-of-the-Art Analyse untersucht. Des Weiteren ergänzen die im praktischen Teil dieser Arbeit verwendeten Methoden diesen ersten Abschnitt.

Arbeitspaket 2: Erhebung des Ist-Zustands

Das zweite Arbeitspaket konzentriert sich auf die momentane Ausgangssituation des Mechanisch Technischen Zentrums der voestalpine Stahl GmbH in den Bereichen Auftragsmanagement und Fertigungssteuerung. Anhand zur Verfügung gestellter Daten wie auch ausführlichen Expertengesprächen wird der Ist-Zustand erhoben. In diesem Zusammenhang kommt es außerdem zur Durchführung einer Turbulenzanalyse, die auf weitere und eventuell noch unbekannte Potentiale und Handlungsfelder Hinweise gibt.

Arbeitspaket 3: Durchführung notwendiger Maßnahmen

Anhand der Ist-Situation lassen sich die notwendigen Maßnahmen, deren es zur Überführung in die Soll-Situation bedarf, im dritten Arbeitspaket beschreiben und durchführen. Um einerseits das Ziel der früheren Nennung eines ersten Liefertermins und andererseits das Ziel des Erlangens einer höheren Liefertreue erreichen zu können, ist eine Vorhersage der reinen Bearbeitungszeiten in der Planung und Werkstätte unabdingbar. In Bezug auf die Planung, können dadurch nämlich die Ressourcen der Mitarbeiter besser verwaltet und außerdem auf Eil- und Störaufträge besser reagiert werden. Des Weiteren ist mit der reinen Planzeit die grobe

Auslastung der Planungsmitarbeiter ersichtlich. Diese Planzeit soll, gestützt durch Historien-Daten der gesamten Planungsdurchlaufzeit und Produktionsdurchlaufzeit, ebenfalls erstellt werden.

Arbeitspaket 4: Konzeptentwicklung und Ausblick

Damit sich die definierten Ziele auch wirklich umsetzen lassen, gilt es im vierten Arbeitspaket anhand der erstellten Prognosen ein geeignetes Konzept zu erarbeiten. Dieses besteht aus empfohlenen Handlungsschritten für Unternehmen und soll in weiterer Folge in einen sog. „Fahrplan“ überführt werden. Dabei ist die ganzheitliche Betrachtung vom Auftragseingang bis zur Fertigstellung in der Werkstätte wichtig. Insbesondere soll die Selbst-Priorisierung der Aufträge quer über alle Instanzen (Planung, Steuerung und Werkstätte) durchdacht werden. Damit kommt es zu einer effizienteren und flüssigeren Abarbeitung des Auftragsbestands unter Beachtung der kurzfristig einzuplanenden Eil- und Störaufträge. Letztendlich soll nämlich jeder Auftrag von Beginn an so terminiert sein, dass es möglich ist, diesen über alle Instanzen transparent auf einer Terminalschiene zu verfolgen. Die Konsequenz ist eine effektivere Einsteuerung der Aufträge für die Werkstätte. Mit Fokus auf diesem Ziel, werden außerdem die Vorteile einer Umstellung von der derzeitig unbegrenzten zur künftig begrenzten Planung der Kapazitäten hervorgehoben. Diese strukturelle Neuerung birgt in der Tat Potentiale zur früheren Nennung eines ersten Liefertermins sowie zur Erhöhung der Liefertreue.

1.4 Aufbau und Struktur der Arbeit

Dem Prozess der vorliegenden Diplomarbeit liegt die Forschungsmethodik der Deduktion zugrunde, bei welcher vom allgemeinen auf den einzelnen Fall geschlossen wird. Der theoretische Teil der Arbeit dient mit einer ausführlichen Literaturrecherche zu verschiedenen Themengebieten, sowie der Darlegung bereits bestehender Produktionsplanungs- und Steuerungsmethoden, als allgemeiner Ausgangspunkt. In Folge darauf werden die gewonnenen Erkenntnisse im praktischen Teil der Arbeit auf den speziellen Fall eines Unternehmens, und zwar des Mechanisch Technischen Zentrums der voestalpine Stahl GmbH Linz, angewendet und ein Konzept zur Produktionsplanung und -steuerung für diese Zentralwerkstatt erstellt.

Die genaue Struktur der Arbeit gestaltet sich wie folgt:

In den *theoretischen Grundlagen* (Kapitel 2) wird der Leser zuerst an das betriebliche Umfeld von jenen Unternehmen herangeführt, welche in Werkstattform organisiert und vorrangig mit Instandsetzungsaufgaben konfrontiert sind. Im Rahmen dieser theoretischen Auseinandersetzung wird einerseits die Entwicklung des Begriffs Produktionsplanung und -steuerung sowie seine Bedeutung in Unternehmen

betrachtet und es werden andererseits die verschiedenen Aufgaben der Produktionsprogramm- und Produktionsbedarfsplanung erörtert. Des Weiteren legt dieses Kapitel großen Fokus auf die zur Beantwortung der Forschungsfrage als relevant erachteten Kernthemen der PPS, nämlich die Materialbedarfsplanung, die Terminplanung, die Kapazitätsplanung, das Eigenfertigungs- und Fremdbezugsprogramm sowie die Querschnittsaufgaben.

Im Abschnitt *State-of-the-Art von Produktionsplanungskonzepten und Steuerungsmethoden* (Kapitel 3) werden bereits existierende Lösungsmöglichkeiten zur allgemeinen Problemstellung thematisiert. So werden die zwei grundlegenden Klassen der Kapazitätsterminierung, welche in der betrieblichen Praxis Anwendung finden, vorgestellt und anhand ihrer unterschiedlichen Steuerungsmethoden diskutiert. Schließlich soll ein beispielhafter Ablauf der Produktionsplanung und -steuerung das Verständnis des Lesers abrunden. Das letzte der Theorie zugeschriebene Kapitel behandelt die *verwendeten Methoden* (Kapitel 4), wie sie im darauffolgenden praktischen Teil der Arbeit Anwendung finden.

Der Ist-Zustand der *Produktionsplanung und -steuerung am Mechanisch Technischen Zentrum* (Kapitel 5), zu dessen Beschreibung auch eine Turbulenzanalyse durchgeführt wurde, legt in Verbindung mit den unternehmensspezifischen *Daten* (Kapitel 6) die Basis für die Erstellung eines geeigneten Konzepts und somit für die Beantwortung der spezifischen Forschungsfrage. Analog dazu kann auch im Falle eines anderen Unternehmens verfahren werden.

Sowohl für die frühestmögliche Nennung eines ersten Liefertermins als auch für dessen Einhaltung sind genaue Kenntnisse über die Kapazitätsnachfrage der eingehenden Aufträge unabdingbar. Diese können aus der *Prognose der reinen Planzeit* (Kapitel 7) sowie aus der *Prognose der Bearbeitungszeit in der Fertigung* (Kapitel 8) gewonnen werden und finden daher in diesem Kontext nähere Betrachtung. Im darauffolgenden Punkt *Auswertung / Resultate* (Kapitel 9) werden die Ergebnisse der durchgeführten Analysen (Turbulenzanalyse und Wertstromanalyse) dargelegt und interpretiert. Es folgt das Konzept zur Produktionsplanung und -steuerung in einer Zentralwerkstätte sowie der selbsterstellte Fahrplan, der anhand konkreter Handlungsempfehlungen den Weg zu einer zukünftigen Konzeptumsetzung freilegen soll. Dadurch ist es schließlich möglich Antwort auf die allgemeine, wie auch spezifische, Forschungsfrage zu geben. Abschließend werden im finalen *Ausblick* (Kapitel 10) die weiterführenden Maßnahmen und Möglichkeiten für die Zukunft aufgezeigt.

Der Gesamtüberblick der Diplomarbeit mitsamt ihrer Gliederung in Arbeitspakete ist in folgender Abbildung dargestellt.

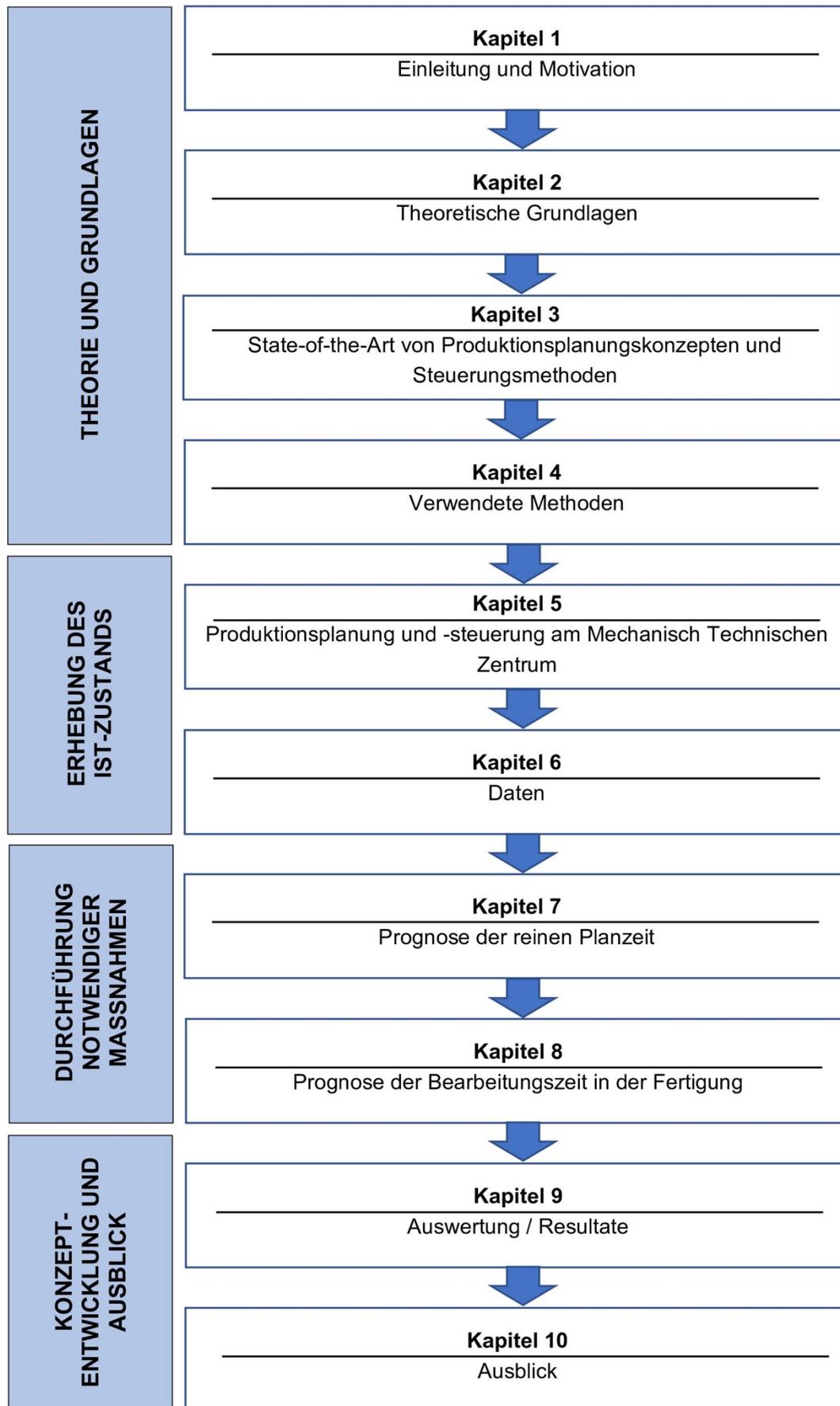


Abbildung 2: Arbeitspakete und Struktur der Arbeit

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Instandhaltung

„Die Aufgabe der Instandhaltung ist die **Erhaltung der Funktion und der Leistungsfähigkeit einer Maschine bzw. Anlage.**“¹¹ Der Begriff *Instandhaltung* unterscheidet prinzipiell zwischen planmäßig, vorbeugender Instandhaltung und Ausfallsbehebung. Während die Ausfallsbehebung nur den Austausch von defekten Betriebsmitteln beinhaltet, kommt es bei der planmäßigen und vorbeugenden Instandhaltung zur Inspektion, Wartung, Verbesserung sowie ebenfalls zum Austausch. Die angeführten Begrifflichkeiten können folgendermaßen definiert werden:¹²

- Die *Inspektion* wird zur Beurteilung des Ist-Zustands, der Gründe für Abnützungen und den daraus resultierenden Konsequenzen für die künftige Handhabung durchgeführt.
- Die *Wartung* dient der Verlängerung der Anlage.
- Die *Verbesserung* soll die Funktionssicherheit in einer Periode ohne Veränderung der geforderten Funktion darstellen.
- Die *Instandsetzung* stellt die notwendigen Schritte zur Wiederherstellung in den funktionsfähigen Zustand dar.

In Hinblick auf die Produktionsplanung und -steuerung gestalten sich vor allem die Instandsetzungsaufgaben, wie sie größtenteils am TSM anzutreffen sind, als schwierig, da diese nicht planbar sind und beim Erstkontakt zwischen internem Kunden und Arbeitsvorbereitung meist nur auf Schätzungen über Art und Ausmaß des Defektes beruhen. In weiterer Folge wird durch die erste Fehlerbegutachtung in der Werkstatt das Ausmaß des Defekts bekannt, jedoch nicht der genaue Arbeitsplan. Diese Tatsache kann insbesondere bei den logistischen Zielgrößen, wie Durchlaufzeit, Termintreue, Bestand und Auslastung, zu Problemen führen. Aus diesem Grund kommen der Planung und Steuerung bei Instandsetzungen besondere Sensibilität zu. Eine weitere Besonderheit von Instandhaltungsaufträgen ist, dass zwischen 75% und 80% der Durchlaufzeit auf nicht wertschöpfende Tätigkeiten entfallen und somit viele Zeitverluste an den Schnittstellen der einzelnen Bereiche auftreten.¹³ Im Gegensatz dazu sind Aufträge zur Inspektion, Wartung und

¹¹ Matyas, 2016, S.27

¹² vgl. DIN 31051, 2012, S.5f

¹³ vgl. Matyas, 2016, S.69

Verbesserung von Anlagen deterministisch planbar und somit leichter zu bewältigen.¹⁴

2.2 Fertigungsorganisation

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Fertigungsorganisation, wie sie am TSM anzutreffen ist. Es soll hier jedoch der Vollständigkeit halber erwähnt sein, dass es neben dem Fertigungstyp der *Einzelfertigung* auch noch die *Serien-* und *Massenfertigung*, bzw. neben dem Verrichtungsprinzip der *Werkstattfertigung* auch noch die *Gruppen-* und *Fließfertigung* gibt.

2.2.1 Einzelfertigung¹⁵

In der Einzelfertigung werden Aufträge einmal bzw. nur in sehr kleinen Losen gefertigt. Im Normalfall ist keine Wiederholung des Auftrags vorgesehen, es kann jedoch vorkommen, dass derselbe Auftrag zu einem späteren Zeitpunkt nochmals produziert werden soll. Da ein Eintreten dieses Falles aber nicht planbar ist, handelt es sich dennoch um eine Einzelfertigung. Typische Einzelfertigungen weisen die folgenden Merkmale auf:

- Keine Wiederholung der Stückzahl
- Hohe Stückkosten
- Vorwiegend Facharbeiter im Unternehmen
- Universalmaschinen
- Niedriger Automatisierungsgrad
- Sehr hohe Flexibilität
- Auftragsorientierte Produktvorgabe
- Keine Produktstandardisierung
- Hoher Aufwand in Produktionsplanung und -steuerung

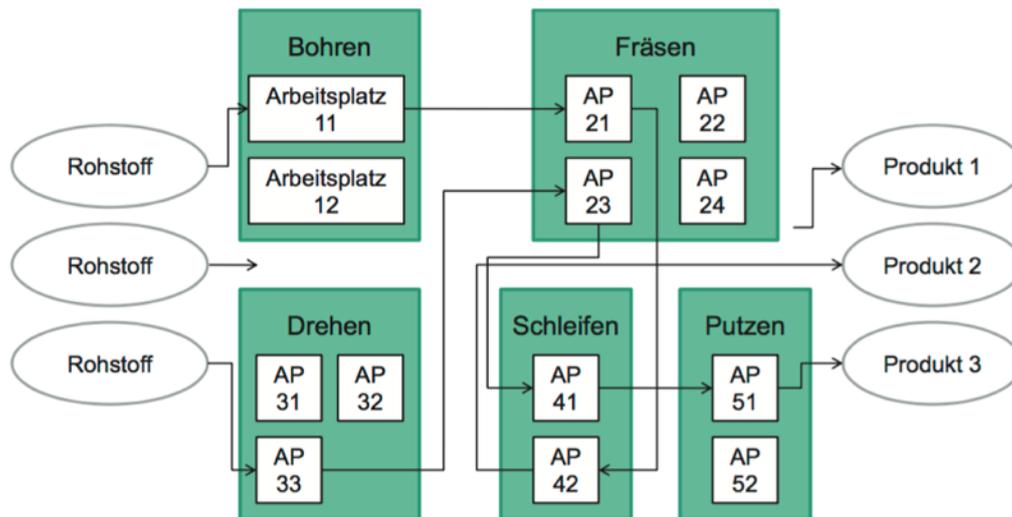
2.2.2 Werkstattfertigung

In der Werkstattfertigung werden die einzelnen Bereiche nach der dort durchgeführten Tätigkeit angeordnet. Die Arbeitssysteme, meist Maschinen, sind nach dem Verrichtungsprinzip angeordnet. Das zu produzierende Los wird in der Regel von Maschine zu Maschine transportiert. Es kann dabei zur Bildung von Warteschlangen kommen.¹⁶

¹⁴ vgl. Dombrowski und Sendler, 2016, S.625

¹⁵ vgl. Luger et al., 1999, S.122f

¹⁶ vgl. Lödding, 2016, S.123

Abbildung 3: Werkstattfertigung¹⁷

In der nachstehenden Tabelle sind einige Vor- und Nachteile der Werkstattfertigung aufgelistet:¹⁸

Vorteile	Nachteile
Hohe Anpassungsfähigkeit bei Absatzschwankungen	Lange Durchlaufzeiten
Hohe Flexibilität bei Änderungen des Produktionsprogramms	Unübersichtliche Materialflüsse
Hohe Produktivität an den Arbeitsplätzen durch Spezialisierung	Hoher Steuerungsaufwand
Höhere Motivation der Mitarbeiter durch abwechslungsreiche Tätigkeiten	Hohe Qualifikation der Mitarbeiter notwendig
Geringe Störanfälligkeit der Betriebsmittel	Häufiges Umrüsten der Maschinen

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Werkstattfertigung

2.3 Produktionsplanung und -steuerung

Ein seit Jahren zunehmender Preisdruck¹⁹ sowie ein steigendes Bedürfnis nach einer individuelleren Produktfertigung sind nur zwei der vielen Veränderungen, die den grundlegenden Wandel von Industriegüterunternehmen charakterisieren²⁰. Das führt dazu, dass auch langjährig erfolgreiche Unternehmen zu Neu- und Umstrukturierungen gezwungen sind. Denn letztendlich lastet auf jedem einzelnen Betrieb der Druck, Ressourcen einzusparen und Kompetenzen zu bündeln. Um diese

¹⁷ Sihm et al., 2016, S.38

¹⁸ vgl. ebenda, S.38f

¹⁹ vgl. Backhaus und Voeth, 2004, S.949

²⁰ vgl. Bonnemeier, 2009, S.1

Veränderungen durchzuführen, ist eine auf das Unternehmen optimal abgestimmte Produktionsplanung und -steuerung wesentlich.²¹

Dabei werden die grundlegenden Elemente, nämlich die Termin-, Kapazitäts- und Mengenplanung und deren Steuerung in einem Produktionsunternehmen betrachtet.²² Die *Produktionsplanung* gestaltet die Vorgaben für den Fertigungsprozess, legt den Inhalt der Arbeitsgänge eines Auftrags fest und bestimmt den Ablauf, um die Vorgaben erfüllen zu können. Die *Produktionssteuerung* dient dazu die in der Produktionsplanung getroffenen Vorgaben zu veranlassen und diese zu überwachen, um die korrekte Durchführung zu sichern.²³ Zu den Zielen der Produktionsplanung und -steuerung gehören folglich:²⁴

- Hohe Termintreue
- Hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung
- Kurze Durchlaufzeiten
- Hohe Flexibilität
- Geringe Bestände

Das theoretische Modell der Produktionsplanung und -steuerung stützt sich vorrangig auf das „Aachner - PPS Modell“, welches seit 1993 am Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) an der RWTH Aachen erarbeitet wird und sich sowohl auf unternehmerischer als auch akademischer Seite bewährte.²⁵ Das Aachner – PPS Modell soll ein Referenzmodell darstellen, das zur Analyse, Bewertung und Konzeption der PPS dient. Die Ziele, die es verfolgt, umfassen die Beschreibung der Produktionsplanung und -steuerung aus unterschiedlichen Gesichtspunkten, die bei der Durchführung eines Projekts benötigt werden. Dazu zählen das Auffinden der Zielgrößen, auf Basis jener das Unternehmen dann ausgelegt werden soll, wie auch die Unterstützung bei der Anwendung und Umsetzung der Optimierungsmethoden.²⁶

2.3.1 Begriffsdefinition²⁷

Erstmals wurde der Begriff *Produktionsplanung und -steuerung* (PPS) in Hacksteins gleichnamigem Buch aus dem Jahr 1984 verwendet. Die Bezeichnung dient als übergreifendes Konzept, um Material und Zeitwirtschaft in der produzierenden Industrie zusammenzufassen. Denn das Interesse der PPS galt nicht nur der Fertigung, sondern auch aller indirekt beteiligten Bereiche, wie etwa der

²¹ vgl. Schuh, 2006, S.5f

²² vgl. Eversheim, 2002, S.123

²³ vgl. Gesellschaft Produktionstechnik, 1992, S.167

²⁴ vgl. Schuh, 2006, S.28

²⁵ vgl. ebenda, S.5

²⁶ vgl. ebenda, S.13

²⁷ vgl. ebenda, S.4f

Konstruktion. Seit Anfang der 1980er Jahre wurde die Idee sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis aufgegriffen, schrittweise angepasst und weiterentwickelt. In weiterer Folge kam es dazu, dass das PPS alle Bereiche der technischen Auftragsabwicklung beinhaltet. Dazu zählt man die Abfolge von der Angebotsbearbeitung bis hin zum Versand. Somit ergeben sich in der Planung und Steuerung Berührungspunkte mit den Abteilungen des Vertriebs, der Konstruktion, des Einkaufs, der Fertigung und Montage sowie des Versands.

Inzwischen hat sich das industrielle Umfeld für produzierende Unternehmen stark verändert. Daher sind heute die Begriffe *ERP* (Enterprise Resource Planning) und *SCM* (Supply Chain Management) ebenfalls weit verbreitet, was aber nichts an der signifikanten Bedeutung der Bezeichnung *Produktionsplanung und -steuerung* verändert hat. Während sich letzterer Begriff eher auf die internen Abläufe bezieht, sind die Abkürzungen ERP und SCM viel weiter gefasst und meinen eine ganze Reihe an Unternehmensprozessen. Auch vor- und nachgelagerte Bereiche spielen bei diesen Systemen eine große Rolle, denn es rückt das gesamte Produktionsnetzwerk, wie auch der Wertschöpfungsprozess entlang der gesamten Lieferkette vom Lieferanten bis zum (End-)Kunden, in den Fokus. Mit anderen Worten lässt sich sagen, dass die ERP und SCM Systeme eine Reaktion auf die wachsende Vernetzung industrieller Strukturen sind.

Es sei hier jedoch erwähnt, dass diese Entwicklungen ihren Ursprung jedoch nicht gänzlich in kürzlicher Vergangenheit haben, denn in ähnlicher Weise sprach schon Henry Ford am Anfang des 20. Jahrhunderts von ganzheitlichen Produktionssystemen und von der Wichtigkeit Verschwendungen entlang des Wertstroms zu vermeiden.

„Save ten steps a day for each of twelve thousand employees and you will have saved fifty miles of wasted motion and misspent energy.“²⁸

2.3.2 Aachner – PPS Modell²⁹

Grundsätzlich gliedert sich das Aachner – PPS Modell in 4 Referenzsichten, die miteinander interagieren. Gemeinsam sollen sie die Zusammenhänge der Produktionsplanung und -steuerung darstellen.

Die vier Sichten heißen:

- Aufgabensicht
- Prozessarchitektursicht
- Prozesssicht

²⁸ Ford und Crowther, 2009, S.113

²⁹ vgl. Schuh, 2006, S.18f

- Funktionssicht

Wie in der unten befindlichen Grafik veranschaulicht wird, bilden Aufgabensicht, Prozessarchitektur und Prozesssicht die Organisationssichten, welche die Gestaltung, den Aufbau und die Ablauforganisation im Zuge der Produktionsplanung und -steuerung unterstützen. Auf den gewonnenen Erkenntnissen der Organisationssichten basieren die Voraussetzungen für das IT-System bzw. der informationstechnischen Unterstützung für die Produktionsplanung und -steuerung.

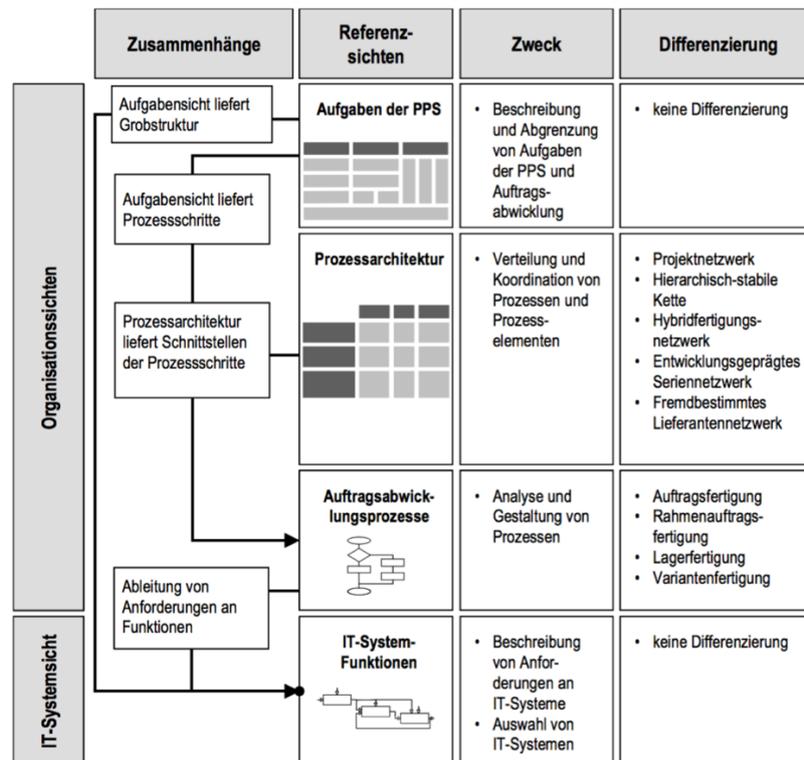


Abbildung 4: Referenzsichten des Achner PPS-Modells³⁰

2.3.2.1 Aufgabensicht

Die Aufgabensicht dient der Beschreibung und Abgrenzung aller Aufgaben in der Produktionsplanung und -steuerung. Diese gliedern sich in Netzwerkaufgaben, Kernaufgaben und Querschnittsaufgaben. Während sich die Netzwerkaufgaben überbetrieblichen Aufgaben eines Unternehmens widmen, befassen sich die Kern- und Querschnittsaufgaben nur mit den internen Bereichen eines einzelnen Unternehmens. Da sich diese Diplomarbeit auf die Probleme und Möglichkeiten in der innerbetrieblichen Produktionsplanung und -steuerung konzentriert und es ohnehin zwischen lokaler und übergeordneter Ebene zu Überschneidungen kommt, werden im weiteren Verlauf der Arbeit nur die Kernaufgaben und Querschnittsaufgaben näher beschrieben.

³⁰ Schuh, 2006, S.19

Die Kernaufgaben beinhalten sämtliche Tätigkeiten, die im Zuge des Produkterstellungsprozesses im Fokus des einzelnen Unternehmers stehen. Dazu zählen die Aufgaben der Produktionsprogrammplanung, die Produktionsbedarfsplanung, die Eigenfertigungsplanung und -steuerung sowie die Fremdbezugsplanung und -steuerung.³¹ Die Querschnittsaufgaben hingegen beschäftigen sich mit dem Auftragsmanagement, Bestandsmanagement und Controlling.

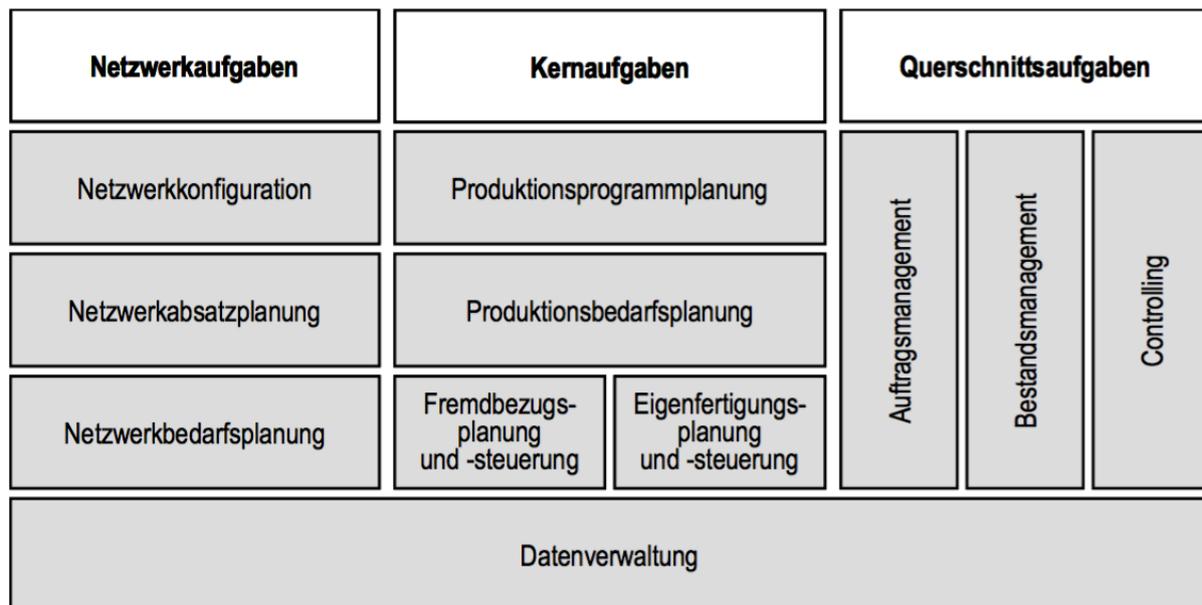


Abbildung 5: Aufgabensicht³²

2.3.2.2 Prozessarchitektursicht

Die Prozessarchitektursicht stellt die Schnittstelle zwischen der Aufgabensicht und der Prozesssicht dar. Sind Aufgaben zu bewältigen, die für mehrere Unternehmen eines Netzwerks Relevanz haben, dann soll die Prozessarchitektur die Aufteilung und Koordination dieser vornehmen. Dabei spielt die Struktur des Netzwerks eine große Rolle. Ein Unternehmen kann auch gleichzeitig in mehreren Netzwerken teilnehmen. Beispiele solcher Netzwerkstrukturen sind häufig Lieferantennetzwerke, wie sie in der Automobilindustrie gang und gebe sind. Es können aber auch Projektnetzwerke gebildet werden, damit komplexe Aufgaben durch den Zusammenschluss unterschiedlicher Unternehmen gelöst werden können.

2.3.2.3 Prozesssicht

Die Prozesssicht leitet sich aus den Anforderungen der Aufgabensicht ab. Darin wird die Auftragsabwicklung der Aufgaben inhaltlich exakt durch die durchzuführenden Prozesse dargestellt. Es kann zwischen vier Auftragsabwicklungsstrukturen

³¹ vgl. Schuh, 2006, S.37

³² ebenda, S.29

unterschieden werden: Auftragsfertiger, Rahmenauftragsfertiger, Variantenfertiger und Lagerfertiger.

2.3.2.4 Funktionssicht

Um die in den Organisationssichten definierten Prozesse bestmöglich umsetzen zu können, bedarf es auf informationstechnischer Ebene klaren Anforderungen, damit ein IT-System unterstützend einwirken kann. Im Aachner-PPS Modell bezeichnen IT-Systeme sogenannte ERP-Systeme und PPS-Systeme. Die Funktionssicht hat in diesem Zusammenhang die Aufgabe die Anforderungen an das IT-System zu ermitteln.

2.4 Produktionsprogrammplanung und -bedarfsplanung

Die Produktionsprogrammplanung ist eine langfristige³³ Planung, die für jede Planungsperiode die zu produzierende Menge für jedes Erzeugnis erstellt. Dazu ist es erforderlich eine Absatzplanung, Primärbedarfsplanung und Ressourcengrobplanung durchzuführen, was eine enge Abstimmung zwischen Produktion und Vertrieb erfordert. Diese Planungsschritte werden in regelmäßigen Abständen, rollierend durchgeführt. Um sie nicht für jedes Erzeugnis einzeln durchzuführen und somit den Aufwand in der Produktionsprogrammplanung nicht zu erhöhen, können Erzeugnisse auch zu Erzeugnisgruppen zusammengefasst werden. Kapazitätsseitig kann analog mit Kapazitätsgruppen verfahren werden.³⁴

Wichtig ist auch die angepasste Vorgehensweise in der Produktionsprogrammplanung je nach bestehendem Produktionstyp. Denn auf ihm basierend stehen unterschiedliche Informationen zur Verfügung und unterschiedliche Aufgaben im Fokus. So bilden im Falle des reinen Einzelauftragsfertigers ausschließlich die Kundenaufträge die Grundlage für die Produktionsprogrammplanung. Konträr dazu ist die Prognose des Absatzes bei einem reinen Lagerfertiger für die Produktionsprogrammplanung unabdingbar. Dabei wird versucht durch mathematisch-statistische Methoden einen Trend zu bestimmen. Dies geschieht durch die Verwendung vergangenheitsbezogener Daten.³⁵ Die Gewinn- und Umsatzplanung stellt unabhängig vom Fertigungstyp eine weitere Form dar. In ihrem Falle werden die Absatzmengen, je nach Umsatzzielvorgaben, den bestimmten Erzeugnisgruppen zugeordnet.³⁶ In der Praxis treten häufig Mischformen der Ausprägungen auf.³⁷

³³ vgl. Herlyn, 2012, S.16f

³⁴ vgl. Schuh, 2006, S.37ff

³⁵ vgl. ebenda, S.40

³⁶ vgl. Kurbel, 2003, S.114f

³⁷ vgl. Schuh, 2006, S.39

Für Auftragsfertiger gestaltet sich eine Absatzprognose noch vor Auftragseingang allerdings sehr schwierig, denn bei Auftragseingang sind meist noch keine Konstruktionszeichnungen, Stücklisten, Ablaufpläne und Vorgabezeiten bekannt.³⁸ Insbesondere kommt bei der Instandhaltungsproduktion hinzu, dass der Reparaturumfang vom Zustand des Betriebsmittels abhängt und diese Informationen bei Auftragseingang normalerweise noch nicht vorliegen.

Aus dem Absatzplan wird durch Kundenaufträgen und Absatzprognosen der Bruttoprimärbedarf bestimmt. Unter Beachtung dessen, zuzüglich eines etwaigen Sicherheitsbestands und abzüglich der vorhandenen Lagerbestände, bildet sich der Nettoprimärbedarf.³⁹ Ob dieser Produktionsplan durchgeführt werden kann, muss in der Ressourcengrobplanung noch festgestellt werden. Zu den Ressourcen zählen Personal, Betriebsmittel, Hilfsmittel und Material. Wenn sich bei einer ersten Grobplanung herausstellt, dass der Nettoprimärbedarf nicht gedeckt werden kann, muss darauf reagiert werden. Das kann entweder in Form von Verschiebungen oder mittels Erhöhung des Ressourcenangebots geschehen.⁴⁰

Die Produktionsbedarfsplanung ist eine mittelfristige Planung, die den Produktionsprogrammplan als Basis verwendet.⁴¹ Seine Realisierbarkeit sicherzustellen ist die wichtigste Aufgabe der Produktionsbedarfsplanung. Dafür wird eine Materialplanung, Terminplanung und Kapazitätsplanung durchgeführt.⁴² Zum besseren Verständnis des praktischen Teiles dieser Arbeit werden im Folgenden diese drei Unteraufgaben genauer erläutert.

2.5 Materialbedarfsplanung

Generell werden die Materialbedarfsarten nach Ursprung und Erzeugnisebene in Primär-, Sekundär-, und Tertiärbedarf eingeteilt. So ergibt sich der Primärbedarf aus den verkaufsfähigen Erzeugnissen, der Sekundärbedarf aus den zur Fertigung des Primärbedarfs benötigten Rohstoffen, Teilen und Gruppen und der Tertiärbedarf aus dem Bedarf an Betriebs- und Hilfsstoffen.⁴³ Darüber hinaus gibt es eine weitere Unterteilung in Brutto-, und Nettobedarf.⁴⁴

³⁸ vgl. Kilger, 2013, S.22ff

³⁹ vgl. Lödding, 2016, S.108

⁴⁰ vgl. Schuh, 2006, S.42

⁴¹ vgl. Eversheim, 2002, S.133

⁴² vgl. Schuh, 2006, S.43

⁴³ vgl. Pfohl, 2010, S.92

⁴⁴ vgl. Wannewetsch, 2010, S.7

Zur Materialbedarfsermittlung gibt es grundsätzlich drei verschiedene Methoden, wobei am TSM größtenteils die deterministische Bedarfsermittlung Anwendung findet:

- deterministische (oder bedarfsgesteuerte) Bedarfsermittlung
- stochastische (oder verbrauchsgesteuerte) Bedarfsermittlung
- heuristische (oder geschätzte) Bedarfsermittlung

2.5.1 Deterministische Bedarfsermittlung

Die deterministische Bedarfsermittlung stützt sich auf vorhandene Kunden- bzw. Vorratsaufträge. Der aus der Produktionsprogrammplanung generierte Nettoprimärbedarf wird in der Produktionsbedarfsplanung herangezogen, um daraus den Bruttosekundärbedarf der verschiedenen Erzeugnisgruppen zu bestimmen. Die Rohstoffe, Teile und Gruppen, die den Bruttosekundärbedarf bilden, können bei einfachen Erzeugnissen mit nur einer Auflösungsstufe durch Multiplikation der Menge jedes Teils mit der Anzahl der zu fertigenden Erzeugnisse (Nettoprimärbedarf) errechnet werden. Bei komplexeren Erzeugnissen mit mehreren Auflösungsstufen gibt es in der Praxis zwei wesentliche Strategien: die Auflösung des Bedarfs nach der Fertigungsstufe oder nach der Dispositionsstufe.⁴⁵ In der Regel wendet das TSM vorwiegend eine Auflösung nach Fertigungsstufen an, denn der Bedarfstermin des Materials steht grundsätzlich immer in Verbindung mit den Arbeitsschritten des Auftrags. Der Bedarfstermin kann aber bei der Bestellung einzelner Warengruppen (z.B.: gängige Normteile) im Ausnahmefall auch nach Dispositionsstufen bestimmt werden.

In der untenstehenden Grafik ist ein Erzeugnis, hier ein Stahlrohr Tisch, auf der linken Seite nach Fertigungsstufen und im rechten Bildabschnitt nach Dispositionsstufen aufgelöst. Bei der Auflösung nach Fertigungsstufen besteht die Gefahr, dass die Einzelmengen je nach ihrer Stufe in kurzen aufeinanderfolgenden Zeitabständen bestellt werden. Dieses Problem kann bei der Auflösung nach Dispositionsstufen umgangen werden, indem alle Teile, die in einem Erzeugnis mehrfach auftreten auf die unterste Stufe verschoben werden. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung der Teile zu einer Stufe gesichert. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass verschobene Teile zu früh disponiert werden und dadurch höhere Bestände auftreten.⁴⁶

⁴⁵ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.291

⁴⁶ vgl. ebenda, S.295

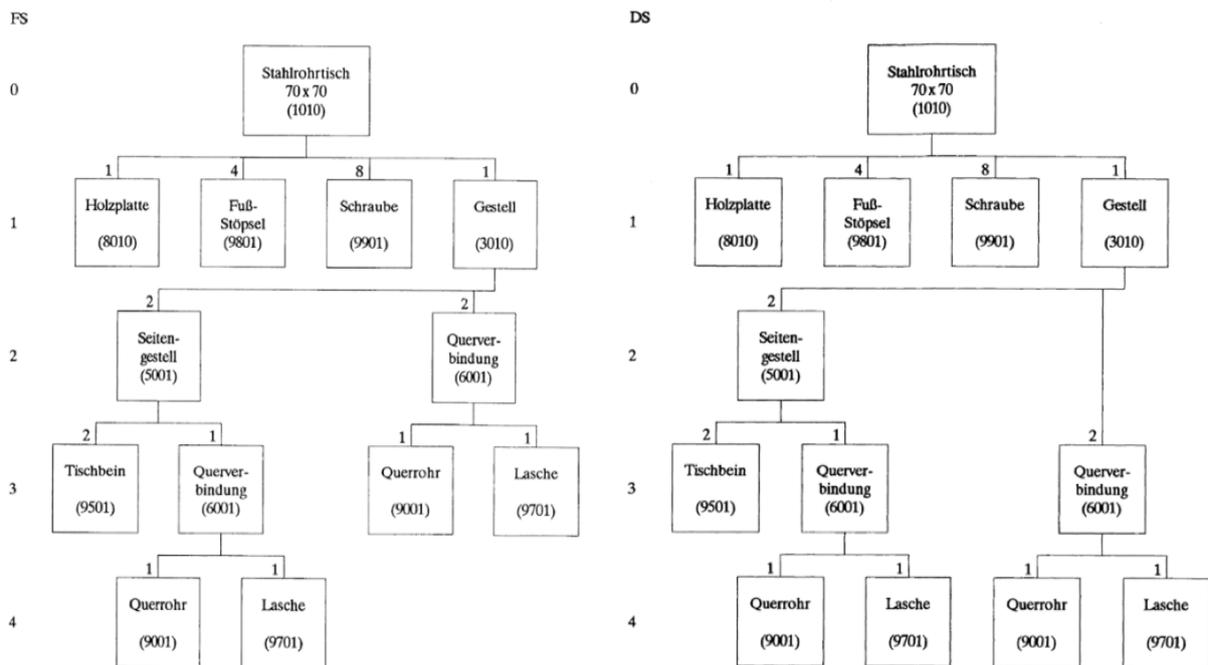


Abbildung 6: Erzeugung eines Stahlrohres⁴⁷

Um den reibungslosen Ablauf des Erzeugnisses in der Produktion zu gewährleisten ist die Bestimmung der Bedarfstermine einer jeden Materialposition zu jedem Auftrag und Auftragsstufe von großer Bedeutung. Die niedrigste Stufe gegenüber dem Enderzeugnis (Primärbedarf) muss terminlich zu einem früheren Zeitpunkt bereitgestellt werden. Im Falle des Stahlrohrtisches muss zum Beispiel das Querrohr um eine gewisse Vorlaufzeit früher als das Tischbein bereitgestellt sein, damit ausreichend Zeit für die Montage und Prüfung der Querverbindung bleibt, um dann im nächsten Fertigungsschritt mit dem Tischbein fortfahren zu können.

2.5.2 Stochastische Bedarfsermittlung

Im Gegensatz zur deterministischen Bedarfsermittlung liegen der stochastischen Bedarfsermittlung keine konkreten Kundenaufträge als Basis zugrunde. Bei dieser Methode der Bedarfsermittlung wird mit Verbrauchswerten aus der Vergangenheit gerechnet. Ziel ist eine möglichst genaue Prognose der benötigten Materialien, unabhängig von deren Verknüpfung zur Produktstruktur. Dazu werden mathematische Modelle zur Berechnung angewendet, welche zuverlässige Vergangenheitswerte aus der Lagerbestandsführung und Verbrauchsstatistiken voraussetzen.⁴⁸

⁴⁷ Glaser et al., 1992, S.54f

⁴⁸ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.297

Im Folgenden werden die gebräuchlichsten Methoden der stochastischen Bedarfsermittlung in der Praxis laut REFA aufgelistet, jedoch wird nur der Ersten näherer Betrachtung geschenkt:⁴⁹

- Methode der kleinsten Quadrate
- Methode des gleitenden Mittelwerts
- Methode der exponentiellen Glättung

Liegt in der Vergangenheit ein trendförmiger Verlauf vor, eignet sich die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate. Eine lineare Regressionsfunktion $y = a * x - b$ wird so gebildet, dass die Summe der quadrierten Abstände zwischen Vergangenheitswerte und Regressionsfunktion ein Minimum wird. Dieser Vorgang kann auch mit anderen Funktionen (z.B.: logarithmische, trigonometrische) durchgeführt werden.

2.5.3 Heuristische Bedarfsermittlung

Falls weder die dem Materialbedarf zugeordneten Kundenaufträge noch Vergangenheitsdaten zu den Materialpositionen existieren, wird auf die heuristische Bedarfsermittlung zurückgegriffen. Bei ihr liegen keine numerischen Daten zur Unterstützung vor. Auf der einen Seite gibt es die Intuitivschätzung, bei der die Bedarfsermittlung auf der fachlichen Meinung und Vermutung von Experten beruht. Auf der anderen Seite wird von Analogieschätzung gesprochen, wenn die Ergebnisse der Bedarfsermittlung von ähnlichen Materialien herangezogen werden können. Da bei diesem Verfahren die Unsicherheit sehr groß ist, wird es meist nur für Artikel mit geringem Materialwert angewendet.⁵⁰

2.5.4 Brutto- und Nettosekundärbedarf

Der Bruttosekundärbedarf bestimmt den Bedarf an Rohstoffen, Teilen und Gruppen zur Fertigung des Primärbedarfs, ohne Berücksichtigung der Lagerbestände und offenen Bestellungen. Ist der Bruttosekundärbedarf erhoben, kann nun der Nettosekundärbedarf bestimmt werden. Denn der Bruttosekundärbedarf alleine trifft noch keine ausreichende Grundlage für die erforderliche Materialbereitstellung. Es müssen alle Materialpositionen, die entweder schon auf Lager sind oder zum Bedarfstermin vorhanden sein werden (z.B.: da sie bereits bestellt wurden), berücksichtigt werden. Das entspricht den Aufgaben der Nettosekundärbedarfsermittlung. Um diese bestmöglich durchführen zu können, ist die Kenntnis des Lagerbestands, des Werkstattbestands und des Bestellbestands je Periode unabdingbar. Am TSM ist die Kenntnis dieser Größen durch eine

⁴⁹ vgl. REFA, 1985, S.114f

⁵⁰ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.292

Aufzeichnung im SAP MM-IM (Bestandsführung und Inventur) Modul gegeben.
Bestimmung des Nettosekundärbedarfs:⁵¹

$$\text{Nettosekundärbedarf} = \max \{ \text{Bruttosekundärbedarf} - \text{verfügbare Bestand} + \text{Zusatzbedarf}; 0 \}$$

mit:

$$\begin{aligned} \text{verfügbare Bestand} &= \text{Lagerbestand} \\ &+ \text{Werkstattbestand} \\ &+ \text{Bestellbestand} \\ &- \text{reservierter Bestand} \\ &- \text{Sicherheitsbestand} \end{aligned}$$

Ist der Nettosekundärbedarf ermittelt, kommt es zur Entscheidung, ob dieser durch Eigenfertigung oder durch Fremdbezug gedeckt werden soll. Sogenannte *Make-or-Buy* Analysen dienen bei der Entscheidungsbildung. Die Ursachen für den Entschluss können vielfältig sein. So können einerseits strategische, weniger quantifizierbare Grundlagen, aber andererseits natürlich auch quantifizierbare, kostenrechnerische Einsparungen Einfluss auf die Entscheidung des Unternehmens nehmen.⁵² In Folge werden die Nettosekundärbedarfe je nach Entscheidung in Bestell- und Fertigungsaufträge eingeteilt. Insbesondere kommt es in der Beschaffungsplanung bei den periodenbezogenen Bestellaufträgen zur Ermittlung der optimalen Beschaffungsmenge. Größere Bestellmengen führen zwar meist zu preislichen Vorteilen und einer höheren Versorgungssicherheit, bringen aber Nachteile, wie hohe Kapitalbindungskosten, Lagerkosten und ein etwaiges Verschrottrisiko, mit sich. Somit ergibt sich die wirtschaftliche Beschaffungsmenge, wenn die Summe der zuvor genannten Kosten minimal ist.⁵³

2.6 Terminplanung

Ein bereits eingangs beschriebenes Ziel der Produktionsplanung und -steuerung ist es, die eingelangten Aufträge zum angegebenen Liefertermin fertigzustellen. Um dies möglich zu machen, ist sowohl ein gutes Zeit- und Terminmanagement als auch eine durchdachte Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung unabdingbar. Bei Auftragseingang sollte daher die Abschätzung der Durchlaufzeit eine der ersten zu tätigen Maßnahmen sein.⁵⁴ Damit dies möglich ist müssen alle Schritte, die zur erfolgreichen Abwicklung des Auftrags notwendig sind, analysiert und deren prognostizierte Zeitwerte zusammengesetzt werden. Im Allgemeinen wird die gesamte für den Auftrag benötigte Zeit als Lieferdurchlaufzeit bezeichnet, denn sie beinhaltet alle Schritte vom Empfang des Kundenauftrags bis zur Lieferung des

⁵¹ vgl. Buzacott et al., 2010, S.67

⁵² vgl. Zäh et al., 2003, S.361

⁵³ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.304f

⁵⁴ vgl. Schönsleben, 2016, S.523f

Produkts.⁵⁵ Im Laufe der Abwicklung eines Auftrags wird zwischen folgenden Status unterschieden:



Abbildung 7: Phasen in der Abwicklung eines Auftrags⁵⁶

2.6.1 Durchlaufzeit

Die vorhergehend beschriebene Lieferdurchlaufzeit eines gesamten Auftrags setzt sich aus mehreren, den einzelnen Phasen zuordenbaren, Durchlaufzeiten zusammen. Durch eine Vorhersage dieser einzelnen Durchlaufzeiten, lässt sich ausgehend vom gewünschten Liefertermin ein Starttermin der davor befindlichen Phase definieren. Die Literatur bezieht sich hierbei zum Großteil und mit nur wenigen Ausnahmen auf die Produktion. Die Produktionsdurchlaufzeit summiert sich aus drei verschiedenen Gruppen von Zeiten: der Arbeitsgangzeit, der Arbeitsgangzwischenzeit und der Administrationszeit. Typischerweise macht in der Werkstattproduktion die Arbeitsgangzwischenzeit mehr als 80% der gesamten Durchlaufzeit aus, weshalb ihr bei der Analyse eine große Wichtigkeit eingeräumt wird. Die Durchlaufzeit kann auf Erfahrungswerten basieren, aber auch aufgrund von vergangenen Aufträgen schon bekannt sein bzw. statistisch bestimmt werden. Nichtsdestotrotz handelt es sich meistens um einen Wert mit einem hohen Unsicherheitsfaktor, da vor allem die Arbeitsgangzwischenzeiten am schwierigsten zu bestimmen sind.⁵⁷

Die Arbeitsgangzeit eines Vorgangs errechnet sich einerseits aus der Rüstzeit, die unabhängig sowohl von der Losgröße des Arbeitsgangs als auch von der Bearbeitungszeit ist. Als Rüstzeit wird dabei jene Zeit bezeichnet, die benötigt wird, um eine Maschine auf einen anderen Arbeitsgang umzustellen.⁵⁸ Die Arbeitsgangzeit berechnet sich andererseits aus der Bearbeitungszeit des Vorgangs, welche gleich

⁵⁵ vgl. Schönsleben, 2016, S.7

⁵⁶ vgl. ebenda, S.16

⁵⁷ vgl. ebenda, S.524

⁵⁸ vgl. Pfeffer, 2014, S.29

dem Produkt aus der Menge der produzierten Einheiten und der Bearbeitungszeit für eine einzige Einheit ist. Den Zusammenhang veranschaulicht die folgende Formel:⁵⁹

$$\text{Arbeitsgangzeit} = \text{Rüstzeit} + \text{Menge} * \text{Einzelbearbeitungszeit}$$

Neben der Arbeitsgangzeit, nämlich im zeitlichen Verlauf davor und/oder danach, fällt die Arbeitsgangzwischenzeit an. Sie lässt sich - je nach verrichteter Tätigkeit in dieser Zeit - in unterschiedliche Elemente gliedern:⁶⁰

- Von einer *technischen Wartezeit nach dem Arbeitsgang* wird gesprochen, wenn als unmittelbare Folge des Arbeitsgangs ein Abkühlen, eine Prüfung, eine chemische Reaktion, o.Ä. erforderlich ist. Diese Zeit ist in der Regel unumgänglich und kann nicht eingespart werden. Einziger Ansatzpunkt zur Verkürzung könnte sein, die Prüfung im Anschluss auf ein Mindestmaß zu reduzieren.
- Anders verhält es sich mit der *technischen Wartezeit vor dem Arbeitsgang*, denn sie hat im Normalfall bloß eine geringe Bedeutung, da sie meist die Kapazität der Maschine nicht belegt und sich mit der Rüstzeit überschneidet.
- Neben den technischen Wartezeiten werden auch die nichttechnischen Wartezeiten unterschieden, so bezeichnet die *nichttechnische Wartezeit nach der Arbeitszeit* die Dauer, die es benötigt bis das Werkstück vom Arbeitsplatz abtransportiert wird.
- Mehr Bedeutung bei den nichttechnischen Wartezeiten wird der *nichttechnischen Wartezeit vor dem Arbeitsplatz* bemessen. Sie umfasst die gesamte Zeit, die es benötigt bis ein geeigneter Kapazitätsplatz für den Arbeitsgang verfügbar ist.
- Als *Transportzeit* ist jene Zeit definiert, in der das zu bearbeitende Werkstück vom aktuellen Arbeitsgang zum darauffolgenden Arbeitsgang gebracht wird.

Um die bisher beschriebenen Zeiten der Produktionsdurchlaufzeit besser darzustellen, bildet die folgende Grafik die Arbeitsgangzeit und die Arbeitsgangzwischenzeit, einschließlich ihrer Gliederung in einzelne Elemente und deren auftretender Reihenfolge, ab.

⁵⁹ vgl. Schönsleben, 2016, S.526f

⁶⁰ vgl. ebenda, S.527f

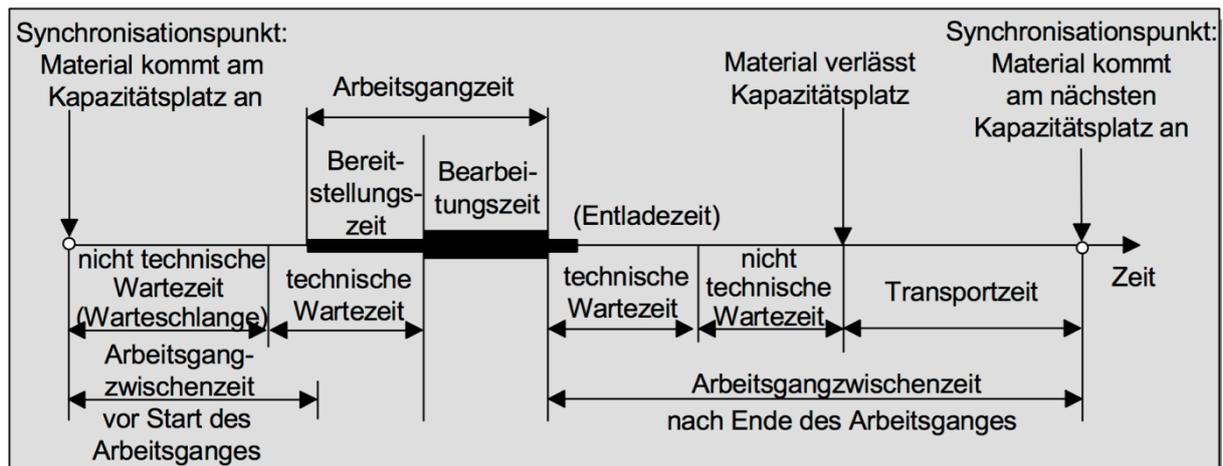


Abbildung 8: Arbeitsgangzeit und Arbeitsgangzwischenzeit⁶¹

Die dritte Gruppe, die Administrationszeit, umfasst die Zeit, die benötigt wird, um einen Auftrag zu erstellen und abzuschließen. Hierbei sind Tätigkeiten wie eine Verfügbarkeitsprüfung, die Entscheidung über Eigenfertigung oder Fremdbeschaffung und andere Bereiche, die ein Auftrag im Auftragsmanagement durchläuft, miteingeschlossen.⁶²

2.6.2 Durchlaufterminierung

Ist die Durchlaufzeit eines Auftrags soweit wie möglich bekannt und so genau wie möglich bestimmt, dann kann mit der Durchlaufterminierung und Kapazitätsterminierung fortgefahren werden. Diese werden, je nach Planungslogik, entweder durch Sukzessivplanung oder mittels simultaner Planung durchgeführt.⁶³ Bei der Sukzessivplanung wird in der Durchlaufterminierung von unbegrenzten Kapazitäten ausgegangen, das heißt die Belastung der Kapazitäten wird zu diesem Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt. Da aber die Fertigungskapazitäten in der Praxis begrenzt sind, muss dann im Zuge der Einlastung des Auftrags der Kapazitätsbedarf dem vorhandenen Kapazitätsangebot gegenübergestellt werden.⁶⁴ Diese Logik lässt sich dann rechtfertigen, wenn es erfahrungsgemäß kaum zu Kapazitätsüberlastungen kommt.⁶⁵ Anders verhält es sich mit der simultanen Planung, die bereits bei der Durchlaufterminierung den Kapazitätsbedarf des Auftrags dem vorhandenen Kapazitätsangebot gegenüberstellt. Da als Folge der simultanen Planung die Komplexität vor allem bei mehrstufigen Aufträgen sehr hoch ist, ist diese Planungslogik noch nicht die Vorherrschende. Jedoch lösen APS-

⁶¹ Schönsleben, 2016, S.528

⁶² vgl. Lödding, 2016, S.42

⁶³ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.322

⁶⁴ vgl. Schuh, 2006, S.47

⁶⁵ vgl. Kurbel, 2016, S.113

Systeme diese Restriktionen auf und etablieren sich vor allem bei Einzelfertiger als zusätzliche Software zu den ERP-Systemen.⁶⁶

Die Durchlaufterminierung soll dafür sorgen, dass sowohl die Arbeitsgänge der Fertigungsaufträge als auch der gesamte Fertigungsauftrag mit Start- und Endterminen deklariert ist. Um dies zu erreichen eignen sich die in den folgenden Absätzen beschriebenen Terminierungsmöglichkeiten: Rückwärtsterminierung, Vorwärtsterminierung, doppelte Terminierung und Mittelpunktsterminierung.⁶⁷

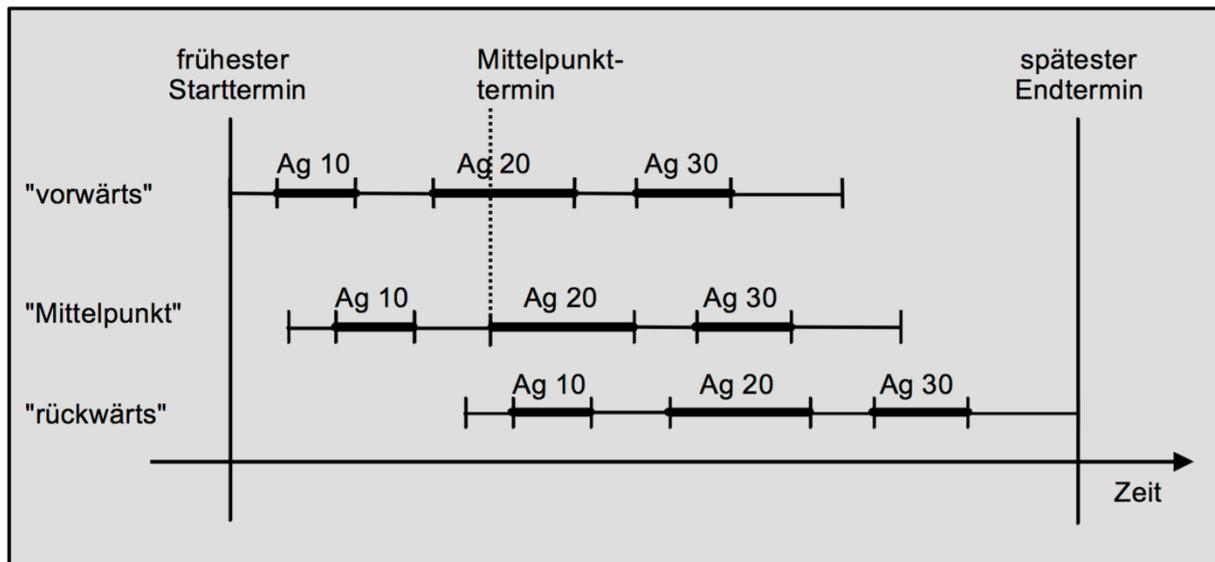


Abbildung 9: Vorwärts-, Mittelpunkt- und Rückwärtsterminierung⁶⁸

Die *Rückwärtsterminierung* benötigt einen Primärbedarfstermin. Ausgehend von diesem werden die vorangehenden Schritte, die zur erfolgreichen Abwicklung des Auftrags durchgeführt werden müssen, rückwärts aneinandergereiht. Da bei der Rückwärtsterminierung die Teile zum spätestmöglichen Termin gefertigt werden, ergeben sich minimale Kapitalbindungskosten. Nachteilig ist aber die daraus entstehende Gefahr, dass dabei nicht ausreichend Liegezeiten entstehen und dadurch die Störungen im Fertigungsablauf nicht ausgeglichen werden können. Somit ist die Wahrscheinlichkeit einer Lieferterminüberschreitung sehr hoch.

Bei der *Vorwärtsterminierung* wird von der Gegenwart als Starttermin ausgegangen. Anfangend von der niedrigsten Fertigungsstruktur werden die darauffolgenden Schritte vorwärtsgehend aneinandergereiht bis der Auftrag abgeschlossen ist. In dieser Form der Abwicklung können Liegezeiten entstehen, da auf andere Teile gewartet werden muss, um mit dem Beginn der übergeordneten Fertigungsstufe beginnen zu können. Vorteilig bei dieser Art der Terminierung ist, dass die dadurch entstehenden Liegezeiten als Puffer herangezogen werden können. Dadurch gelingt

⁶⁶ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.322f

⁶⁷ vgl. Kurbel, 2016, S.113-118

⁶⁸ Schönsleben, 2016, S.549

es besser Störungen abzufedern und auch die Gefahr der Terminüberschreitung sinkt. Andererseits kommt es durch die längere Lagerung zu höheren Kapitalbindungskosten.

Um von beiden Terminierungsmöglichkeiten das Optimum herauszuholen, gibt es auch die Möglichkeit der *doppelten Terminierung*. Dabei wird sowohl eine Vorwärts- als auch eine Rückwärtsterminierung durchgeführt. Bei Anwendung dieses Verfahrens ergeben sich terminliche Rahmenbedingungen, die durch den frühesten Starttermin auf der einen und den spätesten Endtermin auf der anderen Seite abgesteckt sind. Folglich wird ein Zeitpuffer geschaffen, der als Spielraum für Anpassungen genutzt werden kann, ohne die zulässigen Start- bzw. Endtermine des jeweiligen Arbeitsgangs zu verletzen.

Die untenstehende Grafik zeigt den Netzplan eines Endprodukts Y und veranschaulicht die Zeitpuffer, worin sich die Arbeitsgänge bei doppelter Terminierung bewegen können. Exemplarisch ist hier eine Verschiebung der Arbeitsgänge in der niedrigsten Fertigungsstufe (Vorgang D, E, F, G) durchgeführt, wobei die strichpunktierte Linie auf Liegezeiten hinweist.

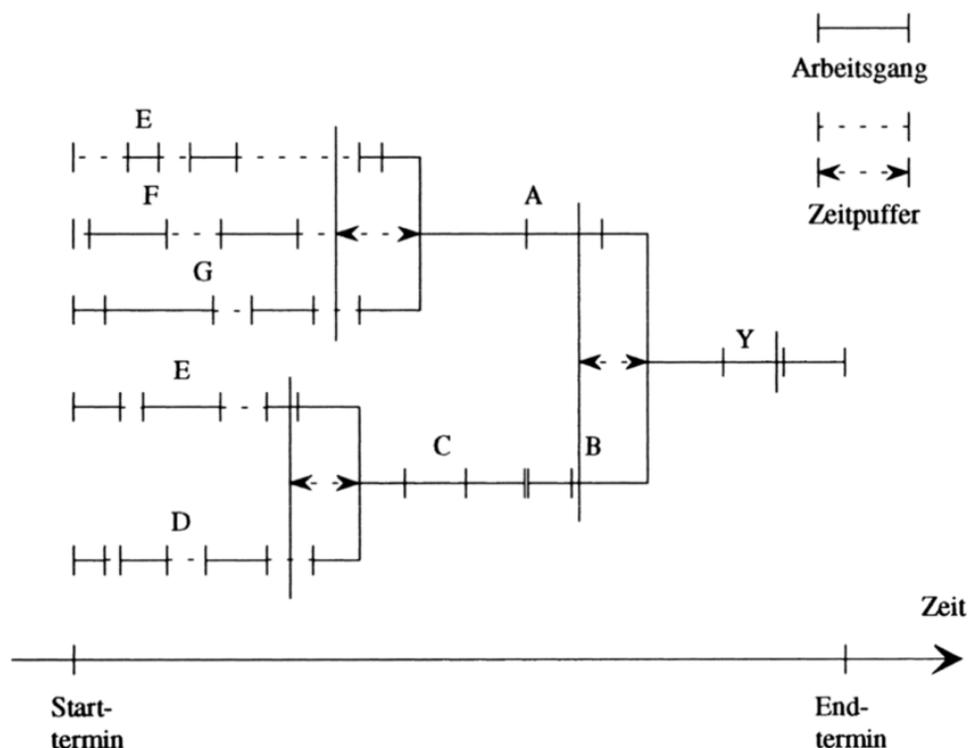


Abbildung 10: Pufferzeiten durch Vorwärts- und Rückwärtsterminierung⁶⁹

⁶⁹ Kurbel, 2016, S.118

Die *Mittelpunktterminierung* benötigt den Starttermin eines Arbeitsgangs als Ausgangspunkt. Fast immer handelt es sich dabei um einen Arbeitsgang in einer Engpasskapazität. Von ihr hängt die Terminierung des ganzen Auftrags ab. Ausgehend von der Engpasskapazität wird einerseits eine Vorwärtsterminierung für die *darauffolgenden* Schritte und andererseits eine Rückwärtsterminierung für die *vorangehenden* Schritte durchgeführt. Grund dafür ist: Bei einem Engpass handelt es sich um ein Betriebsmittel, das häufig überlastet ist. Durch eine vorangehende Rückwärtsterminierung will man somit erreichen, dass die Engpassmaschine entlastet wird und es vor ihr zur Verringerung der Bestände kommt. Dennoch soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der Engpass immer ausgelastet sein soll, da ansonsten Kapazitäten unwiderruflich verloren gehen. Anschließend kann mit einer Vorwärtsterminierung weiter verfahren werden. In diesem Sinne wird also bei der *Mittelpunktterminierung* eine Mischform zwischen Vorwärts- und Rückwärtsterminierung angewandt.⁷⁰

Nach Durchführung der Durchlaufterminierung kann der späteste Starttermin:⁷¹

- entweder auf einem Zeitpunkt in der Zukunft,
- genau im Planungszeitpunkt,
- oder aber auch auf einem Zeitpunkt in der Vergangenheit liegen.

In den ersten beiden Fällen ergeben sich keine notwendigen Änderungen. Fällt der späteste Starttermin jedoch genau in den Planungszeitpunkt, so muss beachtet werden, dass der früheste mit dem spätesten Starttermin identisch ist. Anders stellt sich die Lage bei einem spätesten Starttermin in der Vergangenheit dar. In diesem Fall muss ausgehend vom Planungszeitpunkt eine Vorwärtsterminierung durchgeführt werden, um einen neuen, nicht in der Vergangenheit liegenden Starttermin zu bekommen. Die dadurch entstehenden Verschiebungen können mit Maßnahmen zur Durchlaufzeitverkürzung vermindert werden. Beispielsweise können Pufferzeiten, die zum Ausgleich von Störungen eingeplant sind, reduziert werden. Weiters sind organisatorische Maßnahmen, wie die Überlappung oder das Splitting, zur Durchlaufzeitverkürzung möglich. Bei der Überlappung wird bis zur Übergabe an den nächsten Arbeitsgang nicht auf die Fertigstellung des gesamten Loses gewartet. Beim Splitting wird die mengenmäßige Aufteilung des Loses angestrebt, die dann zeitlich parallel an mehreren Bearbeitungsstellen gefertigt werden kann.⁷²

⁷⁰ vgl. Schönsleben, 2016, S.549

⁷¹ vgl. Hackstein, 1989, S.177

⁷² vgl. Schulte, 2017, S.645ff

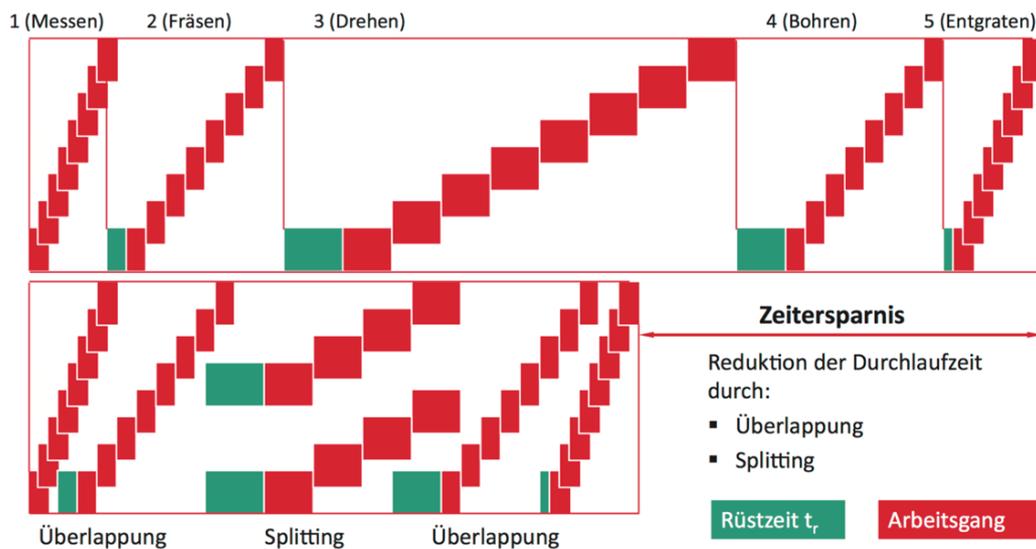


Abbildung 11: Auswirkungen von Überlappung und Splitting auf die Durchlaufzeit⁷³

2.7 Kapazitätsplanung

In der Kapazitätsplanung wird primär zwischen *Maschinenkapazität* und *Personenkapazität* unterschieden. Die Maschinenkapazität gibt das Leistungsvermögen der Maschinen in Stunden, deklariert als Maschinenstunden an. Analog dazu gibt die Personenkapazität das Leistungsvermögen der Menschen in Stunden, bezeichnet als Arbeitsstunden an. Aus diesen beiden Kapazitäten kann die Grundkapazität des Betriebs gebildet werden. Sie bezeichnet die maximale Leistungskapazität, die sich aus den theoretisch möglichen Maschinenstunden und Arbeitsstunden bildet. Die Grundkapazität unterliegt jedoch Schwankungen, das können zum einen Ausfallzeiten (z.B.: Urlaub des Mitarbeiters), zum anderen auch Überzeiten (z.B.: Überstunden) sein.⁷⁴

2.7.1 Kapazitätsabstimmung

Aufgrund der jeweiligen Auftragslage und Vorbelastung, entstehen Kapazitätsbelastungsprofile. In der Regel gleichen diese nicht den vorhandenen Ressourcen, sondern es entstehen Über- und Unterbelastungen in den einzelnen, oder sogar in allen, Perioden. Um diesen Unterschied auszugleichen, gibt es im Prinzip bloß zwei Möglichkeiten. Entweder wird die verfügbare Kapazität bzw. das Kapazitätsangebot dem Kapazitätsbedarf angepasst oder es muss die Belastungssituation bzw. Kapazitätsnachfrage der vorhandenen Kapazität angeglichen werden.⁷⁵

⁷³ Sihn et al., 2016, S.92

⁷⁴ vgl. Schönsleben, 2016, S.368

⁷⁵ vgl. Kurbel, 2016, S.126

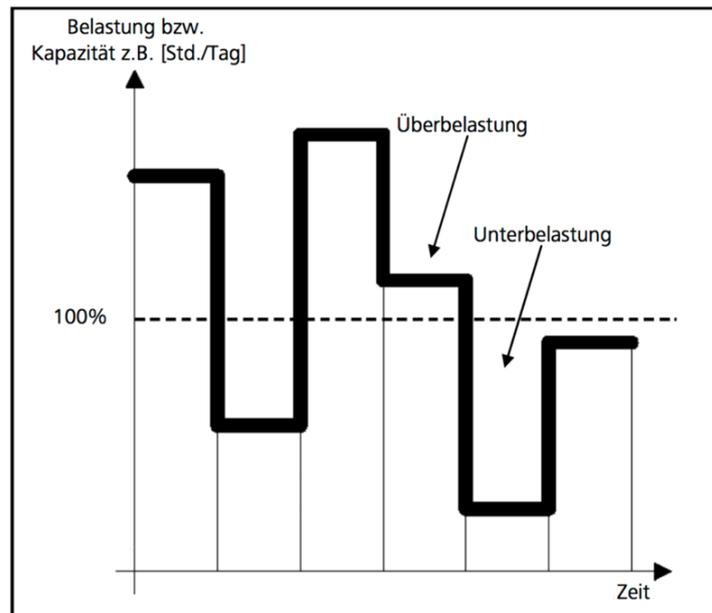


Abbildung 12: Kapazitätsbelastungsprofil⁷⁶

Änderungen des Kapazitätsangebots, erstere Möglichkeit, können auf folgende Weise durchgeführt werden: einerseits durch Stilllegung von Maschinen, Schichtabbau, Kurzarbeit, Personalverlagerung zu überbeschäftigten Bereichen oder andererseits durch Überstunden, Zusatzschichten, intensitätsmäßiger Anpassung, Springereinsatz/Leiharbeit und Inbetriebnahme von Reservemaschinen. Bei der Kapazitätsnachfrage, zweiter Möglichkeit, sind Änderungen auf folgendem Wege erzielbar: durch vorzeitige Auftragsfreigabe, Losvergrößerung, Hereinnahme zusätzlicher Aufträge, Ausführen von Lohnarbeiten, Lageraufträge und zur Verminderung durch Hinausschieben von Aufträgen, Auswärtsvergaben und Losverkleinerung.⁷⁷

Bei der Grobplanung in die begrenzte Kapazität hat sich die Betrachtung eines kumulierten Ressourcenprofils pro Kapazitätsplatz bewährt. In der untenstehenden Darstellung wird die kumulierte Gesamtkapazität der Ressource, in die bereits „verbrauchte“ kumulierte Vorbelastung zuzüglich der kumulierten Belastung eines eventuell einzuplanenden Auftrags und der noch verfügbaren freien kumulierten Kapazität, abgebildet.⁷⁸ Es gibt jedoch einen entscheidenden Nachteil bei der isolierten Betrachtung pro Kapazitätsplatz, denn im Normalfall besteht ein Auftrag aus einem Arbeitsgangnetz mit verschiedenen Kapazitätsplätzen. Solange der Puffer zwischen den Arbeitsgängen ausreichend groß ist, können Verlagerungen problemlos durchgeführt werden, ist dies jedoch nicht mehr der Fall, so ziehen

⁷⁶ Kiener et al., 2012, S.266

⁷⁷ vgl. ebenda, S.268fff

⁷⁸ vgl. Schönsleben, 2016, S.597

Verschiebungen Auswirkungen auf vor- bzw. nachgelagerte Fertigungsaufträge nach sich.⁷⁹

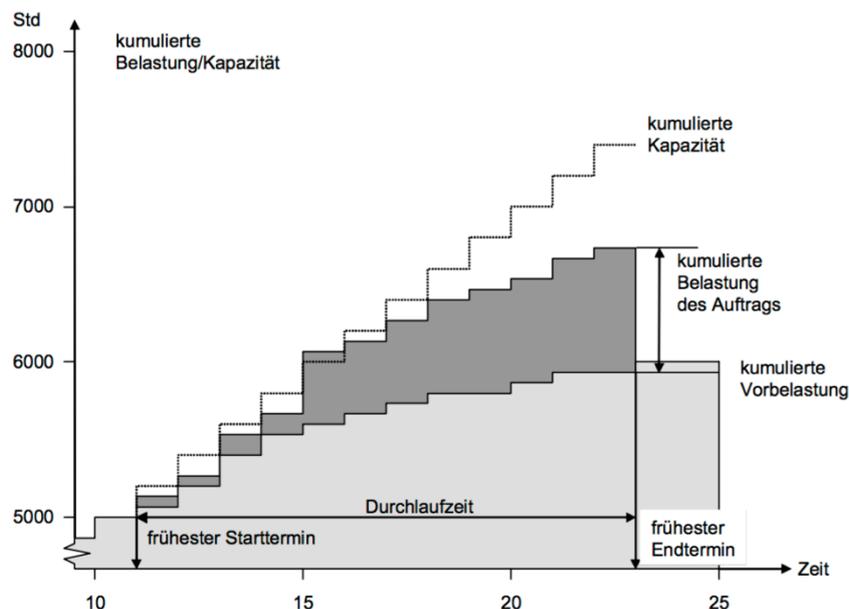


Abbildung 13: kumuliertes Ressourcenprofil⁸⁰

2.8 Eigenfertigungs- und Fremdbezugsprogramm

Als Ergebnis der gesamten durchgeführten Produktionsbedarfsplanung entsteht schlussendlich das Beschaffungsprogramm, welches in das Eigenfertigungs- und Fremdbezugsprogramm aufgeteilt werden kann.

Das *Eigenfertigungsprogramm* beschreibt den detailliertesten Schritt in der Produktionsplanung und -steuerung, nämlich die Feinplanung. Hier ist es auf alle Fälle zweckmäßig, eine simultane Planung von Terminen und Kapazitäten anzustreben. Die Feinplanung basiert auf immer komplexer werdenden Regeln, um in der Fertigung Soll- und Ist-Abweichungen, die unter Umständen von Störungen verursacht worden sind, zu vermeiden. Um die an den Maschinen entstehenden Warteschlangen bestmöglich zu umgehen, wird versucht eine optimale Abarbeitungsreihenfolge zu bilden.⁸¹ Dazu gibt es verschiedene Ansätze, entweder Selektionskriterien (wie Prioritätsregeln), Kumulationskriterien (wie Rüstzeitminimierung) oder es wird durch Erfahrungseinsatz der Mitarbeiter selbst über die Abarbeitungsreihenfolge entschieden. Ziel ist es in allen Fällen, eine

⁷⁹ vgl. Kurbel, 2016, S.29ff

⁸⁰ Schönsleben, 2016, S.598

⁸¹ vgl. Hackstein, 1989, S.184f

optimale Abarbeitungsreihenfolge zu finden, ohne den geforderten Endtermin zu gefährden.⁸²

Beim *Fremdbezugsprogramm* hingegen handelt es sich um Teile, Baugruppen und Erzeugnisse, die nicht selbst gefertigt, sondern in einer bestimmten Losgröße und zu einem bestimmten Termin beschafft werden sollen.⁸³ Diese Art der Beschaffung ist für die Thematik dieser Diplomarbeit jedoch nicht weiter relevant, da die hier beschriebenen Lösungsansätze in Zusammenarbeit mit dem TSM weitgehend dem Eigenfertigungsprogramm zuzuschreiben sind.

2.9 Querschnittsaufgaben

Im Gegensatz zu den Kernaufgaben, die als Ziel die Fertigstellung des Auftrags haben, dienen die Querschnittsaufgaben zur bestmöglichen Abwicklung der Aufträge im Sinne der Integration und Optimierung in der Produktionsplanung und -steuerung. Zu ihren Bestandteilen zählen das Auftragsmanagement, das Bestandsmanagement und das Controlling.

Aufgabe des Auftragsmanagements ist es jegliche Prozesse zu unterstützen, um den Kundenwunsch zu erfüllen. Dazu gehört die Erhöhung der Transparenz in der Auftragsabwicklung und das Bereitstellen der nötigen Flexibilität, um auf Störungen reagieren zu können. Damit das möglich ist, müssen alle wesentlichen Informationen rund um den Auftrag erfasst und für alle betreffenden Stellen transparent zur Verfügung gestellt werden. Sowohl in der Angebotsbearbeitung, der Auftragsbearbeitung als auch in der Auftragskoordination werden Kundenaufträge bezüglich des Termins, der Kapazitäten, der Materialien und der Kosten überwacht.

2.9.1 Angebotsbearbeitung

Die Angebotsbearbeitung wird durch Kundenanfragen ausgelöst. Sie muss abhängig vom Kundenwunschtermin und der Fertigungssituation einen möglichen Liefertermin bestimmen. Auszüge dieses Prozessablaufs werden in Kapitel 3.3 gegeben. Charakteristisch für diesen Prozess ist, dass nur Ecktermine geplant werden. Diese Ecktermine, die auch als Meilensteine bezeichnet werden können, sind häufig noch ungenau, da zum einen noch nicht alle Informationen zum Produktionsablauf verfügbar sind und zum anderen bei Angeboten der Bearbeitungsaufwand noch so gering wie möglich gehalten werden soll.

⁸² vgl. Schuh, 2006, S.54

⁸³ vgl. ebenda, S.56

2.9.2 Auftragsbearbeitung

Erst bei Eingang des Auftrags erfolgt eine eingehende Überprüfung auf technische Realisierbarkeit. Die Auftragsbearbeitung übermittelt die erforderlichen Einzelaufgaben den zuständigen Fachabteilungen. In dem gesamten Prozess ist es von großer Wichtigkeit, dass die Auftragsunterlagen transparent für alle betroffenen Bereiche verfügbar sind. Zu Beginn soll dann eine Grobterminierung des gesamten Auftragsdurchlaufs, angefangen mit den Vorlaufbereichen Planung und Konstruktion bis hin zur Teilefertigung und Montage, erfolgen. Damit werden wichtige Meilensteine für den Auftragsdurchlauf erzeugt. Auch der Kapazitätsbedarf des Auftrags wird am Anfang bestimmt. Analog zum Kapazitätsbedarf des Auftrags, wird durch das Auftragsmanagement in einer Ressourcengrobplanung auch die Verfügbarkeit der vorhandenen Ressourcen festgestellt. Zu diesen zählen Personal, Betriebsmittel, Hilfsmittel und Material. Eine Gegenüberstellung erfolgt, um bei möglicher Nichtübereinstimmungen Anpassungen durchführen zu können. Da dieser Prozess eine Grobplanung darstellt und sich bei Auftragseingang ereignet, ist es bei fortschreitendem Konkretisierungsgrad immer sinnvoll, Aktualisierungen vorzunehmen.

2.9.3 Auftragskoordination

Die Auftragskoordination übernimmt die Auftragsüberwachung und wird daher auch Monitoring genannt. Sie muss bei internen bzw. externen Anfragen jederzeit in der Lage sein, aktuelle Auskünfte über den Status des Auftrags geben zu können. Mit der Auftragseinstellung beginnt die Abwicklung des Auftrags in den Vorlaufbereich (Konstruktion, Arbeitsplanung, usw.). Während die Feinplanung und -steuerung in der Regel Aufgabe des jeweiligen Vorlaufbereichs ist, ist die Überwachung der Einhaltung der zuvor abgestimmten Ecktermine Aufgabe der Auftragskoordination. Dadurch soll eine hohe Transparenz garantiert werden, um auf Störungen bzw. Probleme jeglicher Art frühzeitig reagieren zu können.

3 State-of-the-Art von Produktionsplanungskonzepten und Steuerungsmethoden

3.1 Kapazitätsterminierungen

Grundsätzlich werden die unterschiedlichen Ausprägungen in der Kapazitätsplanung in zwei Klassen eingeteilt, welche derzeit in der betrieblichen Praxis Anwendung finden. Basierend auf den unternehmerischen Zielen des jeweiligen Unternehmens kann eine Planung in *unbegrenzte* Kapazitäten oder eine Planung in *begrenzte* Kapazitäten stattfinden. Dabei spielt die gesamte Kapazitätsplanungsflexibilität eine große Rolle.⁸⁴ In P. Schönslebens Darstellung werden die zwei Planungslogiken in weitere neun Sektoren unterteilt. Sie stehen für die in der Praxis zur Verfügung stehenden Techniken in der Kapazitätsplanung. In der Abbildung sind diese abhängig von den (quantitativ) flexiblen Kapazitäten und der Flexibilität des Auftragsfähigkeitstermins aufgetragen.⁸⁵

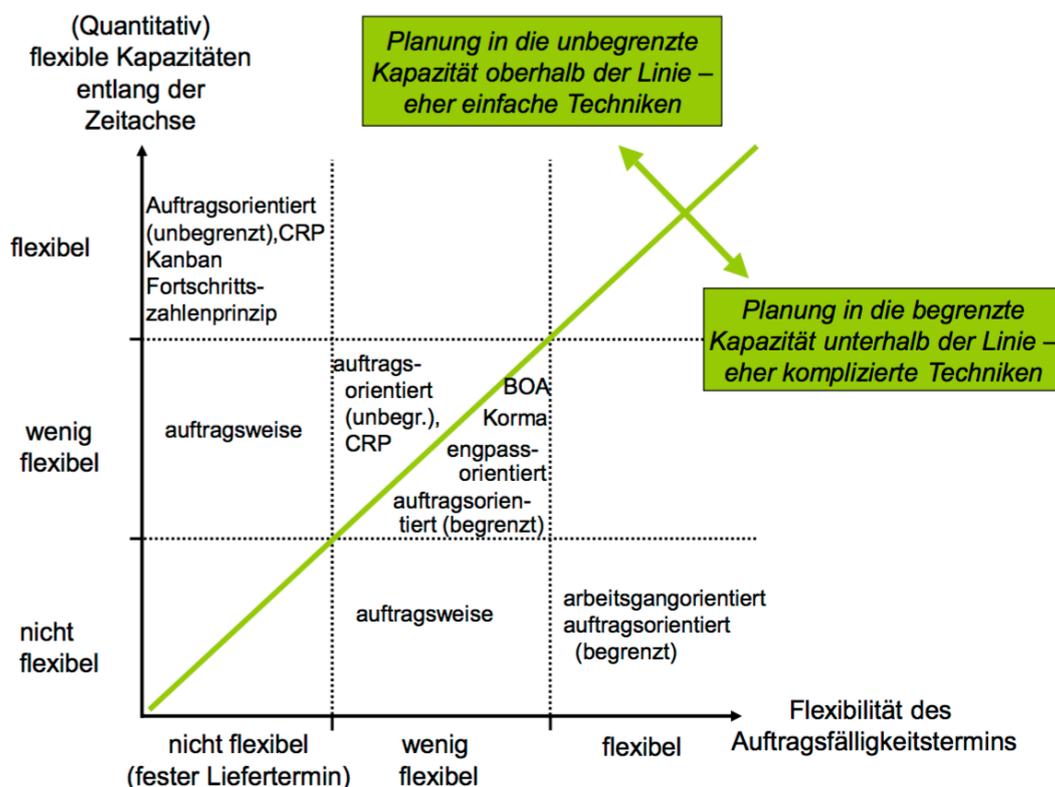


Abbildung 14: Planungslogiken und mögliche Techniken in Abhängigkeit der Flexibilität der Kapazitäten und des Auftragsfähigkeitstermins⁸⁶

⁸⁴ vgl. Schönsleben, 2016, S.571

⁸⁵ vgl. ebenda, S.260f

⁸⁶ ebenda, S.261

Um die Techniken und Bedeutungen der neun Sektoren besser zu verstehen, werden sie hier im Detail erläutert:⁸⁷

- Die drei Sektoren im rechten oberen Eck, denen keine spezifische Technik zugeordnet wurde, ergeben sich aus einer hohen Kapazitätsflexibilität. Sie erlaubt es dem betreffenden Unternehmen, jegliche Aufträge zu jeder Zeit einzuplanen und auszuführen. In der Praxis ist dieser Zustand nicht weit verbreitet, da Überkapazitäten in diesem Ausmaß in der Regel nicht wirtschaftlich sind.
- In den drei Sektoren der Diagonale von links oben nach rechts unten sind sämtliche Techniken aufgelistet, die es einem Computeralgorithmus erlauben, Aufträge selbstständig einzuplanen. In der Mehrzahl der Fälle sollte dies aufgrund einer ausreichenden Kapazitätsplanungsflexibilität möglich sein. Ungewöhnliche Situationen werden aber dem Planer auf Tages- bzw. Wochenbasis präsentiert, damit dieser mit geeigneten Maßnahmen darauf reagieren kann.
- In den beiden Kombinationen aus „wenig flexibel“ und „nicht flexibel“, die sich unten links befinden, ist nur eine geringe gesamte Kapazitätsplanungsflexibilität vorhanden. Als Folge müssen die Aufträge einzeln, also Auftrag für Auftrag, eingeplant werden. Das heißt, dass jeder Auftrag separat zu den bereits verplanten Aufträgen hinzugefügt werden muss. Dieses Vorgehen ist im Allgemeinen sehr aufwendig, denn die Planungsseckwerte (der Endtermin oder die Kapazität) ändern sich häufig.
- Der letzte verbliebene Sektor ist keiner Technik zugeordnet, da hier keine Flexibilität vorhanden ist und daher nicht auf Planungsprobleme reagiert werden kann.

In Unternehmen, in denen es möglich ist die Kapazitäten der Mitarbeiter innerhalb eines Tages um mehr als 50% zu verändern, ist die Planung in die unbegrenzte Kapazität am besten geeignet. Als Steuerungsmethoden dieser Planungslogik stehen die folgenden Techniken zur Auswahl:⁸⁸

- Auftragsorientierte Planung in die unbegrenzte Kapazität
 - CRP - Capacity Requirements Planning
- Kanban und Fortschrittszahlenprinzip
- Auftragsweise Planung in die unbegrenzte Kapazität

⁸⁷ vgl. Schönsleben, 2016, S.260f

⁸⁸ vgl. ebenda, S.261f

Eignet sich das Unternehmen aufgrund seiner Ziele und Kapazitätsplanungsflexibilität besser für die Planung in die begrenzte Kapazität, so ist die Verwendung folgender Steuerungsmethoden vorteilhaft:⁸⁹

- Arbeitsgangorientierte Planung in die begrenzte Kapazität
- Auftragsorientierte Planung in die begrenzte Kapazität
- Engpassorientierte Planung (z.B.: „Drum-Buffer-Rope“ Verfahren)
- BoA - Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
- Korma - Kapazitätsorientierte Materialbewirtschaftung
- Auftragsweise Planung in die begrenzte Kapazität
- ConWIP - Constant Work in Progress

In weiterer Folge werden auszugsweise Planungslogiken sowohl in die unbegrenzte als auch in die begrenzte Kapazität näher erläutert. Es zeigt sich von Relevanz über die *unbegrenzte Kapazitätsplanung* zu informieren, da diese der momentan aktuellen Planung und Steuerung am TSM entspricht. Aus diesem Grund sollen die diesbezüglichen Lösungsmöglichkeiten aus der Literatur aufgegriffen und beschrieben werden. Anhand dieser Lösungsmethoden wird schließlich hervorgehen, dass sich, hinsichtlich der individuellen Ausgangssituation und der Bedürfnisse des TSM, eine vorrauschauende Kapazitätsplanung, und demnach eine Planung in die begrenzte Kapazität, viel besser eignen wird. Auf dieser Art der Planung soll daher im Anschluss der überwiegende Fokus liegen. Bei soeben genannten Lösungsmöglichkeiten in der Steuerung handelt es sich um: auftragsweise Planung in die unbegrenzte Kapazität, Kanban-Steuerung, Fortschrittszahlen-Planung, auftragsorientierte Planung in die begrenzte Kapazität, engpassorientierte Planung, belastungsorientierte Auftragsfreigabe, ConWIP Steuerung und taktorientierte Steuerung.

3.2 Steuerungsmethoden

Die Frage, welche Steuerungsmethode angewendet werden soll, hängt stark von der Art der Kapazitätsterminierung ab. Sie muss für die Planung in die unbegrenzte Kapazität quantitativ flexibel sein, denn die Belastungen stellen sich zufällig aufgrund der Auftragssituation ein. Weiters darf sich unter keinen Umständen eine große Belastung in der Vergangenheit anhäufen, da ansonsten ab der ersten Periode ein derartig großer Rückstau entsteht, dass das erstellte Belastungsprofil bedeutungslos wird. Diese Art der Einplanung eignet sich in einem Käufermarkt (z.B.: Investitionsgüterbau, Produktion von Stückgut und Dienstleistungen sämtlicher Branchen).⁹⁰

⁸⁹ vgl. Schönsleben, 2016, S.262f

⁹⁰ vgl. ebenda, S.579

3.2.1 Planung in die unbegrenzte Kapazität

Auftragsweise Planung in die unbegrenzte Kapazität

Die erste Steuerungsmethode ist die auftragsweise Planung in die unbegrenzte Kapazität. Sie eignet sich für Betriebe, deren Kapazität wenig flexibel, bei gleichzeitig inflexiblem Auftragsfähigkeitstermin, ist. Diese Steuerungsmethode stellt sich als sehr aufwändig heraus, vor allem bei Aufträgen mit vielen Arbeitsgängen. Daraus folgt, dass diese Methode nur für Unternehmen mit wenig wertschöpfungsreichen Aufträgen zum Einsatz kommt und daher in dieser Arbeit nicht genauer beschrieben werden soll.⁹¹

Kanban-Steuerung

Die Kanban-Steuerung wurde erstmals pilothaft 1947 von Toyota entwickelt und zielt auf eine effiziente Ablaufgestaltung in der Produktion ab. Der Begriff *Kanban* kommt aus dem Japanischen und bedeutet „Karte“ bzw. „Schild“. Der selbststeuernde Regelkreis zwischen Erzeuger und Verbraucher, das Pull-Prinzip der jeweils nachfolgenden Verbrauchsstufe, ein flexibler Personal- und Betriebsmitteleinsatz, die Übertragung kurzfristiger Steuerungsfunktionen an die ausführenden Mitarbeiter, als auch die Kanban-Karte sind essenzielle Elemente, auf welchen das Kanban-System aufgebaut ist. Voraussetzungen für die Funktionsfähigkeit dieses Systems sind zum einen ein harmonisiertes Produktionsprogramm und zum anderen eine materialflussorientierte Werkstattorganisation.⁹²

Fortschrittszahlen

Das Steuerungssystem der Fortschrittszahlen beruht auf der Darstellung aller Bedarfe und Mengenleistungen als Jahressummen. Die Fortschrittszahlen vergleichen dabei den Soll-Zustand mit dem erreichten Ist-Zustand und drücken Mengen-Zeit-Relationen als Vorlauf bzw. Rückstand aus. Da das System ursprünglich aus der Automobilindustrie stammt, ähneln sich die Voraussetzungen auch denen der Automobilproduktion: hoher Wiederholungsgrad (Serien- oder Massenfertigung) und enge Lieferbeziehungen in Form von Rahmenverträgen.⁹³

3.2.2 Planung in die begrenzte Kapazität

Analog zur Planung in die unbegrenzte Kapazität gibt es auch bei der Planung in die begrenzte Kapazität gewisse Voraussetzungen, die gegeben sein sollten. So sollen die Kapazitäten und Belastungen so gut wie möglich bestimmbar sein, denn Abweichungen in den Plandaten zu den rückgemeldeten Arbeitsfortschritten

⁹¹ vgl. Schönsleben, 2016, S.580

⁹² vgl. Schulte, 2017, S.669ff

⁹³ vgl. ebenda, S.675ff

kumulieren sich sehr rasch in den errechneten Terminen. Weiters soll der Auftragsliefertermin bei Auftragseingang möglichst flexibel sein, denn er hängt stark von der gegebenen Belastung bei Auftragseingang ab und kann dadurch erheblich schwanken. Diese Art der Planung passt gut zu einem Verkäufermarkt, das heißt für Produzenten, die sich in einer verhandlungstaktisch günstigeren Position befinden als der Käufer (z.B.: bei einer Monopolsituation in der Leistungserstellung). Der Lieferzeitpunkt an den Endkunden spielt hierbei eine eher untergeordnete Rolle.⁹⁴

Auftragsorientierte Planung in die begrenzte Kapazität⁹⁵

Als eine mögliche Steuerungsmethode am TSM dient die auftragsorientierte Planung in die begrenzte Kapazität. Bei ihr werden die Aufträge als Ganzes, Auftrag für Auftrag, eingeplant. Ziel ist es, mit günstigen Prioritätsregeln zu arbeiten, die es ermöglichen ein Maximum an Aufträgen abzufertigen. Die folgende Abbildung veranschaulicht den Ablauf der Planung:

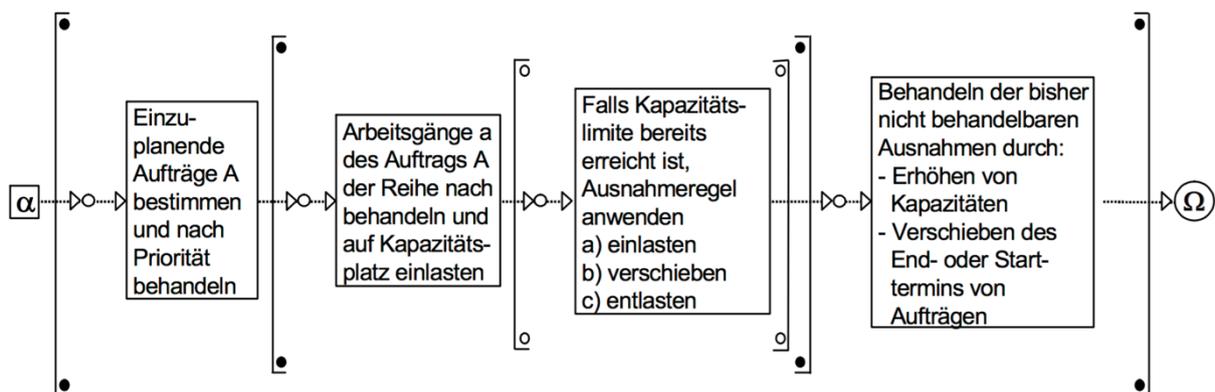


Abbildung 15: Ablauf der auftragsorientierten Planung in die begrenzte Kapazität⁹⁶

Zu Beginn sind alle bereits begonnenen Aufträge, gefolgt von den noch nicht begonnenen Aufträgen zu behandeln. Unterschiedliche Prioritätsregeln können dabei von Nutzen sein:

- FIFO („First In, First Out“): zuerst ankommenden Aufträgen wird die höchste Priorität zugewiesen
- EDD („Earliest Due Date“): Auftrag mit dem frühesten Fertigstellungstermin wird höchste Priorität zugewiesen
- SLK („Shortest Slack“): die Aufträge mit dem kleinsten Verhältnis zwischen der restlichen Durchlaufzeit des Auftrags und der noch verbleibenden Zeit für den Auftrag bekommen die höchste Priorität⁹⁷

⁹⁴ vgl. Schönsleben, 2016, S.583f

⁹⁵ vgl. ebenda, S.584fff

⁹⁶ ebenda, S.585

⁹⁷ abweichend kann diese Regel auch mit der Differenz zwischen der Dauer bis zum Fertigstellungstermin und der noch verbleibenden Durchlaufzeit gebildet werden (vgl. Hansmann, 2006, S.354)

- externe Auftragspriorität
- Kombination aus zwei oder mehreren der oben angeführten Regeln

Die Arbeitsgänge des Auftrags werden entsprechend nach ihrer Abwicklungsreihenfolge betrachtet und in den benötigten Kapazitätsplatz eingelastet. Dem Unternehmen stehen dafür verschiedene Durchlaufterminierungsmöglichkeiten, wie sie im Abschnitt 2.6.2 dieser Arbeit beschrieben sind, zur Verfügung.

Falls ein Arbeitsgang in eine Zeitperiode fällt, deren Kapazitätsauslastung bereits vollständig belegt ist, können die folgenden Möglichkeiten angewendet werden:

- a. Der Arbeitsgang wird dennoch eingelastet. Dann muss aber auch für ein höheres Kapazitätsangebot in dieser Zeitperiode gesorgt werden können.
- b. Der Arbeitsgang wird zeitlich verschoben bis zur nächsten freien verfügbaren Periode.
- c. Der gesamte Auftrag wird entlastet, um anderen Aufträgen höhere Priorität zu geben.

Engpassorientierte Planung

Die engpassorientierte Planung in die begrenzte Kapazität konzentriert sich, wie der Name schon sagt, auf die Engpasskapazitäten. Um diese herum werden die Aufträge eingeplant. Dazu eignet sich das „drum-buffer-rope“-Verfahren. Sein Konzept besagt, dass der optimale Durchsatz dann erreicht wird, wenn der Engpass optimal ausgelastet ist. Als Engpass wird die Trommel (engl. „drum“) bezeichnet, die den Takt in der Planung und Steuerung vorgibt. Da Störungen in vorgelagerten Prozessen auf alle Fälle zu vermeiden sind, wird ein Puffer (engl. „buffer“) vor der Engpasskapazität gebildet. Das straff gespannte Seil (engl. „rope“) dient zur Steuerung der Auftragsfreigabe. Ihm entlang werden die Aufträge durch die Produktion gezogen.⁹⁸

Belastungsorientierte Auftragsfreigabe

Die belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BoA) bei der Planung in die begrenzte Kapazität hat zwar eine hohe Auslastung als primäres Ziel, als gleichbedeutende Ziele gelten u.a. tiefe Bestände, kurze Durchlaufzeiten und hohe Liefertreue. Das Verfahren zielt darauf ab, nur so viele Fertigungsaufträge freizugeben, wie auch tatsächlich mit den vorhandenen Kapazitäten bearbeitbar sind. Zur Veranschaulichung werden die Bearbeitungsstellen zur Auftragsabwicklung als Trichter dargestellt.⁹⁹

⁹⁸ vgl. Becker, 2018, S.102ff

⁹⁹ vgl. Schönsleben, 2016, S.263

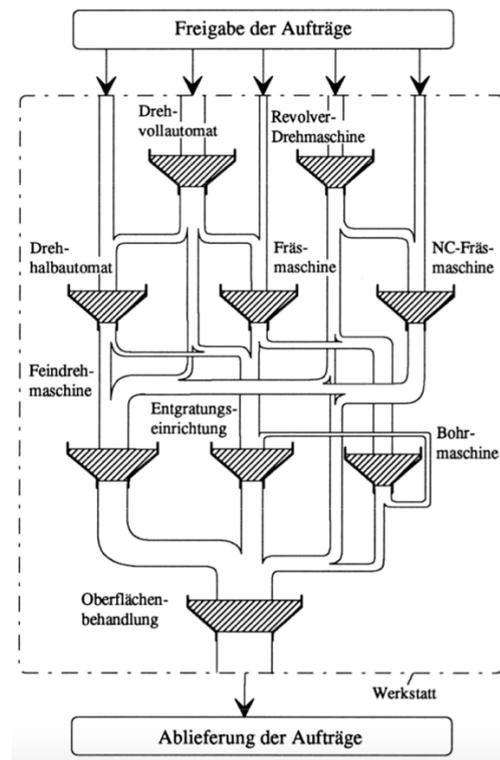


Abbildung 16: Trichtermodell¹⁰⁰

Für die Auftragsauswahl müssen die Aufträge nach ihrer Dringlichkeit sortiert werden. Häufig geschieht dies durch die Starttermine der Rückwärtsterminierung. Als dringlich werden jene Aufträge eingestuft, welche ihren Starttermin innerhalb des Vorgriffszeitraums haben und deren Materialverfügbarkeit gesichert ist.¹⁰¹

Da nicht alle Arbeitsgänge eines dringlichen Auftrags gleichzeitig eingeplant werden können und im Zeitverlauf die Gefahr steigt, dass nicht planmäßige Ereignisse eintreten, wird der Kapazitätsbedarf der folgenden Arbeitsgänge mit einem Abwertungsfaktor multipliziert. Dieser drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass nachkommende Arbeitsgänge noch in dieser Planperiode bearbeitet werden.¹⁰²

Im letzten Schritt muss noch die Freigabepfung erfolgen. Dabei wird die Vorbelastung, die noch von früheren Perioden stammt, und die neueinzuplanenden Aufträge betrachtet. Zur Durchführung muss ein Einlastungsprozentsatz gewählt werden, dieser bildet die Belastungsschranke für jeden Kapazitätsplatz. Nun werden die Aufträge in der Reihenfolge ihres Starttermins freigegeben. Falls die Belastung bei Einlastung eines Arbeitsgangs schon über der Schranke liegt, muss der gesamte Auftrag entlastet werden.¹⁰³ Die Abbildung darunter zeigt die Vorgänge der belastungsorientierten Auftragsfreigabe.

¹⁰⁰ vgl. H.-P. Wiendahl, 1995, S.147

¹⁰¹ vgl. Kurbel, 2016, S.153ff

¹⁰² vgl. Schönsleben, 2016, S.614

¹⁰³ vgl. ebenda, S.615

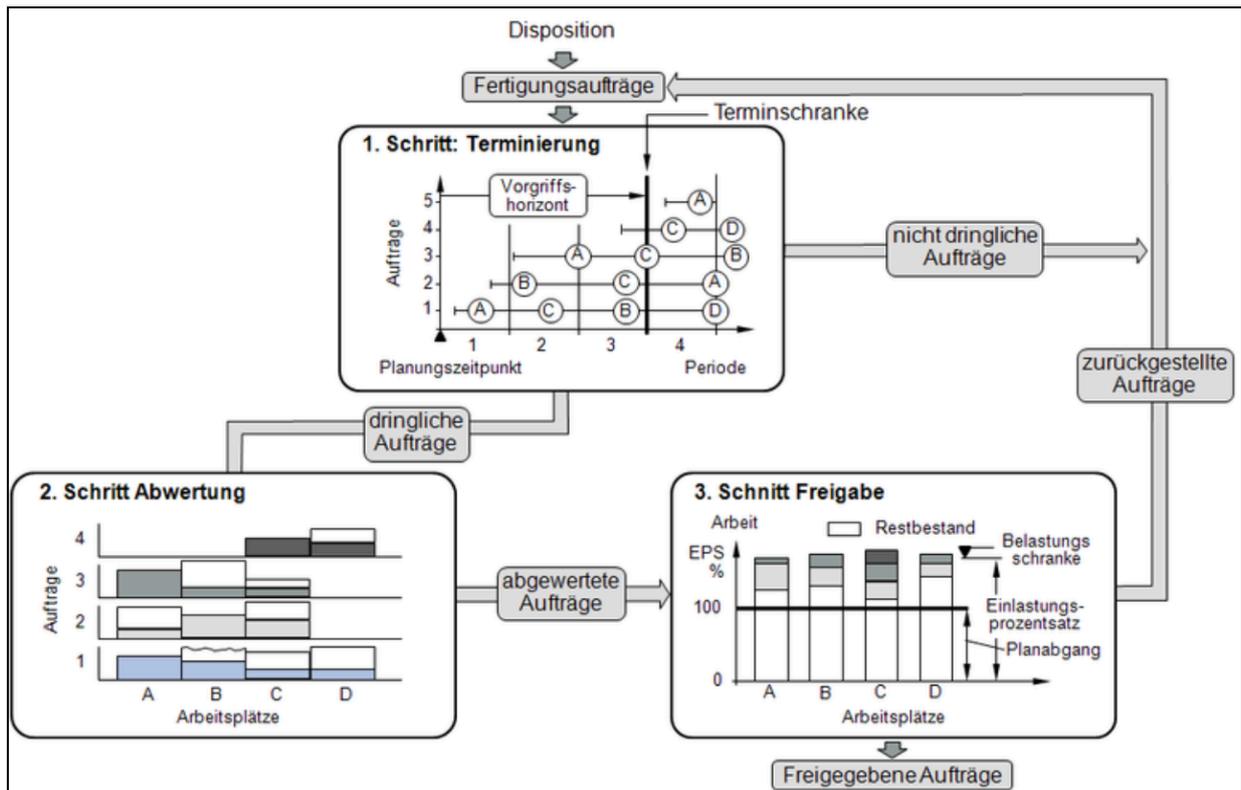


Abbildung 17: Ablauf der belastungsorientierten Auftragsfreigabe¹⁰⁴

Bei diesem Verfahren werden sowohl der Vorgrieffzeitraum, der Abwertungsfaktor, als auch der Einlastungsprozentsatz willkürlich gewählt. Es handelt sich um eine heuristische Methode, bei der die Werte auf Erfahrungen basieren oder willkürlich gesetzt werden.

Zu beachten ist bei der belastungsorientierten Auftragsfreigabe, dass die verfügbare Kapazität mittelfristig mindestens genauso groß sein soll wie die Belastung, da ansonsten immer mehr Aufträge durch die Belastungsschranke fallen. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus möglicherweise nicht tolerierbaren Verspätungen falls ein Auftrag durch die Belastungsschranke fällt. Es sind nämlich keine Freigaben aufgrund von zusätzlichen Informationen, wie zum Beispiel einer hohen Priorität, vorgesehen.¹⁰⁵

ConWIP

ConWIP steht für engl. „Constant Work In Progress“ und die Grundidee des Verfahrens beruht darauf, den Bestand in der Fertigung bzw. in einer Fertigungslinie auf konstantem Niveau zu halten. Dazu wird jeweils dann ein Auftrag für die Fertigungslinie freigegeben, sobald der Arbeitsvorrat bzw. Bestand an der jeweiligen Linie unterschritten wird. Freigegeben wird jener Auftrag, der die höchste Priorität innehat. Der Arbeitsvorrat bzw. der Bestand kann in unterschiedlichen Arten

¹⁰⁴ vgl. H.-P. Wiendahl, 1995, S.209

¹⁰⁵ vgl. Schönsleben, 2016, S.616

angegeben werden. Je nach Variation der zu fertigenden Erzeugnisse kann es sich besser eignen den Arbeitsvorrat bzw. den Bestand in Kapazitätsstunden oder auch anhand der Anzahl der Aufträge anzugeben. Die Steuerung wird häufig mit ConWIP Regelkarten durchgeführt. Wird am Ende der Fertigungslinie eine ConWIP-Karte frei, so kann der nächste Auftrag eingesteuert werden.¹⁰⁶

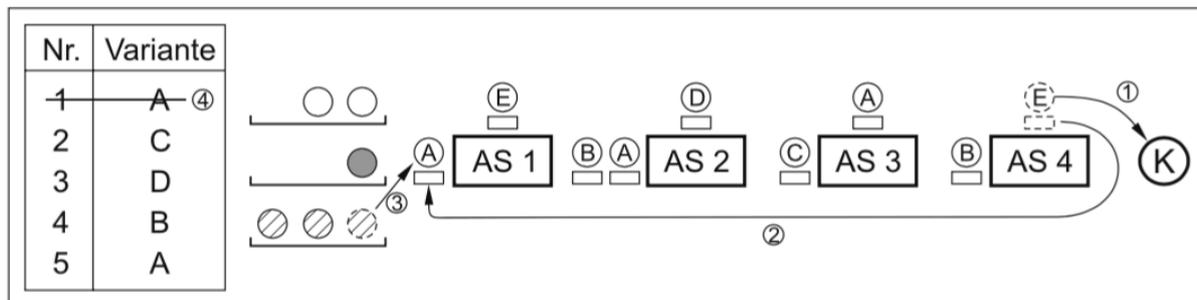


Abbildung 18: ConWIP Steuerung¹⁰⁷

Taktororientierte Planung¹⁰⁸

Obwohl sich Werkstattfertigungen aufgrund ihrer Ausrichtung und organisatorischen Struktur nicht in gewöhnliche Fließfertigungen überführen lassen, hat die Idee einer Taktung auch in solchen Unternehmen eine Betrachtung verdient. Anstatt die Arbeitsgänge einzeln freizugeben, werden diese in Auftragsbündeln zusammengesetzt und mit demselben Fertigungstermin ausgestattet. Jeder Arbeitsplatz braucht somit denselben Taktrhythmus. Innerhalb jeder Taktung können Facharbeiter die Abarbeitung selbstständig regeln (z.B.: rüstopoptimale Reihenfolge). Startet eine neue Taktung, so werden die für diese Periode zugewiesenen Arbeitsgänge ausgeführt. Am Ende der Taktung wird jeder Auftrag aufgrund seiner Arbeitsfolge zur nächsten Station gebracht. Dabei können manche Aufträge des Bündels ausgeliefert und andere zu ihrer weiteren Bearbeitung transportiert werden. Durch den fest vorgegebenen Taktrhythmus bekommt die Werkstatt daher einen geordneten Materialfluss und es entstehen Ecktermine zwischen der vorgelagerten und der nachfolgenden Stelle.

Die Einplanung der Aufträge wird mittels Plantöpfen durchgeführt, welche der vorgegebenen Taktlänge entsprechen müssen. Die Aufträge können vom gewünschten Liefertermin ausgehend rückwärts terminiert und die Arbeitsgänge somit den Plantöpfen des gewünschten Taktes zugeordnet werden. Nachfolgend wird diese taktororientierte Planung mit einem Trichtermodell grafisch dargestellt.

¹⁰⁶ vgl. Lödding, 2016, S.373ff

¹⁰⁷ ebenda, S.377

¹⁰⁸ vgl. Lorenz und Feige, 2015, S.205ff

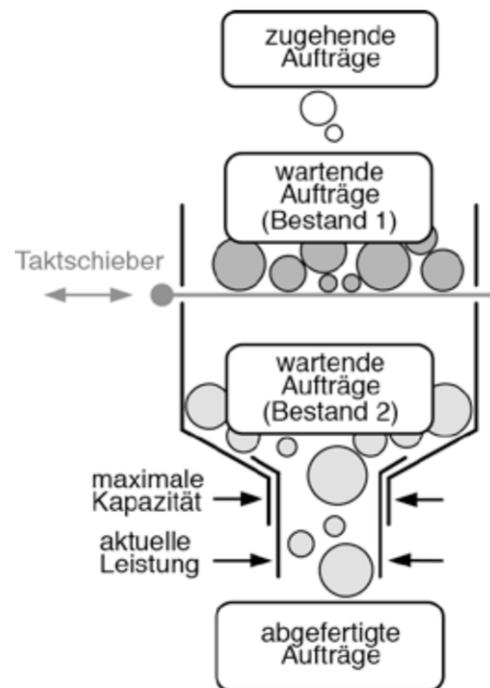


Abbildung 19: Taktorienteerte Planung¹⁰⁹

Dieses taktbasierte Trichtermodell ist durch einen Taktschieber auf zwei Bestände aufgeteilt. Diese symbolisieren die taktbasierte Abarbeitung. Bestand 1 stellt die ankommenden Aufträge, die dem Plantopf bzw. dem Auftragsbündel für den nachfolgenden Takt entsprechen, dar. Sie sind für die sofortige Bearbeitung gesperrt. Im Bestand 2 hingegen befinden sich sämtliche Arbeitsgänge, die für den aktuellen Takt zur Bearbeitung freigegeben sind. Endet der aktuelle Takt, bedeutet das den automatischen Start des nachfolgenden Taktes. Bildlich gesprochen, kann der Taktschieber nun entfernt werden und alle Aufträge des ersten Bestands können in den zweiten umgelagert werden. Aufträge, welche aus dem zweiten Bestand jedoch noch nicht abgeschlossen sind, verharren in diesem. Damit erfahren sie eine Verzögerung von mindestens einer Taktlänge. Die auszuwählende Taktlänge hat aus dem Grund großen Einfluss auf den Bestand, da es im Fall einer zu großen Taktlänge zu Auslastungsverlusten kommt. Andererseits führen zu straff abgestimmte Takte zu Verstopfungen, denn Aufträge die in ihrem zugewiesenen Takt nicht abgearbeitet werden konnten, verbleiben in der Ressource.

Die Kapazitätseinplanung und -abstimmung der Plantöpfe erfolgt analog zu dem in Kapitel 2.7.1 beschriebenen Vorgehen.

¹⁰⁹ vgl. Nyhuis und H.-P. Wiendahl, 2012, S.25

3.3 Beispielhafter Ablauf der Produktionsplanung und -steuerung in der Einzelfertigung¹¹⁰

Bei einem Einzelfertiger wird der mögliche Liefertermin von zwei Faktoren, nämlich dem Kundenwunschtermin und der Fertigungssituation, bestimmt. Nachdem der Wunschliefertermin (häufig mit Nachdruck) artikuliert wird, die Fertigungssituation jedoch nicht leicht zu jedem Zeitpunkt bestimmbar und das Unternehmen in der Regel einem Wettbewerbsdruck ausgesetzt ist, wird meist der Kundenwunschtermin ohne genauere Machbarkeitsprüfung akzeptiert. Folgen davon sind Kapazitätsprobleme und Lieferterminüberschreitungen.

Damit es dem Kundensachbearbeiter überhaupt möglich ist Terminaussagen treffen zu können, braucht dieser Informationen über die Erzeugnisstruktur des gewünschten Produkts, die Bearbeitungs- und Rüstzeiten für den zu fertigenden Auftrag, die Beschaffungsfristen für fremdbezogene Teile, die Kapazitätseinheiten (Planung, Werkstätte, Betriebsmittel, Arbeitsplätze, etc.) sowie über deren Auslastung. Ob diese Informationen zu Verfügung stehen und in welchem Umfang diese vorhanden sind, spielt eine entscheidende Rolle und hängt zum Großteil vom Neuheitsgrad des gewünschten Produkts ab. Bei bekannten bzw. Standardteilen sind Grunddaten, wie Erzeugnisstruktur, Arbeitsplan und Fertigungsvorschriften vorhanden. Somit kann der Ablauf im ERP-System mit dem in Kapitel 2 beschriebenen Vorgehen simuliert werden. Die Simulation beinhaltet die Materialbedarfsplanung, Terminplanung und Kapazitätsplanung. Sollte sich kein akzeptabler Termin abzeichnen, kann mit den Methoden der Kapazitätsabstimmung reagiert werden, damit behält man gleichzeitig die Prioritäten der bereits eingeplanten Aufträge im Auge.

Vergleichsweise schwieriger gestaltet sich das Vorgehen bei nicht vorher produzierten „unbekannten“ Aufträgen, da die benötigten Informationen noch nicht vorhanden sind. Hilfreich dafür können frühere, ähnliche Aufträge mit einem gewissen Gleichheitsanteil sein. Somit können aus vergangenen Aufträgen Prognosen erstellt werden, die bei der Einschätzung des aktuellen Auftrags helfen die Kernelemente zu ermitteln. Sind überhaupt keine Daten verfügbar, bleiben nur Schätzungen, um mit grob geschätzten Durchlaufzeiten Simulationen im ERP-System durchzuführen. Durch langjährige Erfahrungen von Mitarbeitern ist es allerdings tatsächlich möglich auch bei schwierigen Problemstrukturen zu realistischen Schätzungen zu gelangen.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich in der Praxis bei der Frage, ab welchem Zeitpunkt ein möglicher Kundenauftrag im System geführt werden soll. Denn bei Auftragsfertigern, bei welchen der Produktionsprogrammplan nahezu ausschließlich

¹¹⁰ vgl. Kurbel, 2016, S.185fff

aus Kundenaufträgen besteht, hat die Einlastung der Aufträge massive Auswirkungen auf zukünftige Anfragen. Wird zu lange mit der Einlastung der Aufträge gewartet, kann es bei der tatsächlichen Auftragserteilung schon zu einer völlig veränderten Kapazitätsbelastung der Betriebsmittel gekommen sein. Somit fehlt der Lieferterminezusage jegliche Grundlage. Andererseits führt ein zu frühes Einlasten der Aufträge zur Blockierung von Kapazitäten für weitere Kundenanfragen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Kundenanfrage kann je nach Branche stark variieren. Je nach Unternehmen und Auftrag müssen rund um diese Thematik Lösungen gefunden werden.

4 Verwendete Methoden

4.1 Turbulenzanalyse

Eine Turbulenzanalyse dient dem Zweck, die wesentlichen turbulenzfördernden Charakteristika im Produktionsumfeld festzustellen. Mit dieser Erkenntnis wird es möglich, auf die zu konfrontierenden Problemstellungen mit bestmöglichen Maßnahmen zu reagieren und Turbulenzen abzuschwächen. Dabei ist relevant, dass Turbulenz nicht nur aus dem Umfeld entstehen kann, sondern auch aus falsch getroffenen Annahmen. Die Wahrnehmung der Turbulenz kann nämlich nicht nur aus objektiv messbaren Fakten, sondern auch aus subjektiven Eindrücken (z.B. Überforderung, ungewohnte Situation, etc.) entstehen. Daraus schließt man, dass Erfahrung oft zur Milderung der Turbulenz beiträgt. Auch die Flexibilität, sich auf neue Gegebenheiten einzustellen, beeinflusst den Blick auf die Situation.¹¹¹

Sogenannte *Turbulenzkeime* können in den drei Prozessabschnitten des Auftragsmanagements (Beschaffen, Produzieren und Liefern) auftreten. Während bei der Beschaffung und Lieferung die Ursachen für Turbulenztreiber häufig Änderungen der Liefertermine oder der Bestellmenge sind, ist die Verfügbarkeit von Ressourcen oft ein Entstehungsgrund für Turbulenz in der Produktion. Im Rahmen der Analyse muss sowohl die Auswahl der Turbulenzkeime als auch deren Relevanz individuell auf den Betrieb abgestimmt werden.¹¹²

Ursachen- gruppe	Prozessabschnitt		
	Beschaffen	Produzieren	Liefern
Streuung	Heterogene Beschaffungsbedingungen • Zeiten • Mengen	Heterogener Auftragsdurchlauf • heterogener Auftragsmix • Chargenbildung	Heterogene Lieferanforderungen • Zeiten • Mengen
Schwankung	Beschaffungsschwankungen • Zeiten • Mengen	Produktionsschwankungen • schwankender Auftragsmix • Verfügbarkeitsschwankung	Bedarfsschwankungen • Zeiten • Mengen
Anpassung	Kurze Lebenszyklen Material Lfde Plananpassungen Lieferant • Termin • Menge	Kurze Technologiezyklen Plananpassungen Produktion • Anpassungen Auftragsmix • Verfügbarkeitsanpassungen	Kurze Lebenszyklen Endprodukt Lfde Plananpassungen Bedarf • Termin • Menge
Inkonsistenz	Beschaffungstoleranzen	↔ Produktionstoleranzen ↔	Liefertoleranzen
Abweichung	Qualitätsabweichung Material Unzuverlässige Lieferanten • Termin • Menge	Qualitätsabweichung Produkt Unerwartete Ausfälle • Maschinenausfall • Personalausfall	Endproduktänderung Auftragsänderungen • Termin • Menge

Planung
↓
Toleranz
↑
Steuerung

Abbildung 20: Turbulenzkeime in Planung und Steuerung¹¹³

¹¹¹ vgl. Mintzberg, 1994, S.7ff

¹¹² vgl. H.-H. Wiendahl, 2011, S.209ff

¹¹³ ebenda, S.211

Aus der Abbildung oben ist erkennbar, dass die drei Prozessabschnitte weiter in verschiedene Ursachengruppen für Turbulenz eingeteilt werden. Streuung, Schwankung und Anpassung sind der Planung zugeordnet, Inkonsistenz dient als Schnittstelle und die Abweichung wird der Steuerung zugewiesen. Als Streuung werden in diesem Kontext unregelmäßige Anforderungen, die in einer Planungsperiode auftreten, bezeichnet. Als Beispiel hierfür kann ein heterogener Auftragsmix bzw. unterschiedliche Lieferterminanforderungen der Kunden für ein Erzeugnis dienen. Als Schwankungen können jegliche Änderungen in der Kapazitätsnachfrage oder im Kapazitätsangebot zählen. Die Ursachengruppe Anpassungen spielt insbesondere dann eine Rolle, wenn einem Unternehmen kurze Technologiezyklen, Produktlebenszyklen etc. gegenüberstehen. Die Inkonsistenz beschreibt die Wahl der Toleranzen in den verschiedenen Durchlaufstationen. Sind diese nicht aufeinander abgestimmt, kann es zu Turbulenzen kommen.¹¹⁴

Die Methodik einer Turbulenzanalyse geht meist mit der Befragung von Experten oder von einer gesamten Abteilung miteinher. Ziel bei ihrer Durchführung ist es, ein grundlegendes Verständnis aller Beteiligten darüber zu schaffen, welche Faktoren im Unternehmen turbulenzauslösend sind, um dann in weiterer Folge darauf mit Umstellungen bzw. geeigneten Methoden in der Planung und Steuerung zu reagieren. In der Regel sind die meisten Lösungsansätze für Experten offensichtlich. Dennoch ist mit einer Darstellung der Turbulenzkeime die Möglichkeit gegeben, Gestaltungsdiskussionen anzuregen und Zusammenhänge aufzuzeigen, die vorher nicht erkannt wurden. Mit der Analyse lassen sich somit sowohl die Ist-Situation als auch die nötigen Maßnahmen, deren es zur Überführung in die Soll-Situation bedarf, beschreiben.¹¹⁵

4.2 Wertstromanalyse

In einer Wertstromanalyse werden alle Tätigkeiten, die für die Fertigstellung des Endprodukts notwendig sind, vom Auftragseingang bis zum Abschluss, betrachtet. Ziel ist es, alle Aktivitäten, sowohl wertschöpfende als auch nicht wertschöpfende, zu identifizieren und diese voneinander zu trennen. In der Prozessoptimierung wird versucht, möglichst viele wertschöpfende Tätigkeiten im Prozess zu haben und diesen Anteil zu erhöhen. Gegensätzlich dazu soll der nicht wertschöpfende Anteil auf ein Minimum beschränkt werden. Letztlich werden in der Wertstromanalyse drei Gruppen unterschieden: wertschöpfende, unterstützende und nicht wertschöpfende Tätigkeiten.

Die erste Gruppe, die der *wertschöpfenden Tätigkeiten*, steht klar im Zusammenhang mit der Erfüllung des Kundenwunschs. Beispiele sind Planungsarbeiten und

¹¹⁴ vgl. H.-H. Wiendahl, 2011, S.211-216

¹¹⁵ vgl. ebenda, S.217fff

Bearbeitungsprozesse. Ihre Ausführung wirkt sich wertsteigernd auf das Produkt aus. Die zweite Gruppe besteht aus *unterstützenden Tätigkeiten*, diese müssen nicht wertschöpfend sein, sind aber aktuell notwendig, um wertschöpfende Tätigkeiten durchführen zu können. Aktivitäten wie das Umrüsten, Zwischentransporte und Planänderungen sind Beispiele dieser Sektion. Die letzte Gruppe, welche es möglichst zu vermeiden heißt, ist die der *nicht wertschöpfenden Tätigkeiten*. Diese sind Zeichen der Verschwendung, welche im Produkterstellungsprozess anfällt. Wartezeiten, Störungen und Ausschüsse fallen unter anderem in diese Kategorie.¹¹⁶

Durch die Wertstromdarstellung sollen Zusammenhänge zwischen Prozess-, Material- und Informationsflüssen transparent dargestellt werden. Sie ermöglicht es alle Prozesse bzw. Teilprozesse im Unternehmen zu analysieren, unabhängig von seiner Größe oder Komplexität. Durch die Visualisierung des Ist-Zustands wird es möglich, Verschwendung aufzuzeigen. Dabei wird häufig festgestellt, dass die wertschöpfenden Tätigkeiten, also jene Schritte die unmittelbar zur Herstellung des Erzeugnisses beitragen, sich oft nur auf wenige Stunden belaufen. Hingegen kann sich die tatsächliche Lieferdurchlaufzeit auf mehrere Wochen erstrecken, da viel Zeit an Wartezeiten, Störzeiten und an Transporten verloren geht.¹¹⁷

Für die Darstellung des Wertstroms werden unterschiedliche Symbole eingesetzt. Je nach Ablauf des betrachteten Prozesses kommt es folglich zu einem unterschiedlichen visuellen Aufbau. Wichtig sind grundsätzlich die Prozesskarten, welche alle wesentlichen Informationen mittels Prozessparametern beinhalten. Bestände vor und nach der Produktion, sowie zwischen den einzelnen Schritten, werden auch mit den entsprechenden Symbolen gekennzeichnet. Die Visualisierung eines Beispielprozesses wird in der untenstehenden Grafik vorgeführt. Anschließend erfolgt die Erläuterung der einzelnen Elemente.

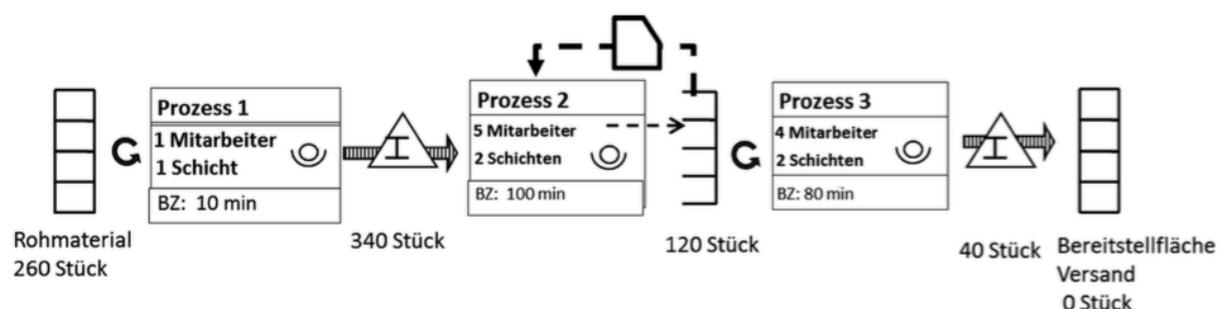


Abbildung 21: Wertstromdarstellung eines Beispielprozesses¹¹⁸

¹¹⁶ vgl. Wagner und Lindner, 2017, S.9ff

¹¹⁷ vgl. ebenda, S.13f

¹¹⁸ vgl. Lindner und Richter, 2015, S.27

Unter dem im Wertstrom abgebildeten Prozess- und Materialfluss wird die Auftragsdurchlaufzeit mit all ihren Komponenten vom Auftragseingang bis zum -abschluss dargestellt. Dazu gehören die Hauptkomponenten, nämlich die Bearbeitungszeiten und Liegezeiten, sowie auch alle weiter zeitrelevanten Prozessschritte (siehe dazu Kapitel 2.6.1) aufgetragen. Zur Darstellung der Auftragsdurchlaufzeit wird eine oszillierende Linie verwendet, wobei in den unteren Bereichen die Bearbeitungszeiten und in den oberen Bereichen die Bestandszeiten eingetragen werden.¹²²

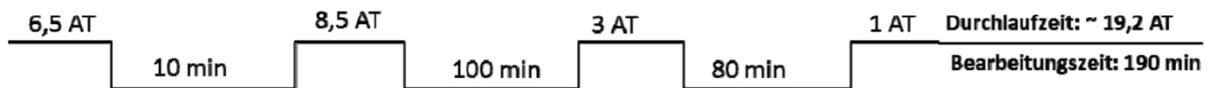


Abbildung 25: Auftragsdurchlaufzeit¹²³

Ist der Ist-Zustand in Form des Wertstroms einmal erfasst, können mithilfe der Kaizen-Blitze sowohl die Verschwendung direkt als auch verschwendungsauslösende Punkte gekennzeichnet werden. Dazu zählen unter anderem: Bestände zwischen den Prozessen, unnötig hoher Transportaufwand und lange Warte- und Liegezeiten.¹²⁴

4.3 ABC und XYZ Analyse

Um bestmöglich zu entscheiden, auf welchen Materialpositionen der Fokus bei den drei soeben erwähnten Arten der Bedarfsermittlung liegen soll, ist es sinnvoll, eine *ABC Analyse* und *XYZ Analyse* durchzuführen.

4.3.1 ABC Analyse

Die ABC Analyse, die erstmals 1951 bei General Electrics durchgeführt wurde, ist ein Werkzeug, um Wesentliches von Unwesentlichem zu trennen. Es wird in Unternehmen benutzt, um eine Material-Mengen-Wertstatistik zu erstellen.¹²⁵ Als Grundlage wird oft eine Verbrauchs- und Lagerstatistik verwendet. Zur Erzeugung einer ABC Analyse muss wie folgt vorgegangen werden:¹²⁶

1. Zuerst wird für jede Materialposition die jeweilige Materialmenge mit ihrem Bezugspreis bzw. ihren Herstellkosten multipliziert.
2. Danach müssen die Materialpositionen in absteigender Reihenfolge sortiert und die Materialwerte kumuliert werden.

¹²² vgl. Wagner und Lindner, 2017, S.28

¹²³ ebenda, S.31

¹²⁴ vgl. Klevers, 2007, S.65f

¹²⁵ vgl. Bichler, 1988, S.88f

¹²⁶ vgl. Wannewetsch, 2010, S.32f

3. Nun kann für jede Materialposition der prozentuale Anteil sowohl am Gesamtwert als auch an der Gesamtmenge festgestellt werden.
4. Damit es möglich ist Gruppen, nach den in der Praxis definierten Wertgrenzen am Gesamtwert, zu bilden
5. Schlussendlich ist eine grafische Darstellung der ABC Analyse möglich.

In Industriebetrieben herrscht häufig ein Ungleichgewicht in der Material-Mengen-Wertstatistik. So ist es in diesen Unternehmen üblich, dass 40% der Materialpositionen wertmäßig für 80% des Gesamtwerts stehen. Materialpositionen dieser Gruppe werden als A-Teile bezeichnet und hierauf richtet sich demnach der Fokus bei der Materialbedarfsplanung. Auf der anderen Seite zeichnet sich häufig das Bild, dass 30% der Materialpositionen bloß 5% des Gesamtwerts ausmachen. Diese werden als C-Teile eingeordnet.¹²⁷

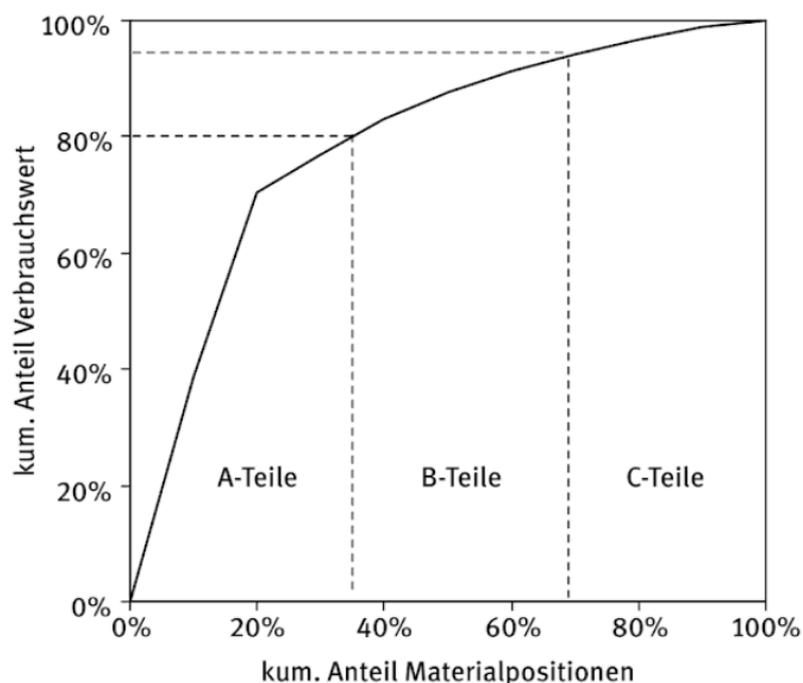


Abbildung 26: graphische ABC - Analyse¹²⁸

4.3.2 XYZ Analyse

Als Methode zur Auswahl des Bedarfsermittlungsverfahrens ist aber nicht nur die Material-Mengen-Wertstatistik ausschlaggebend, sondern auch die Einteilung der Materialpositionen nach ihrem zeitlichen Verbrauchsverhalten. Die XYZ Analyse ermittelt genau diesen Bedarfsverlauf und somit auch die Verbrauchsschwankungen der verschiedenen Materialien. So werden Materialpositionen als X-Teile gekennzeichnet, wenn sie einen konstanten Verbrauch mit geringen Schwankungen vorweisen und ihre Vorhersagegenauigkeit folglich hoch ist. Y-Teile verfügen nur

¹²⁷ vgl. Tempelmeier, 2008, S.8f

¹²⁸ Kiener et al., 2018, S.69

noch über eine mittlere Vorhersagegenauigkeit, denn ihr Bedarfsverlauf kann monatlich zwischen 20% - 50% schwanken. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass Teile dieser Gruppe oft saisonaler Schwankungen unterliegen. Am Ende der Skala gibt es noch die Z-Teile mit völlig unregelmäßigem Verbrauch, sie werden nur sporadisch benötigt und sind daher kaum vorherzusagen.¹²⁹

Wenn nun beide Analysen, also die ABC Analyse und die XYZ Analyse, verknüpft werden, lässt sich ein präziseres Entscheidungsschema zur Wahl des Bedarfsermittlungsverfahrens aufstellen. Es wird zwischen der bedarfssynchronen, bedarfsnahen, bedarfsfallbezogenen Beschaffung und der Vorratsbeschaffung unterschieden. In diesem von H.-P. Wiendahl zur Verfügung gestellten Regelwerks ist für jede Kombination die zu wählende Methode der Bedarfsermittlung (deterministisch, stochastisch oder intuitiv/heuristisch) erfasst.¹³⁰

Verlauf Wert	X (konstant)	Y (trendmäßig)	Z (unregelmäßig)
A (hoch)	Bedarfssynchrone Beschaffung <ul style="list-style-type: none"> • deterministische Bedarfsermittlung (Stücklistenauflösung) • keine Bedarfszusammenfassung • rechnergestützte Bestellvorschläge 		Bedarfsfallbezogene Einzelbeschaffung <ul style="list-style-type: none"> • deterministische / intuitive Bedarfsermittlung • keine Bedarfszusammenfassung • rechnergestützte Bestellvorschläge mit erfahrungsbasierter Korrektur
B (mittel)	Bedarfsnahe Beschaffung <ul style="list-style-type: none"> • deterministische Bedarfsermittlung (Stücklistenauflösung) • Bedarfszusammenfassung (Bestelllosgrößenbildung) • rechnergestützte Bestellvorschläge 		
C (niedrig)	Vorratsbeschaffung <ul style="list-style-type: none"> • stochastische Bedarfsermittlung • Bedarfszusammenfassung (Bestelllosgrößenbildung) • vollautomatische Bestellauslösung 		

Abbildung 27: Regelwerk der Bedarfsermittlungsverfahren und Beschaffungsarten¹³¹

¹²⁹ vgl. Vahrenkamp et al., 2012, S.85f

¹³⁰ vgl. H.-P. Wiendahl, 2014, S.293

¹³¹ ebenda, S.294

5 Produktionsplanung und -steuerung am Mechanisch Technischen Zentrum

Das Mechanisch Technische Zentrum der voestalpine Stahl GmbH in Linz unter der Leitung von Herrn Dipl.-Ing. Stöger ist prinzipiell in fünf Teilbereiche gegliedert. Dabei werden „Mechanische Bearbeitung“, „Stahlbau und Schweißerei“ und „Schlosserei und Hydraulik“ zur Werkstätte zusammengefasst. Die Bereiche „Auftragsmanagement“ und „Fertigungssteuerung“ komplettieren schließlich den Umfang.¹³² Im Sinne der der Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfrage wird in diesem Kapitel zuerst ein allgemeiner Ist-Zustand des Betriebes sowie die momentane Ausgangssituation im Auftragsmanagement und in der Fertigungssteuerung dargestellt. Diese Informationen basieren zum Großteil auf ausführlichen Gesprächen mit Experten der voestalpine Stahl GmbH. Um auf weitere und eventuell noch unbekannte Potentiale und Handlungsfelder hinzuweisen, wurde eine Turbulenzanalyse im Auftragsmanagement und in der Fertigungssteuerung durchgeführt. Diese soll anschließend in Hinblick ihrer Struktur präsentiert werden.

Am TSM werden derzeit sowohl Neu- als auch Reparaturteile gefertigt und diese dienen hauptsächlich der Instandhaltung des Standorts Linz. Die Verteilung auf die beiden Gruppen liegt im Durchschnitt sehr in der Waage, bei 50% Neuteilen und 50% Reparaturteilen. Während unter *Neuteilen* eine von Grund auf beginnende Fertigung eines Produktes verstanden wird, spricht man von einem Reparaturteil, wenn an einem bereits im Betrieb bestehenden Betriebsmittels Reparaturen, Änderungen oder Ähnliches vorgenommen werden müssen. Da es sich beim Mechanisch Technischen Zentrum der voestalpine Stahl GmbH um einen Bereich handelt, der primär zur Aufrechterhaltung der Stahlproduktion am Standort Linz dient, wird auch der überwiegende Anteil an Aufträgen von internen Kunden gestellt, nämlich 95%. Lediglich bei 5% der Aufträge handelt es sich also um Leistungen, die für externe Kunden zur Verfügung gestellt werden. Eine weitere Folge der Ausrichtung des TSM besteht allerdings auch darin, dass es, im Falle von Unregelmäßigkeiten oder potentiellen Gefahren für die Stahlproduktion, zu vielen Eil- und Störaufträgen kommt. Gegenwärtig setzen sich die Aufträge tatsächlich zu 70% aus planmäßigen Instandhaltungsaufträgen und zu 30% aus Eil- und Störaufträgen zusammen.

Generell umfasst die Zentralwerkstätte des TSM rund 40 verschiedene Werkzeugmaschinen mit denen hauptsächlich Einzellose und Kleinserien produziert werden. Für die Produktionsplanung und -steuerung steht ein SAP PP System zur Verfügung, in welchem die Aufträge angelegt werden und ihr aktueller Status (Fertigungsplanung / Stückzeitermittlung / Fertigungssteuerung / etc.) eingetragen ist.

¹³² vgl. voestalpine AG, Bereichsvorstellung TSM, 2018

Auf diese Art ist es möglich, die Stationen jedes Auftrags zu verfolgen. Im Jahr werden zirka 8.000-10.000 Aufträge, welche jeweils aus einem Auftragsnetz bestehen, abgearbeitet. Dieses umfasst im Durchschnitt jeweils drei bis vier Begleitkarten, welche wiederum rund drei Vorgänge beinhalten. Dadurch ergibt sich ein Jahresvolumen von ganzen 30.000 Begleitkarten und 90.000 Vorgängen. Im Kapitel 6 folgt eine genaue Beschreibung der Struktur des Auftragsnetzes und der Begleitkarten.

5.1 Auftragsmanagement

Im Auftragsmanagement ist ein Team von 28 Mitarbeitern tätig. Sie sind für den Fluss des Auftrags, angefangen mit der Auftragsrechnung, über die Leitung des Auftragsmanagements bis hin zur Fertigungsplanung, verantwortlich. Nachfolgend ist zuerst der Weg einer *Neufertigung* und anschließend jener eines *Reparaturteils* durch das Auftragsmanagement in Form einer ereignisgesteuerten Prozesskette dargestellt:

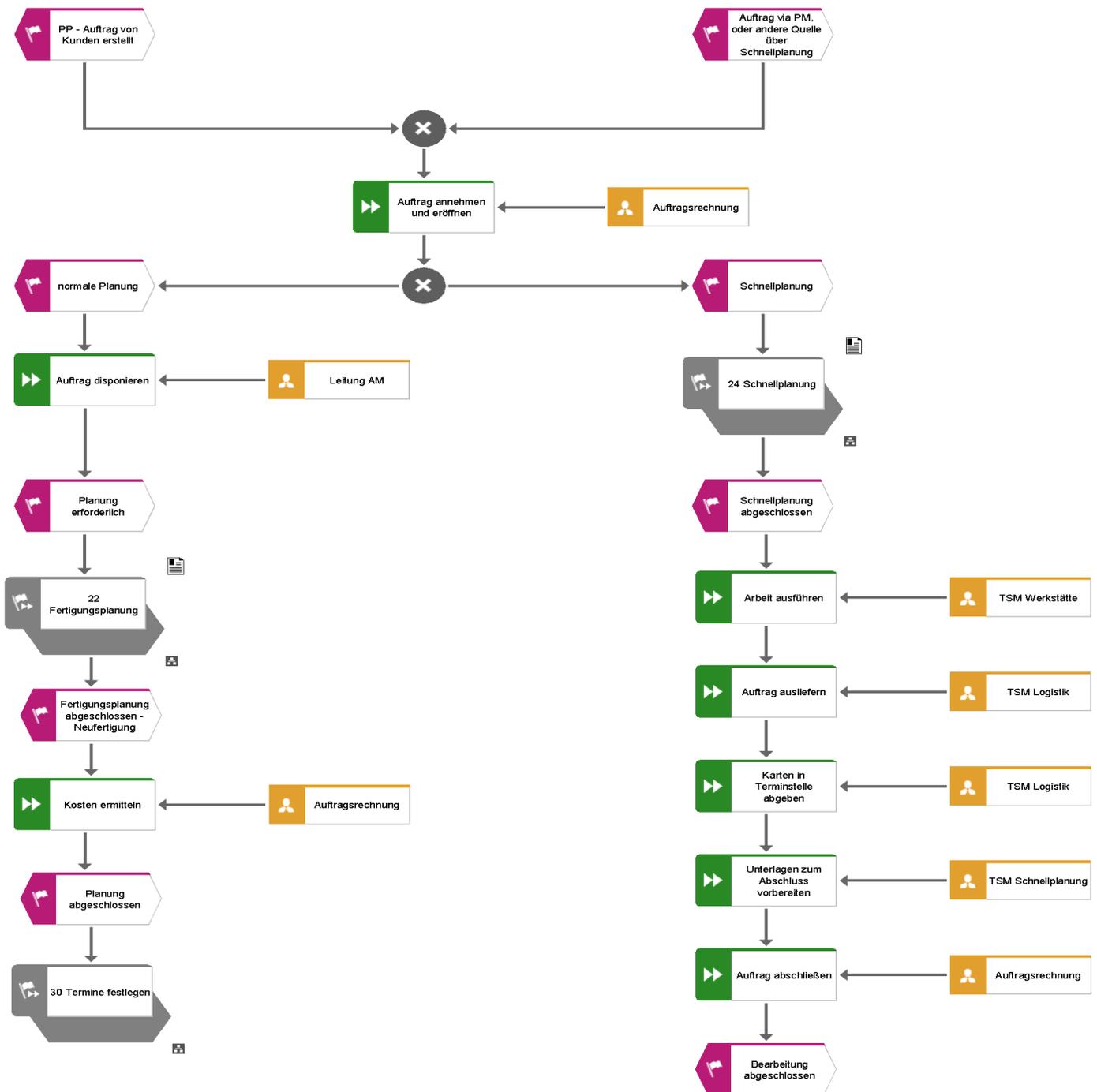


Abbildung 28: Ereignisgesteuerter Prozesskette eines Neuteils durch das Auftragsmanagement¹³³

Analog dazu bildet die nachfolgende Darstellung der ereignisgesteuerten Prozesskette den Weg eines *Reparaturteils* ab:

¹³³ voestalpine AG, Aris-Modell eines Neuteils durch das Auftragsmanagement des TSM, 2017

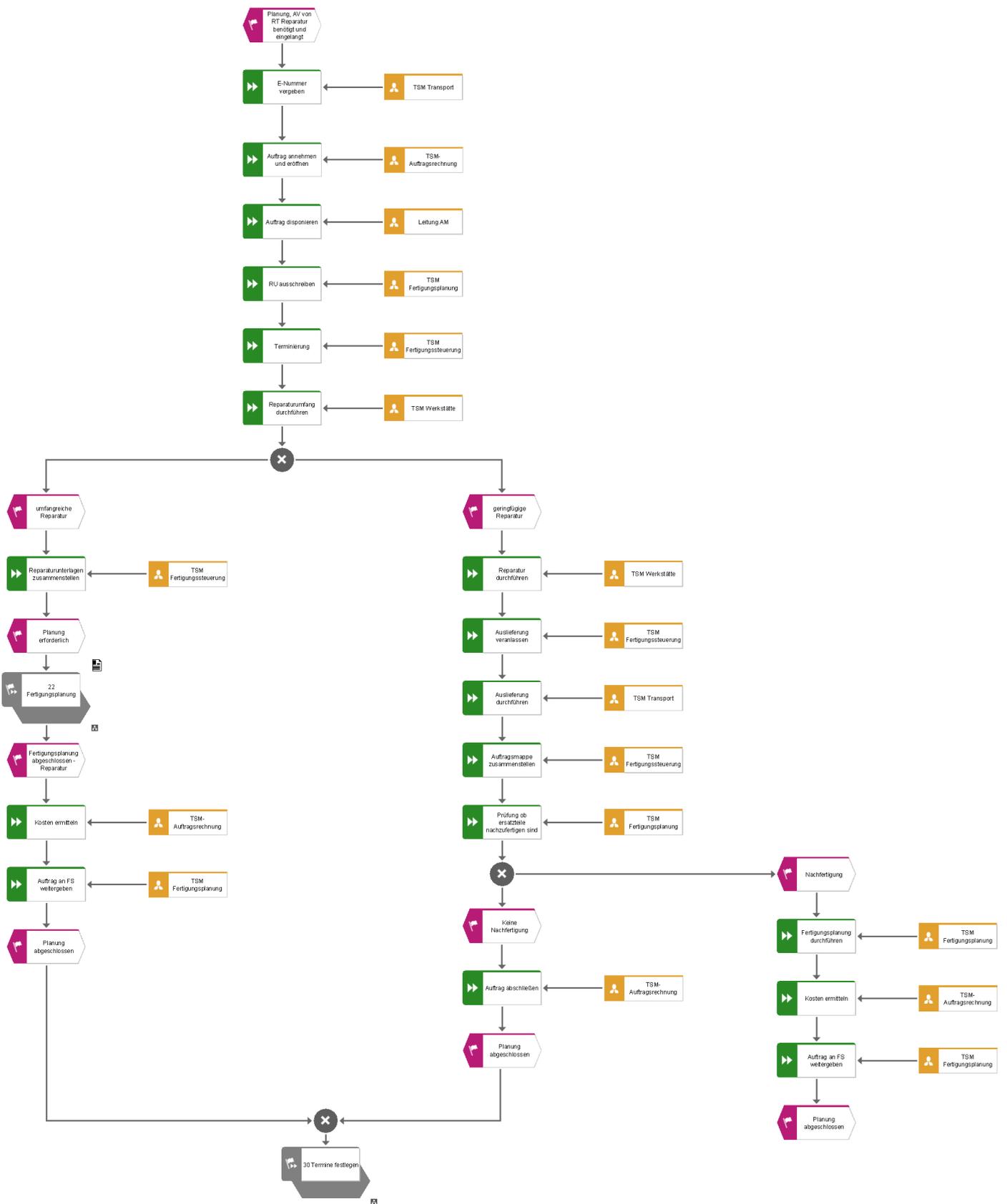


Abbildung 29: Ereignisgesteuerter Prozesskette eines Reparaturteils durch das Auftragsmanagement¹³⁴

¹³⁴ voestalpine AG, Aris-Modell eines Reparaturteils durch das Auftragsmanagement des TSM, 2017

Ein interner Auftrag kann von einem Bedarfsträger, einem Disponenten, einem Anlageverantwortlichen oder einem Verantwortlichen der Lagerwirtschaft im SAP PP System gestellt werden. Dabei wird der Auftrag auch mit einem Wunschliefertermin und einer etwaigen Dringlichkeitssituation versehen, je nachdem ob es sich um ein Reserveteil, einem Nullstand im Lager oder einen Eil- bzw. Störauftrag handelt. Da sich der Großteil der Wunschliefertermine, weder hinsichtlich der Machbarkeit noch in Bezug auf die Dringlichkeitssituation, auf realistische Liefertermine bezieht, wird ihnen in der Regel jedoch keinerlei Beachtung geschenkt. Dadurch erweist sich auch die Einschätzung hinsichtlich der Priorität der Aufträge als schwierig und jene werden in allen Phasen (Planung, Steuerung und Werkstätte) nach eigener Auffassung der Verantwortlichen priorisiert. Die Aufgabe der Auftragsrechner ist es, zu jedem eingelangten Auftrag eine Mappe mit den dafür benötigten technischen Zeichnungen aus der Lichtpauserei anzulegen. Dabei gibt es für Neu- oder Reparaturteile ein unterschiedliches Vorgehen. So wird für die Mappe eines Neuteils ein weißer Beschriftungsstreifen und für die des Reparaturteils ein gelber Beschriftungsstreifen zur Differenzierung verwendet. Falls Planungsvorlagen, die sich für Wiederholarbeiten eignen, existieren, werden diese von den Auftragsrechnern berücksichtigt.

Jeden Montag werden dann die Aufträge von der Leitung des Auftragsmanagements den Mitarbeitern zugeordnet und der Status der in Bearbeitung befindlichen Aufträge im SAP PP System kontrolliert. Eil- und Störaufträge werden aufgrund ihrer Dringlichkeit nicht nur montags, sondern auf täglicher Basis, überwacht. Das Hauptaugenmerk dabei liegt auf der Verweildauer des Auftrags in der Fertigungsplanung. In der Praxis bestehen aber auch noch weitere Möglichkeiten der Auftragsvergabe. Sie geschieht nicht nur durch die Leitung des Managements, sondern kann auch direkt per Email an die Planungsmitarbeiter oder mittels Instandhaltungsmeldung (PM) erfolgen. Werden für einen Auftrag Maschinen benötigt, die in der Fertigung nicht vorhanden sind, oder handelt es sich um sehr lange Bestellzeiten von benötigten Materialien, so kann es zu Fremdvergaben kommen. Die Entscheidung, ob Aufträge selbst- bzw. fremdgefertigt werden sollen, werden jeweils dienstags und donnerstags in einer Besprechung getroffen.

Ist der Auftrag an den zuständigen Planungsmitarbeiter disponiert, hängt der weitere Verlauf der nächsten Schritte davon ab, ob es sich um ein Neuteil oder um ein Reparaturteil handelt. Bei einem Reparaturteil kann der Mitarbeiter, anders als bei einem Neuteil, noch nicht mit der Fertigungsplanung beginnen, sondern muss zuerst den Reparaturumfang des Auftrags ausschreiben. Dieser wird erhoben, indem das Erzeugnis gereinigt, zerlegt und anschließend inspiziert wird. Im weiteren Schritt werden in der Fertigungsplanung, falls noch fehlend, die zum Erzeugnis zugehörigen Stammdaten, Stücklisten und Arbeitspläne erstellt bzw. ergänzt. Dabei werden sowohl die Anlagen und Komponenten als auch die notwendigen Materialien

bestimmt, um das Produkt herzustellen. Für Zukaufteile werden außerdem Preise eingeholt. Ist ein benötigtes Material nicht verfügbar, dann gelangt der Auftrag von der Fertigungsplanung ins Bestellbüro. Zu beachten ist auch, dass der Planer, falls Handarbeitsschritte für die Bearbeitung des Auftrags notwendig sind, diese selbst ermitteln muss. Maschinenschritte werden allerdings nicht vom Planer festgelegt, sondern gelangen für die Bestimmung der Maschinendauer in das Büro der Stückzeitermittlung.

Sobald die Fertigungsplanung abgeschlossen ist, wird aufgrund der Stammstückliste und der benötigten Materialien der Auftrag generiert und ihm seine Begleitkarten mit den technischen Zeichnungen beigelegt. Die folgende Grafik beschreibt den soeben beschriebenen Ablauf in der Fertigungsplanung im Genauen.

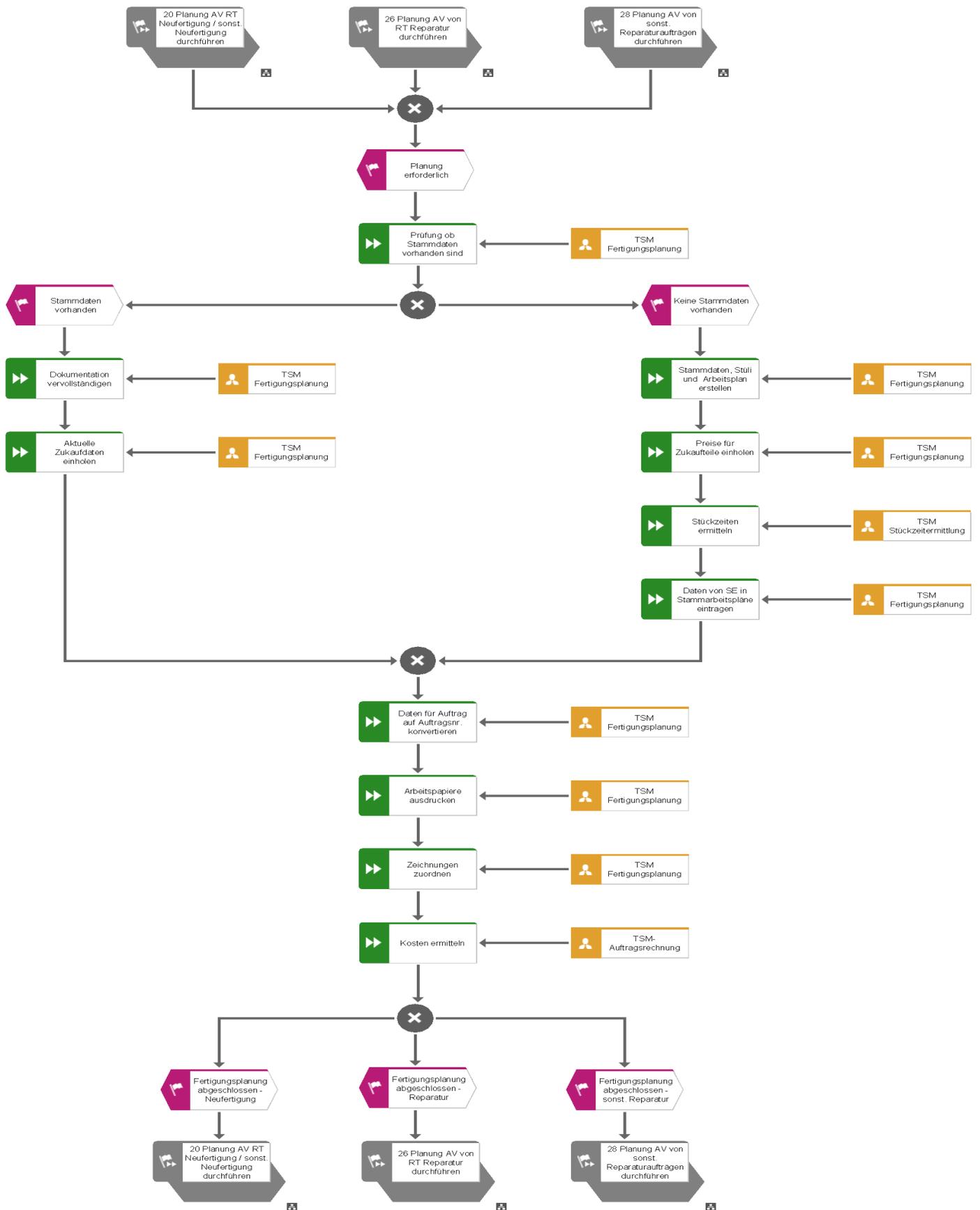


Abbildung 30: Detaillierte ereignisgesteuerte Prozesskette der Fertigungsplanung¹³⁵

¹³⁵ voestalpine AG, Aris-Modell durch die Fertigungsplanung des TSM, 2017

5.2 Fertigungssteuerung

Ist die Planung abgeschlossen, wird der Auftrag an die Fertigungssteuerung weitergegeben. Sofern kein Zukaufmaterial benötigt wird, erfolgt eine Statusänderung von der Fertigungsplanung zur Terminstelle. Andernfalls erfolgt ein Zwischenschritt über das Bestellbüro. Der Weg von der abgeschlossenen Planung zur Terminstelle wird in der untenstehenden Grafik veranschaulicht.

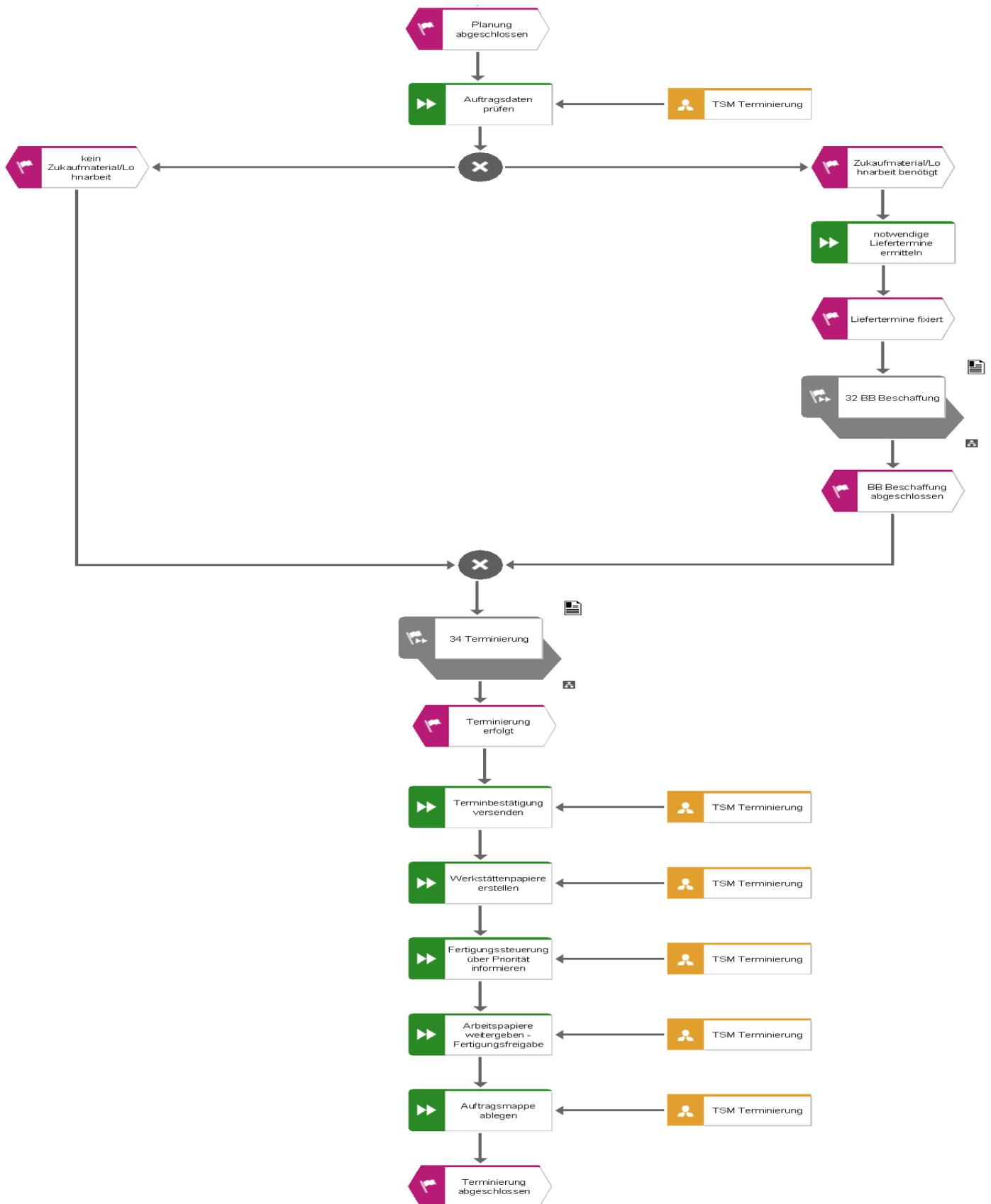


Abbildung 31: Ereignisgesteuerte Prozesskette von abgeschlossener Planung zur Terminstelle¹³⁶

¹³⁶ voestalpine AG, Aris-Modell von abgeschlossener Planung zur Terminstelle des TSM, 2017

Die überwiegende Mehrheit der Aufträge benötigt zumindest mehr als einen Vorgang bzw. Bearbeitungsschritt in der Fertigung. In der Regel bedeutet das, dass die Verwendung mehrerer Werkzeugmaschinen erforderlich ist. Der potentielle Liefertermin wird dabei anhand des längsten Vorgangs bestimmt. Es handelt sich in diesem Fall um eine Rückwärtsterminierung, denn ausgehend von diesem letzten Vorgang werden die Termine der restlichen Vorgänge, folglich auch der Endtermin, bestimmt. Tritt bei Aufträgen hoher Priorisierung ein Starttermin in der Vergangenheit auf, sind Reduzierungsstrategien (z.B.: Überlappung und Splitting), wie sie am Ende des Kapitels 2.6.2 beschrieben sind, anzuwenden. Was die darauffolgende Einsteuerung betrifft, so werden die Vorgänge auf das für die Bearbeitung vorgesehene Betriebsmittel in die unbegrenzte Kapazität eingeplant. Somit landet jeweils der eingesteuerte Arbeitsvorrat in der aktuellen Kalenderwoche. Dies hat eine hohe Überbelegung der tatsächlich angebotenen Kapazität für die aktuelle Woche zur Folge. Daher werden alle nicht erledigten Aufträge Woche für Woche in die darauffolgende Woche verschoben. Wie in der Abbildung 32 ersichtlich, ist die Maschine in der darauffolgenden Kalenderwoche tatsächlich zu 472% ausgelastet.

Die Terminierung der Vorgänge, d.h. die Nennung des Liefertermins, erfolgt aber auch, falls die Eingangstermine der für den Auftrag erforderlichen Bestellteile noch nicht vorhanden sind. Nach dieser Eintaktung des Auftrags wird der voraussichtliche Liefertermin dem Kunden per Post übermittelt, was alle 2 Wochen geschieht. Die Begleitkarten eines Auftrags werden nun in der Fertigungssteuerung für die Werkstätte in Hartpapier ausgedruckt und in einen Behälter des zuständigen Arbeitsplatzes gelegt. So gelangt der Auftrag in die Werkstätte.

VPE(2)/100 Periodenbedarfe pro Ressource

Periodenbedarfe pro Ressource

Enplanen Einplanen Ausplanen Strategie Auftrag

ArbPlatz KapArt ArbPlBezeichnung KapaBezeichnung AnzEinzKap

WM4020 001 Weiler E40/SL2 D 1

Periode	19.2019	20.2019	21.2019	22.2019	23.2019	24.2019	25.2019	26.2019	27.2019
KapAngebot	7,2	18,0	18,0	14,4	18,0	14,4	14,4	18,0	18,0
Eingeplant	34,0 472%	1,5 8%	0,0 0%	0,0 0%	0,0 0%	0,0 0%	0,0 0%	0,0 0%	0,0 0%
KapBedVorrat	121,9 999%	34,5 192%	29,6 165%	10,7 74%	14,4 80%	17,7 123%	0,0 0%	0,0 0%	1,8 10%

Bedarfe

Ges.Bed	BK	lanl.	P SoS	spät.Start	Vorga VorgMng	R Auftrag	BedTermin	Systemstatu	ArbPlatz	Kurztext	Vor...
0,9	184214726	J	A WE	08.05.2019 0020	3,000 1	MS0137282	03.06.2019	EIGP FREI	WM4020	Steckerverschraubun	
1,1	M84202523	J	I	26.02.2019 0020	2,000 1	MS0128511	18.04.2019	EIGP FREI	WM4020	Welle T.3 zu Platte	
1,7	M84203192	J	I	26.02.2019 0030	1,000 1	MS0132183	01.03.2019	EIGP FREI	WM4020	DICHTUNGSGEHÄUSE Ø8	
1,2	M84203417	J	I	26.02.2019 0030	1,000 1	MS0133370	08.03.2019	EIGP FREI	WM4020	Führungsbüchse M70/	
0,7	M84203419	J	I	26.02.2019 0030	2,000 1	MS0133370	08.03.2019	EIGP FREI	WM4020	Dämpfungsventil Teil	
1,1	M84204388	J	I	26.02.2019 0020	1,000 1	MS0135450	15.03.2019	EIGP FREI	WM4020	Führungsbüchse Ski	
1,9	M84208156	J	I	23.04.2019 0020	4,000 1	MS0135457	18.04.2019	EIGP FREI	WM4020	Adapter für Schmier	
10,5	M84208003	J	I	23.04.2019 0030	4,000 1	MS0136401	17.06.2019	EIGP FREI	WM4020	Kupplung - Mono Pum	
1,8	M84206834	J	I	23.04.2019 0020	1,000 1	MS0134301	31.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Dichtungsgehäuse Ø5	
0,9	M84206811	J	I	23.04.2019 0020	3,000 1	MS0136256	24.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Steckerverschraubun	
1,5	M84206796	J	I	23.04.2019 0030	4,000 1	MS0133027	26.04.2019	EIGP FREI	WM4020	Drosselschraube Ø8x	
0,4	M84206637	J	I	23.04.2019 0020	1,000 1	MS0135869	26.04.2019	EIGP FREI	WM4020	Abstandsüchse MEHR	
0,7	M84206472	J	I	23.04.2019 0020	1,000 1	MS0135583	03.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Lochstempel	
0,5	M84206255	J	I	23.04.2019 0030	1,000 1	MS0133157	12.04.2019	EIGP FREI	WM4020	DISTANZRING ø105/90	
1,0	M84206139	J	I	23.04.2019 0020	1,000 1	MS0133357	24.05.2019	EIGP FREI	WM4020	FÜHRUNGSBÜCHSE ø76/	
0,6	M84205651	J	I	23.04.2019 0020	1,000 1	MS0700834	00.00.0000	EIGP FREI	WM4020	Wellenschutzhülse	
1,4	M84205618	J	I	23.04.2019 0020	4,000 1	MS0132688	18.04.2019	EIGP FREI	WM4020	DÄMPFUNGSENTIL (EI	
3,5	M84207419	J	I	08.05.2019 0020	2,000 1	MS0135228	10.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Zylinderrohr Ø50/65	
1,9	M84207420	J	I	08.05.2019 0020	4,000 1	MS0135228	10.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Gewinderring Ø96x24	
0,7	M84207421	J	I	08.05.2019 0020	2,000 1	MS0135228	10.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Nutmutter Ø83x10	
1,5	M84207418	J	I	14.05.2019 0030	2,000 1	MS0135228	10.05.2019	EIGP FREI	WM4020	Schwenkzapfen 38x10	
4,9	184213313	J	DI	29.05.2019 0020	42,000 1	115722514	26.07.2019	FREI	WM4020	Grease Bolt M20 für	
2,5	M84208564	J	I	07.03.2019 0020	2,000 1	MS0700747	00.00.0000	FREI	WM4020	Wellenschutzhülse mi	
1,3	M84208212	J	I	08.03.2019 0030	1,000 1	IM70719807	10.05.2019	FREI	WM4020	Welle-Vogel Kreisel	
1,9	M84208162	J	I	08.03.2019 0030	4,000 1	MS0135449	26.04.2019	FREI	WM4020	Adapter für Schmier	
1,7	M84208161	J	I	08.03.2019 0030	4,000 1	MS0135446	26.04.2019	FREI	WM4020	Adapter für Schmier	
1,3	M84207234	J	I	08.03.2019 0030	1,000 1	MS0736918	10.05.2019	FREI	WM4020	Wellenschutzhülse P	
1,5	M84208267	J	I	13.03.2019 0020	2,000 1	MS0001993	00.00.0000	FREI	WM4020	Schmieradapter ø22x	
2,6	M84208563	J	I	15.03.2019 0020	2,000 1	MS0700747	00.00.0000	FREI	WM4020	Quenchdeckel Umbau	

Abbildung 32: SAP PP Plantafel¹³⁷

In der Fertigungssteuerung wird die oben gezeigte SAP PP Plantafel genutzt, um zur Bearbeitung anstehende Aufträge anzuzeigen. Dabei wird folgendermaßen unterschieden: Die zur Bearbeitung freigegebenen Vorgänge zeigen sich in schwarzer Schrift, hingegen die bereits begonnenen Aufträge, deren Vorgang aber noch nicht an der Reihe ist (als „nicht anliegend“ bezeichnet) in blauer Schrift. Letztere müssen noch andere Arbeitsschritte abwarten, bevor sie schlussendlich zur Bearbeitung freigegeben werden. In der Werkstätte sind an den Arbeitsplätzen Terminals für die Mitarbeiter bereitgestellt. Freigegebene Vorgänge sind dort sichtbar und die Abarbeitungsreihenfolge der Arbeitsschritte kann selbstständig optimiert werden. Bisher wird an einem Arbeitsplatz die Betriebsdatenerfassung (BDE) erprobt.

5.3 Turbulenzanalyse im Auftragsmanagement und in der Fertigungssteuerung

Nachdem der momentane Ist-Zustand im Auftragsmanagement und in der Fertigungssteuerung verdeutlicht wurde, erweist sich die Durchführung einer Turbulenzanalyse als sinnvoll, um weitere Problemfelder zu erkennen und folglich

¹³⁷ voestalpine AG, SAP PP Plantafel, 2019

mehr Klarheit über die konkret zu verbessernden Schritte zu erlangen. Die Turbulenzanalyse verfolgt dabei primär das Ziel, die aus den anfangs geführten Expertengesprächen erfassten Potentiale und Handlungsfelder zu untersuchen: Bestätigen sie sich? Sind weitere, bis dato noch unbekannte Herausforderungen zu erkennen? Diesen Fragen wird im Rahmen der Analyse auf den Grund gegangen. Es sei an dieser Stelle zum besseren Verständnis auf die angewandte theoretische Methodik verwiesen, welche bereits im Kapitel 4.1 nähere Betrachtung fand.

Die der Analyse zugrundeliegenden Turbulenzkeime gelten für die unternehmensspezifische Situation am TSM als besonders geeignet. Sie wurden schließlich im Rahmen dieser Untersuchung anhand eines „paarweisen Vergleichs“ einander gegenübergestellt und auf die Frage geprüft, welcher Keim mehr, weniger oder gleich verantwortlich für die Verursachung von Turbulenz am TSM ist. Anhand der erreichten Punktzahl jedes Turbulenzkeims, wird der prozentuale Anteil in eine Skala von 1 (wenig wichtig) bis 10 (sehr wichtig) umgewandelt. „Wenig wichtig“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der abgefragte Aspekt keinen bzw. nur geringen Anteil an der wahrgenommenen Turbulenz im Unternehmen hat. Hingegen dazu kommt Turbulenzkeimen mit dem Attribut „sehr wichtig“ eine hohe Bedeutung diesbezüglich zu. Es werden schließlich für die Untersuchung im Bereich des *Auftragsmanagements* folgende fünf Punkte als Turbulenzkeime festgelegt:

- heterogener Produktmix
 - weist auf die Rolle der verschiedenartigen Inhalte der Aufträge hin
- unterschiedliche Priorität der Aufträge
 - weist auf die differenziert zu behandelnden Aufträge hin, je nachdem ob es sich um Lageraufträge, Schnellplanungen unvorhergesehene Bearbeitungen, Störaufträge, usw. handelt
- schwankende Materialbeschaffungszeit
 - weist auf die Bedeutung von ungleichmäßiger Beschaffungszeit hin, z.B. von Schmiedematerial
- konjunkturelle Schwankung des Auftragsvolumens
 - weist auf den Einfluss der Konjunktur hin
- kurze Technologiezyklen
 - weisen auf die Veränderungen der Aufträge mit der Zeit hin

Auf Seite der *Fertigungssteuerung* werden folgende, in der Aufzählung gelisteten Turbulenzkeime definiert:

- Auftragsterminänderungen
 - weisen auf den Einfluss von Aufträgen hin, deren Priorität sich ändern kann (z.B. von niedrig priorisiertem Lagerauftrag zu Eilauftrag)

- ungeplante Eil- und Störaufträge
 - weisen auf die Rolle der Aufträge, die schnellstmöglich zur Bearbeitung freigegeben werden sollen hin
- technische Produktänderungen
 - weisen auf ungeplante Änderungswünsche der Aufträge hin
- Maschinen- und Personalausfall
 - weist auf die Auswirkungen von Maschinen- und Personalausfall hin
- Abweichungen in der Materialqualität
 - weisen auf die Folgen bei Anlieferung von Material mit abweichender Materialqualität hin

Diese Turbulenzkeime wurden in Folge mit Experten besprochen und anhand des oben präsentierten Punktesystems bewertet. Die Ergebnisse dieser Turbulenzanalyse, sowie ihre konkrete Interpretation, befindet sich schließlich im Kapitel 9.1. *Auswertung / Resultate*.

6 Daten

Damit der Schritt zu einer vorausschauenden Planung auch tatsächlich möglich gemacht werden kann, bedarf es einer Prognose der Durchlaufzeit der bevorstehenden Aufträge bei Auftragseingang. Um diese Prognose stellen zu können sind insbesondere Daten aus bereits abgeschlossenen vergangenen Aufträgen unabdingbar. Außerdem sind Kenntnisse über den Aufbau und Ablauf der Aufträge am TSM wichtig, wie sie in Kapitel 5 nachgelesen werden können. Als Untersuchungsgrundlage dieser Arbeit konnten dem SAP PP System schließlich folgende auftragspezifische Daten aus der Vergangenheit für die Vorhersage entnommen werden:

- Auftragsnummer mit Auftragsbezeichnung und Abschlussdatum des Auftrags
- Auftragsnummer mit zugehöriger Hauptbegleitkarte des Auftragsnetzes
- Abhängigkeiten der Begleitkarten zueinander und Beschreibung der Begleitkarten
- Abzuwickelnde Vorgänge jeder Begleitkarte inklusive aller Parameter der Arbeitsgangzeit (siehe Kapitel 2.6.1), sowie den dazu benötigten Arbeitsplatz

Konkret wurden die Daten von 18.521 Auftragsnummern herangezogen, d.h. von allen abgeschlossenen Aufträgen im Zeitraum von 01.04.2017 bis 30.09.2018, und auf ihre Einsatzfähigkeit und Tauglichkeit zur Prognose für zukünftige Aufträge analysiert. Dabei ist ein wichtiges Merkmal für folgende Analysen ganz besonders auffallend: Die insgesamt gelisteten 18.521 Auftragsnummern sind nicht mit 18.521 unterscheidbaren Aufträgen gleichzusetzen, sondern beinhalten Mehrfachaufzählungen. Das bedeutet, dass in diesen Fällen ein Auftrag mehrere Hauptbegleitkarten zählt und dementsprechend mehrfach durch die gleiche Auftragsnummer im System berücksichtigt wird. Jede neu eingeführte Hauptbegleitkarte erhält nämlich eine zusätzliche Auftragsnummer (siehe Abbildung 33).

Tatsächlich gibt es 18.521 verschiedene Hauptbegleitkarten, welche sich aber auf nur 10.537 unterscheidbare Aufträge beziehen. Die restlichen 7.984 Auftragsnummern stellen Hauptbegleitkarten dar, die diesen Aufträgen zugeordnet sind. Folglich gilt, dass ein Auftrag nicht zwingend nur einmalig gelistet ist, sondern durch mehrere gleiche Auftragsnummern aufscheint. Das kommt unter anderem daher, dass es sogenannte Daueraufträge gibt, auf denen mehrmals gebucht werden kann. Es findet keine Unterscheidung zwischen Kundennummer und Auftragsnummer statt.

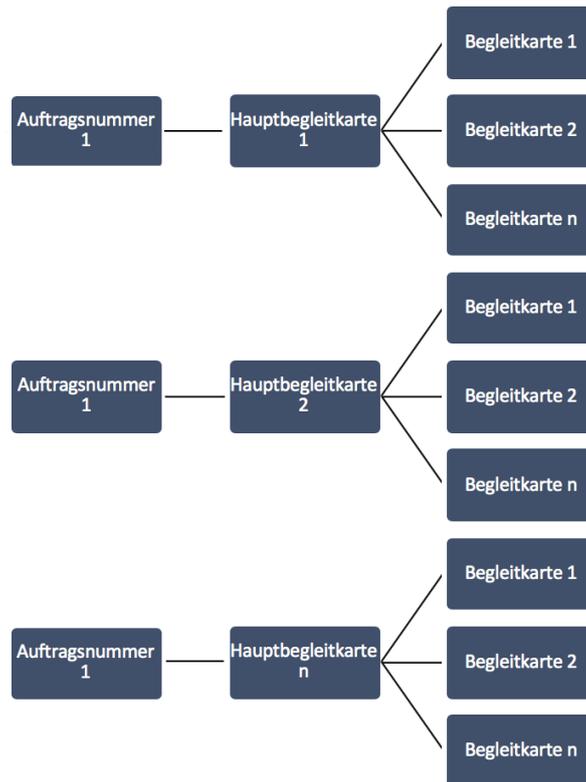


Abbildung 33: Struktur des Auftragsnetzes

Hinsichtlich der Verteilung der gesamt vorliegenden 38.202 Begleitkarten (Haupt- und Nebenbegleitkarten) für diesen Zeitraum wird folgendes deutlich: Ca. 75% der Auftragsnummern (13.737) setzen sich aus dem Minimum von nur einer Begleitkarte zusammen. Hingegen teilen sich lediglich 25% der Auftragsnummern (4.784) auf den weitaus größeren Anteil an Begleitkarten, nämlich 25.317, auf. Das bedeutet, dass rund ein Viertel der Auftragsnummern satte 65% aller Begleitkarten beinhaltet. In der untenstehenden Grafik wird diese Verteilung nun bildlich veranschaulicht:

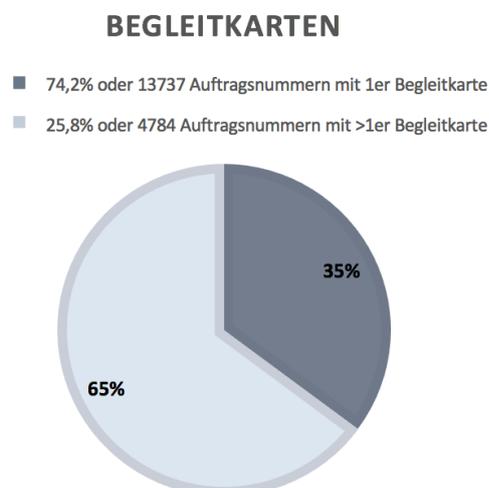


Abbildung 34: Verteilung der Begleitkarten nach alleiniger oder gesammelter Zuordnung zu Auftragsnummern

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass im Analysezeitraum von 01.04.2017 bis 30.09.2018, 10.537 Aufträge mit insgesamt 38.202 Begleitkarten, welche wiederum 108.138 Vorgänge beinhalten, untersucht wurden.

In der folgenden Abbildung ist eine Begleitkarte des TSM beispielhaft dargestellt. Anhand von ihr können die für die erforderlichen Vorgänge benötigten Maschinen, Rüst- und Bearbeitungszeiten sowie weitere der Begleitkarte zugeordneten Daten abgelesen werden.

BEGLEITKARTE		AUFTRAG		FTG-Menge		STARTTERMIN		Seite 1 von 1		
184215191		150138194		2,0 ST		08.05.2019		D		
SATZ-ZAHNSEGMENT ME 14 (1SATZ=2STK.)										
Zg.Nr.: ZDM1174426D				0150138194						
IdentNr.: 1084209 / MATNR.: 30073886										
geht nach --> Anlage:				PL/KALK: ZE/LY Auftragsnetz:						
POS	MAT-INR	BEZEICHNUNG		MENGE/EINH		GES-MENGE		KONTR		
PT	ZG.NR	ABM	LAGER							
	BEGLEITKARTE <td colspan="2">FÜR AGNR <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="3"></td> </td>	FÜR AGNR <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="3"></td>								
0010	23758	RUNDSTANGE 70,0 CUZN40PB2 ZIEHHART								
	L	Lg.55		2,500 KG		5,000 KG				
		0010								
AGNR	KAP.	ZA	LG	LA	TR	TE	TA	LAGER	GUT	KON
		ABG-BEZEICHNUNG			(MIN)	(MIN)	(STD)	PLATZ	STK	TR
0010	WM9906			IH0030	0,0	0,0	0,00			
		ABFA								
										
0020	WM4020		NZ	IH0030	18,0	18,0	0,90			
		DRE KPL/ABSTE								
		AØ64H6 ENTG. ZG AUF Ø65H6								
		IØ 44H11								
		LG 45								
0030	WM5143		NZ	IH0030	30,0	102,0	3,90			
		MECH ARB KPL								
		STOßEN INNENVERZÄHNUNG								
		BO + SHN GEW.M8								
		TRENNFÄ								
		AUFPASSEN AUF FÖRDERROHR								
		LAGERPLATZ:MA.4141 WST								
0040	WM9405		RZ	IH0030	0,0	12,0	0,40			
		AUSFERTIGEN/KONS								
		BESHR MIT IDENTNUMMER UND ZEICHNUNGSNUMMER								
0050	WM9901			IH0030	0,0	0,0	0,00			
		AUSL AN RTL-05								
		ANLAGENSTRUKTURNUMMER:								

Stückgewicht (vom Fertigteil): ca. 0,4 KG

Abbildung 35: beispielhafte Begleitkarte am TSM¹³⁸

¹³⁸ voestalpine AG, Begleitkarte am TSM, 2019

Im SAP PP System wird neben den oben beschriebenen Daten zum Auftragsnetz, welche Auskunft über die erforderliche Bearbeitung in der Werkstätte geben, auch die Lieferdurchlaufzeit mit all ihren Stationen durch das TSM protokolliert. Dabei wird nicht zwischen dem wertschöpfenden und dem nichtwertschöpfenden Zeitanteil, den ein Auftrag in der jeweiligen Station verbringt, unterschieden, sondern die gesamte Dauer in der jeweiligen Station hinterlegt. Am TSM umfasst der Fluss eines Auftrags hauptsächlich elf Komponenten, die mit den folgenden Kürzeln bezeichnet werden:

AR	Auftragsrechnung
FP	Fertigungsplanung
RU	Reparaturumfang
TS	Terminstelle
BB	Bestellbüro
SE	Stückzeitermittlung
SP	Schnellplanung
FL	Fallweise Lieferung
KL	Klärung bei Reparaturen
SI	Sistierung des Auftrags
99	Auslieferung/Abschluss

Tabelle 2: Durchlaufstationen eines Auftrags und deren Beschreibungen

Die Stationen Auftragsrechnung, Fertigungsplanung, Reparaturumfang, Terminstelle, Bestellbüro, Stückzeitermittlung, Schnellplanung und deren genauerer Ablauf sind den ereignisgesteuerten Prozessketten (Abbildung 28 – 31) in Kapitel 5 als auch den zugehörigen Beschreibungen des Kapitels zu entnehmen. Das Kürzel FL (fallweise Lieferung) kommt dann zum Einsatz, wenn es sich bei dem Auftrag um einen Dauerauftrag handelt und dieser über lange Zeit im System geführt wird. Er bleibt selbst dann im System, wenn gerade keine Bearbeitungen anstehen. Der Status wird vor allem dann angewandt, wenn bekannt ist, dass Kunden dasselbe Los nochmals anfordern werden. Da bis dato nicht zwischen Kundennummer und Auftragsnummer unterschieden wird und daher mehrmals auf eine Auftragsnummer gebucht werden kann, somit bedarf es derzeit dem Kürzel FL. Ist bei einem Auftrag noch nicht beschlossen, ob dieser repariert werden soll bzw. herrschen andere Gründe vor, die die übliche weitere Vorgangsweise behindern, so kann der Status des Auftrags bis zur Klärung auf KL geschaltet werden.

Insgesamt finden sich in dem betrachteten Zeitraum 89 verschiedene Statusverläufe, die sich aus den oben beschriebenen Stationen zusammensetzen. Dabei muss aber festgehalten werden, dass die zehn häufigsten Verläufe die überwiegende Mehrheit aller Statusänderungen ausmachen, nämlich 85,4%. Demzufolge ist es auch am wichtigsten, sich bei der Prognose genau auf diese zu konzentrieren. Folgend werden die zehn häufigsten Statusverläufe der Reihe nach beschrieben, ausgehend vom häufigsten:

1. *99->* bezeichnet den Abschluss eines Auftrags
2. *TS->99* bezeichnet den Prozess von der Terminstelle über die Bearbeitung in der Werkstätte bis hin zum Abschluss des Auftrags
3. *AR->99* bezeichnet die Abrechnung des Auftrags vor seinem Abschluss
4. *FP->AR* bezeichnet die Ausplanung des Auftrags in der Fertigungsplanung bis zur Übergabe an die Auftragsrechnung zur Ermittlung der Kosten
5. *AR->TS* bezeichnet die Ermittlung der Kosten des Auftrags bis zur Übergabe an die Fertigungssteuerung (genauer zur Terminstelle)
6. *FP->RU* bezeichnet die Erstellung der Auftragsmappe und Ausschreibung des Reparaturumfangs in der Fertigungsplanung bis zur Übergabe an die Fertigungssteuerung, welche dann die Erhebung des Reparaturumfangs in der Werkstätte veranlasst
7. *FP->TS* bezeichnet die Ausplanung des Auftrags und dessen Übergabe an die Fertigungssteuerung (genauer zur Terminstelle)
8. *RU->FP* bezeichnet nach der Feststellung des Reparaturumfangs in der Werkstätte, die Übergabe des Auftrags an die Fertigungsplanung zur Planung seiner Arbeitsschritte; dies geschieht nur bei umfangreichen Reparaturen, denn bei geringfügigen Reparaturen kann diese prompt durchgeführt und der Auftrag danach abgeschlossen werden (siehe Abbildung 29)
9. *TS->AR* bezeichnet die Übergabe des Auftrags von der Terminstelle und Bearbeitung in der Werkstätte an die Auftragsrechnung für seine Abrechnung
10. *SP->AR* bezeichnet den Übergang bei Schnellplanungen zur Auftragsrechnung für den Abschluss des Auftrags

Das untenstehende Balkendiagramm zeigt die Anzahl der erfolgten Statusänderungen. Daraus wird unschwer die herausragende Bedeutung der zehn häufigsten Statusänderungen sichtbar.

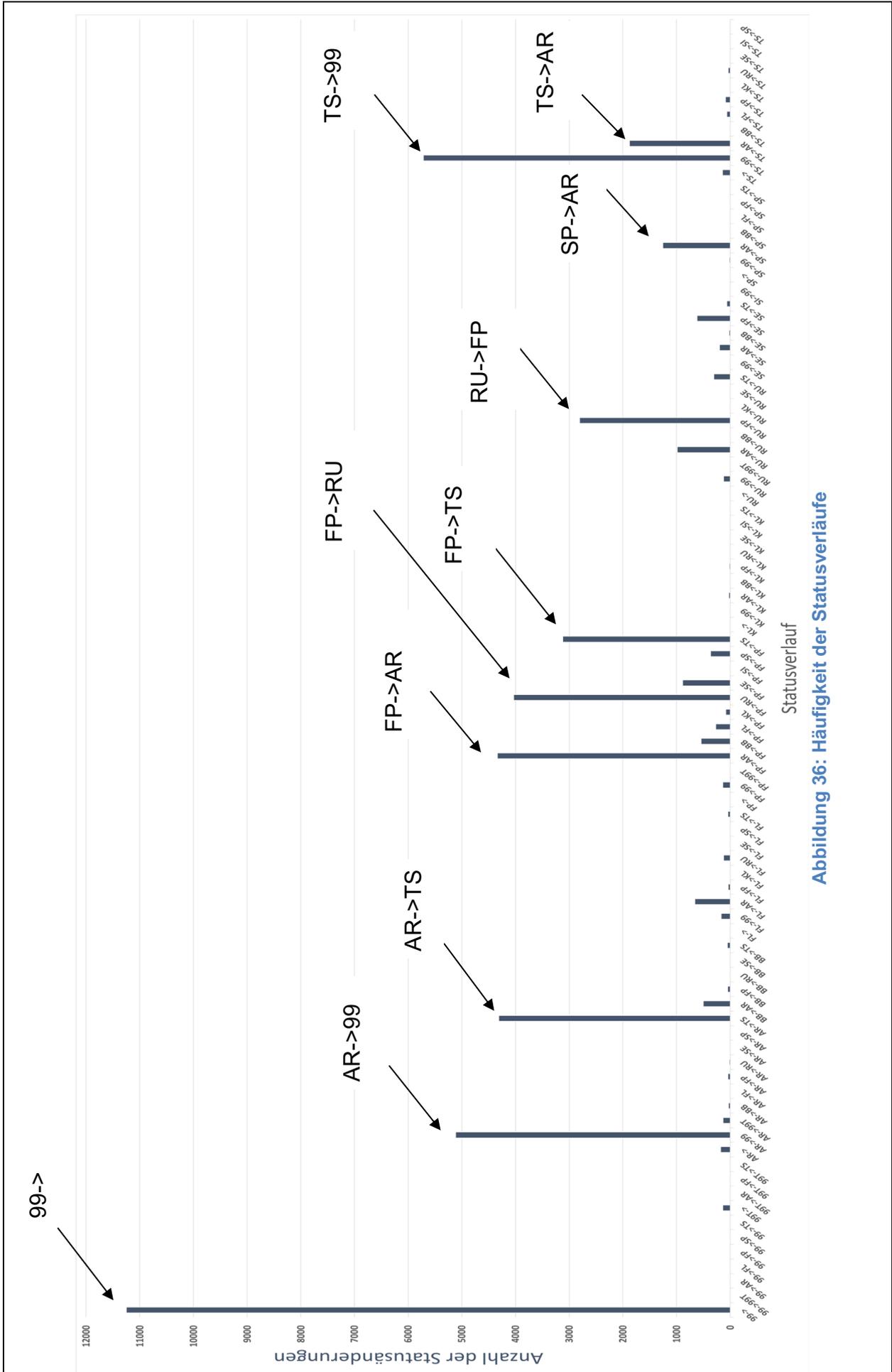


Abbildung 36: Häufigkeit der Statusverläufe

Anhand aller untersuchten Aufträge mit eindeutiger Auftragsnummer ($n=10.537$) konnte außerdem festgestellt werden, dass ein Auftrag am TSM im Schnitt eine Lieferdurchlaufzeit von 200 Tagen aufweist. Werden aus der Analyse jedoch sogenannte Langläufer ausgenommen, welche eine Lieferdurchlaufzeit von über 1000 Tagen aufweisen ($n=10.475$), so summiert sich die neue Lieferdurchlaufzeit auf 185 Tage. Eine dritte Betrachtung, bei welcher alle Aufträge mit Status „fallweise Lieferung“ ausgenommen wurden ($n=10.039$), führt zu einem ähnlichen Ergebnis, nämlich einer Durchlaufzeit von 184 Tagen. Die Aufträge mit „fallweiser Lieferung“ wurden deshalb exkludiert, da sie in der Regel ebenso Langläufer darstellen.

Um ein konkreteres Verständnis der Materie zu schaffen, werden im Folgenden zwei charakteristische Beispielaufträge des TSM angeführt.

Beispiel Auftrag: 50122345

Auftragsbeschreibung: HYDR-ZYLINDER 63/45/400 22S4N2 MP5 DR3H

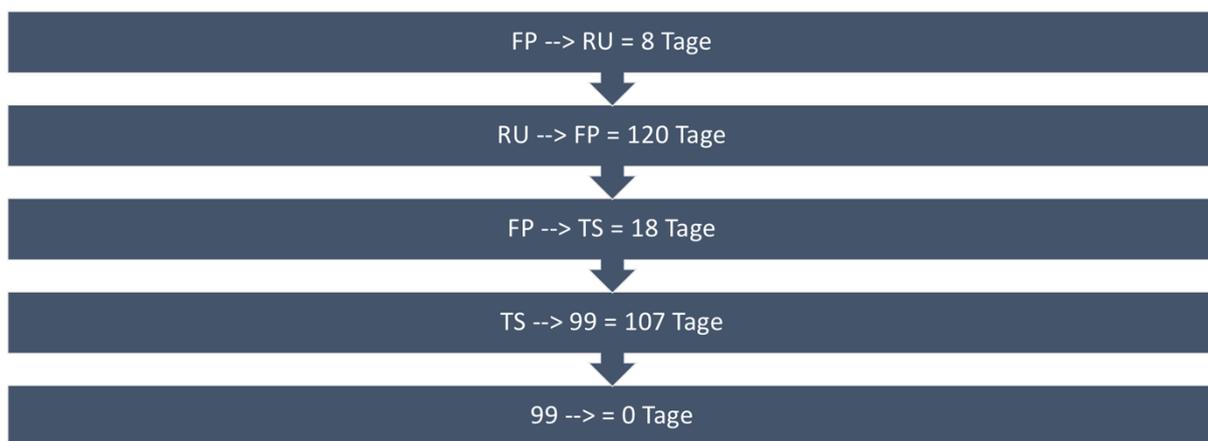


Abbildung 37: Beispielauftrag 1

Bei Beispielauftrag 1, der Reparatur eines hydraulischen Zylinders, zeigt sich eine Lieferdurchlaufzeit von 253 Tagen, wobei sich in diesem Fall die längsten Durchlaufposten der Phase der Fertigungssteuerung zuordnen lassen. In dieser erfolgt nämlich die Bestimmung des Reparaturumfangs (120 Tage) und die Bearbeitung in der Werkstätte (107 Tage). Was die Frage nach der ersten Lieferinformation betrifft, so wird jene bei diesem Auftrag erst 146 Tage nach Auftragseingang an den Kunden gesendet. Diese Zahl errechnet sich aus den ersten drei oben dargestellten Durchlaufphasen. Denn dann ist die Ausplanung des Auftrags abgeschlossen und daher bereit für die Einsteuerung in der Terminstelle.

Der Hauptanteil der Durchlaufzeit ist allerdings nicht ausschließlich der Fertigungssteuerung zuordenbar, denn wie das folgende Beispiel zeigt, kann die Lieferzeit auch in der Phase der Planung durchaus eine wichtige Rolle spielen. Generell sind die Durchlaufzeiten aus Auftragsmanagement und

Fertigungssteuerung im Verhältnis von 40% zu 60% zumindest annähernd gleichmäßig verteilt.

Beispiel Auftrag: 50124441

Auftragsbeschreibung: BREMSZYLINDER 6 KN 11255-550

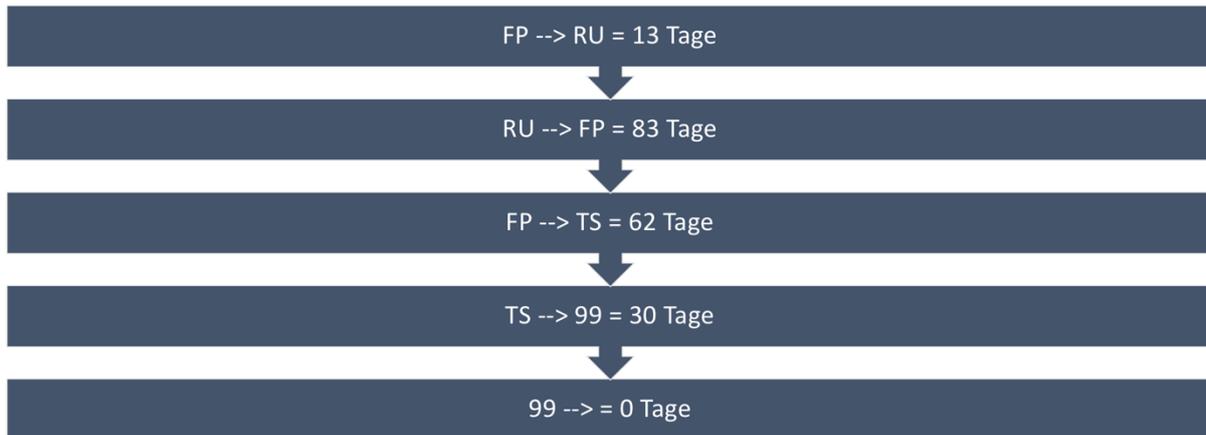


Abbildung 38: Beispielauftrag 2

Bei Beispielauftrag 2, einer Reparatur eines Bremszylinders, beträgt die Lieferdurchlaufzeit 188 Tage. Er erweist sich als repräsentatives Beispiel, da die Lieferdurchlaufzeit und die Aufteilung der Verweildauer auf Auftragsmanagement und Fertigungssteuerung dem Mittelwert entsprechen. Insgesamt lässt sich für diesen Auftrag anmerken, dass die langen Lieferdurchlaufzeiten nur durch Warte- und Liegezeiten innerhalb der Bereiche erklärbar sind. Auch hier dauert es für den Kunden 158 Tage bis er Informationen bezüglich seiner in Auftrag gegebenen Reparatur erhält.

In den anschließenden Kapiteln werden die vom Mechanisch Technischen Zentrum zur Verfügung gestellten Daten verwendet, um die reine Planzeit und reine Bearbeitungszeit herauszufinden. Mit diesem Vorgehen verfolgt man das Ziel, einerseits den Anteil der wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu identifizieren und andererseits dadurch die Kapazitätsbelastung der einzelnen Aufträge pro Station herauszufinden. Die gewonnen Erkenntnisse lassen sich dann für die Prognose der Lieferdurchlaufzeiten und für die Planung in die begrenzte Kapazität einsetzen.

7 Prognose der reinen Planzeit

Durch die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Daten, für den Zweck dieser Arbeit vom TSM zur Verfügung gestellt, ist es möglich die Verweilzeit eines jeden Auftrags in der Fertigungsplanung festzustellen. Dabei handelt es sich jedoch nicht um die tatsächlich benötigte Bearbeitungszeit. Stattdessen umfasst die ausgewiesene Dauer den gesamten Prozess, angefangen von der Zuteilung bis hin zur Weitergabe des Auftrags an die nächste Stelle. Aus diesem Grund sind auch Liege- und Wartezeiten inbegriffen. Um dem Ziel einer vorrauschauenden Kapazitätsplanung einen Schritt näher zu kommen, ist es jedoch unabdingbar, eine Prognose der reinen Bearbeitungszeit für die Ausplanung der Aufträge zu erstellen. In diesem Kapitel wird speziell einer Methode nähere Betrachtung geschenkt, die versucht dies mit der gegebenen Datenlage bestmöglich zu erreichen. In der folgenden Grafik sind alle Statusverläufe in Bezug auf die Fertigungsplanung hinsichtlich ihrer Häufigkeit, mittleren und summierten Dauer angeführt.

Statuswechsel	Anzahl	Summe Dauer	Mittelwert Dauer	Relevanz
FP->99	38	4239	111,5526316	
FP->AR	4046	100414	24,81809194	+
FP->BB	540	13127	24,30925926	+
FP->FL	181	2309	0	
FP->KL	61	3588	58,81967213	
FP->RU	3931	79810	20,30272195	
FP->SE	867	21367	24,64475202	+
FP->SI	0	0	0	
FP->SP	339	144	0,424778761	
FP->TS	2997	61569	20,54354354	+
Gesamtergebnis	13000	286567	22,04361538	

Tabelle 3: Statusverläufe in der Fertigungsplanung und deren statistische Kennwerte

Bevor es zur Ausplanung der notwendigen Arbeitsschritte eines Auftrags kommt, wird, wie in Kapitel 5.1 beschrieben und in den Abbildungen 28 und 29 eingezeichnet, der Auftrag im SAP PP System eingetragen und eine Auftragsmappe angelegt. Je nachdem, ob es sich dabei um ein Neuteil oder Reparaturteil handelt, ist dieser Prozess schon im Status FP->XX enthalten (Neuteil) oder wird in dem Status FP->RU (Reparaturteil) mit der Ausschreibung des Reparaturteils gesondert festgehalten. Liegt also die Abarbeitung eines Reparaturauftrags vor, so kann die reine Dauer für die Erstellung der Auftragsmappe und die darauffolgende Ausschreibung des Reparaturumfangs im Status FP->RU heuristisch mit einer Intuitivschätzung, wie sie in Kapitel 2.5.3 beschrieben ist, erhoben werden. Denn unabhängig von den relevanten Auftragsgrößen (Priorität, Anzahl der durchzuführenden Vorgänge, etc.), bedarf es im Normalfall dieselbe Zeitspanne für diesen Prozess. Bei der Durchführung einer Intuitivschätzung einigte man sich auf

einen konstanten Wert von drei Tagen. Dieser Prozess wird nachfolgend in einer vereinfachten Wertstromanalyse dargestellt.

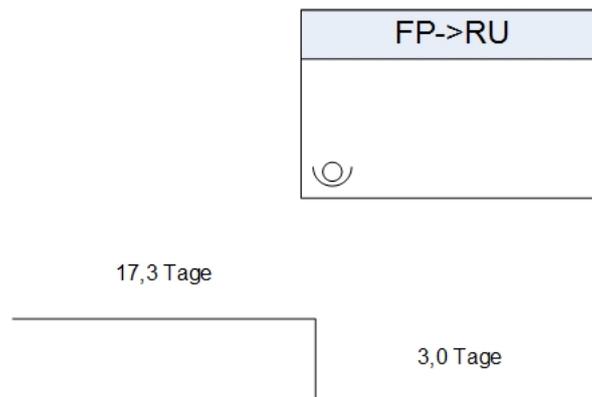


Abbildung 39: Wertstromdarstellung FP->RU

Unter Anbetracht dessen, dass nicht alle Statusverläufe (siehe Tabelle 3) relevant für die Vorhersage eines ersten Liefertermins bei Auftragseingang sind, beschränkt sich die Prognose in der Fertigungsplanung auf jene Statusverläufe, welche sich direkt mit der Ausplanung des Auftrags befassen. Sie sind in der Spalte „Relevanz“ mit einem „+“ gekennzeichnet und können in den ereignisgesteuerten Prozessketten in Kapitel 5 nachgelesen werden. Zwei der thematisierten Statusverläufe, nämlich FP->AR und FP->TS zählen dabei zu den zehn häufigsten Statusänderungen (siehe Abbildung 36). Aber auch FP->SE und FP->BB beschreiben die Ausplanung des Auftrags.

Für die hier angestellte Prognose galt ein selbsterstelltes, nachfolgend beschriebenes Konzept als Grundlage. Zum besseren Verständnis erfolgt die Erklärung anhand eines fiktiven Beispiels.

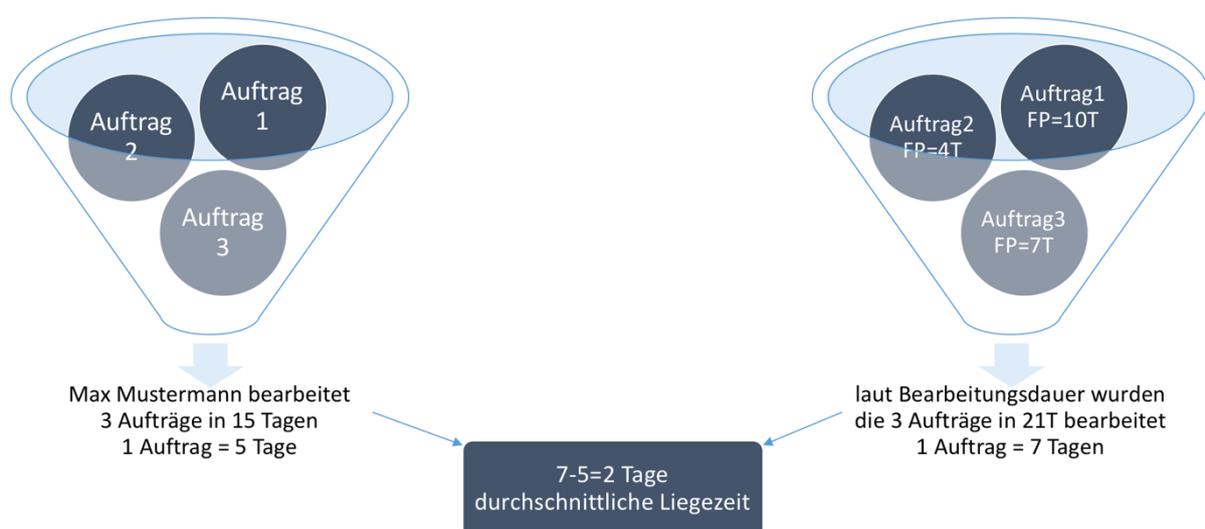


Abbildung 40: Konzept zur Vorhersage der reinen Planzeit

Der Abbildung kann entnommen werden, dass es sich hier um die Bearbeitung von drei Aufträgen in der Fertigungsplanung handelt. Diese selben drei Aufträge werden dabei gegenübergestellt betrachtet. Auf der einen Seite werden im linken Trichter die Aufträge, die der Planer Max Mustermann in den letzten 15 Tagen abgeschlossen hat, aufgelistet. Unabhängig von der spezifischen Auftragsbelastung nimmt ein Auftrag demzufolge für die Ausplanung im Durchschnitt fünf Tage in Anspruch. Auf der anderen Seite, im rechten Trichter, werden dieselben Aufträge, wie sie mitsamt ihren Daten im System (FP->XX) hinterlegt sind, angeführt. Insgesamt ergibt sich dabei eine Bearbeitungszeit von 21 Tagen, welche sich in durchschnittlicher Betrachtung von einem Auftrag auf sieben Tage beläuft. Linker und rechter Trichter zeigen nun berechtigterweise zwei unterschiedliche Zahlenwerte auf. Logischerweise muss die summierte, rechts ausgewiesene Zeit der Aufträge höher sein als die links dargestellten, tatsächlich benötigten 15 Tage, da etwaige Liegezeiten die Dauer beeinflussen.

Im angeführten fiktiven Beispiel beträgt die Differenz der beiden Bearbeitungszeiten zwei Tage. Diese kann schließlich als konstante durchschnittliche Liegedauer angesehen werden und in weiterer Folge von den Daten im SAP PP System abgezogen werden. Der große Vorteil dieses Konzepts ist es, dass durch diesen Abzug der konstanten Liegedauer die auftragspezifische Belastung nicht verloren geht. So erhält man für Auftrag 1 eine 8-tägige, für Auftrag 2 eine 2-tägige und für Auftrag 3 eine 5-tägige reine Bearbeitungszeit, was im Endergebnis wieder dem betrachteten Zeitraum von 15 Tagen entspricht.

Nachdem das Konzept zur Vorhersage der reinen Planzeit anhand eines fiktiven Beispiels näher erklärt wurde, soll es nun im Sinne dieser Diplomarbeit umgesetzt werden und auf den vorhandenen Daten, betreffend der in den letzten 18 Monaten abgeschlossenen Aufträge, Anwendung finden. Als Grundlage dafür, bedarf es einerseits gewisser Adaptionen, andererseits müssen zuerst folgende relevante Ausgangsgrößen der Datenlage ermittelt werden. Dazu gehören:

- Summe der hinterlegten Planzeit (in Tagen) aus SAP PP System
- Summe der abgeschlossenen Aufträge
- Zeitraum der untersuchten Daten (in Tagen)

Für den Fall des TSM der voestalpine Linz GmbH kann aufgrund der vorhandenen Daten festgestellt werden, dass insgesamt 10.536 Aufträge im Zeitraum von 01.04.2017 bis 30.09.2018 von 44 Planern, die mindestens einen Auftrag abgearbeitet haben und demnach im System vermerkt sind, ausgeplant wurden. So kann die summierte Planzeit von 276.287 Tagen aus dem SAP PP System, welche sämtliche Warte- und Liegezeiten miteinschließt, der maximal möglichen Planzeit von 24.024 Tage (max. 44 Planer * 546 Kalendertage im betrachteten Zeitraum) gegenübergestellt werden. Da die Summe der hinterlegten Planzeit aus dem SAP PP

System in Kalendertagen ausgewiesen ist, wird der Zeitraum der untersuchten Daten ebenso in Kalendertagen angegeben. Hier die Ausgangsgrößen im Überblick:

Summe der hinterlegten Planzeit (in Tagen) aus SAP PP System	Summe der abgeschlossenen Aufträge	Zeitraum der untersuchten Daten (in Tagen)
276.287	10.536	24.024

Tabelle 4: Ausgangsgrößen bei Verwendung aller Aufträge

Wenn man alle Aufträge auf jene Planzeiten hin untersucht, welche auffallend große Werte darstellen und somit erheblich zur sehr hohen Gesamtdauer von 276.287 Tagen beitragen, so stößt man auf eine anteilmäßig geringe Zahl dieser Aufträge. Um diese Tatsache greifbarer zu machen, liefert ein Boxplot Diagramm der hinterlegten Planzeiten pro Auftrag die notwendige Veranschaulichung:

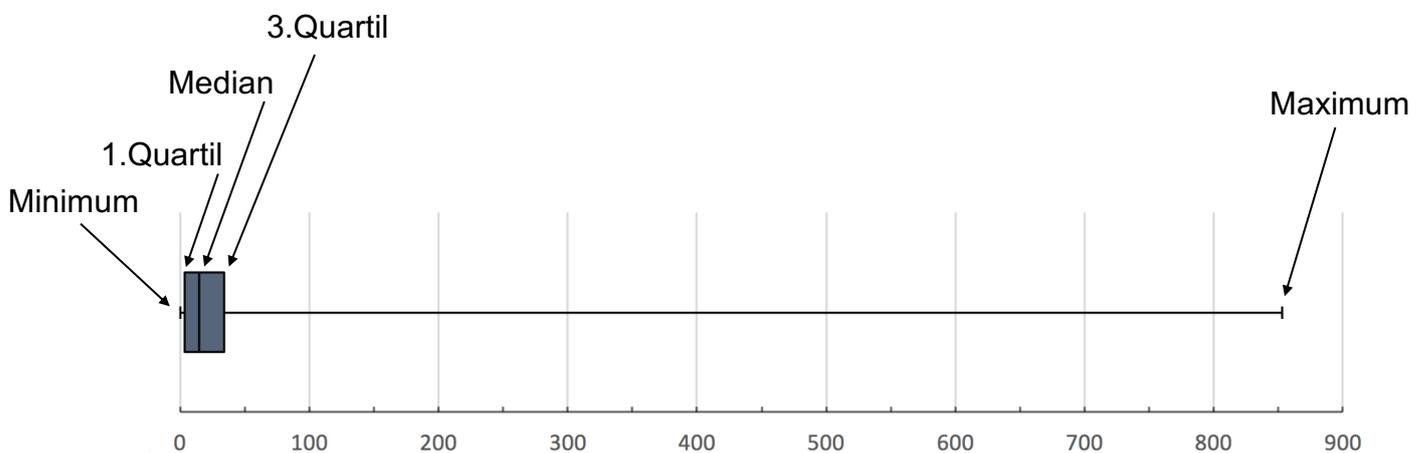


Abbildung 41: Boxplot Planzeit (unbereinigt)

Aus dem Boxplot ist durch die Abstände der schwarzen Linien zu entnehmen, dass das Minimum der Planzeit für einen Auftrag bei null Tagen, das 1. Quartil der Aufträge bei drei Tagen, der Median bei elf Tagen, das 3. Quartil bei 20 Tagen und das Maximum der Planzeit bei 853 Tagen liegt. Eine Planzeit von null Tagen bedeutet in diesem Fall nicht, dass kein Arbeitsaufwand zur Ausplanung notwendig war, sondern lediglich, dass dieser nicht die Dauer eines Tages überschritten hat. Wie unschwer zu erkennen ist, klafft insbesondere eine große Lücke zwischen dem 3. Quartil und dem Maximum der Plandauer pro Auftrag. Das beweist eine sehr große Streuung der Daten vom oberen Quartil bis zum Maximalwert. Damit diese Langläufer in der Planung nicht die Berechnungen einer konstanten Liegezeit verzerren, ist es eine mögliche Lösung, bei den Kalkulationen alle Aufträge mit einer Planzeit von größer als 45,5 Tagen zu exkludieren. Denn 45,5 Tage entsprechen dem 1,5fachen Interquartilsabstand (IQA) und alle Werte, die über dieser Schwelle liegen, werden in der Literatur als Ausreißer bezeichnet und daher nicht

berücksichtigt.¹³⁹ Dieses Vorgehen erhält dadurch seine Berechtigung, dass Planzeiten dieser Größenordnung nur durch einen immensen Anteil an Warte- und Liegezeiten und nicht mehr durch eine reine Planzeit zu argumentieren sind.

Die veränderte Auswahl der Daten führt naturgemäß auch zu abweichenden Ausgangsgrößen, die zur Berechnung der konstanten Liegezeit benötigt werden. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Summe der hinterlegten Planzeit (in Tagen) aus SAP PP System	Summe der abgeschlossenen Aufträge	Zeitraum der untersuchten Daten (in Tagen)
119.700	8.790	20.180

Tabelle 5: Ausgangsgrößen bei Verwendung aller Aufträge, die bis einschließlich 45,5 Tage zur Ausplanung benötigt haben

Bei einem Vergleich von Tabelle 4 zu Tabelle 5 ist nun auf einen Blick erkennbar: die summierten Planzeiten aus dem SAP PP System reduzieren sich drastisch. Sie wurden durch die Änderungen um mehr als die Hälfte verringert. Durch diesen Schritt hat auch die Anzahl der Aufträge um rund 16% abgenommen. Aus diesem Grund und da es keine klaren Anzeichen dafür gibt, dass es sich bei den exkludierten Aufträgen bezüglich der Planzeit um nicht-durchschnittliche Aufträge handelt, wurde angenommen, dass sich auch der Zeitraum der untersuchten Daten um 16% verringern lässt. Der Zeitraum der untersuchten Daten soll nämlich der maximal möglichen Planzeit entsprechen.

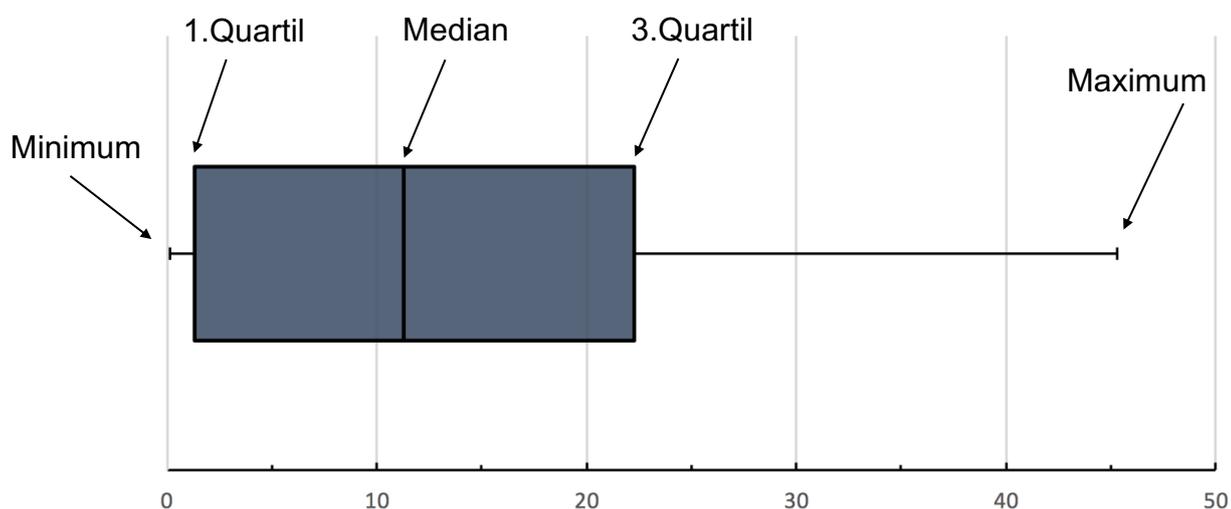


Abbildung 42: Boxplot Planzeit (bereinigt)

Nun kann mit den neuen Ausgangsgrößen analog zum oben beschriebenen fiktiven Beispiel vorgegangen werden. Da in der maximal möglichen Planungszeit 8.790 Aufträge abgeschlossen wurden, ergibt sich eine durchschnittliche, reine

¹³⁹ vgl. Fahrmeir et al., 2016, S.61f

Ausplanungszeit von 2,30 Tagen pro Auftrag. Demgegenüber steht eine gemittelte Bearbeitungsdauer aus dem SAP PP System von 13,62 Tagen. Diese Werte führen zu einer konstanten Liegezeit von 11,32 Tagen oder, in Prozent ausgedrückt, zu einer über 83%igen Warte- und Liegezeit pro Auftrag. Wird diese nun von der im System hinterlegten Bearbeitungsdauer subtrahiert, zeigt sich die je nach Aufwand unterschiedlich benötigte Planzeit. Diese Planzeit ist als Näherung zu verstehen und kann vor allem für die Topfplanung bei der Reservierung von Kapazitäten Anwendung finden (z.B.: im Zuge der taktorientierten Planung).

Der Planungsprozess (FP->XX) wird nachfolgend wieder in einer vereinfachten Wertstromanalyse dargestellt. Sie zeigt, wie der Auftrag von der vorgelagerten Stelle zum Planer gebracht wird, wo er die bereits erwähnte, durchschnittliche Liegezeit von 11,32 Tagen aufweist, bevor seine Bearbeitung in durchschnittlich 2,30 Tagen erfolgt.

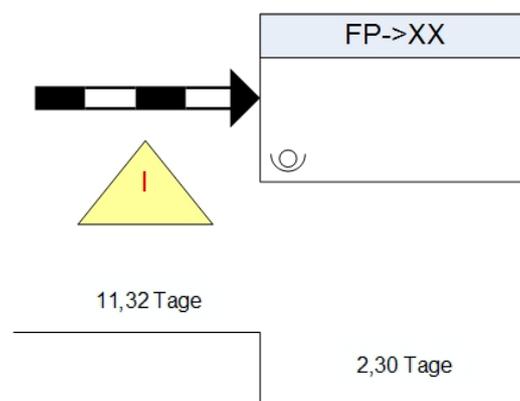


Abbildung 43: Wertstromdarstellung FP->XX

Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Topfplanung bedürfen weiterer Annahmen für eine zweckmäßige Einteilung. Denn bei Aufträgen, die eine Bearbeitungsdauer in der Fertigungsplanung von unter elf Tagen aufweisen, kommt es durch den Abzug der konstanten Liegezeit zu negativen Planzeiten. Doch gerade bei denjenigen Aufträgen, die laut SAP PP System eine niedrige Bearbeitungszeit offenbaren, handelt es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Aufträge, die eine geringe bis keine Warte- und Liegezeit beinhalten. Im Detail wurde nach der Durchführung einer Intuitivschätzung festgelegt, dass bei den untersuchten Daten all jene Aufträge unverändert gelassen werden, die mit sechs oder weniger Plantagen registriert worden sind. Das bedeutet, dass die konstante Liegezeit von 11,32 Tagen bei diesen Aufträgen nicht abgezogen wird. Sie muss in Folge jedoch notwendigerweise in die restlichen Aufträge, welche eine höhere SAP Bearbeitungsdauer als sechs Tage aufweisen, hineinfließen. Denn letzten Endes muss es wieder zu einer Übereinstimmung zwischen der maximal möglichen Planzeit und der prognostizierten reinen Planzeit kommen. Grundsätzlich gilt das Prinzip, dass der höheren SAP Bearbeitungsdauer auch die höheren Liegezeiten abgezogen

werden. Nach diesen Anpassungen können somit folgende Resultate für die Topfeinteilung festgestellt werden:

SAP Bearbeitungsdauer von 0-6 Tage	SAP Bearbeitungsdauer von 7-19 Tage	SAP Bearbeitungsdauer von 20-31 Tage	SAP Bearbeitungsdauer von > 31 Tage
Aufträge mit unveränderter Bearbeitungszeit (0-6 Tage)	Topf bis 4 Tage	Topf bis 6 Tage	Topf bis 8 Tage
3.292	2.912	1.387	1.199

Tabelle 6: Ergebnisse der Prognose der reinen Planzeit der Aufträge

Die erste Zeile der Tabelle gibt die SAP Bearbeitungsdauer (FP->XX) an, die zweite Zeile zeigt die Resultate der angestellten Adaptionen. Die dritte Zeile beinhaltet die Anzahl der Aufträge pro Topf. Obwohl dieses Konzept zur Prognose lediglich eine Näherung darstellt, konnte durch Stichproben tatsächlich die Tauglichkeit der Topfeinteilung festgestellt werden.

8 Prognose der Bearbeitungszeit in der Fertigung

Neben der Planzeit ist auch die Bearbeitungszeit in der Fertigung (siehe Kapitel 2.6) ein essenzieller Prognosewert, um eine Planung in die begrenzte Kapazität tatsächlich durchführen zu können. In Hinblick auf dieses Ziel, ist die Feststellung der reinen Bearbeitungszeit bzw. der notwendigen Kapazitätsnachfrage, die für die Erfüllung eines jeden Auftrags in der Werkstätte notwendig ist, eine wichtige Voraussetzung. Da aus den Statusverläufen, wie sie in Kapitel 6 näher behandelt werden, nur die Verweilzeit in der Terminstelle bis zur Fertigstellung in der Werkstätte ersichtlich ist und die reine Bearbeitungszeit unbekannt bleibt, stellt sich auch hier die wichtige Anforderung ein Konzept zu entwickeln, um genau zu dieser reinen Bearbeitungszeit zu gelangen.

Im Gegensatz zur Prognose der Planzeiten hat man an dieser Stelle den Vorteil, dass über den Verweilzeiten der einzelnen Stationen hinaus noch weitere Daten verfügbar sind. Denn natürlich sind nach der Ausplanung eines Auftrags in der Fertigungsplanung alle für dessen Bearbeitung erforderlichen Arbeitsschritte bekannt. Auch etwaige Maschinenzeiten, welche der Stückzeitermittlung entstammen, und Handarbeitszeiten, welche vom Planer ermittelt werden, sind bereits bestimmt.

Wirft man einen Blick auf die verschiedenen Durchlaufstationen aus Tabelle 2, so beziehen sich folgende auf die Fertigungssteuerung: Jene mit TS stellen die Dauer des Auftrags von der Terminstelle bis zur Fertigstellung in der Werkstätte dar. Hingegen beschränken sich jene mit RU auf die Ermittlung des Reparaturumfangs, welcher ebenfalls in der Fertigungssteuerung für die Werkstätte zur Bearbeitung freigegeben werden muss. In diesem Prozess wird das zu reparierende Teil zerlegt, gereinigt und inspiziert. Die Grafik verdeutlicht die soeben beschriebenen Statusverläufe.

Statuswechsel	Anzahl	Summe Dauer	Mittelwert Dauer
TS->AR	1815	132128	72,79779614
TS->FP	85	3274	38,51764706
TS->99	5702	880089	154,3474220
RU->FP	2759	149510	54,18992389
RU->99	124	24694	199,1451613
RU->AR	970	69932	72,09484536
Gesamtergebnis	11455	1259627	109,9630729

Tabelle 7: Statusverläufe in der Fertigungssteuerung und deren statistische Kennwerte

Werden die Ergebnisse in Tabelle 7 mit der durchschnittlichen, auf den Daten basierenden Lieferdurchlaufzeit in Kapitel 6 verglichen, dann lässt sich feststellen, dass die Dauer von rund 110 Tagen pro Auftrag in der Fertigungssteuerung und Werkstätte den 184 Tagen der gesamten Lieferdurchlaufzeit gegenüberstehen. Somit macht der Anteil der Fertigungssteuerung an der Lieferdurchlaufzeit rund 60% aus. Der Anteil des Auftragsmanagements beläuft sich folglich auf die verbleibenden 40%.

Um nun die reine Arbeitsgangzeit der Aufträge zu prognostizieren und diese der gesamten Durchlaufzeit in Fertigungssteuerung und Werkstätte, nämlich der im Durchschnitt benötigten 110 Tage, gegenüberzustellen, helfen zusätzliche Daten der in der Vergangenheit ausgeplanten Aufträge aus dem SAP PP System. Diese ermöglichen nämlich einen detaillierteren Aufschluss über die reine Arbeitsgangzeit. Hinsichtlich der Daten sind auf Begleitkartenbasis alle für die Fertigstellung der Begleitkarte erforderlichen Vorgänge mit Rüst- und Maschinenzeiten verfügbar.

Um die Zahlen in Erinnerung zu holen, so sei hier angemerkt, dass im Betrachtungszeitraum von 01.04.2017 bis 30.09.2018 insgesamt 108.138 Vorgänge registriert worden sind. Weil jede Begleitkarte mit ihren Vorgängen einer Hauptbegleitkarte zugeordnet ist und diese wiederum eindeutig einer Auftragsnummer zugeordnet ist, so lässt sich auch eine direkte Vernetzung von Vorgang zu Auftragsnummer durchführen. Mit dieser Methode ist es folglich möglich, die gesamte Arbeitsgangzeit (siehe Kapitel 2.6.1) eines Auftrags zu errechnen.

Die Tatsache, dass aber Auftragsnummern mehrfach vergeben werden können (es liegen 18.521 Hauptbegleitkarten bei nur 10.537 verschiedenen Aufträgen auf), erfordert eine Vergleichbarkeit zwischen der reinen Bearbeitungszeit und der Durchlaufzeit in den Bereichen TS, RU. Demnach müssen alle Hauptbegleitkarten, die zu einer Auftragsnummer gehören, aggregiert werden.

Anzahl der Aufträge	Summe der Bearbeitungszeit in der Produktion (in Minuten)	Mittelwert der Bearbeitungszeit in der Produktion (in Minuten)
10.537	19.614.745	1862

Tabelle 8: Statistische Kennwerte der Arbeitsgangzeit (unbereinigt)

Ähnlich wie bei der Prognose der Planzeit in Kapitel 7, stößt man auch hier auf anteilmäßig wenige Aufträge, die eine sehr hohe Arbeitsgangzeit aufweisen. Daher ist es für aussagekräftige Ergebnisse essenziell, erneut die Angaben von statistischen Ausreißern zu bereinigen. Es werden folglich in der Tabelle nur jene Aufträge betrachtet, die eine Arbeitsgangzeit von unter 2.500 Minuten aufweisen. Diese stellen wieder, wie bei der Prognose der Planzeit, rund 85% der 10.537 Aufträge dar und werden einer genaueren Untersuchung unterzogen. Die

anschließende Wertstromanalyse eines Durchschnittsprozesses dient zur Visualisierung.

Anzahl der Aufträge	Summe der Bearbeitungszeit in der Produktion (in Minuten)	Mittelwert der Bearbeitungszeit in der Produktion (in Minuten)
8.958	5.554.410	620

Tabelle 9: Statistische Kennwerte der Arbeitsgangzeit (bereinigt)

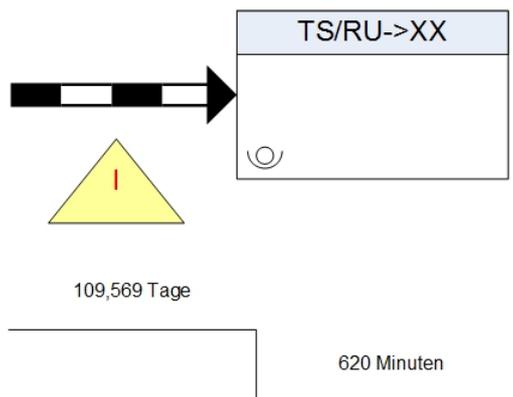


Abbildung 44: Wertstromdarstellung TS/RU->XX

Die soeben aufgelisteten Werte werden in weiterer Folge auf Zusammenhänge zwischen der Arbeitsgangzeit und der Anzahl der Vorgänge pro Auftrag überprüft. Die Bildung sämtlicher Mittelwerte pro Vorgang jedes Auftrages trägt in verdichteter Form zu einer angemessenen Veranschaulichung dieser Beziehung bei. Sie wird durch das aussagekräftige Punktdiagramm mit den Mittelwerten der Arbeitsgangzeit auf der y-Achse und der zugehörigen Anzahl an Vorgängen auf der x-Achse dargestellt.

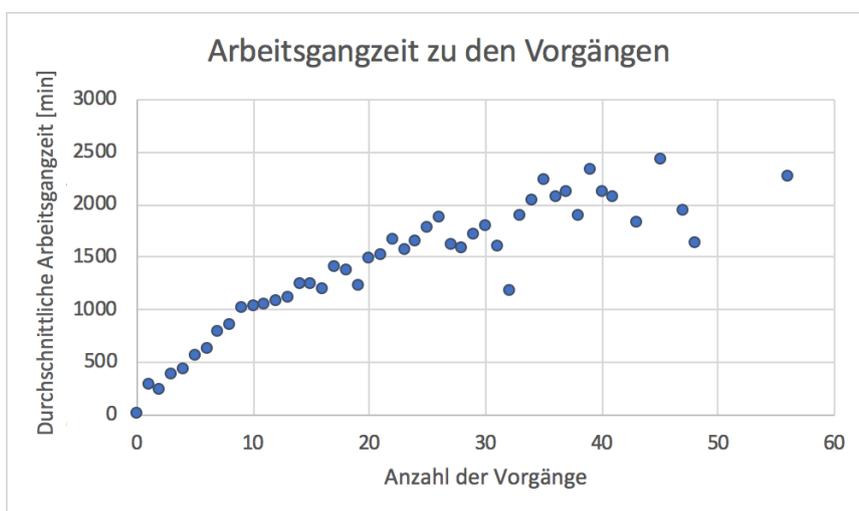


Abbildung 45: Beziehung der Arbeitsgangzeit zu den Vorgängen

Die Aufträge sind je nach Anzahl der Vorgänge mit unterschiedlicher Häufigkeit vorzufinden. Die Aufschlüsselungen dazu lassen sich in der untenstehenden Tabelle in Erfahrung bringen:

Aufträge mit 0-5 Vorgänge	Aufträge mit 6-10 Vorgänge	Aufträge mit 11-20 Vorgänge	Aufträge mit mehr als 20 Vorgänge
5.410	2.115	1.098	334

Tabelle 10: Häufigkeit nach Anzahl an Vorgängen pro Auftrag

Da deshalb keine gleichmäßige Gewichtung der Mittelwerte für die Prognose sinnvoll erscheint, wurde die in Kapitel 2.5.2 beschriebene Methode der kleinsten Quadrate angewendet. Dafür wurden alle Aufträge der bereinigten Daten, wie sie Tabelle 9 zeigt, verwendet und eine lineare Regressionsgerade erstellt.

$$y = 63,503 * x + 210,479$$

Die resultierende Gerade mit den Parametern $a = 63,503$ und $b = 210,479$ erweist sich als jene Gerade, deren quadrierter Abstand zu den 8.958 Datenpunkten am geringsten ist. Durch Erkennen dieses Zusammenhangs kann ein Richtwert für die Kapazitätsnachfrage eines Auftrags, ohne dessen Ausplanung, bei Auftragseingang nämlich nur anhand der Anzahl der zur Bearbeitung erforderlichen Vorgänge gegeben werden. Folglich erleichtert er auch die Umsetzung der vorrausschauenden Kapazitätsplanung im Unternehmen und trägt einen Teil zur Beantwortung der Forschungsfrage bei.

Ursprünglich gab es Überlegungen eine Klassifizierung nach Produktfamilien zu erstellen. Ziel dahinter war es, bei zukünftig eingehenden Aufträgen auf diese Art den Kapazitätsbedarf im Zuge einer ersten Grobplanung abzuleiten. Die Gruppierung nach Produktfamilien sollte insbesondere anhand der Fehlerbeschreibungen umgesetzt und Reparaturen gleicher Art und Weise zusammengefasst werden. Dieses Vorhaben konnte jedoch nicht in die Tat umgesetzt werden, da die Fehlerbeschreibungen der einzelnen Aufträge derzeit nicht digital im System vermerkt, sondern lediglich handschriftlich notiert sind. Weitere Ansätze aussagekräftige Produktfamilien zu klassifizieren, wie beispielsweise über die verwendeten Maschinen oder auch über die Auftragsbeschreibungen, waren nach näherer Betrachtung der Aufträge vergebens. Grund hierfür ist ihrer Verschiedenheit, die durch den heterogenen Produktmix am TSM bedingt ist. Für andere Unternehmen kann sich die Situation jedoch anders gestalten und die hier nicht zweckmäßigen Klassifizierungsmöglichkeiten können in Betracht gezogen werden. Die Auswahl der Vorgehensweise hängt insbesondere vom Produktmix und der Datenlage ab.

9 Auswertung / Resultate

9.1 Auswertung der Turbulenzanalyse

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Turbulenzanalyse wurde bereits im Punkt 5.3 in Hinblick auf ihre Struktur präsentiert. Dieses Kapitel liefert nun die Auswertung der Analyse, sowie eine Interpretation der Ergebnisse in Hinblick darauf, wo folglich der Fokus bei der Konzepterstellung liegen soll. Zum besseren Verständnis veranschaulicht die untenstehende Grafik das Resultat der angestellten Turbulenzanalyse:

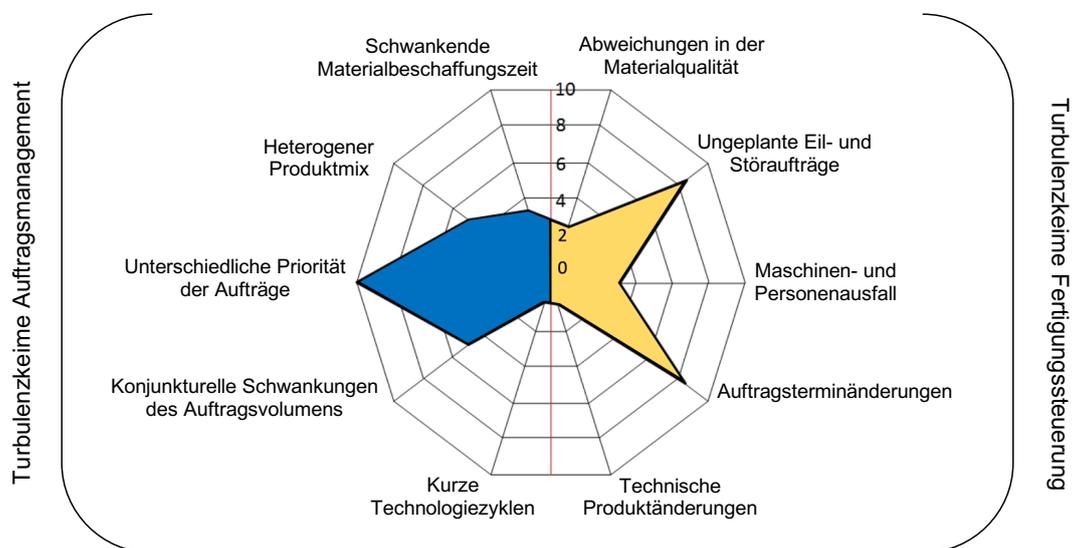


Abbildung 46: Turbulenzanalyse

Das Ergebnis lässt sich in folgende Worte fassen: Im Bereich des Auftragsmanagements zeigt sich vor allem die *unterschiedliche Priorität der Aufträge*, welche von 30% Eil- und Störaufträgen geprägt ist, als sehr markant. Ebenso auffallend, wenn auch in geringerem Ausmaß, zeigt sich der *heterogene Produktmix*, bestehend aus Aufträgen, die sich überwiegend aus Einzellosen zusammensetzen. Die Verschiedenheit dieser Aufträge und dadurch auch die Schwankungen der Planzeit in der Fertigungsplanung und der Bearbeitungszeit in der Werkstätte macht eine Vorhersage des Liefertermins bei Auftragseingang schwierig und wird daher bis dato auch nicht durchgeführt. Dadurch ergibt sich derzeit eine Planung in die unbegrenzte Kapazität. *Schwankende Materialbeschaffungszeiten*, sowie *kurze Technologiezyklen* erweisen sich in der Analyse als wenig signifikant. Auch im Bereich der Fertigungssteuerung führen die *ungeplanten Eil- und Störaufträge* zu vielen Abänderungen in der Reihenfolgeplanung, was folglich in Lieferterminänderungen der Aufträge mündet.

Die erzeugte Turbulenz, die unter anderem durch die Umgebung und Rahmenbedingungen des TSM bedingt ist, führt zu den folgenden Problemstellungen: Die erste Problemstellung ist, dass es keine vorläufige Terminierung der Aufträge gibt und somit bei Auftragseingang dem Kunden auch kein Liefertermin genannt werden kann. Dies geschieht erst nachdem der Auftrag alle Schritte des Auftragsmanagements durchlaufen hat und in der Fertigungssteuerung von der Terminstelle eingesteuert wird. Das führt dazu, dass Wochen und Monate vergehen können, bevor der Kunde eine Information zur Fertigstellung seines Auftrags bekommt. Dadurch gibt es auch innerhalb der Fertigungsplanung keine Meilensteine, die als Vorgabezeit für die Bearbeitung der Aufträge verwendet werden können. Somit sind zwar für den Planer viele Aufträge zur Bearbeitung freigegeben, jedoch ohne Berücksichtigung einer bestimmten prioritätsorientierten Reihenfolge. In der Regel priorisiert jeder Planer die Aufträge, die er behandelt, für sich selbst. Hinzu kommt, dass bei Auftragseingang der Kapazitätsbedarf in der Planung nicht bestimmt ist und auch nicht durch Vorhersagen prognostiziert wird. Bei der Vergabe neuer Aufträge an die Fertigungsplaner ist demnach deren Auslastungsgrad nicht ersichtlich und daher gestaltet sich die Zuweisung der Aufträge für die Leitung des Auftragsmanagements als schwierig.

Die zweite Problemstellung ist, dass sowohl durch die vielen unvorhergesehenen Bearbeitungen als auch, ausgelöst durch viele Schnellplanungen, der Auftragsfluss oft ins Stocken gerät. Entscheidungen darüber, welche Arbeitsschritte hinten anzustellen sind, werden in der Fertigungssteuerung getroffen. Da als eine Folge der Planung in die unbegrenzte Kapazität jedoch eine hohe Überlast der aktuellen Kalenderwoche angezeigt wird, kann es schnell passieren, dass einzelne als niedrig priorisierte Aufträge in Vergessenheit geraten und zu Langläufern werden. Infolgedessen kann ein Auftrag von der ursprünglich als niedrig eingestuft Priorisierung zu einem Eilauftrag hochgestuft werden, da nun das gewünschte Erzeugnis aufgrund der langen Wartezeit schon dringend benötigt wird. Dadurch wird auch ein Teil dazu beigetragen, dass die Quote der Eil- und Störaufträgen bei 30% eher hoch ausfällt.

Nach dieser Ausführung der Problemstellungen ist bewiesen, dass sich die Ergebnisse der durchgeführten Turbulenzanalyse tatsächlich größtenteils mit den Feststellungen aus den Gesprächen decken. Als neue Erkenntnis lässt sich jedoch festhalten: Auch die konjunkturellen Schwankungen des Auftragsvolumens tragen zur Entstehung von Turbulenz bei.

Zur Abschwächung der auftretenden Turbulenz am TSM und um die Unsicherheit, ausgelöst von den obengenannten Turbulenzkeimen, bestmöglich zu steuern, ist eine vorausschauende Kapazitätsplanung unumgänglich. Daraus entwickeln sich

folgende Lösungsansätze für das Auftragsmanagement und die Fertigungssteuerung:

Um eine vorausschauende Kapazitätsplanung realisieren zu können ist eine Planung in die begrenzte Kapazität (siehe Kapitel 3.1 und 3.2.2) besser geeignet als die zurzeit praktizierte Planung in die unbegrenzte Kapazität. Denn bei Auftragseingang besteht eine höhere Flexibilität beim Liefertermin als beim Kapazitätsangebot, was in der Literatur (laut Abbildung 14) für eine bessere Eignung der Planung in die begrenzte Kapazität spricht. Da für interne Kunden produziert wird und es sich zu großen Teilen um planmäßige Instandhaltungsaufträge handelt, ist mit der Ausnahme von Eil- und Störaufträgen nicht zwingend der schnellstmögliche Liefertermin vorrangig. Vielmehr ist es entscheidend, dass der vorhergesagte und dem Kunden bei Auftragseingang zugesicherte Liefertermin auch eingehalten werden kann. Dies ist nur durch eine vorausschauende Planung und einer Vorhersage der Durchlaufzeit eines jeden Auftrags realisierbar. Dazu gehören sowohl die Prognostizierung der verschiedenen Stationen eines Auftrags (siehe Kapitel 2.6) als auch die Reservierung von Kapazitäten bei Auftragseingang. Insbesondere sind die Planungsdurchlaufzeit und die Bearbeitungsdurchlaufzeit wichtige Aspekte, die es zu bestimmen gibt. Durch die Umstellungen zu einer vorausschauenden Kapazitätsplanung soll letztendlich jeder Auftrag von Beginn an so terminiert sein, damit es möglich ist, diesen über alle Instanzen transparent auf einer Terminalschiene zu verfolgen. Somit kann ein wichtiger Schritt in Richtung der Vorhersage eines ersten Liefertermins bei Auftragseingang und der gleichzeitigen Einhaltung getätigt werden.

9.2 Auswertung der Wertstromanalyse anhand der Beispielaufträge

Um den Nutzen der in den beiden vorhergehenden Kapiteln ermittelten Resultate zu zeigen, werden in Folge die Beispielaufträge 1 und 2 aus dem Kapitel 6 erneut aufgegriffen. Da bisher eine Planung in die unbegrenzte Kapazität am TSM der voestalpine Linz zum Einsatz gekommen ist, war die Notwendigkeit einer vorausschauenden Kapazitätsplanung nicht gegeben. Dadurch formten sich u.a. die Strukturen und Abläufe, welche in Kapitel 5 beschrieben sind, sowie die daraus resultierenden Turbulenzkeime und Problemstellungen, nachzulesen in Kapitel 9.1. Da sich aber die Ziele des TSM veränderten, nämlich hin zu einer früheren Vorhersage des Liefertermins und auch in Richtung seiner Einhaltung, bedarf es grundlegender Veränderungen in den Bereichen Planung und Steuerung. So brachte es bis dato keinen Nutzen Daten in der Fertigungsplanung (z.B.: die reine Planzeit pro Auftrag) zu erheben bzw. vorhandene Daten für die Werkstätte (z.B.: Arbeitsgangzeit pro Auftrag) zu verarbeiten und auszuwerten. Mit der in Kapitel 7 und

8 erfolgten Trennung zwischen Warte- und Liegezeiten von den wertschöpfungsintensiven Bearbeitungszeiten in der Planung und Steuerung kann nun einem Ziel dieser Diplomarbeit nähergekommen und eine erste Näherung der Kapazitätsbedarfe für die Planung in die begrenzte Kapazität aufgestellt werden.

Betrachtet man nun die zuvor erwähnten Beispielaufträge, so kann der erreichte Informationsgewinn gezeigt werden. Folgende Informationen, betreffend dem Auftragsfluss, waren zum Auftrag 50122345 verfügbar und werden zum besseren Verständnis erneut angeführt:

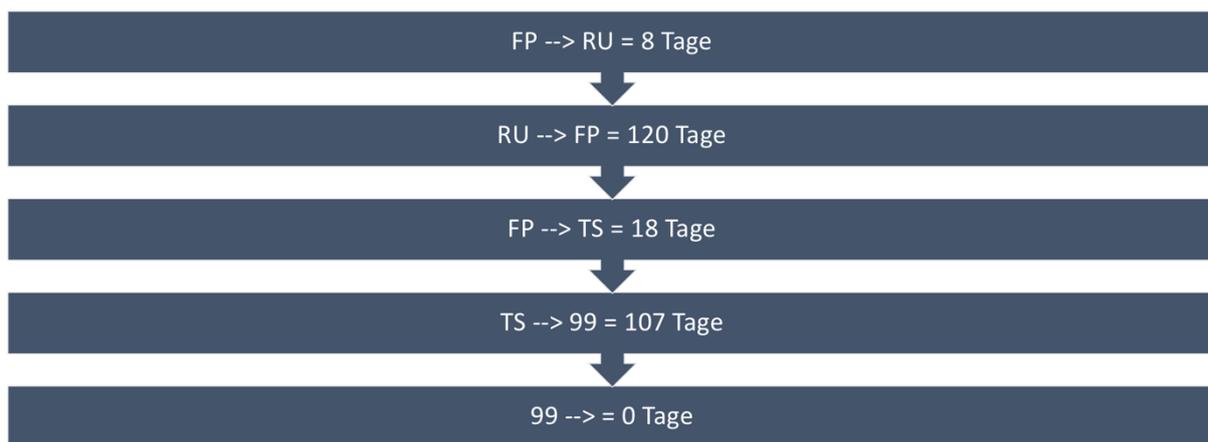


Abbildung 47: Beispielauftrag 1

Durch eine eingehende Datenanalyse und anhand der verwendeten Methoden im Rahmen dieser Diplomarbeit, gelangt man zu einem Auftragsfluss, der über die Verweilzeit in den durchlaufenen Stationen hinausgeht und die relevanten Kapazitätsbedarfe einzeln ausweist. Der Fluss des Beispielauftrags wird mit einer vereinfachten Wertstromanalyse dargestellt.

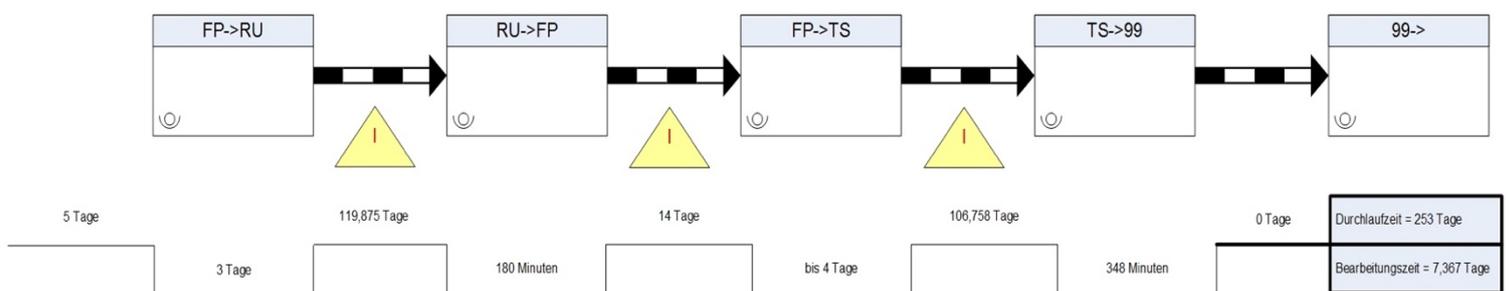


Abbildung 48: vereinfachte Wertstromanalyse zum Beispielauftrag 1

Aus dieser Wertstromanalyse kann die reine Bearbeitungszeit über alle Durchlaufphasen hinweg abgelesen werden. So setzt sie sich im Auftragsmanagement aus den Prozessen FP->RU und FP->TS zusammen. Ersterer gelangt für die Erstellung der Auftragsmappe zu dem heuristisch abgeschätzten Zeitwert von drei Tagen. Beim zweiten Prozess muss dafür der Ausplanung des Auftrags die bei der Prognose ermittelte konstante Liegezeit abgezogen und der

Zeitwert aus dem betreffenden Topf gewählt werden. Bei einer Verweilzeit des FP->TS von 18 Tagen entspricht den Topf „bis 4 Tage“ für die Ausplanung. Bei der Arbeitsgangzeit in der Werkstätte wird hierbei von einem Auftrag mit fünf Vorgängen ausgegangen. Demnach gelangt man durch Einsetzen in die lineare Regressionsgerade auch auf eine reine Bearbeitungszeit von 528 Minuten. Da diese Zeit sowohl die Phase RU->FP als auch TS->99 umfasst, muss hier noch eine Aufspaltung erfolgen. Diese geschieht analog zur bisherigen Zeitbestimmung des Reparaturumfangs, welche 180 Minuten beträgt. Folgendermaßen bleiben für die Bearbeitung (TS->99) 348 Minuten übrig. Insgesamt steht somit eine gesamte Bearbeitungszeit von 7,37 Tagen einer gesamten Lieferdurchlaufzeit von 253 Tagen gegenüber.

Entsprechend dem ersten Beispielauftrag wurde auch für den zweiten Beispielauftrag mit der Auftragsnummer 50124441 und den nachfolgenden Kenndaten eine vereinfachte Wertstromanalyse durchgeführt.

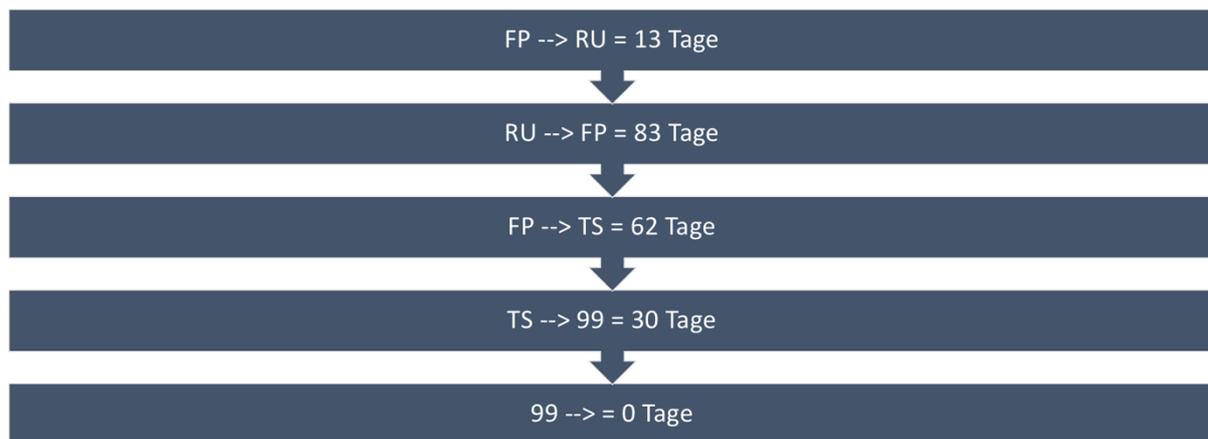


Abbildung 49: Beispielauftrag 2

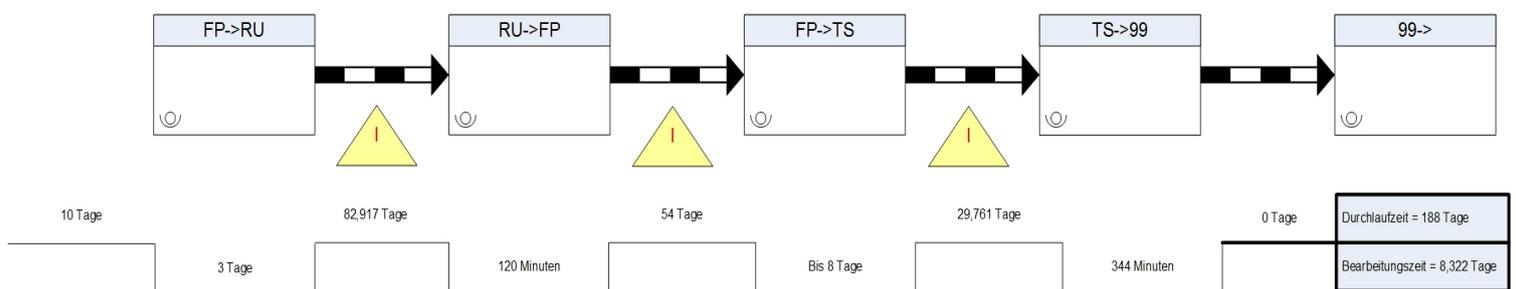


Abbildung 50: vereinfachte Wertstromanalyse zum Beispielauftrag 2

9.3 Resultate in Bezug auf die Problemstellung und Forschungsfragen

Basierend auf den Erkenntnissen der vorhergehenden Kapitel, präsentiert dieser Abschnitt der Diplomarbeit das Konzept zur Produktionsplanung und -steuerung in einer Zentralwerkstätte. Ziel dieses Konzeptes ist es, die derzeitige Planung in die unbegrenzte Kapazität in eine künftige Planung in die begrenzte Kapazität zu überführen. Denn nur dadurch können die Ziele dieser Arbeit auch tatsächlich erreicht und die Forschungsfragen beantwortet werden. Damit in Folge auch eine Umsetzung des Konzepts für Unternehmen möglich wird, ist in diesem Kapitel weiters der dafür notwendige „Fahrplan“, das sind konkrete Maßnahmen und Schritte, vorgestellt. Zusammen mit dem Konzept liefert er den wissenschaftlichen Beitrag dieser Diplomarbeit und stellt die Beantwortung der allgemeinen und spezifischen Forschungsfrage dar. Die folgende Grafik verdeutlicht den Zusammenhang von Konzept, Fahrplan und Umsetzung:

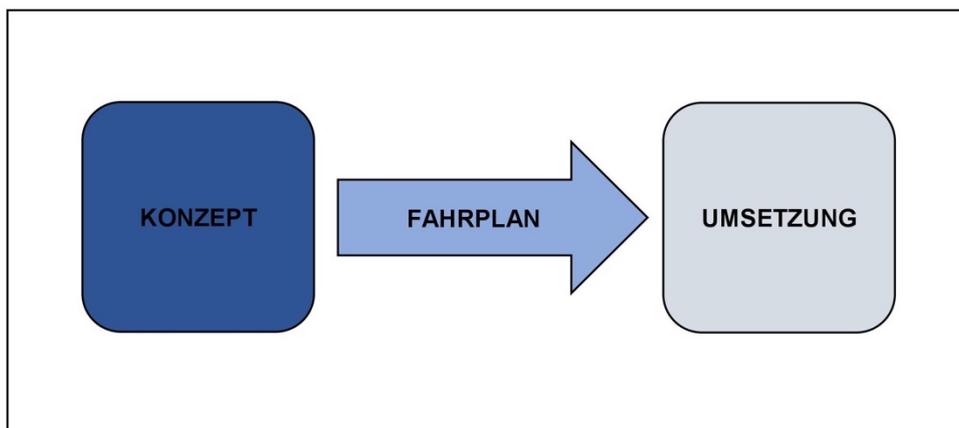


Abbildung 51: Konzept und Fahrplan im Kontext der Umsetzung

9.3.1 Konzept

Voraussetzung für die Umstellung in eine künftige begrenzte Kapazitätsplanung ist es, die Kapazitätsbedarfe der Aufträge in all ihren Phasen so genau wie möglich zu bestimmen. Für diese Ermittlung kann, je nach Art des Auftrags, in 3 Fälle zum Zeitpunkt des Auftragseingangs unterschieden werden:

Fall 1: Kapazitätsbedarfe aller Durchlaufphasen des Auftrags sind bei Auftragseingang *bereits bekannt*

Unternehmensunabhängig tritt dieser Fall bei Wiederholungsaufträgen, d.h. bei identen Aufträgen, mit denselben Arbeitsinhalten auf.

Ist Kenntnis der Kapazitätsbedarfe aller Durchlaufphasen eines Auftrags bereits bei Auftragseingang vorhanden, dann lässt sich ein Liefertermin schon zu diesem

Zeitpunkt prognostizieren. Denn dadurch lassen sich die Durchlaufterminierungen, wie sie in Kapitel 2.6.2 erläutert sind, problemlos durchführen. Abhängig von der Priorität und Dringlichkeit des Auftrags kann sowohl ein Termin für die schnellstmögliche Abarbeitung (z.B.: bei Eilaufträgen) als auch für eine Abarbeitung mit genügend Pufferzeiten (z.B.: bei Lageraufträgen) bestimmt werden.

Fall 2: Kapazitätsbedarfe aller Durchlaufphasen des Auftrags sind bei Auftragseingang *nicht bekannt, aber prognostizierbar*

Dieser Fall betrifft alle Aufträge, die ähnliche Arbeitsinhalte zu bereits abgeschlossenen Aufträgen aufweisen, jedoch nicht mit ihnen ident sind. Dazu gehören sowohl Neuteile als auch Reparaturteile, deren Fehlerumfang abgeschätzt werden kann.

Grundsätzlich ist es für jedes Unternehmen möglich die Kapazitätsnachfrage solcher Aufträge anhand Prognoseverfahren vorherzusagen. Diese Verfahren sind allerdings stark abhängig von der Datenlage und vom Produktmix des Unternehmens und eignen sich daher für jeden Betrieb in ganz unterschiedlichem Ausmaß. Damit nämlich ein aussagekräftiges Prognoseverfahren überhaupt durchgeführt werden kann, sind bestimmte Parameter, d.h. Informationen (wie beispielsweise Fehlerbeschreibungen, standardisierte Auftragsbezeichnung, markante Details, Zugehörigkeit zu einer Produktfamilie, etc.), über die bereits abgeschlossenen Aufträge essenziell. Dadurch lassen sich Zusammenhänge zu neuen eingehenden Aufträgen erkennbar machen und eine valide Prognose ihrer Kapazitätsnachfrage wird möglich. Mit anderen Worten ausgedrückt: Umso mehr Parameter der Planung über bereits abgeschlossene Aufträge zur Verfügung stehen, desto genauer kann eine künftige Prognose über den Kapazitätsbedarf erzielt werden.

In der derzeitigen Ausgangssituation am TSM sind diesbezüglich schwierige Voraussetzungen gegeben. Einige dieser Parameter erweisen sich als nicht vorhanden. Einerseits aufgrund des heterogenen Produktmixes und der konjunkturellen Schwankungen des Auftragsvolumens (siehe Auswertung Turbulenzanalyse in Abbildung 46), andererseits wegen der Tatsache, dass bei der derzeit praktizierten Planung in die unbegrenzte Kapazität keine Prognose des Kapazitätsbedarfs notwendig war. Aus diesem Grund ergibt sich daraus auch eine schlechte Datenqualität, um diese Prognose durchzuführen.

Fall 3: Kapazitätsbedarfe aller Durchlaufphasen des Auftrags sind bei Auftragseingang *nicht bekannt und sehr schwer prognostizierbar*

Dieser Fall betrifft vorwiegend Reparaturaufträge, bei denen das Ausmaß der Fehlerbehebung, und somit der Arbeitsinhalt, bei Auftragseingang noch nicht bekannt ist. Wichtig in diesem Zusammenhang ist es, den Reparaturumfang

frühestmöglich zu erheben. Erst dann ist nämlich eine Prognose möglich und es kann mit dem Auftrag wie in Fall 2 vorgegangen werden.

Nachdem die Kapazitätsbedarfe bekannt und die Voraussetzungen gegeben sind, sieht das Konzept jene Vorgehensweise zur Grobplanung vor, wie sie in ihren Grundzügen in der untenstehenden Grafik dargestellt ist (siehe Abbildung 52). Sie soll es ermöglichen einen Auftrag über alle Instanzen transparent auf einer Terminalschiene zu verfolgen und lässt sich im Detail in folgende Worte fassen:

Nach dem Anlegen der Auftragsmappe können die Kapazitätsbedarfe der einzelnen Durchlaufphasen nach Verfügbarkeit reserviert werden. In diesem beispielhaften Fall bestehen die Phasen des Auftrags aus MA=„Auftragsmappe anlegen“, RU=„Erhebung des Reparaturumfangs“, PLA=„Ausplanung des Auftrags“ und aus den für den Auftrag benötigten Maschinen X, Y, Z. Die Kapazitätsbedarfe werden dementsprechend der Reihenfolge nach reserviert. Die dritte Zeile PLA betrachtend, zeigt sich die transparente Darstellung der Kapazitäten vor der rot strichlierten Linie. Grund dafür ist, dass die Ausplanung des Auftrags nur nach der Ermittlung des Reparaturumfangs stattfinden kann und daher nur die nachfolgenden Kapazitäten in der Planung von Interesse sind. Diese reihenfolgeabhängige Planung zieht sich durch den gesamten Auftrag:



Abbildung 52: Kapazitätseinplanung der Aufträge bei Auftragseingang

Anschließendes Ziel der auf diese Weise erfolgten Auftragseinplanung ist die Bestimmung eines ersten Liefertermins, sobald die Auftragsmappe erstellt ist. Damit einhergehend empfehlen sich sogenannte „Meilensteine“ für jede Phase der Durchlaufzeit. Das heißt, dass jede Station des Auftrags einen Termin vorgegeben hat, bis zu welchem ihre Teilaufgabe abgewickelt und zur nächsten Station

übergeben werden muss. Wenn der Auftrag ausgeplant ist, in diesem Beispielfall am Ende von Kalenderwoche 11, ist der tatsächliche Arbeitsaufwand in der Werkstätte bekannt und kann mit den auf Prognosen basierenden Werten verglichen werden. Kommt es dabei zu einer Übereinstimmung bzw. nur zu geringen Abweichungen, so kann der erste Liefertermin bestätigt werden. Andernfalls können Korrekturen durchgeführt und der Kunde über die Abweichungen informiert werden.

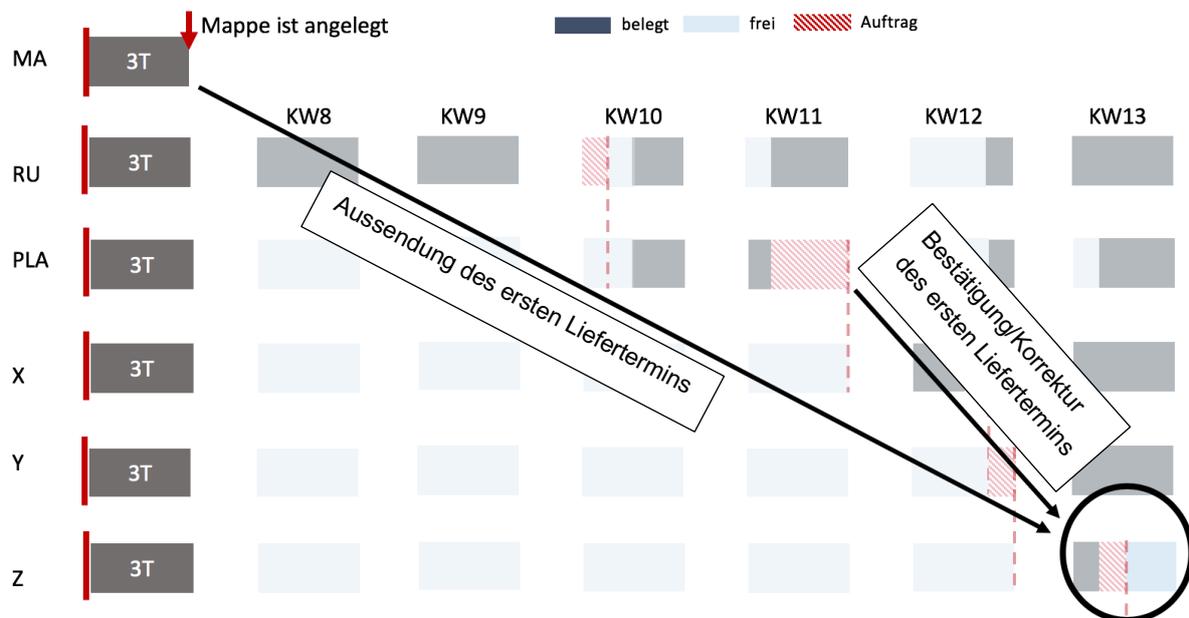


Abbildung 53: Erster Liefertermin und Bestätigung/Korrektur

Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch auf die Möglichkeiten im bereits vorhandenen SAP PP System hinzuweisen. Derzeit werden nämlich nur die Kapazitäten der Maschinen (X, Y, Z in der Grafik) sowie die Erhebung des Reparaturumfangs (RU in der Grafik) in der Werkstätte verplant. Dies geschieht durch eine Reservierung von Arbeitsplätzen. Damit aber dieses Konzept ganzheitlich, d.h. über alle Phasen hinweg, umgesetzt werden kann, bedarf es auch der Verplanung von Kapazitäten in der Fertigungsplanung (PLA in der Grafik). Um dies zu erreichen, ist es wichtig Arbeitsplätze auch für jeden Planungsmitarbeiter zu erstellen.

Merkmal des Konzepts ist unter anderem die Einführung sogenannter „Kapazitätstöpfe“. Diese können vom Unternehmen prinzipiell je nach Arbeitsaufwand eingeteilt werden und dienen grundsätzlich dazu, den Arbeitsaufwand vor der Einplanung grob festzulegen. An dieser Stelle wird den Unternehmen, hinsichtlich der Anwendung der Kapazitätstöpfe, eine *taktororientierte Planung* empfohlen. Diese bietet sich vor allem dann an, wenn die Datenqualität nicht ausreichend und daher die Prognosegüte niedrig ist, um die Kapazitätsbedarfe genau zu bestimmen. Mit der taktororientierten Planung, wobei die Arbeitsgänge eines Arbeitsplatzes gebündelt und einem zeitlichen Takt zugewiesen werden, ist es

nämlich möglich die Reihenfolge der Abarbeitung so zu bestimmen, dass diese rüstoptimal priorisiert und durchgeführt wird. Gegenüber einer starr vorgegebenen Reihenfolge ergibt sich daraus also der Vorteil eines Ausgleichs von Kapazitätsbedarfsunsicherheiten der Arbeitsgänge innerhalb eines definierten Takts.

Die auszuwählende Taktlänge hat dabei großen Einfluss auf den Bestand, da es im Fall einer zu großen Taktlänge zu Auslastungsverlusten kommt. Andererseits führen zu straff abgestimmte Takte zu Verstopfungen, denn Aufträge, die in ihrem zugewiesenen Takt nicht abgearbeitet werden können, verbleiben in der Ressource. Welche Taktlänge erweist sich somit als sinnvoll? Je nach Produktspektrum eines Unternehmens und den damit einhergehenden unterschiedlichen Bearbeitungszeiten an den Arbeitsplätzen sind verschiedene Taktlängen zweckmäßig, es kann daher keine allgemein gültige Aussage getroffen werden.

Für einen besseren Überblick lassen sich nun folgende **allgemeine Kernempfehlungen** des Konzepts zusammenfassen:

- Planung in die begrenzte Kapazität
- Erstellung einer Grobplanung bei Auftragseingang
- Möglichst genaue Bestimmung der Kapazitätsbedarfe in allen Auftragsphasen
- Reservierung der Kapazitätsbedarfe nach Verfügbarkeit
- Erstellung von sog. „Meilensteinen“ für jede Phase der Durchlaufzeit
- Reservierung von Kapazitäten der Fertigungsplanung im SAP PP System
- Einführung sog. „Kapazitätstöpfe“, um den Arbeitsaufwand grob festzulegen
- Keine allgemeine Empfehlung zur Taktlänge möglich, da sie von Produktspektrum des Unternehmens und den unterschiedlichen Bearbeitungszeiten abhängt

Aus den oben beschriebenen generellen Empfehlungen lässt sich in Zukunft folgendes Steuerungskonzept für das TSM der voestalpine Stahl GmbH ableiten:

Da es am TSM in Bezug auf die Priorität der Aufträge (siehe Abbildung 46) große Unterschiede gibt, vor allem hinsichtlich der 30% an Eil- und Störaufträgen, die so schnell wie möglich abgearbeitet werden müssen, sollte die Fertigungssteuerung in der Lage sein, auf diese adäquat reagieren zu können. Dazu wird hier die Eignung der Steuerungsmethoden aus Kapitel 3.2 für die Lage am TSM untersucht. Vorangestellt soll erwähnt werden, dass es nicht die eine von den in der Literaturanalyse beschriebenen Methoden gibt, welche sich tatsächlich zu 100% für die spezifische Lage am TSM eignet. Jedoch sollen in Folge sämtliche Vor- und Nachteile unterschiedlicher Steuerungsmethoden dargelegt und gewichtet werden, um dennoch eine valide Empfehlung zu geben. Folgende Methoden werden untersucht:

- Engpassorientierte Planung
- Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
- Auftragsorientierte Planung
- Taktorientierte Planung
- ConWIP

Zu Beginn werden Steuerungsmethoden, die einem Computeralgorithmus folgen, betrachtet. Diese umfassen u.a. die *engpassorientierte Planung* und die *belastungsorientierte Auftragsfreigabe*. Da ein Computeralgorithmus die Aufträge selbstständig steuert, haben diese Methoden einen geringeren Arbeitsaufwand als klaren Vorteil. Des Weiteren profitiert das Unternehmen bei der engpassorientierten Planung davon, dass bei optimaler Auslastung des Engpasses ein optimaler Durchsatz erreicht wird. Als Engpass am TSM gilt beispielsweise die Erhebung des Reparaturumfangs. Trotz der genannten Vorteile sind diese Steuerungsmethoden derzeit für das TSM nicht zu empfehlen. Grund dafür ist die momentan hohe Anzahl an Eil- und Störaufträgen (ca. 30%). Im Computeralgorithmus kann nämlich auf manuelle Gegebenheiten nur schwierig reagiert werden und es sind keine Freigaben aufgrund zusätzlicher Informationen, wie zum Beispiel einer hohen Priorität, vorgesehen. Dieser Nachteil ist ernst zu nehmen, da schließlich die Aufrechterhaltung der Stahlproduktion, und somit auch die Bearbeitung der Eil- und Störaufträge in adäquater Zeit, die wichtigste Aufgabe des TSM ist.

Besser auf die Ausgangssituation ausgelegt ist die *auftragsorientierte Planung* in die begrenzte Kapazität. Dabei wird der Auftragsbestand manuell Auftrag für Auftrag eingeplant und es ist somit möglich, unter Berücksichtigung der herrschenden Prioritätsunterschiede, ein Maximum an Aufträgen umzusetzen. Eine Abwandlung dieser Methode ist die oben bereits beschriebene *taktorientierte Planung*, die an dieser Stelle für das TSM konkret empfohlen wird. Da dort nämlich keine digitalen Fehlerbeschreibungen, keine einheitliche Auftragsbeschreibung und somit keine ausreichende Datenqualität gegeben ist, lässt sich der Kapazitätsbedarf der Aufträge derzeit nur mit Unsicherheiten bestimmen. Die taktorientierte Planung eignet sich hier deshalb, da sie die Kapazitätsbedarfsunsicherheiten innerhalb eines Taktes ausgleichen kann. Zusätzlich besteht der Vorteil, dass die Reihenfolge der Abarbeitung so bestimmt werden kann, dass diese rüstopimal priorisiert ist.

Im Vergleich zu den Computeralgorithmus folgenden Steuerungsmethoden kann der Problematik der Eil- und Störaufträge mit dieser Methode besser begegnet werden, da es möglich ist, für sie einen sogenannten Puffer, das sind freie Kapazitäten, in den Takten zu reservieren. Die Höhe der Pufferzeiten sollte dabei anfangs eher hoch ausfallen, um bestehende Unsicherheiten bei Auftragseingang auszugleichen und die Lieferterminverschiebungen in Folge so gering wie möglich zu halten. Eine konkrete Handlungsempfehlung für das TSM lautet somit: Aufgrund der ca. 30% an

Eil- und Störaufträgen ist auch ein Puffer in der Höhe von ca. 30% der Taktzeit geeignet. Unter Berücksichtigung einer solchen Pufferzeit und der einzelnen Bearbeitungszeiten an den Arbeitsplätzen lassen sich außerdem Aussagen zu einer geeigneten Taktlänge treffen. Die konkrete Handlungsempfehlung lautet: Die Taktlänge soll eher gering sein (zum Beispiel 2 Tage), denn ansonsten besteht die Gefahr der Erhöhung der Durchlaufzeit in der Produktion. Eine noch kürzere Taktzeit (zum Beispiel 1 Tag) erscheint aufgrund der eher hohen Pufferzeit und der dadurch geringen Restkapazität jedoch nicht mehr sinnvoll.

In diesem Zusammenhang besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass innerhalb eines Taktes wenige oder gar keine Eil- und Störaufträge auftreten, d.h. der Puffer nur in geringem Ausmaß oder gar nicht besetzt wird. In so einem Fall bleibt die Kapazität ungenutzt, was eine niedrige Auslastung zur Folge hat. Das ist ein Nachteil für die Firma und es zeigt sich der Zielkonflikt zwischen niedrigen Beständen vor und einer hohen Auslastung von den Maschinen.

Um einen Kompromiss zwischen diesen beiden Zielgrößen herzustellen, wird an dieser Stelle die Kombination der taktorientierten Planung mit der ConWIP Steuerung vorgeschlagen. Denn setzt man zusätzlich die Methodik der ConWIP Steuerung ab einem selbst definierten Vorgriffszeitpunkt ein, so wird es schließlich möglich den Bestand in der Fertigung bzw. in einer Fertigungslinie auf einem konstanten Niveau zu halten. Unterschreitet nämlich die vorangegangene taktororientierte Planung den gewünschten Bestand, so wird automatisch der existierende Arbeitsvorrat zum Vorgriffszeitpunkt aus den zukünftigen Wochen herangezogen. Das hat im äußersten Fall eine verfrühte Lieferung des Auftrags zur Folge, was am TSM jedoch in der Regel nicht zu Schwierigkeiten führt. Der große Nachteil der ConWIP Steuerung ist es aber, dass es grundsätzlich nicht vorgesehen ist zusätzlich anfallende Eil- und Störaufträge einzulasten. Ab dem Vorgriffszeitpunkt ist es somit nicht mehr möglich, diese Art von Aufträgen zu berücksichtigen. Mit anderen Worten: Das Problem, das man mit der Einführung eines Puffers umgangen ist, tritt ab dem Vorgriffszeitpunkt wieder auf.

Aus genau diesem Grund muss an dieser Stelle eine eigens eingeführte Regelung Abhilfe schaffen. Es bietet sich an, neben den regulären ConWIP Karten, die den Bestand in Kapazitätsstunden steuern, noch eine zweite eigens gekennzeichnete Regelkarte einzuführen, die es erlaubt eine limitierte Anzahl an Kapazitätsstunden von Eil- und Störaufträgen darüber hinaus einzusteuern. Gebrauch von dieser zweiten Regelkarte machen Aufträge, die bei einer Nicht-Bearbeitung einen Stillstand einer Anlage zur Folge haben und somit sehr hohe Kosten für das Unternehmen verursachen würden. Durch die vorgestellte Kombination aus *taktorientierter Planung* und *ConWIP Steuerung*, inklusive der zusätzlichen Regelkarte für Ausnahmefälle, ist ein guter Kompromiss der Zielgrößen gefunden.

Für einen besseren Überblick lassen sich nun folgende **konkrete Kernempfehlungen** des Konzepts für das TSM zusammenfassen:

- Planung in die begrenzte Kapazität
- Erstellung einer Grobplanung bei Auftragseingang
- Möglichst genaue Bestimmung der Kapazitätsbedarfe in allen Auftragsphasen
- Reservierung der Kapazitätsbedarfe nach Verfügbarkeit
- Erstellung von sog. „Meilensteinen“ für jede Phase der Durchlaufzeit
- Reservierung von Kapazitäten der Fertigungsplanung im SAP PP System
- Einführung sog. „Kapazitätstöpfe“, um den Arbeitsaufwand grob festzulegen
- Steuerung durch die Kombination aus Taktorientierter Planung mit ConWIP Steuerung
- geringe Taktlänge (z.B. 2 Tage)
- eher hohe Pufferzeiten (ca. 30% der Taktzeit)
- Einführung einer zweiten Regelkarte für Ausnahmefälle im Rahmen der ConWIP Steuerung

9.3.2 Fahrplan

Im Rahmen des folglich vorgestellten Fahrplans sollen geeignete Handlungsempfehlungen in Form konkreter Maßnahmen und Schritte präsentiert werden, damit man den derzeit schwierigen Voraussetzungen am TSM entgegenwirkt. Dadurch wird es schließlich möglich, den Weg zu einer Umsetzung des Konzepts freizulegen.

Eine erste Betrachtung widmet sich der Datengewinnung und -verarbeitung. Ihr wird im Rahmen der Konzeptumsetzung besondere Wichtigkeit eingeräumt, da durch eine umfangreiche Datengewinnung und -verarbeitung geeignete Prognoseverfahren eingesetzt werden können, um die Kapazitätsbedarfe der eingehenden Aufträge (wie sie oben in Fall 2 beschrieben sind) zu bestimmen. Zu diesem Zweck können die nachfolgenden Maßnahmen ergriffen werden. Sie gelten als konkrete Handlungsempfehlungen des Fahrplans:

Einerseits muss durch die Einführung einer Kundennummer keiner Auftragsnummer mehr der Status „fallweise Lieferung“ zugewiesen werden. Die Phasen eines Auftrags können analog zu allen anderen im System protokolliert und für zukünftige Prognosen verwendet werden. Sollte der Kunde nochmals dasselbe bzw. ein ähnliches Los bestellen, so kann ein neuer Auftrag unter seiner Kundennummer eröffnet werden. Damit minimiert sich die Zahl der Langläufer in den Aufträgen, nicht zuletzt aus dem Grund, dass die Bestellungen eines Kunden einzeln betrachtet und somit nach Abschluss im System auch als abgeschlossen gekennzeichnet werden.

Eine weitere Maßnahme bezieht sich auf die einheitliche Dokumentation der Auftragsbeschreibung, sodass begriffliche Verallgemeinerungen in Zukunft für Erleichterungen sorgen. Außerdem können Gleichanteile, auch von verschiedenen Aufträgen, besser erkannt und somit die Prognosegüte erhöht werden. Außerdem stellt auch eine Zuordnung des Erzeugnisses zum Anlageort ein notwendiges Mittel für dieses Ziel dar.

Zudem gilt es zusätzlich als essenzielle Maßnahme, den Reparaturumfang digital festzuhalten, sodass wiederum Informationen für zukünftige Reparaturaufträge zur Verfügung stehen. Dabei erweist es sich als sinnhafte Möglichkeit, den digitalen Reparaturumfang direkt am Arbeitsplatz mit den zur Verfügung stehenden Terminals im System zu hinterlegen. Im Sinne einer effizienten und standardisierten Datenfindung kann man den Anwender bei der Bearbeitung aus vorgefertigten Optionen (z.B. Fehlercodes) im System auswählen lassen.

Eine nächste Betrachtung widmet sich der Prognose der reinen Planzeit. Derzeit beruht sie noch vollständig auf der Durchlaufzeit in der Fertigungsplanung abzüglich einer als konstant ermittelten Warte- und Liegezeit. Um den Kapazitätsbedarf in der Planung in Zukunft noch genauer vorhersagen zu können, ist analog zur Werkstätte die Kennzeichnung der reinen Planzeiten der Aufträge als nächste Maßnahme empfehlenswert. Auf diese Weise kann jeder Planer, der einen Auftrag abgearbeitet hat, die dafür benötigte reine Arbeitszeit (in Stunden) dem Auftrag im System hinterlegen und für eine gute Dokumentation im Betrieb sorgen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die mögliche Einführung einer Produktivitätskennzahl hingewiesen.

Die nächste Maßnahme betrifft die optimale Auftragspriorisierung. Die bestmögliche Einsteuerung der Aufträge zielt sowohl auf einen für den Kunden als auch auf einen für die Abläufe und Strukturen der Werkstätte optimalen Liefertermin ab. Dafür bedarf es des Wissens rund um die Dringlichkeit, also Priorität, der Aufträge. In der Regel ist dieses Wissen zurzeit nur für die Eil- und Störaufträge vorhanden, denn diese müssen so schnell wie möglich abgearbeitet werden. Bei allen anderen planmäßigen Instandhaltungsaufträgen entspricht der angegebene Wunschliefertermin des Kunden, sofern vorhanden, oft nicht der tatsächlichen Dringlichkeitssituation des Auftrags. So kommt es nicht selten zur Nichtbeachtung des Wunschliefertermins.

Die häufige Folge am TSM ist dabei eine selbst angestellte Einschätzung, die oft zu einer niedrigen Priorisierung und folglich zu einer Verschiebung des Auftrags nach hinten führt. Genau dieses Vorgehen begünstigt jedoch auch das Entstehen sogenannter Langläufer, was in extremen Fällen, zur vermehrten Generierung von Eil- und Störaufträgen führt. Um auf dieses komplexe Problem geeignet reagieren zu können (immerhin sollte eine richtige Einschätzung der Dringlichkeit Aufgabe der unternehmensinternen Kunden sein), wurde die Einführung einer entsprechenden

Kennzahl angedacht. Es handelt sich dabei um eine Priorisierungskennzahl, durchzuführen wie folgt:

Prinzipiell kann ein erster prognostizierter Liefertermin mit dem vom Kunden angegebenen Wunschliefertermin bei Auftragseingang verglichen werden. (Es sei dabei angemerkt, dass zur Prognose der Liefertermine die einzelnen Kapazitätsbedarfe durch Prognoseverfahren ermittelt werden müssen, was derzeit aufgrund diverser Ursachen nur eingeschränkt möglich ist, wie bereits beschrieben wurde. Erst wenn die Kapazitätsbedarfe bekannt sind, können die Kapazitätstöpfe befüllt und ein Liefertermin genannt werden.) Unterscheiden sich der ausgeschickte Liefertermin und der Kundenwunschliefertermin, so lässt sich prozentuell feststellen, wie häufig der Kunde Reklamationen erhebt bzw. Abänderungswünsche äußert. Die einzuführende Kennzahl wird dabei pro Kunde ermittelt und anhand ihrer kann bestimmt werden, wie wichtig dem Kunden sein geäußelter Wunschliefertermin ist. Weist die Kennzahl eine hohe Reklamationsrate auf, also beharrt der Kunde auf seinen Wunschtermin, so lässt sich daraus schließen, dass eine gewisse Dringlichkeit für die Fertigstellung zum Wunschliefertermin des Auftrags gegeben ist. Andernfalls wird der geforderte Fertigstellungstermin des Kunden für ihn eine eher niedrige Relevanz aufweisen und er kann demnach so gewählt werden, wie es sich für den Ablauf in der Werkstätte am besten erweist.

Schlussendlich soll die Erwähnung weiterer Handlungsempfehlungen, die im Zuge der Erhebung des Ist-Zustands deutlich wurden, dem Fahrplan nicht enthalten bleiben:

Diese betreffen einerseits die Erstellung eines Barcodes für jede Auftragsnummer, welcher in Folge an seiner Auftragsmappe angebracht werden kann. So ersparen sich sämtliche Mitarbeiter die zig-fache händische Eingabe der Auftragsnummer. Andererseits kommt es zu einer weiteren Entlastung der Mitarbeiter, wenn die derzeit per Post ausgesandten Lieferterminbenachrichtigungen zukünftig durch digitale Benachrichtigungen ersetzt werden.

Für einen besseren Überblick lassen sich nun folgende **konkrete Maßnahmen und Schritte** als Fahrplan für das TSM zusammenfassen:

- Einführung einer Kundennummer
- Einführung einer einheitlichen Dokumentation der Auftragsbeschreibung
- Zuordnung des Erzeugnisses zum Anlageort
- Einführung einer digitalen Beschreibung des Reparaturumfangs
- Kennzeichnung der reinen Planzeiten (in Stunden) durch den Planer
- Einführung einer Priorisierungskennzahl
- Erstellung eines Barcodes für jede Auftragsnummer
- Einführung einer digitalen Lieferterminbenachrichtigung

10 Ausblick

Aufgrund der in den vorhergehenden Kapiteln dieser Arbeit angestellten Überlegungen und der gewonnenen Erkenntnisse kann folgender Ausblick gegeben werden:

Durch Heranziehen des präsentierten Konzepts zur Produktionsplanung und -steuerung, abgestimmt auf die Zentralwerkstätte des TSM an der voestalpine Stahl GmbH in Linz, wird es in Zukunft nicht nur möglich sein eine frühere Nennung eines ersten Liefertermins sowie eine höhere Liefertreue zu erreichen, es wird außerdem möglich sein auch die Anzahl an Eil- und Störaufträgen zu verringern. Immerhin liegt es an der derzeitigen Planung in die unbegrenzte Kapazität, warum viele Aufträge aufgeschoben und bei akutem Bedarf zu Eil- und Störaufträgen werden. Verringert sich der Anteil an Eil- und Störaufträgen, so kann künftig die mittels Computeralgorithmus erfolgende Einsteuerung der Aufträge auch wieder in Betracht gezogen werden. Denn auf diese Weise lässt sich der doch eher hohe Aufwand in der auftragsweisen Einsteuerung der Aufträge reduzieren.

Das vorliegende Konzept ist auch für andere Unternehmen von hohem Wert. Es liefert ganz allgemein einen ersten Schritt in Richtung einer vorausschauenden Kapazitätsplanung und einer damit verbundenen früheren Nennung des ersten Liefertermins sowie seiner Einhaltung. Basierend auf der Umsetzung des Fahrplans, den Ergebnissen der reinen Planzeit und jenen der reinen Bearbeitungszeit in der Werkstätte, kann in Zukunft eine Umstellung zur Planung in die begrenzte Kapazität erfolgen, was weitreichende Änderungen der Prozesse im Auftragsmanagement und der Fertigungssteuerung mit sich bringt. Zu diesen Änderungen zählt unter anderem eine allgemein verbesserte Datengewinnung und -verarbeitung. Daraus erhält man wiederum mehr Möglichkeiten, um die Kapazitätsnachfrage zukünftiger Aufträge anhand vergangener Aufträge festzustellen. Ein gewisser Gleichanteil unter ihnen ist dabei völlig ausreichend.

Ein weiterer Punkt, der anfänglich unter Berücksichtigung dieser Diplomarbeit stand, schlussendlich aber aufgrund mangelnder Datenvielfalt und -qualität nicht realisiert wurde, betrifft das Thema *machine learning*. Kurz gesagt, geht es dabei um Folgendes:

Durch den Einsatz künstlicher Intelligenz bekommt ein System die Fähigkeit, automatisch und ohne explizit darauf hingewiesen werden zu müssen, Wissen aus Erfahrung zu generieren. Demnach ist es in der Lage eigenständige Lösungen für veränderliche Strukturen zu kreieren. Damit dieser Prozess überhaupt in Gang gesetzt werden kann, bedarf es einer Vielzahl an auftragspezifischen Daten mit guter Qualität. Denn nur so kann ein Algorithmus anhand der Eigenschaften der

Auftragsdaten trainiert werden, um in weiterer Folge Muster und Gesetzmäßigkeiten zu erkennen.

Vorrangiges Ziel von *machine learning* ist es, Daten auf intelligente Art und Weise zu verknüpfen, sodass Zusammenhänge erkannt und für Rückschlüsse und Prognosen verwendet werden können. Diese Prognosen übertreffen oft selbst die Einschätzungen der erfahrensten Experten des jeweiligen Gebiets. Denn es ist die große Stärke des selbstlernenden Programms, komplexe Zusammenhänge aus großen Datenmengen zu verarbeiten. Werden die in dieser Diplomarbeit im Fahrplan als geeignet eingestuften Maßnahmen zur Datengewinnung und -verarbeitung schlussendlich umgesetzt, bieten sie für die Zukunft eine gute Grundlage, um weitere Analysen im Bereich *machine learning* anzustellen.

11 Literaturverzeichnis

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion, Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen, Hanser, München, 2011

Backhaus, K.; Voeth, M. (Hrsg.): Handbuch Industriegütermarketing, Strategien - Instrumente - Anwendungen, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2004

Becker, T.: Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren, 3. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2018

Bichler, K.: Beschaffungs- und Lagerwirtschaft, 4. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1988

Bonnemeier, S.: Wertschaffung und Wertaneignung als Erfolgsfaktoren von Lösungsanbietern, Eine konzeptionelle und empirische Untersuchung organisationaler Kompetenzen, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2009

Buzacott, A.; Corsten, H.; Gössinger, R.; Schneider, H.: Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen, Oldenbourg Verlag, München, 2009

Dombrowski, U.; Sandler, M.: Production Planning and Control in Repair Shops, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 111, Ausgabe 10, Hanser, München, 2016

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik 3, Arbeitsvorbereitung, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2002

Fahrmeir, L.; Heumann, C.; Künstler, R.; Pigeot, I.; Tutz, G.: Statistik, Der Weg zur Datenanalyse, 8. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg, 2016

Ford, H.; Crowther, S.: My Life and Work, The Floating Press, 2009

Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V.: PPS Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen - Konzepte - Anwendungen, 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1992

Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2. Auflage, VDI Verlag, Düsseldorf, 1989

Hansmann, K.-W.: Industrielles Management, 8. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2006

Herlyn, W.: PPS im Automobilbau, Produktionsprogrammplanung und -steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten, Hanser, München, 2012

- Kiener, S.; Maier-Scheubeck, N.; Obermaier, R.; Weiß, M.: Produktions-Management, Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, 10. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2012
- Kiener, S.; Maier-Scheubeck, N.; Obermaier, R.; Weiß, M.: Produktions-Management, Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, 11. Auflage, De Gruyter Oldenbourg Verlag, Berlin, 2018
- Kilger, W.: Optimale Produktions- und Absatzplanung, Entscheidungsmodelle für den Produktions- und Absatzbereich industrieller Betriebe, 1. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 1973
- Klevers, T.: Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design, Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern, 1. Auflage, mi-Fachverlag, Landsberg, 2007
- Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung, Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen, 5. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2003
- Kurbel, K.: Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie, Von MRP bis Industrie 4.0, 8. Auflage, De Gruyter Oldenbourg Verlag, Berlin, 2016
- Lindner, A.; Richter, I.: Wertstromdesign, 2. Auflage, Hanser, München, 2015
- Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung, Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, 3. Auflage, Springer Vieweg, Heidelberg, 2016
- Lorenz, B.; Feige, A.: Modelle zur taktorientierten Fertigungssteuerung, Theoretische Betrachtungen zu einer Fertigungssteuerung für Werkstattfertigung, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 110, Ausgabe 4, Hanser, München, 2015
- Luger, A.; Geisbüsch, H.-G.; Neumann, J.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Band 2: Funktionsbereiche des betrieblichen Ablaufs, 4. Auflage, Hanser, München, 1999
- Matyas, K.: Instandhaltungslogistik, Qualität und Produktivität steigern, 6. Auflage, Hanser, München, 2016
- Mintzberg, H.: That's not "turbulence," Chicken Little, it's really opportunity, Planning Review, Band 22, Ausgabe 6, MCB UP Limited, Bingley, 1994
- Zäh, M.; Neise, P.; Sudhoff, W.: Make-or-Buy-Entscheidungen in der Produktion, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 98, Ausgabe 7-8, Hanser, München, 2003
- Niehues, M.; Nissen, F.; Reinhart, G.: Moderne Werkstattfertigung, Effiziente Fertigung hochvarianter Produkte durch Echtzeit-Ortung und adaptive Steuerung der Auftragsreihenfolge mittels bionischer Algorithmen, ZWF Zeitschrift für

wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 107, Ausgabe 12, Hanser, München, 2012

Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien, Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2012

Pfeffer, M.: Bewertung von Wertströmen, Kosten-Nutzen-Betrachtung von Optimierungsszenarien, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2014

Pfohl, H.-C.: Logistiksysteme, Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 8. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2010

REFA, Methodenlehre der Planung und Steuerung 2, Grundbegriffe, Einflüsse auf das Unternehmen, Informationen und Daten, Erzeugnisdokumentation, 4. Auflage, Hanser, München, 1985

Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement, Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend, 7. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016

Schuh, G. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2006

Schulte, C.: Logistik, Wege zur Optimierung der Supply Chain, 7. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München, 2017

Sihn, W.; Sunk, A.; Nemeth, T.; Kuhlmann, P.; Matyas, K.: Produktion und Qualität, Organisation, Management, Prozesse, Hanser, München, 2016

Tempelmeier, H.: Material-Logistik, Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen, 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2008

Vahrenkamp, R.; Siepermann, C.: Produktionsmanagement, 6. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2008

Vahrenkamp, R.; Kotzab, H.; Siepermann, C.: Logistik, Management und Strategien, 7. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2012

VDI Gesellschaft Produktionstechnik, Lexikon der Produktionsplanung und -steuerung, Begriffszusammenhänge und Begriffsdefinitionen, 4. Auflage, VDI Verlag, Düsseldorf, 1992

Wagner, K.; Lindner, A.: WPM Wertstromorientiertes Prozessmanagement, Effizienz steigern, Verschwendung reduzieren, Abläufe optimieren, 2. Auflage, Hanser, München, 2017

Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, Beschaffung, Logistik,

Materialwirtschaft und Produktion, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2010

Wiendahl, H.-H.: Auftragsmanagement der industriellen Produktion, Grundlagen, Konfiguration, Einführung, Springer Verlag, Berlin, 2011

Wiendahl, H.-P.: Load-Oriented Manufacturing Control, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1995

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, 8. Auflage, Hanser, München, 2014

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: voestalpine Standort Linz	10
Abbildung 2: Arbeitspakete und Struktur der Arbeit.....	17
Abbildung 3: Werkstattfertigung	20
Abbildung 4: Referenzsichten des Aachner PPS-Modells.....	23
Abbildung 5: Aufgabensicht.....	24
Abbildung 6: Erzeugung eines Stahlrohres	28
Abbildung 7: Phasen in der Abwicklung eines Auftrags	31
Abbildung 8: Arbeitsgangzeit und Arbeitsgangzwischenzeit.....	33
Abbildung 9: Vorwärts-, Mittelpunkt- und Rückwärtsterminierung	34
Abbildung 10: Pufferzeiten durch Vorwärts- und Rückwärtsterminierung.....	35
Abbildung 11: Auswirkungen von Überlappung und Splitting auf die Durchlaufzeit...37	
Abbildung 12: Kapazitätsbelastungsprofil.....	38
Abbildung 13: kumuliertes Ressourcenprofil	39
Abbildung 14: Planungslogiken und mögliche Techniken in Abhängigkeit der Flexibilität der Kapazitäten und des Auftragsfähigkeitstermins	42
Abbildung 15: Ablauf der auftragsorientierten Planung in die begrenzte Kapazität...46	
Abbildung 16: Trichtermodell.....	48
Abbildung 17: Ablauf der belastungsorientierten Auftragsfreigabe.....	49
Abbildung 18: ConWIP Steuerung.....	50
Abbildung 19: Taktororientierte Planung	51
Abbildung 20: Turbulenzkeime in Planung und Steuerung.....	54
Abbildung 21: Wertstromdarstellung eines Beispielprozesses	56
Abbildung 22: Pull-Prinzip aus Lager	57
Abbildung 23: Materialfluss – Push Prinzip	57
Abbildung 24: Kanban Lager - Supermarkt	57
Abbildung 25: Auftragsdurchlaufzeit.....	58
Abbildung 26: graphische ABC - Analyse.....	59
Abbildung 27: Regelwerk der Bedarfsermittlungsverfahren und Beschaffungsarten.60	
Abbildung 28: Ereignisgesteuerter Prozesskette eines Neuteils durch das Auftragsmanagement.....	63
Abbildung 29: Ereignisgesteuerter Prozesskette eines Reparaturteils durch das Auftragsmanagement.....	64
Abbildung 30: Detaillierte ereignisgesteuerte Prozesskette der Fertigungsplanung..67	
Abbildung 31: Ereignisgesteuerte Prozesskette von abgeschlossener Planung zur Terminstelle.....	69
Abbildung 32: SAP PP Plantafel.....	71
Abbildung 33: Struktur des Auftragsnetzes	75

Abbildung 34: Verteilung der Begleitkarten nach alleiniger oder gesammelter Zuordnung zu Auftragsnummern	75
Abbildung 35: beispielhafte Begleitkarte am TSM	76
Abbildung 36: Häufigkeit der Statusverläufe	79
Abbildung 37: Beispielauftrag 1	80
Abbildung 38: Beispielauftrag 2	81
Abbildung 39: Wertstromdarstellung FP->RU	83
Abbildung 40: Konzept zur Vorhersage der reinen Planzeit	83
Abbildung 41: Boxplot Planzeit (unbereinigt)	85
Abbildung 42: Boxplot Planzeit (bereinigt)	86
Abbildung 43: Wertstromdarstellung FP->XX	87
Abbildung 44: Wertstromdarstellung TS/RU->XX	91
Abbildung 45: Beziehung der Arbeitsgangzeit zu den Vorgängen	91
Abbildung 46: Turbulenzanalyse	93
Abbildung 47: Beispielauftrag 1	96
Abbildung 48: vereinfachte Wertstromanalyse zum Beispielauftrag 1	96
Abbildung 49: Beispielauftrag 2	97
Abbildung 50: vereinfachte Wertstromanalyse zum Beispielauftrag 2	97
Abbildung 51: Konzept und Fahrplan im Kontext der Umsetzung	98
Abbildung 52: Kapazitätseinplanung der Aufträge bei Auftragseingang	100
Abbildung 53: Erster Liefertermin und Bestätigung/Korrektur	101

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Werkstattfertigung.....	20
Tabelle 2: Durchlaufstationen eines Auftrags und deren Beschreibungen	77
Tabelle 3: Statusverläufe in der Fertigungsplanung und deren statistische Kennwerte	82
Tabelle 4: Ausgangsgrößen bei Verwendung aller Aufträge	85
Tabelle 5: Ausgangsgrößen bei Verwendung aller Aufträge, die bis einschließlich 45,5 Tage zur Ausplanung benötigt haben.....	86
Tabelle 6: Ergebnisse der Prognose der reinen Planzeit der Aufträge.....	88
Tabelle 7: Statusverläufe in der Fertigungssteuerung und deren statistische Kennwerte	89
Tabelle 8: Statistische Kennwerte der Arbeitsgangzeit (unbereinigt)	90
Tabelle 9: Statistische Kennwerte der Arbeitsgangzeit (bereinigt)	91
Tabelle 10: Häufigkeit nach Anzahl an Vorgängen pro Auftrag.....	92

14 Abkürzungsverzeichnis

99	Auslieferung/Abschluss
abg.	abgeschlossen
AG	Aktiengesellschaft
APS	Advanced Planning System
AR	Auftragsrechnung
BB	Bestellbüro
BDE	Betriebsdatenerfassung
BoA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
ConWIP	Constant Work in Progress
CRP	Capacity Requirements Planning
d.h.	das heißt
EDD	Earliest Due Date
e.g.	exempli gratia
ERP	Enterprise Resource Planning
etc.	et cetera
FIFO	First In, First Out
FIR	Forschungsinstitut für Rationalisierung
FL	Fallweise Lieferung
FP	Fertigungsplanung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
IQA	Interquartilsabstand
IT	Informationstechnik
KL	Klärung bei Reparaturen
Korma	Kapazitätsorientierte Materialbewirtschaftung
KW	Kalenderwoche
MA	Auftragsmappe anlegen
PLA	Ausplanung des Auftrags
PM	Plant Maintenance
PP	Produktionsplanung
PPC	production planning and control
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung

RU	Reparaturumfang
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
SAP	Systeme, Anwendungen, Produkte
SCM	Supply Chain Management
SE	Stückzeitermittlung
SI	Sistierung des Auftrags
SLK	Shortest Slack
sog.	sogenannte, -er, -es
SP	Schnellplanung
TS	Terminstelle
TSM	Mechanisch Technisches Zentrum
u.a.	unter anderem, -n
z.B.	zum Beispiel