

Optimierung der Fertigungsfeinsteuerung durch transparente Losverfolgung

Dargestellt am Beispiel der Firma EPCOS OHG
im Geschäftsbereich Vielschichttechnologie an den Standorten
Deutschlandsberg (Österreich) und Kutina (Kroatien)

Diplomarbeit
von
cand. Ing. Manuel ARTZ



eingereicht am
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
der
Montanuniversität Leoben

Leoben, am 12. Juni 2008

Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung für diese Diplomarbeit resultierte aus der Fertigungssituation in der Firma EPCOS OHG vom August 2007, konkret im Geschäftsbereich Vielschichttechnologie mit den Standorten Deutschlandsberg (Österreich) und Kutina (Kroatien). Die Fertigungssteuerung war trotz ERP-System nicht transparent, weswegen auch die Möglichkeit fehlte, gezielt in das System einzugreifen. Die Abteilungen waren produktionstechnisch selbstoptimiert, wobei dort in erster Linie die Auslastung der Maschinen berücksichtigt wurde. Dies hatte eine beinahe regellose Losarbeitung zur Folge, deren weitere Konsequenz eine hohe mittlere Durchlaufzeit (DLZ) mit einer breiten Standardabweichung war. Weiters wurden die aktuellen Fertigungsbestände (WIP – Work In Process) nicht bis zu den untersten Produktionsebenen ausgewertet, was eine zusätzliche Unschärfe für die Fertigung bedeutet.

Es ist in erster Linie notwendig, durch konsequente Losverfolgung Transparenz in die Fertigung zu bringen, um die derzeitige Situation besser einschätzen zu können und um mögliche erste Ansatzpunkte für Verbesserungen herauszufiltern. Ziel ist es, eine neue Methode zur Fertigungssteuerung zu entwickeln, die diese Losverfolgung möglich macht. Anschließend werden Schritte in Richtung Streuungsverringerung und Durchlaufzeitverkürzung durchgeführt. Um die vergangenen und aktuellen Werte in die Zukunft übertragen und daraus Zielwerte generieren zu können, wird ein Controlling-Tool entwickelt, welches schließlich der Fertigungssteuerung als Hilfsmittel zur Verfügung steht.

Zur theoretischen Fundierung des Praxisteils wird insbesondere auf das Controlling mittels Regelkreisen eingegangen. Es werden Parallelen zur Systemtheorie erklärt, um potentielle Lösungsansätze aus diesem Fachgebiet zu übernehmen. Weiters werden die Grundlagen der Fertigungssteuerung als Basis für den Praxisteil erläutert. Dadurch werden die für das Controlling wichtigen Steuerungsmechanismen aufgezeigt, die es ermöglichen, an der richtigen Stelle in den Prozess einzugreifen.

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Informationen und Quellen benützt und die den verwendeten Quellen wörtliche oder inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.“

Manuel Artz

Leoben, 12. Juni 2008

Danksagung

Die Arbeiten für mein Diplomprojekt fanden sowohl in der Firma EPCOS OHG als auch am Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben äußerst wertvolle Unterstützung. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle bei meinem Betreuer und Ansprechpartner bei EPCOS OHG, Herrn Mag. Gert Breitfuß, Leiter der Abteilung Supply Chain Center (SCC), bedanken. Er hat den geeigneten Rahmen für das Diplomarbeitsprojekt geschaffen und mich durch seine fachliche und moralische Unterstützung stets motiviert und angespornt. Weiters gilt mein Dank dem Leiter des Geschäftsgebiets Keramische Vielschicht-Bauelemente, Herrn DI Dr. Eduard-Peter Dermond, der es mir ermöglicht hat, die theoretisch entwickelten Konzepte in diesem Geschäftsgebiet in die Praxis umzusetzen. Dabei konnte ich auch auf die Unterstützung vieler kompetenter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zurückgreifen, wofür ihnen ebenfalls mein Dank gebührt. Meine wichtigsten Ansprechpartner bei dieser Umsetzung waren Evelin Lehmann-Pausch (Deutschlandsberg) und Marinko Vidovic (Kutina), welche mir mit Rat und Tat behilflich waren.

Von Seiten der Universität bedanke ich mich vor allem bei meinem Betreuer Mag. Dr. MBA Herwig Kohla, der mir sowohl mit seiner fachlichen Kompetenz, als auch mit seinem persönlichen Engagement zur Seite gestanden ist. Ebenfalls bin ich Herrn Univ.-Prof. DI Dr. Hubert Biedermann zu Dank verpflichtet, der mir ermöglicht hat, die Diplomarbeit am Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben zu verfassen.

Abschließend gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, die mir in jeder Lebenslage beigegeben sind und mir durch ihre moralische Unterstützung stets ein sicherer Rückhalt waren.

Abstract

The task for this diploma thesis was defined by the production situation at EPCOS OHG in August 2007, specifically by its business division of multilayer technology, which is located in Deutschlandsberg (Austria) and Kutina (Croatia). Despite the usage of an ERP-system, the production control within this division was not transparent. This is the reason why the division lacked the opportunity of targeted access to the system of production. The individual work centers can be seen as practically capacity-driven and self-optimized, the consequence being that the processing of the lots was not based on a specific set of rules. This was the reason why initially the mean lead time was high and the lead time was characterized by a broad spread. Furthermore, there was no detailed analysis of the actual work in process (WIP) down to the work centers, which caused an additional fuzziness of the production.

As a first step, it was necessary to establish production transparency by consistent lot monitoring in order to calculate the lot position and to gain a first approach of improvement. A new method of production control had to be created, in order to enable this vital lot monitoring. After that, the task was to reduce the spread and the lead time. An additional controlling tool had to be created in order to generate the goals for the future, based on past and actual production ratios.

Production control as well as controlling in combination with cybernetics form the theoretical basis for the practical implementation. In addition, this practical chapter also shows considerable parallels to systems theory, which is also explained in order to adopt potential methods of solution. Therefore the most important control mechanisms of controlling are elaborated to get access to the key points of the process.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-------------|
| Aufgabenstellung | ii |
| Eidesstattliche Erklärung | iii |
| Danksagung | iv |
| Abstract | v |
| Inhaltsverzeichnis | vi |
| Abbildungsverzeichnis | viii |
| Tabellenverzeichnis | x |
| Abkürzungsverzeichnis | xi |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Fertigungssteuerung | 2 |
| 2.1 Definitionen | 2 |
| 2.2 Arten der Fertigungssteuerung..... | 7 |
| 2.3 Maschinenbelegungsplanung..... | 11 |
| 2.3.1 Optimierungsziele..... | 12 |
| 2.3.2 Abarbeitungssteuerung durch Prioritätsregeln..... | 14 |
| 3 Systemtheorie | 21 |
| 3.1 System und Umwelt | 21 |
| 3.2 Entstehung der Systemtheorie..... | 25 |
| 3.3 Triviale und Nicht-Triviale Maschine..... | 28 |
| 3.3.1 Triviale Maschine (TM) | 29 |
| 3.3.2 Nicht-Triviale Maschine (NTM) | 30 |
| 3.4 Kybernetik | 32 |
| 3.4.1 Entstehung der Kybernetik..... | 33 |
| 3.4.2 Steuerung – Regelung – Rückkopplung..... | 35 |
| 3.4.3 Kybernetik in der Produktion..... | 39 |
| 3.5 Selbstorganisation..... | 47 |
| 4 Controlling | 50 |
| 4.1 Controlling in der Praxis | 50 |
| 4.2 Controlling-Konzeptionen..... | 53 |
| 4.2.1 Informationsorientierte Konzeption | 55 |
| 4.2.2 Planungs- und Kontrollorientierte Konzeption..... | 56 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2.3 | Koordinationsorientierte Konzeption..... | 58 |
| 4.3 | Planung – Kontrolle – Information..... | 60 |
| 4.3.1 | Definitionen | 60 |
| 4.3.2 | Zusammenhänge..... | 64 |
| 5 | Praxisteil | 68 |
| 5.1 | Firmenbeschreibung | 68 |
| 5.2 | Ist-Situation | 71 |
| 5.3 | Erarbeitung der Ziele und des Projektplans..... | 75 |
| 5.4 | Vorgehen | 78 |
| 5.4.1 | Erstellung der Sequenzerliste..... | 78 |
| 5.4.2 | Einführung der Sequenzerliste | 82 |
| 5.4.3 | WIP-Controlling..... | 92 |
| 5.4.4 | Erfolge des Projekts in Zahlen | 102 |
| 5.5 | Zusammenfassung des Praxisteils..... | 107 |
| 5.6 | Ausblick | 108 |
| | Literaturverzeichnis | 111 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Allgemeingültiges eindimensionales Durchlaufelement..... | 4 |
| Abbildung 2: Das OEE Zeitgerüst | 6 |
| Abbildung 3: Klassifizierung von Steuerungsverfahren a) nach der Verfahrensart und b) nach den Einsatzfeldern | 8 |
| Abbildung 4: System-Umwelt mit Systemelementen | 24 |
| Abbildung 5: Ursache-Wirkungs-Kette..... | 25 |
| Abbildung 6: Zirkularität | 25 |
| Abbildung 7: Triviale Maschine..... | 29 |
| Abbildung 8: Nicht-Triviale Maschine mit innerem Zustand z..... | 31 |
| Abbildung 9: Steuerkette | 36 |
| Abbildung 10: Struktur- und Funktionsschema des Regelkreises | 37 |
| Abbildung 11: Sensor-Effektor-Modell..... | 38 |
| Abbildung 12: Zentrale Informationsverarbeitung | 40 |
| Abbildung 13: Dezentrale Informationsverarbeitung | 41 |
| Abbildung 14: Mischform zentraler und dezentraler Informationsverarbeitung..... | 41 |
| Abbildung 15: Vertikal vernetzte Regelkreise..... | 44 |
| Abbildung 16: Horizontal vernetzte Regelkreise | 45 |
| Abbildung 17: Rekursion..... | 48 |
| Abbildung 18: Rangreihe der Controllingaufgaben..... | 52 |
| Abbildung 19: Produktionsfaktorsystem nach Erich Gutenberg..... | 55 |
| Abbildung 20: Controlling als Koordinationssystem der Führung..... | 57 |
| Abbildung 21: Führungssystem der Unternehmung | 58 |
| Abbildung 22: Einordnung von Controlling in das System Unternehmung | 59 |
| Abbildung 23: Wirkungsreichweite der Kontrolle | 61 |
| Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Kontrolle und Controlling..... | 62 |
| Abbildung 25: Darstellung des kybernetischen Grundprinzips – Feedback | 65 |
| Abbildung 26: Darstellung des kybernetischen Grundprinzips – Feedforward..... | 66 |
| Abbildung 27: Materialfluss der Dispositionsstufe 6 | 70 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 28: Multilayer Ceramic Capacitors (li.) und Multilayer Varistors (re.)..... | 71 |
| Abbildung 29: Verteilung der Durchlaufzeit für die Produktgruppe MLCC | 74 |
| Abbildung 30: Projektplan | 77 |
| Abbildung 31: Rohfassung der Sequenzerliste als Vorgabe vom Logistik-Leiter | 79 |
| Abbildung 32: Rohfassung der Abfrage für den Bereich Cutten Nitto..... | 81 |
| Abbildung 33: Auswertung der Streuung und der mittleren DLZ, September 2007 | 83 |
| Abbildung 34: Akzeptanzmatrix..... | 85 |
| Abbildung 35: Endversion der Sequenzerliste für den Bereich Cutten Nitto | 87 |
| Abbildung 36: Phasen von Veränderungsprozessen | 88 |
| Abbildung 37: Anwenderoberfläche zum Druck der Sequenzerliste..... | 92 |
| Abbildung 38: Exemplarischer Regelkreislauf für eine Abteilung..... | 93 |
| Abbildung 39: Sequenzerliste mit Spalten für Betriebsmittel und Kommentar | 95 |
| Abbildung 40: Exemplarische Regelkreise für Dispositionsstufe 6 | 96 |
| Abbildung 41: Controlling-Report – Tagesübersicht | 97 |
| Abbildung 42: Ermittlung der DLZ-Zielwerte am Beispiel des Bereiches Entkohlen | 98 |
| Abbildung 43: Controlling-Report Datenblatt | 100 |
| Abbildung 44: Controlling-Report Grafik | 100 |
| Abbildung 45: DLZ-Analyse Entkohlen..... | 103 |
| Abbildung 46: DLZ-Analyse Frontend..... | 104 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Tabelle 1: Verfahren zur Lösung von Maschinenbelegungsproblemen | 13 |
| Tabelle 2: Elementare (einfache) Prioritätsregeln | 15 |
| Tabelle 3: Wirksamkeit von Prioritätsregeln..... | 18 |
| Tabelle 4: Zuordnung der Eingangs- und Ausgangssymbole | 30 |
| Tabelle 5: Zuordnung der Eingangs-, Ausgangssymbole und des inneren Zustandes..... | 31 |
| Tabelle 6: Gegenüberstellung der Ausgangssituation mit dem Ergebnis | 106 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|---|
| BOA | Belastungsorientierte Auftragsfreigabe |
| BS | Basestock-Steuerung |
| Conwip | Constant Work In Process |
| DBF | Dezentralisierte Belastungsorientierte Fertigungsregelung |
| Dispo 6 | Dispositionsstufe 6 |
| DLZ | Durchlaufzeit(en) |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| FZ | Fortschrittszahl(en) |
| KYPOS | kybernetische Produktionsorganisation und -steuerung |
| MRP II | Management Resource Planning |
| NTM | Nicht-Triviale Maschine(n) |
| OEE | Overall Equipment Effectiveness |
| Polca | Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization |
| PPS | Produktionsplanung und -steuerung |
| RE | Regeleinheit(en) |
| RS | Regelstrecke(n) |
| SL | Sequenzliste(n) |
| TM | Triviale Maschine(n) |
| WIP | Work In Process |

1 Einleitung

Es gibt zwei Gründe, die für die Wahl meines Diplomarbeitsthemas ausschlaggebend waren. Zum einen interessiere ich mich für das Gebiet der Systemtheorie, dort im Speziellen für die Kybernetik. Zum anderen war die Aufgabenstellung der Firma EPOCS OHG, mittels Losverfolgung Transparenz in die Fertigung zu bringen und die Durchlaufzeiten zu verkürzen, eine Herausforderung und zugleich ein interessantes Betätigungsfeld für einen Logistiker. Die komplexen Wechselwirkungen in der Produktion und die Beherrschung und Verbesserung der Prozesse war schon immer faszinierend für mich. Deshalb freut es mich, in meiner Diplomarbeit beide Interessensgebiete miteinander verbinden zu können und mit der Firma EPCOS OHG und meinem Diplomarbeitbetreuer Mag. Dr. MBA Herwig Kohla kompetente und mich unterstützende Partner an meiner Seite zu haben.

In der Arbeit wird anfangs die Theorie behandelt und anschließend die theoretisch ausgearbeiteten Erkenntnisse auf die praktische Anwendung umgelegt. Die Querverbindungen zum Praxisteil werden dabei im Theorieteil in Form von praxisbezogenen Absätzen extra herausgearbeitet. Zu Beginn werden im allgemeinen Teil die Grundlagen der Fertigungssteuerung erklärt, welche die Basis für den Praxisteil bilden. Dabei gebe ich einen Überblick über die möglichen Arten der Fertigungssteuerung und der Abarbeitungsprinzipien. Weiters werden die für die Diplomarbeit besonders wichtigen Begriffe Durchlaufzeit, Work In Process, Auslastung und Terminabweichung erklärt. Danach wird die Systemtheorie beschrieben, wobei zuerst die Entwicklung bis hin zur Kybernetik skizziert wird, um dann im Speziellen auf die Kybernetik als eigenständigen Teilbereich einzugehen. Anschließend wird die Verbindung zu den Wirtschaftswissenschaften und zur Logistik erklärt, indem die grundlegenden Erkenntnisse aus der Kybernetik mit dem Controlling verglichen werden, um festzustellen, dass beide Bereiche ineinander überzuführen sind.

Von einer allgemeinen Theorie ausgehend wird der Fokus dieser Arbeit auf die praktische Umsetzung der oben genannten Aspekte gesetzt, was durch das Diplomarbeitprojekt „Optimierung der Fertigungsfeinsteuerung durch transparente Losverfolgung“ bei der Firma EPCOS OHG dargestellt wird. Der rote Faden, der sich durch die Arbeit zieht, wird durch die grundlegenden Kennzahlen der Logistik – Durchlaufzeit und Work In Process – dargestellt.

2 Fertigungssteuerung

Dieses Kapitel bildet die Basis für das Diplomarbeitsprojekt und beschreibt die wichtigsten Definitionen der Fertigungssteuerung. Nach den Definitionen wird ein grober Überblick über die Arten der Fertigungssteuerung gegeben, bevor speziell auf die Maschinenbelegungsplanung, als Teilgebiet der Fertigungssteuerung eingegangen, wird.

Der Grund für die intensive Auseinandersetzung mit den Prioritätsregeln liegt in deren besonderen Bedeutung für das Diplomarbeitsprojekt. In der Fertigung der Firma EPCOS OHG wurde eine Abarbeitungsliste erstellt, welche nach den im Kapitel beschriebenen Regeln sortiert wurde, um die logistischen Kennzahlen zu verbessern.

Die Anforderungen an die Fertigungssteuerung haben sich in den vergangenen Jahren geändert. Die immer stärker werdende Orientierung am Kundenwunsch, die durch den Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt geprägt ist, hat eine Verschiebung der produktionswirtschaftlichen Ziele zur Folge. In der Vergangenheit war die maximale Auslastung der Maschinen die oberste Priorität, doch die Kunden drängen nun immer häufiger auf kurze Lieferzeiten, auch auf spezielle Wünsche soll möglichst schnell und flexibel reagiert werden. Um am weltweiten Markt bestehen zu können ist es deshalb notwendig, diese Anforderungen durch hohe Liefertreue und kurze Reaktionszeiten mittels einer optimal gesteuerten Fertigung zu erfüllen. Dafür sind die logistischen Kennzahlen Durchlaufzeit, Work In Process, Terminabweichung und Auslastung von zentraler Bedeutung.¹ Diese Kennzahlen werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

2.1 Definitionen

Produktionsplanung und -steuerung

Die Aufgabe der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) auf operativer Ebene ist es, die Aufträge in der vereinbarten Menge und zum vereinbarten Termin fertig zu stellen. Dabei plant die Produktionsplanung den Produktionsablauf. Die Produktionssteuerung ist dafür zuständig diesen Produktionsablauf trotz möglicher Störungen zu realisieren (vgl. Abschnitt 3.4).²

¹ Vgl. Kurbel, Karl (1995), S. 21 und S. 184.

² Vgl. Lögging, Hermann (2001), S. 3.

Die Produktionsplanung kann nach Hackstein in drei Teilbereiche gegliedert werden:

- Produktionsprogrammplanung: Art, Menge und Termin der zu fertigenden Enderzeugnisse werden festgelegt.
- Mengenplanung: Stücklistenauflösung und Ermittlung des Sekundärbedarfs für Eingenfertigungs- und Beschaffungskomponenten werden durchgeführt.
- Termin- und Kapazitätsplanung: Durchlaufterminierung und Kapazitätsbedarfsrechnung werden durchgeführt, um die Start- und Endtermine der Fertigungsaufträge festzulegen.³

Dahingegen setzt sich die Produktionssteuerung aus folgenden Teilbereichen zusammen:

- Auftragsveranlassung: Erfassung des Fortschritts der Fertigungsaufträge bezüglich Menge, Termin und Qualität.
- Auftragsüberwachung: Bei Abweichungen vom Plan werden geeignete Gegenmaßnahmen durchgeführt (vgl. Abschnitte 3.4 und 4.3.2).⁴

Fertigungssteuerung

Begrifflich werden die oben beschriebenen Teilgebiete der PPS Termin- und Kapazitätsplanung sowie die Auftragsveranlassung und -überwachung als Fertigungssteuerung zusammengefasst. Die Fertigungssteuerung verfolgt das Ziel, die logistischen Kennzahlen Durchlaufzeit, Work In Process, Auslastung und Terminabweichung zu optimieren. Die Maschinenbelegungsplanung, welche in Abschnitt 2.3 erklärt wird, kann als Ablaufplanung im engeren Sinn bezeichnet werden und findet vor der Freigabe der Aufträge und der Durchführung der Produktion statt. Somit liegt die Verknüpfung von der Maschinenbelegungsplanung zur Fertigungssteuerung in der Termin- und Kapazitätsplanung sowie in der Auftragsveranlassung.⁵

³ Vgl. Lögging, Hermann (2001), S. 3f.

⁴ Vgl. Lögging, Hermann (2001), S. 4.

⁵ Vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 111 und vgl. Kurbel, Klaus (1995), S. 172.

Durchlaufzeit (DLZ)

Die DLZ für einen Auftrag wird definiert durch die Zeitdauer zwischen Auftragsfreigabe und Bearbeitungsende.⁶ Die auf die jeweiligen Arbeitsvorgänge bezogene DLZ beginnt mit dem Ende der Bearbeitung des Vorgänger-Arbeitsplatzes und endet mit dem Ende der Bearbeitung des betrachteten Arbeitsplatzes. Auf dieser Ebene kann die DLZ in fünf Bestandteile unterteilt werden (vgl. Abbildung 1):

- Liegen nach der Bearbeitung,
- Transport,
- Liegen vor der Bearbeitung,
- Rüsten und
- Bearbeiten.⁷

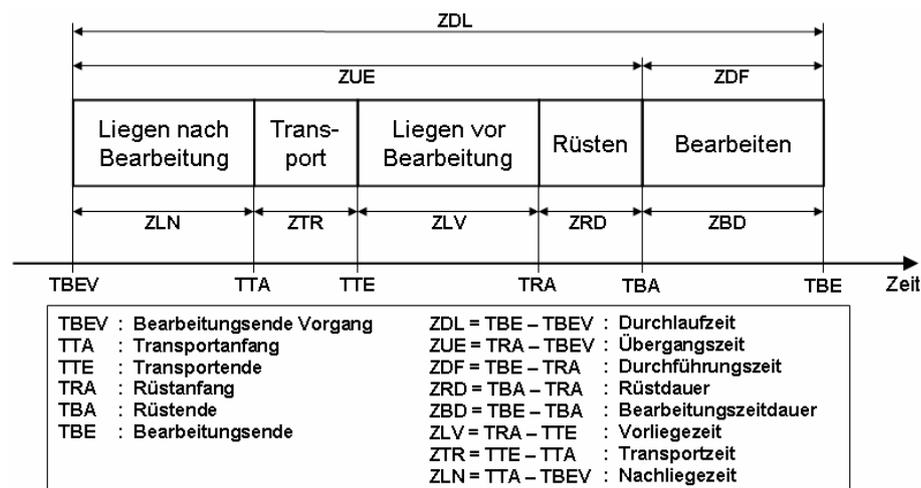


Abbildung 1: Allgemeingültiges eindimensionales Durchlaufelement⁸

Der größte Hebel bei der Minimierung der DLZ liegt in den Übergangszeiten (Wartezeiten). Der Anteil der Wartezeit an der DLZ liegt vielfach bei 85%.⁹ Für die Optimierung der DLZ stellt dieser Umstand ein großes Verbesserungspotential dar. Dieses Potential kann durch organisatorische Maßnahmen ausgeschöpft werden, ohne direkt in die Fertigungs-

⁶ Vgl. Lödning, Hermann (2001), S. 5.

⁷ Vgl. Wiendahl, Hans-Peter (1987), S. 51ff.

⁸ Quelle: Vgl. Wiendahl, Hans-Peter (1987), S. 53.

⁹ Vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 267.

prozesse einzugreifen. Auf die optimale Nutzung der Potentiale zielt auch das Diplomarbeitprojekt ab (vgl. Abschnitt 5.4).

Work In Process (WIP)

Aufträge, die freigegeben, aber noch nicht fertig gestellt sind, zählen zum Umlaufbestand der Fertigung (Work In Process). Über die kalkulatorische Verzinsung des gebundenen Kapitals ist der WIP direkt kostenwirksam. Deshalb drängen viele Unternehmen darauf den WIP so gering wie möglich zu halten.¹⁰ Moderne Steuerungsverfahren sehen die Fertigungsbestände als „Wurzel allen Übels“, doch sie sind notwendig, um eine akzeptable Auslastung der Maschinen zu gewährleisten.¹¹

Auslastung

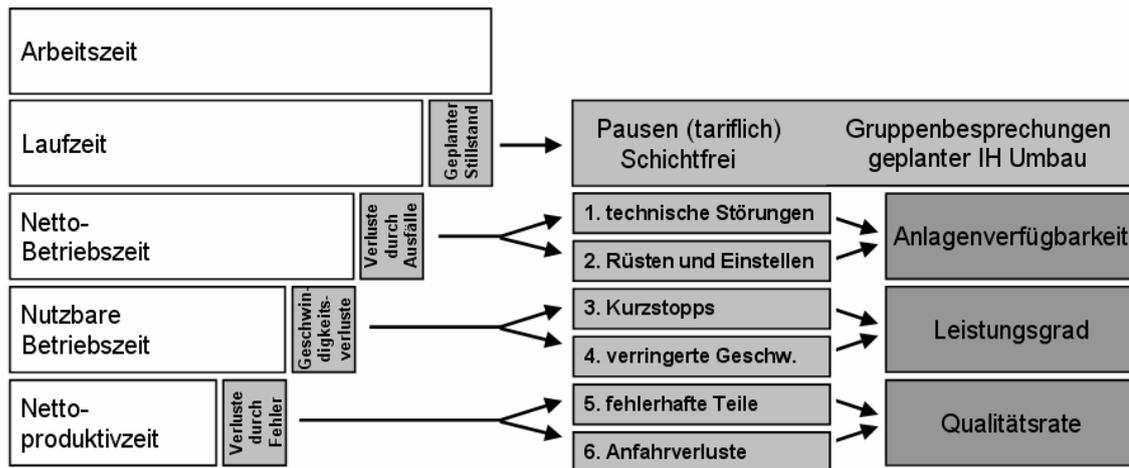
Die Leistung eines Arbeitssystems wird in Arbeit pro Zeiteinheit angegeben. Die Dimensionen werden entweder in Stunden pro Betriebskalendertag (Zeiteinsatz pro Betrachtungszeitraum) oder Anzahl der Aufträge pro Betriebskalendertag (Ausbringungsmenge pro Betrachtungszeitraum) gemessen. Die Auslastung wird durch das Verhältnis von tatsächlicher zu möglicher Leistung eines Arbeitssystems widerspiegelt.¹² Die Auslastung hängt direkt mit der Gesamteffektivität der Anlage (Overall Equipment Effectiveness, OEE) zusammen. Die OEE ist das Produkt aus Anlagenverfügbarkeit, Leistungsgrad und Qualitätsrate. Alle diese Faktoren beeinflussen die Auslastung eines Arbeitssystems. Das OEE Zeitgerüst ist in Abbildung 2 zu sehen.¹³

¹⁰ Vgl. Lödding, Hermann (2001), S. 7.

¹¹ Vgl. Wiendahl, Hans-Peter (1987), S. 334.

¹² Vgl. Lödding, Hermann (2001), S. 8.

¹³ Vgl. Biedermann, Hubert (2002), S. 16 und vgl. Nakajima, Seiichi (1995), S. 48.

Abbildung 2: Das OEE Zeitgerüst¹⁴

Die Anlagenverfügbarkeit berücksichtigt die Verlustzeiten (Anlagenausfälle und Umrüsten). Der Leistungsgrad berücksichtigt die Geschwindigkeitsverluste (Taktzeitverschlechterung und Kurzstörungen). Die Qualitätsrate liefert Aussagen bezüglich der Verluste durch Fehler (Fehler im Prozess und Anlaufverluste).¹⁵

Die Zusammenhänge zwischen DLZ, WIP und Auslastung werden durch das Trichtermodell und das Durchlaufdiagramm, beziehungsweise die davon abgeleiteten logistischen Kennlinien dargestellt.¹⁶ Kurz ausgedrückt steigt die Auslastung unterproportional zum Bestand, wohingegen die DLZ überproportional zum Bestand zunimmt. Das bedeutet, eine hohe Auslastung verlangt einen hohen Bestand, was zu langen DLZ führt, oder umgekehrt, kurze Durchlaufzeiten verlangen einen niedrigen Bestand, was zu einer geringeren Auslastung führt. Erich Gutenberg beschreibt diesen Zielkonflikt als Dilemma der Ablaufplanung indem er meint, dass es nicht möglich ist „zugleich die Durchlaufzeit des Materials und die Leerzeiten der maschinellen Apparaturen zu minimieren.“¹⁷

¹⁴ Quelle: Biedermann, Hubert (2002), S. 16.

¹⁵ Vgl. Biedermann, Hubert (2002), S. 16 und vgl. Nakajima, Seiichi (1995), S. 35.

¹⁶ Literaturverweis: Vgl. Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans-Peter (2003), S. 17ff und vgl. Schönsleben, Paul (2000), S. 497ff und vgl. Kurbel, Karl (1995), S. 185ff und vgl. Wiendahl, Hans-Peter (1987), S. 97ff und vgl. Lödding, Hermann (2001), S. 9ff.

¹⁷ Zit. nach Gutenberg, Erich (1983), S. 216.

Terminabweichung

Die Terminabweichung gibt an, wie groß die Differenz zwischen dem geplanten und dem tatsächlichen Fertigstellungstermin ist. Die Termintreue stellt laut Umfragen den wichtigsten Wettbewerbsfaktor des 21. Jahrhunderts dar. In der Praxis gilt ein Auftrag als termintreu, wenn er vor dem Plan-Endtermin fertig gestellt wird. Doch auch verfrüht gelieferte Aufträge können als nicht termintreu bewertet werden. Zu früh fertig gestellte Fertigungsaufträge verursachen Kosten in Form von Lagerhaltungskosten.¹⁸

Deshalb ist es wichtig bereits die Terminabweichungen in der Produktion so gering wie möglich zu halten. Durch die Fertigungssteuerung soll es gelingen, Terminabweichungen zu vermeiden. Darin kann eine Verknüpfung zum Controlling und zur Kybernetik gesehen werden (vgl. Abschnitte 4.3.2 und 3.4). Auch im Diplomarbeitsprojekt wird das Ziel verfolgt, den Mittelwert und die Streuung der DLZ zu verringern und die Fertigstellungstermine durch Prioritätsregeln (vgl. Abschnitt 2.3.2) einzuhalten (vgl. Abschnitte 5.3 und 5.4).

2.2 Arten der Fertigungssteuerung

In der Literatur wird eine Vielzahl von Fertigungssteuerungsverfahren aufgelistet. Der Grund für diese Vielfalt liegt in den individuellen Anforderungen, die die Fertigung an die Steuerung stellt. In diesem Abschnitt wird eine Möglichkeit der Klassifizierung von Fertigungssteuerungsverfahren gezeigt. Im Anschluss wird eine Auswahl von Verfahren kurz erklärt.

Hermann Lödding beschreibt die Klassifizierung der Fertigungssteuerungsverfahren nach der Verfahrensart und nach den Einsatzfeldern.¹⁹ Bei der Klassifizierung nach der Verfahrensart werden die Charakteristika Bestands-, beziehungsweise Leistungsregelung und zentrale, beziehungsweise dezentrale Fertigungssteuerung miteinander kombiniert (vgl. Abbildung 3 Bildteil a).

¹⁸ Vgl. Lödding, Hermann (2001), S. 6.

¹⁹ Vgl. Lödding, Hermann (2001), S. 26.

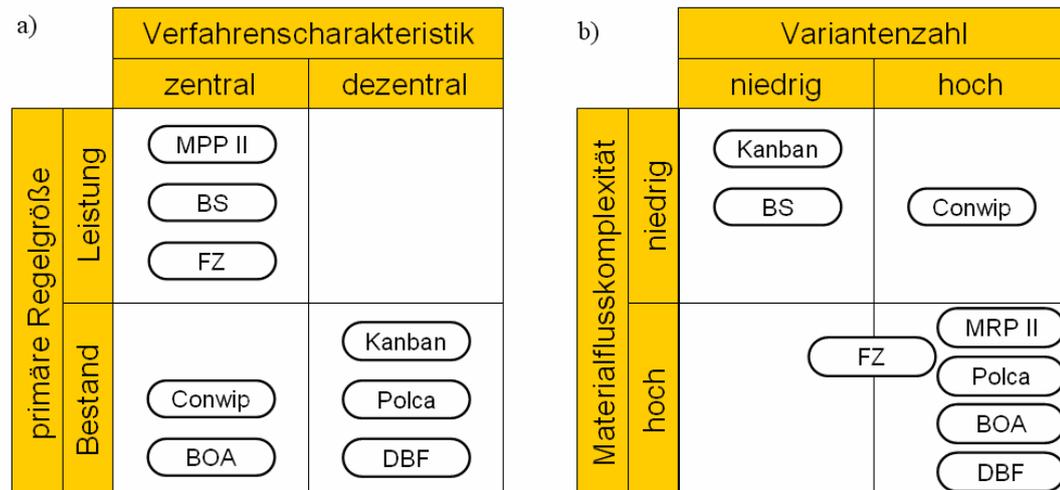


Abbildung 3: Klassifizierung von Steuerungsverfahren
a) nach der Verfahrensart und b) nach den Einsatzfeldern²⁰

Die Klassifizierung nach den Einsatzfeldern kombiniert die Eigenschaften Variantenzahl (Variantenvielfalt und Variantenarmut) mit der Komplexität des Materialflusses (einfache und komplexe Materialflüsse) (vgl. Abbildung 3 Bildteil b).

Nach diesen Klassifizierungen lassen sich die einzelnen Fertigungssteuerungsverfahren einteilen und je nach Bedarf einsetzen. Je nach den Eigenschaften der Fertigung und den strategischen Zielsetzungen wird ein bestimmtes Steuerungsverfahren bevorzugt. Die in den Klassifizierungen erwähnten Fertigungssteuerungsverfahren werden nachstehend kurz erklärt.

Management Resource Planning (MRP II)

Das MRP II-Konzept wird auch Manufacturing Resource Planning genannt. Das klassische MRP II-System ist zentral angelegt und übernimmt die Planungsaufgaben für die Fertigung. In modernen Systemen behält die Fertigungssteuerung die Aufgabe der Feinterminierung und der Maschinenbelegungsplanung. Diese Dezentralisierung führt zu einer Entlastung der Produktionsplanung um die Feinplanung des gesamten Planungshorizonts.²¹

²⁰ Quelle: Vgl. Lödning, Hermann (2001), S. 35.

²¹ Vgl. Wannewetsch, Helmut (2006), S.498ff.

Bei der Firma EPCOS OHG wird durch das Diplomarbeitsprojekt das MRP II-System um eine dezentrale Fertigungssteuerung durch eine Maschinenbelegungsplanung mittels Prioritätsregeln erweitert.

Dezentralisierte Belastungsorientierte Fertigungsregelung (DBF)

Wenn bei einer Rückwärtsterminierung der Plan-Starttermin erreicht, oder überschritten wird, gilt der Auftrag als dringlich. Dringliche und freigegebene Aufträge werden dann in einem Auftrags-Pool gespeichert. Die Arbeitssysteme können auf diesen Pool zugreifen und mit der Bearbeitung beginnen, sobald vom nachgelagerten Arbeitssystem eine Freigabe erteilt wurde. Diese Freigabe basiert auf dezentralen Bestandsregelkreisen. Das heißt, der Auftrag wird erst freigegeben, wenn die Bestandsgrenze des nachgelagerten Arbeitssystems erreicht, beziehungsweise unterschritten wurde.²²

Polca-Steuerung

Das Fertigungssteuerungsverfahren Polca (Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) besteht aus dezentralen Bestandsregelkreisen in Fertigungsinseln. Zur Bestandsregelung kreisen Polca-Karten zwischen jedem Paar von Fertigungsinseln, welche die Bearbeitung von Aufträgen autorisieren. Zusätzlich darf eine Fertigungsinsel einen Auftrag erst bearbeiten, wenn der zugeordnete Freigabezeitpunkt überschritten wurde. Die Polca-Steuerung kann jedoch auch auf allgemeine Fertigungsumgebungen angewendet werden. Dabei wird der Materialfluss zwischen zwei Arbeitssystemen geregelt.²³

Basestock-Steuerung (BS)

Die Basestock-Steuerung ist eine der ältesten Verfahrensregeln. Die Grundidee ist, jede Nachfrage des Endkunden an alle Arbeitssysteme der Fertigung weiterzuleiten. Diese Nachfrage autorisiert die Auftragsfreigabe der nachgefragten Variante für die betroffenen Arbeitssysteme. Dabei greift jedes Arbeitssystem auf einen für jede Variante angelegten Grundbestand (Basestock) zurück. Bei konstanten Basestocks vermeidet das Verfahren eine Verstärkung der Nachfrageschwankungen (Bullwhip-Effekt).²⁴

²² Vgl. Lödding, Hermann (2001), S. 37ff.

²³ Vgl. Lödding, Hermann (2005), S. 407ff.

²⁴ Vgl. Lödding, Hermann (2005), S. 273.

Fortschrittszahlensteuerung (FZ-Steuerung)

Anwendungsbereich der FZ-Steuerung ist die Wiederholungssteuerung. Sie trifft keine Anweisungen zur Auftragsfreigabe oder -fertigung. Zum einen ergibt sich dadurch eine Flexibilität in der Abarbeitung, zum anderen erschwert es die Steuerung der logistischen Zielerreichung. Die Fertigung wird in Kontrollblöcke eingeteilt, worin für jede Variante der kumulierte Abgang in Mengeneinheiten erfasst wird. Der geplante Abgangsverlauf wird durch die Plan-Fortschrittszahl festgelegt und mit der Ist-Fortschrittszahl verglichen. Dieser Soll-Ist-Vergleich stellt das Controlling der FZ-Steuerung dar (vgl. Abschnitt 4.3.2).²⁵

Conwip-Steuerung

Bei der Conwip-Steuerung (CONstant Work In Process) wird der WIP (Anzahl an Aufträge in der Fertigung) auf einem konstanten Niveau gehalten. Die Fertigungsfreigabe für einen weiteren Auftrag erfolgt erst dann, wenn ein anderer Auftrag die Fertigung verlässt.²⁶ Conwip basiert wie Kanban auf einer Steuerung mittels Karten. Allerdings wird das gesamte Produktionssystem als Regelkreis betrachtet. Die Conwip-Karte bezieht sich nicht wie die Kanban-Karte auf ein einziges Produkt, sondern auf einen bestimmten Arbeitsinhalt der Engpassstation.²⁷

Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA)

Bei der BOA wird nicht versucht, die einzelnen Aufträge zu terminieren, sondern es wird eine periodenbezogene Bilanzbetrachtung durchgeführt. Dabei wird auf Grund von Vergangenheitswerten ein idealisierter Zugangs- und Abgangsverlauf für eine vorgegebene Periode ermittelt. Diese werden in Form eines Durchlaufdiagramms dargestellt. Aus dem Durchlaufdiagramm kann man die mittlere Leistung, die mittlere Plan-Durchlaufzeit und den mittleren Plan-Bestand ablesen. Es wird eine Belastungsschranke errechnet, welche die Summe aus Plan-Abgang und mittlerem Plan-Bestand ist. Indem der Restbestand aus der Vorperiode von der Belastungsschranke abgezogen wird, ergibt sich, wie hoch die Belastung der Fertigung durch Freigabe von Aufträgen in einer Periode sein darf.²⁸

²⁵ Vgl. Lödning, Hermann (2005), S. 249ff.

²⁶ Vgl. Lödning, Hermann (2001), S. 28.

²⁷ Vgl. Rücker, Thomas (2006), S. 21ff.

²⁸ Vgl. Wiendahl, Hans-Peter (1987), S. 208ff.

Kanban-Steuerung

Die Grundidee der Kanban-Steuerung (Kanban: japanisch für „Karte“) ist ein System von selbststeuernden Regelkreisen zur Abstimmung zwischen den Fertigungsstufen (vgl. Abschnitte 3.4.2, 3.4.3 und 4.3.2). Dabei ist jeder Fertigungsstufe ein Pufferlager zugeordnet, welches einen definierten Mindestbestand enthält. Wird dieser Mindestbestand unterschritten, löst das einen Fertigungsauftrag beim vorgelagerten Arbeitssystem aus. Dies geschieht durch die Weitergabe einer Kanban-Karte, auf der die zu produzierende Menge der Variante vermerkt ist. Diese Verkettung setzt sich im gesamten Produktionssystem fort.²⁹

Abschließend ist zu diesem Abschnitt anzumerken, dass jede Fertigung unterschiedliche Anforderungen an das Steuerungsverfahren stellt. Es gibt kein Allheilmittel, welches alle Forderungen nach Optimierung der logistischen Ziele restlos erfüllt. Deshalb muss die Auswahl des Steuerungssystems jeweils nach den individuellen Gegebenheiten und nach der gewählten Strategie ausgerichtet werden.

2.3 Maschinenbelegungsplanung

„Beanspruchen gleichzeitig mehrere Aufträge bzw. Arbeitsvorgänge dieselben Maschinen bzw. Arbeitsplätze, so müssen bei der Produktionsdurchführung die Auftragsreihenfolgen [...] festgelegt werden.“³⁰ Genau aus dieser Beschreibung ergibt sich die folgende Definition von Konflikt:

Es liegt ein Konflikt vor, wenn es (mindestens) zwei Arbeitsvorgänge (j, m) und (k, m) gibt, die auf einer Maschine m bearbeitet werden müssen, wobei sich diese Vorgänge zeitlich überlappen.³¹ Dieser Konflikt soll durch eine die Optimierungsziele berücksichtigende Maschinenbelegungsplanung gelöst werden. In diesem Abschnitt wird erklärt, welche Optimierungsziele zu verfolgen sind und wie die Abarbeitung der Aufträge durch Prioritätsregeln gesteuert werden kann.

²⁹ Vgl. Kurbel, Karl (1995), S. 179ff.

³⁰ Zit. nach Zäpfel, Günther (1982), S. 247.

³¹ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 266.

Der Bezug zum Praxisprojekt ist dadurch gegeben, dass die Steuerung der Abarbeitungslisten durch Prioritätsregeln erfolgt. Die Listen enthalten sowohl eine automatische, als auch eine externe Priorität, die miteinander alternativ verknüpft sind (vgl. Abschnitt 5.4.1).

2.3.1 Optimierungsziele

Ziel einer Fertigung ist es, die Durchlaufzeiten so gering wie möglich zu halten und eine hohe Auslastung der Maschinen zu erreichen. Diese beiden Ziele stehen allerdings in Konkurrenz miteinander, was durch das Dilemma der Ablaufplanung beschrieben wird (vgl. Abschnitt 2.1).

Um diesem Dilemma teilweise zu entgehen, kann die Produktion an die Beschäftigungssituation angepasst werden. Gutenberg bezeichnet die möglichen Formen der betrieblichen Anpassung an Beschäftigungsschwankungen als:

- intensitätsmäßige Anpassung,
- quantitative Anpassung und
- zeitliche Anpassung.³²

Bei der intensitätsmäßigen Anpassung werden die Produktionsfaktoren hinsichtlich ihrer Produktionsgeschwindigkeit, beziehungsweise der Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit verändert. Die quantitative Anpassung ist dadurch charakterisiert, dass je nach Beschäftigungsgrad Kapazitäten zu-, beziehungsweise weggeschaltet werden. Die Anzahl der eingesetzten Produktiveinheiten in der Produktion wird verändert. Das kann ebenfalls durch einen Zu-/Verkauf, beziehungsweise Kündigung/Aufnahme von Mitarbeitern geschehen. Bei der zeitlichen Anpassung wird die Betriebszeit variiert (verkürzt beziehungsweise verlängert). Diese Form stellt einen Spezialfall der quantitativen Anpassung dar.³³

Günther Zäpfel gliedert die Einteilung der Hauptoptimierungsziele in Kosten- und Zeitziele. Zu den entscheidungsrelevanten Kosten der Produktionsdurchführung zählen hierbei vor allem:

- Kosten für das Vorbereiten von Produktiveinheiten (Einrichte- beziehungsweise Rüstkosten)

³² Vgl. Gutenberg, Erich (1976), S. 355f.

³³ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 234f.

- Kosten des Stillstands von Produktiveinheiten (Leerkosten)
- Kosten für die Lagerung von Erzeugnissen (Zwischen- und Endlagerkosten)
- Kosten für die Über- und Unterschreitung, beziehungsweise für die Einhaltung von Lieferterminen (Anpassungskosten, Konventionalstrafen).³⁴

Die Zeitziele lassen sich reduzieren in:

- Minimierung der Durchlaufzeit
- Maximierung der Kapazitätsauslastung
- Minimierung der Terminabweichung, beziehungsweise Einhaltung von Lieferfristen.³⁵

Zur Steuerung der Produktionsdurchführung durch die Maschinenbelegungsplanung wurden Optimierungsmodelle entwickelt, um diese oben erwähnten Ziele bestmöglich zu erfüllen. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über Verfahren zur Lösung von Maschinenbelegungsproblemen.

Tabelle 1: Verfahren zur Lösung von Maschinenbelegungsproblemen³⁶

| Problemumfang: Anzahl von Maschinen (m), Anzahl der Aufträge (n) | Identische Maschinenfolgen (Flow-Shop-Probleme) | Nicht-identische Maschinenfolgen (Job-Shop-Probleme) |
|--|---|--|
| m = 2, n = beliebig | einfaches Kombinatorisches Verfahren: Johnson (1954), Mitten (1959) | |
| m = 3, n = beliebig | einfaches Kombinatorisches Verfahren: Johnson (1954), Lomnicki (1965), Szwarc (1974) | |
| m = beliebig, n = 2 | | Graphisches Verfahren: Akers (1956), Szwarc (1960), Hardgrave/Nemhauser (1963), Mensch (1968), Riedesser (1971) |
| Allgemeiner Fall m = n = beliebig | Branch-and-Bound-Verfahren: Jaeschke (1964), Ignall/Schrage (1965), Brown/Lomnicki (1966), McMahon/Burton (1967), Gupta (1969), Müller-Merbach (1966, 1970) Überführung in ein Traveling-Salesman-Problem: Piehler (1960), Seiffart (1961) Heuristische Verfahren: Palmer (1965), Campbell/Dudek/Smith (1970), Gupta (1971), Liesegang (1974) | Heuristische Verfahren: Akers/Friedman (1955), Griffier/Thompson (1960), Heller/Logeman (1961) Prioritätsregelverfahren: (div. Verfasser) Branch-and-Bound-Verfahren: Brooks/White (1965), Charlton/Death (1970), Balas (1969), Florian/Trepant/McMahon (1970), Ashour/Hiremath (1973), Siegel (1974), Rinnooy Kan (1976), Argyris (1977) Gemischt-Ganzzahlige Optimierung: Krelle (1958), Bowman (1959), Wagner (1959), Manne (1960), Nemeti (1964), Land/Laporte/Miliotis (1978) Nichtlineare Optimierung: Nepomiastchy (1973), Huckert (1979) |

³⁴ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 186ff.

³⁵ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 191f und Hoitsch, Hans-Jörg (1985), S. 190ff.

³⁶ Quelle: Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 263.

In dieser Diplomarbeit wird ausschließlich auf das Prioritätsregelverfahren eingegangen, da dieses für die Firma EPCOS OHG und das in Kapitel 5 beschriebene Praxisprojekt besondere Relevanz hat. Die Fertigung der Firma EPCOS OHG stellt den allgemeinen Fall des Problemumfangs mit beliebiger Anzahl an Maschinen und Aufträgen dar und lässt sich als Job-Shop-Problem³⁷ charakterisieren.

2.3.2 Abarbeitungssteuerung durch Prioritätsregeln

Bildet sich durch Rückstauungen vor einer Bearbeitungsmaschine eine Warteschlange (Konfliktmenge), konkurrieren die wartenden Aufträge um die Bearbeitung. Jedem Auftrag wird nach einem vorgegebenen Algorithmus ein Zahlenwert (eine Priorität) zugeordnet. Demnach ist eine Prioritätsregel „eine Vorschrift, die entsprechend den zugeordneten Zahlenwerten eine Auswahl (aus der Konfliktmenge) gestattet.“³⁸

Hoss beurteilt die Prioritätsregeln nach ihrer Wirkung auf die vier Hauptoptimierungsziele. Die Hauptoptimierungsziele fassen die in Abschnitt 2.3.1 definierten Kosten- und Zeitzielen zusammen in:

- maximale Kapazitätsauslastung,
- minimale Durchlaufzeit,
- minimale Zwischenlagerung(-skosten),
- minimale Terminabweichungen.³⁹

Die bekanntesten elementaren (einfachen) Prioritätsregeln werden in Tabelle 2 aufgelistet und beschrieben.⁴⁰ Die Wichtigsten davon werden bezüglich ihrer Wirkung auf die vier Hauptoptimierungsziele nach Hoss erklärt.⁴¹

³⁷ Bei einem Job-Shop-Problem werden n Aufträgen auf m Maschinen eingelastet, wobei nicht-identische Maschinenfolgen auftreten können. Das Gegenteil davon ist der Flow-Shop-Fall. Dieser Fall ist charakterisiert durch einen gleichgerichteten Materialfluss, das heißt, die Aufträge werden wie bei einer Reihen- oder Fließfertigung in identischer Maschinenfolge bearbeitet. Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 262.

³⁸ Zit. nach Zäpfel, Günther (1982), S. 273.

³⁹ Vgl. Hoss, Klauss (1965), S. 157ff.

⁴⁰ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 273f.

⁴¹ Vgl. Hoss, Klauss (1965), S. 157ff.

Tabelle 2: Elementare (einfache) Prioritätsregeln⁴²

| Benennung | Beschreibung |
|---|--|
| Kürzeste Operationszeit-Regel (KOZ-Regel) | Der Auftrag mit der kürzesten Operationszeit (Bearbeitungs-, Produktionszeit) erhält die höchste Priorität. |
| Längste Operationszeit-Regel (LOZ-Regel) | Der Auftrag mit der längsten Operationszeit (Bearbeitungs-, Produktionszeit) erhält die höchste Priorität. |
| Größte Restbearbeitungszeit-Regel (GRB-Regel) | Der Auftrag mit der, im Moment der Belegung, längsten verbleibenden Bearbeitungszeit (Produktionszeit) erhält die höchste Priorität. |
| Kürzeste Restbearbeitungszeit-Regel (KRB-Regel) | Der Auftrag mit der, im Moment der Belegung, kürzesten verbleibenden Bearbeitungszeit (Produktionszeit) erhält die höchste Priorität. |
| Wert-Regel (WT-Regel) | Der Auftrag mit dem höchsten Produkt-Endwert beziehungsweise dem höchsten aktuellen Produkt-Wert (dynamische Wertregel) erhält die höchste Priorität. |
| Schlupf-Zeit-Regel (SZ-Regel) | Der Auftrag, bei dem die Differenz zwischen Liefertermin und verbleibender Bearbeitungszeit am geringsten ist, erhält die höchste Priorität. |
| Frühester Liefertermin-Regel (FLT-Regel) | Der Auftrag mit dem frühesten Liefertermin erhält die höchste Priorität. |
| Regel der meisten noch auszuführenden Arbeitsvorgänge (MAA-Regel) | Der Auftrag mit den meisten noch auszuführenden Arbeitsvorgängen erhält die höchste Priorität. |
| Regel der wenigsten noch auszuführenden Arbeitsvorgänge (WAA-Regel) | Der Auftrag mit den wenigsten noch auszuführenden Arbeitsvorgängen erhält die höchste Priorität. |
| First-come-first-served-Regel (FCFS-Regel) | Der Auftrag, der zuerst an der Bearbeitungsmaschine ankommt, erhält die höchste Priorität. |
| Zufalls-Regel (ZUF-Regel) | Bei der Ankunft des Auftrags an der Bearbeitungsmaschine wird ihm ein Wert (von einem Zufallszahlengenerator) zwischen Null und Eins zugeordnet. Der Auftrag mit dem höchsten Wert erhält die höchste Priorität. |
| Größte-Gesamtbearbeitungszeit-Regel (GGB-Regel) | Der Auftrag mit der größten Gesamtbearbeitungszeit (auf allen Maschinen) erhält die höchste Priorität. |
| Kleinste-Gesamtbearbeitungszeit-Regel (KGB-Regel) | Der Auftrag mit der kleinsten Gesamtbearbeitungszeit (auf allen Maschinen) erhält die höchste Priorität. |

Kürzeste Operationszeitregel (KOZ-Regel)

Die KOZ-Regel wird von Manfred Rüger als SPT-Regel (Shortest Processing Time) bezeichnet.⁴³ Unter den von Johnson Conway und Rowe Maxwell untersuchten Prioritätsregeln, konnte mit dieser die höchste Kapazitätsauslastung erreicht werden. Es konnte eben-

⁴² Quelle: Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 273f.

⁴³ Vgl. Rüger, Manfred (1974), S. 29.

falls die geringste (nicht unbedingt optimale) Durchlaufzeit erreicht werden. Die hohe Auslastung und die geringe DLZ lassen sich darauf zurückführen, dass die Maschine schnell wieder für andere Bearbeitungen zur Verfügung steht. Dadurch kann die mittlere Anzahl der wartenden Aufträge vor der Bearbeitungsmaschine reduziert werden, wodurch die mittlere Wartezeit je Auftrag sinkt. Des Weiteren sinkt die durchschnittliche Anzahl der in der gesamten Fertigung gebundenen Aufträge (WIP), was ein Sinken der Zwischenlagerungskosten zur Folge hat.

Das bedeutet, dass die Aufträge mit relativ kurzen Operationszeiten eine rasche Bearbeitung erfahren, wohingegen die Aufträge mit relativ langen Operationszeiten hohe Verweilzeiten vor den Bearbeitungsmaschinen aufweisen. Deshalb können lediglich die Fälligkeitstermine der Aufträge mit relativ kurzen Operationszeiten eingehalten werden, die übrigen haben großteils hohe Verspätungen. Da der Wert der Produkte mit der Länge der Operationszeiten tendenziell zunimmt, bedeutet eine Verspätung dieser Aufträge eine Erhöhung des in Zwischenlagern gebundenen Kapitals. Dieser Effekt hebt die Einsparungen durch den geringen WIP teilweise wieder auf.⁴⁴

Kürzeste Restbearbeitungszeitregel (KRB-Regel)

Im Vergleich zur KOZ-Regel führt diese Sortierung zu einer geringeren Kapazitätsauslastung, einer höheren Durchlaufzeit, höheren Zwischenlagerungskosten und etwas denselben schlechten Fertigstellungszeiten. Die KRB-Regel bringt somit gegenüber der KOZ-Regel keine Verbesserung hinsichtlich der vier Hauptoptimierungsziele.⁴⁵

Schlupf-Zeit-Regel (SZ-Regel)

Die Priorisierung nach der SZ-Regel hat auf die Forderungen nach hoher Kapazitätsauslastung, niedrigen Durchlaufzeiten und geringen Zwischenlagerungskosten kaum Einfluss. Auch die statistischen Verteilungen weisen eine hohe Varianz auf. Durch die vorrangige Ausrichtung am Liefertermin erreicht die SZ-Regel erwartungsgemäß eine gute Termineinhaltung.⁴⁶

⁴⁴ Vgl. Hoss, Klauss (1965), S. 162f und Vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 147.

⁴⁵ Vgl. Hoss, Klauss (1965), S. 163.

⁴⁶ Vgl. Hoss, Klauss (1965), S. 165 und vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 147.

Wert-Regel (WT-Regel)

Die Priorisierung nach dem Wert (Produktendwert oder aktuellen Produktwert) führt mit zunehmendem Fertigungsfortschritt zu einer Beschleunigung des Materialflusses und damit des Werteflusses. Bei Übernahmeteilen ist Vorsicht geboten, da diese mit sehr niedrigem Wert in den Materialfluss kommen und die Gefahr besteht, dass die Aufträge lange auf ihre Abarbeitung warten müssen. Das kann das Erreichen eines Montagetermins von wertmäßig höheren Gesamtaufträgen gefährden.

Zusätzlich werden die Forderungen nach hoher Kapazitätsauslastung, niedrigen Durchlaufzeiten und geringen Terminabweichungen schlecht erfüllt. Auf der anderen Seite wird das Ziel der niedrigen Kapitalbindungskosten in Zwischenlagern erwartungsgemäß gut erreicht. Somit ist diese Prioritätsregel besonders zur Verfolgung von monetären Zielen geeignet.⁴⁷

First-come-first-served-Regel (FCFS-Regel)

Die FCFS-Regel wird auch als FIFO-Regel (First-in-first-out-Regel) bezeichnet.⁴⁸ Diese Regel ist am einfachsten zu handhaben, da die Prioritäten nicht bei jedem an der Maschine neu ankommenden Auftrag neu berechnet werden muss, sondern sich an der Reihenfolge des Eintreffens an der Maschine orientiert. Je länger ein Auftrag auf seine Bearbeitung wartet, desto höher ist die Priorität. Weil die Streuung der DLZ durch die Angleichung der Wartezeiten verringert wird, können die Liefertermine gut eingehalten werden. Das Angleichen bewirkt jedoch eine höhere mittlere DLZ.⁴⁹ Diese ist wiederum stark vom WIP in der Fertigung abhängig, da die Wartezeit mit der Anzahl der wartenden Aufträge steigt.

Im Vergleich zur KOZ-Regel ist die mittlere DLZ hoch, doch die Streuung verhältnismäßig gering. Dadurch kann ein besseres Einhalten der Liefertermine gewährleistet werden. In Bezug auf die Kapazitätsauslastung sind die Ergebnisse der beiden Prioritätsregeln ähnlich.⁵⁰

Die FCFS-Regel kann sich auf den Arbeitsvorrat vor einer bestimmten Bearbeitungsmaschine oder sogar auf die gesamte Fertigung beziehen. Ist die Bearbeitungsmaschine das Bezugssystem, erhält der Auftrag, welcher als Erster an der Maschine angelangt ist, die

⁴⁷ Vgl. Hoss, Klaus (1965), S. 163ff und vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 148.

⁴⁸ Vgl. Kurbel, Karl (1995), S. 174.

⁴⁹ Vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 148.

⁵⁰ Vgl. Rüger, Manfred (1974), S. 30 und vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 148.

höchste Priorität. Wenn hingegen die gesamte Fertigung das Bezugssystem darstellt, wird bei jedem Eintreffen an einer Bearbeitungsmaschine jener Auftrag mit der höchsten Priorität versehen, welcher als Erster von der Fertigung freigegeben wurde. Beide Arten der FCFS-Regel wurden im Diplomarbeitsprojekt verwendet (vgl. Abschnitte 5.4.1 und 5.4.2).

In Tabelle 3 werden die wichtigsten Prioritätsregeln bezüglich ihrer Wirksamkeit auf die vier Hauptoptimierungsziele nochmals in tabellarischer Form gegenübergestellt.

Tabelle 3: Wirksamkeit von Prioritätsregeln⁵¹

| Prioritätsregel Optimierungsziel | KOZ-Regel | KRB-Regel | WT-Regel | SZ-Regel |
|---|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Maximale Kapazitätsauslastung | sehr gut | gut | mäßig | gut |
| Minimale Durchlaufzeit | sehr gut | gut | mäßig | mäßig |
| Minimale Zwischenlagerungskosten | gut | mäßig | sehr gut | mäßig |
| Geringe Terminabweichungen | schlecht | mäßig | mäßig | sehr gut |

Aus der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass keine der erwähnten Regeln alle vier Hauptoptimierungsziele erfüllt. Deshalb gibt es Bestrebungen, die verschiedenen Prioritätsregeln miteinander zu verknüpfen (kombinierte Prioritätsregeln), um eine optimale Wirkung erzielen zu können.

Kombination von Prioritätsregeln

Mit der Kombination von Prioritätsregeln wird durch Ausnutzen der jeweiligen Vorteile der verschiedenen elementaren Prioritätsregeln versucht, gleichzeitig mehrere Ziele der Reihenfolgeplanung zu realisieren. Diese Verknüpfung kann additiv, multiplikativ oder alternativ geschehen.

⁵¹ Quelle: Vgl. Hoss, Klauss (1965), S. 168.

Die einfachste Form der Kombination ist die Addition der Zahlenwerte (Prioritäten). Dadurch entsteht ein neues Kriterium. Besitzen die zusammengefügt elementaren Prioritätsregeln unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe, kann das durch Gewichtung der einzelnen Faktoren mit aufgenommen werden. Bei der multiplikativen Verknüpfung wird das Produkt der Zahlenwerte gebildet, wobei die Gewichtung durch den Exponenten geschieht. Allerdings haben Untersuchungen ergeben, dass durch die additive, beziehungsweise multiplikative Verknüpfung nicht notwendigerweise eine bessere Zielerfüllung erreicht wird und dass dadurch sogar ein gegenteiliger Effekt bewirkt werden kann.⁵²

Eine alternative Verknüpfung bedeutet, dass je nach Situation eine andere Regel angewendet wird. Die KOZ-Regel kann zum Beispiel als Hauptregel verwendet werden und bei drohender Terminüberschreitung die SZ-Regel als Sortierungskriterium herangezogen werden, bis sich die Situation wieder normalisiert hat. Somit wird eine Bedingung formuliert, dass je nach Situation eine bestimmte Regel gilt.⁵³

Eine Erweiterung stellt die dominante Verknüpfung dar. Diese liegt vor, wenn die Hauptregel gegenüber (mindestens) zwei Aufträgen indifferent ist. Ist das der Fall, wird eine Regel zur weiteren Untergliederung herangezogen.⁵⁴

Bei der Firma EPCOS OHG wird ebenfalls eine dominante Verknüpfung von Prioritätsregeln eingeführt. Die Hauptregel wird durch eine externe Priorität⁵⁵ dargestellt, zur weiteren Untergliederung wird die FCFS-Regel herangezogen.

Conclusio

Ein erheblicher Vorteil von Prioritätsregeln ist, dass sie sowohl im Bereich der kurzfristigen Ablaufplanung zu angenähert optimalen Lösungen kommen, als auch im Bereich der kurzfristigen Dispositionsplanung zur angenähert optimalen Plankorrektur verwendet werden können.⁵⁶

Zäpfel zitiert Tangermann mit dessen zusammenfassenden Aussagen über die Prioritätsregeln. Tangermann kommt zum Schluss, dass keine der untersuchten Prioritätsregeln im

⁵² Vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 148 und vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 273.

⁵³ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 274.

⁵⁴ Vgl. Kurbel, Karl (1995), S. 174 und vgl. Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990), S. 149.

⁵⁵ Eine externe Priorität wird nicht durch einen Algorithmus errechnet, sondern durch eine gezielte Einflussnahme von Außen vergeben. Solche von Außen priorisierten Aufträge werden „Chefaufträge“ oder „Chef-Lose“ genannt. Vgl. Kurbel, Karl (1995), S. 174.

⁵⁶ Vgl. Hoss, Klaus (1965), S. 170.

gesamten Auslastungsbereich im Hinblick auf die wichtigsten Hauptoptimierungsziele mit Sicherheit die besten Ergebnisse liefert. Hinsichtlich der dispositiven Kosten lassen die einzelnen Regeln lediglich geringe Unterschiede erkennen. Einzig durch die Kombination von Prioritätsregeln, die mehrere Einflussfaktoren berücksichtigen, werden tendenziell bessere Ergebnisse erreicht als mit einfachen Prioritätsregeln.⁵⁷

⁵⁷ Vgl. Zäpfel, Günther (1982), S. 276f.

3 Systemtheorie

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in die Systemtheorie und erklärt die grundlegenden Ansichten. Die Beschreibung der wichtigsten Elemente und der Abgrenzung von System und Umwelt ist zugleich der Einstieg in dieses Thema. Danach folgt ein Exkurs über die Entstehung und Entwicklung der Systemtheorie, sowie eine Auflistung der wichtigsten Vertreter dieser Denkrichtung. Anschließend wird das zugrunde liegende Modell der Trivialen und Nicht-Trivialen Maschine erklärt, welche Heinz von Foerster das erste Mal beschreibt. Darauf aufbauend wird zur Kybernetik übergeleitet, welche die Verbindung zur Fertigungssteuerung und für den anschließend beschriebenen Praxisteil von zentraler Bedeutung ist. Abschließend wird das Prinzip der Selbstorganisation erklärt, weil dieses im Praxisteil erwähnt wird.

Die Relevanz dieses Kapitels ergibt sich dadurch, dass man ein Unternehmen auch als System betrachten kann. Dieses System besteht aus den Abteilungen, beziehungsweise den Mitarbeitern (je nach Aggregationsebene) – sie stellen die (System-)Elemente dar – und es gibt Wechselwirkungen mit den Stakeholdern, welche die (System-)Umwelt repräsentieren. Die Wechselwirkungen geschehen über die Systemgrenze hinweg, weshalb ein Unternehmen sogar als offenes System bezeichnet werden kann (vgl. Abschnitt 3.1). Vor diesem Hintergrund wird das Kapitel aufgebaut.

Diese Diplomarbeit kann lediglich einen Einblick in die Systemtheorie gewähren, weshalb darauf hingewiesen wird, dass hier kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht. Die Systemtheorie wird von vielen unterschiedlichen Fachbereichen geprägt, weshalb es alleine aus Platzgründen nicht möglich ist, alle Ansichten zu erwähnen. Deshalb ist dieses Kapitel darauf beschränkt, die Grundlagen zu vermitteln und die für diese Arbeit wichtigen Begriffe zu erklären und an den Schnittstellen zu anderen Ansichten auf die wichtigsten Vertreter zu verweisen.

3.1 System und Umwelt

Um die Systemtheorie in ihrer Gesamtheit zu erfassen, müssen erst die grundlegenden Strukturen bewusst gemacht werden. Modelle dienen dazu, die Realität in vereinfachter

Form abzubilden.⁵⁸ Ein Modell ist in diesem Zusammenhang eine Abstraktion der Wirklichkeit.⁵⁹ Hartmut Bossel beschreibt Modelle und Simulationen als „Hilfsmittel für den Umgang mit der Realität“.⁶⁰ Da die Realität nicht vollständig abgebildet werden kann und um eine Übersicht zu bewahren, müssen Grenzen gezogen werden. Diese werden sich je nach gewünschter Sichtweise unterscheiden und manche Teile einschließen und andere abgrenzen.

Der Bereich, der innerhalb der Grenzen liegt, wird als System bezeichnet. System leitet sich aus dem griechischen Wort „systema“ („das Zusammengestellte“) ab und bezieht sich dabei auf seine Elemente, die miteinander in Beziehung stehen.⁶¹ Das System ist eine „geordnete Gesamtheit von materiellen oder geistigen Objekten. [...] Ein allgemeines Verfahren zu ihrer Konstituierung besteht darin, die Objekte als Elemente oder Teilsysteme mit genau definierten Eigenschaften aufzufassen; die unter der jeweiligen Gesamtheit von Objekten bestehende Ordnung bildet eine ebenfalls genau definierte Struktur des betreffenden Systemtyps.“⁶²

Alles außerhalb dieser Systemgrenzen Liegende wird als Umwelt bezeichnet. Es gibt jedoch auch den Ansatz, dass es nur bei offenen Systemen eine zugehörige Umwelt gibt und bei (ab)geschlossenen Systemen keine Unterscheidung zwischen System und Umwelt existiert. „Die Umgebung U [Umwelt] eines Systems S ist die Gesamtheit aller Systeme U_1, U_2, \dots , die mindestens ein Element besitzen, dessen Ausgang zugleich Eingang eines Elements von S ist, oder die mindestens ein Element enthalten, dessen Eingang zugleich Ausgang eines Elements von S ist. [...] Ein System kann also nur dann als Umgebung eines anderen Systems betrachtet werden, wenn zwischen beiden Systemen irgendeine Kopplung besteht. Das bedeutet zugleich, dass eine Umgebung nur bei offenen Systemen vorhanden ist. Für geschlossene Systeme hat der Begriff der Umgebung keine Bedeutung.“⁶³ In dieser Arbeit wird von dieser Sichtweise abgerückt und auch bei (ab)geschlossenen Systemen eine Abgrenzung zwischen System und Umwelt durchgeführt.

Die System-Umwelt-Beziehung stellt die Makroebene dar während die Subeinheiten des Systems, die Elemente, die Mikroebene bilden. Unter einem (System-)Element wird die kleinste Einheit eines Systems, die nicht weiter zerlegt werden kann oder zerlegt werden

⁵⁸ Vgl. Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 145.

⁵⁹ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 483.

⁶⁰ Zit. nach Bossel, Hartmut (2004), S. 13.

⁶¹ Vgl. Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 15f.

⁶² Zit. nach Klaus, Georg et al. (1976), S. 800.

⁶³ Zit. nach Klaus, Georg et al. (1976), S. 864.

soll, verstanden.⁶⁴ Das System kann wiederum in unterschiedliche Hierarchiestufen unterteilt und Subsysteme können definiert werden. Dies geschieht je nach Anforderung des Benutzers.

In einem Unternehmen als System, können diese Elemente durch die Abteilungen oder sogar durch die Mitarbeiter repräsentiert werden. Je nachdem, wie die Grenzen gezogen werden, kann auch eine Abteilung als System (in diesem Fall Subsystem des Unternehmens) betrachtet werden, welches aus den Mitarbeitern der Abteilung (die als Elemente verstanden werden) besteht und in Wechselwirkung mit den anderen Abteilungen steht.

Ein (ab)geschlossenes System hat keine Wechselwirkungen mit der Umwelt, somit gibt es keinen Austausch über die Grenzen hinweg. Hierbei gibt es einige feine Unterscheidungen. Ein geschlossenes System lässt keinen Austausch von Materie mit der Umwelt zu, jedoch werden Energie und Information ausgetauscht. Ein Beispiel für ein derartiges System ist ein Druckkochtopf, der gegenüber seiner Umgebung abgeschlossen ist, jedoch die Zufuhr von Energie in Form von Wärme zulässt. Ein abgeschlossenes System lässt auch keinen Energieaustausch zu, lediglich die Übertragung von Information ist möglich.⁶⁵ Je genauer diese Trennung vollzogen wird, desto problematischer wird die Situation. Der Physiker James Clerk Maxwell wollte 1871 mit seinem Gedankenexperiment den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik⁶⁶ hinterfragen und schuf die später als „Maxwellschen Dämon“ bezeichnete Theorie, womit er auf theoretischer Basis ein Perpetuum Mobile zweiter Art kreierte.⁶⁷

Das Gegenstück zum abgeschlossenen System ist ein offenes System, welches Wechselwirkungen jeder Art zwischen System und Umwelt zulässt. Das heißt, dass mindestens ein Element, dessen Eingang nicht Ausgang eines anderen Elements desselben Systems ist, oder mindestens ein Element, dessen Ausgang nicht Eingang eines anderen Elements desselben Systems ist.⁶⁸ Diese Art von System kommt in der Realität am häufigsten vor und wird deshalb in den folgenden Abschnitten mit dem Begriff System bezeichnet.

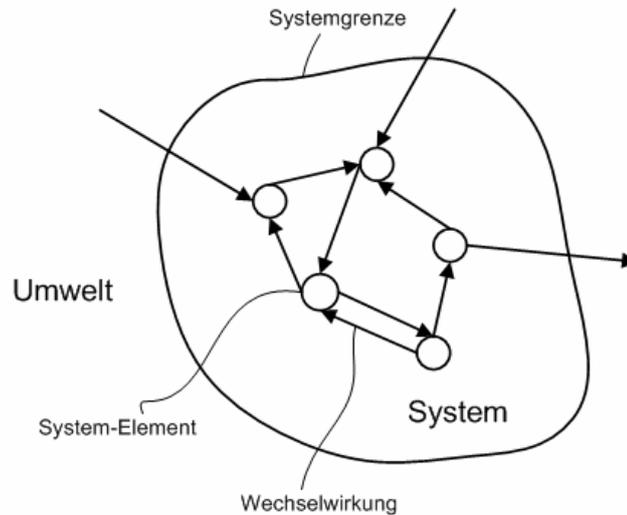
⁶⁴ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 200.

⁶⁵ Vgl. Ossimitz Günther; Lapp Christian (2006), S. 20 und S. 246.

⁶⁶ Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik nach Clausius: „Es gibt keine Zustandsänderung, deren einziges Ergebnis die Übertragung von Wärme von einem Körper niederer auf einen Körper höherer Temperatur ist.“ Vgl. Clausius, Rudolf (2006).

⁶⁷ Vgl. Maxwell, James Clerk (2001).

⁶⁸ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 542.

Abbildung 4: System-Umwelt mit Systemelementen⁶⁹

Die im System enthaltenen Elemente stehen miteinander in Beziehung und beeinflussen sich gegenseitig. Diese Zweiheit von Elementen und Beziehungen in einem System wird Struktur genannt.⁷⁰ Bei einem offenen System sind die Elemente ebenfalls mit der Umwelt in Verbindung und wirken aufeinander. Wichtig dabei ist zu verstehen, dass ein System als Ganzes nicht nur mehr, sondern qualitativ anders als die Summe seiner Teile ist.⁷¹ Wird der Zeitbezug in die Gestaltung der System-Modellierung mit hineingebracht, entsteht ein dynamisches System.⁷² Genau diese Dynamik wird als Verhalten des Systems bezeichnet und ist das Untersuchungsgebiet der Systemtheorie.

Die Dynamik für das System Unternehmen kommt durch die ständigen Änderungen in seiner Umwelt zustande.⁷³ Um als System lebensfähig zu bleiben (am Markt bestehen zu können), muss sich das Unternehmen diesen geänderten Umständen anpassen.

Ein wichtiger Zusammenhang wird durch den folgenden Satz ausgedrückt: „Das (dynamische) Verhalten eines Systems wird in erster Linie durch seine (statische) Struktur determiniert.“⁷⁴ Damit ist gemeint, dass ein System sich abhängig von seinem Aufbau verhält. Die Aufgabe der Systemtheoretiker ist, sich mit dem Verhalten von Systemen zu beschäftigen und zu versuchen Systeme mit ähnlichen Strukturen zu beschreiben, zusammenzufassen

⁶⁹ Quelle: Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 17.

⁷⁰ Vgl. Klaus, Georg (1976), S. 795.

⁷¹ Vgl. Simon B. Fritz (2007), S. 16.

⁷² Vgl. Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 73ff.

⁷³ Vgl. Doppler, Klaus; Lauterburg, Christoph (2005), S. 21.

⁷⁴ Zit. nach Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 18.

und Rückschlüsse über das Verhalten zu machen. Spezielle Untersuchungsgebiete sind dabei die Art und die Eigenschaften der Relationen zwischen den (System-)Elementen.⁷⁵ Solch ein System-Modell muss aus systemtheoretischer Sicht logisch funktionieren, es kommt allerdings nicht auf die praktische Anwendbarkeit an.⁷⁶

3.2 Entstehung der Systemtheorie

Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es in den verschiedensten Fachdisziplinen einen Paradigmenwechsel, der laut Thomas Kuhn als „wissenschaftliche Revolution“ bezeichnet wurde.⁷⁷ Es wird Abstand genommen von der bis dorthin üblichen Erklärung von Ereignissen durch lineare Kausalität (Ursache-Wirkungs-Ketten) und umgeschwenkt zum „systemischen Denken“. Das Denken in Systemen wird beschrieben durch Zirkularität und das Mitbeachten von Relationen.⁷⁸

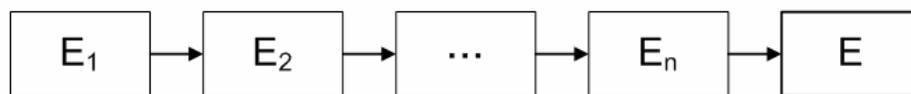


Abbildung 5: Ursache-Wirkungs-Kette⁷⁹

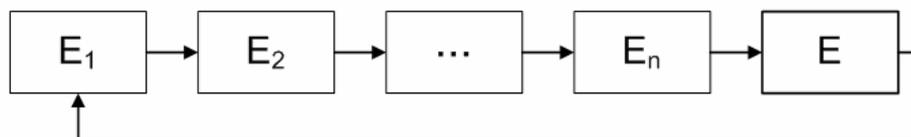


Abbildung 6: Zirkularität⁸⁰

Der Grund für diese Veränderung der Sichtweise war, dass einige Phänomene nicht mehr mit der geradlinigen Kausalität erklärt werden konnten. Zum Beispiel stieß die Beschreibung des Verhaltens von Organismen oder Gruppen menschlicher Individuen dabei an ihre Grenzen. Wie in diesen Beispielen wird auch in vielen anderen Bereichen dieselbe Art von Problemen erkannt und versucht, die Zusammenhänge bereichsübergreifend zu erklä-

⁷⁵ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 228.

⁷⁶ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 207.

⁷⁷ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 12 zitiert nach Kuhn, Thomas (1962).

⁷⁸ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 12f.

⁷⁹ Quelle: Simon, Fritz B. (2007), S. 14.

⁸⁰ Quelle: Simon, Fritz B. (2007), S. 15.

ren. Einer der Ersten, der den Versuch wagte, eine „allgemeine Systemtheorie“ zusammenzustellen, war Ludwig von Bertalanffy.⁸¹ Er stellte fest: „The concept has pervaded all fields of science and penetrated into popular thinking, jargon and mass media.“⁸² Er versuchte, die diversen Sichtweisen der Systemtheorie zusammenzufassen, doch er scheiterte an der Herausforderung.

Auch in einer Fertigung gibt es nicht nur eine Ursache für eine einzelne Wirkung (z.B. lange Durchlaufzeiten), es bestehen immer mehrere Ursachen (schlechter Materialfluss, hohe Teilevielfalt, lange Wiederbeschaffungszeiten, u.v.m.), die auf mehrere Bereiche Auswirkungen haben (bauliche Gegebenheiten, Marktmacht, Strategie, Durchlaufzeit, u.v.m.). Diese Auswirkungen gelten wiederum als Ursache bestimmter Wirkungen (Teilevielfalt → lange Durchlaufzeit → Strategie → Marktmacht → Wiederbeschaffungszeit → lange Durchlaufzeit → ...). So entsteht ein Netzwerk von Wirkungsgefügen und Rückkopplungen.

Die historische Entwicklung begann in den 1950er Jahren doch bis heute ist keine „allgemeine Systemtheorie“ bekannt, die alle unterschiedlichen Ansätze vereinen kann.⁸³ Niklas Luhmann, einer der Vorreiter der Erforschung sozialer Systeme unter dem Aspekt der Systemtheorie, sieht die Anfänge der Systemtheorie im 17. Jahrhundert.⁸⁴ Es wurde versucht, in den diversen Einsatzgebieten ein bestimmtes Gleichgewicht, beziehungsweise ein Gleichgewichtsgesetz zu finden, welches zur Stabilisierung von Systemen führt. Dabei wurde mit der Mathematik und später mit den Erkenntnissen der Thermodynamik, gearbeitet.⁸⁵

Man ging davon aus, dass jedes System nach den Gesetzen der Entropie den unterschiedslosen Zustand anstrebt, also jenen Zustand, in dem keine Energie mehr vorhanden ist, um irgendeinen Unterschied erzeugen zu können. In der Thermodynamik ist die Entropie das Maß zur Quantifizierung des Grades der Unordnung.⁸⁶ In jener Zeit konnte die Wissenschaft die in der Realität existierenden Systeme geordneter Struktur jedoch noch nicht erklären. So entstand die Bezeichnung der „Negentropie als Abweichung vom Entropiez-

⁸¹ Vgl. Bertalanffy, Ludwig von (1973).

⁸² Zit. nach Bertalanffy, Ludwig von (1973), S. 3.

⁸³ Vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 41.

⁸⁴ Vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 42ff.

⁸⁵ Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik besagt: „Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern stets nur umgewandelt werden.“ Zit. nach Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 244. Wohingegen der 2. Hauptsatz der Thermodynamik sinngemäß wiedergibt, dass ein abgeschlossenes System immer den Zustand der maximalen Unordnung und somit den Zustand der höchsten Entropie anstrebt. Vgl. Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006), S. 248.

⁸⁶ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 20.

stand⁸⁷ und die Erkenntnis, dass der unterschiedslose Zustand ausschließlich in abgeschlossenen Systemen vorkommen kann.

Damit war die Theorie offener Systeme entwickelt, welche einen Austausch zwischen Umwelt und System zulässt und nicht gegen die Regeln der Thermodynamik verstößt. Gibt es jedoch in offenen Systemen geordnete Strukturen, müssen diese nach den Regeln der Thermodynamik Energie verbrauchen. Der Physiker und Chemiker Ilya Prigogine nannte diese spontane Organisation „dissipative Strukturen“, was sich aus dem lateinischen „dissipare“ (zerstreuen, vernichten) ableitet.⁸⁸ Diese Ansicht bildet die Basis für die Selbstorganisation. Die Theorien und Begriffsbestimmung der Selbstorganisation werden in Abschnitt 3.5 näher erklärt.

Anschließend zur Theorie über den Austausch mit der Umwelt (offene Systeme), entwickelten sich die Input-Output-Modelle, die von Alan Turing erfundene Turingmaschine und die darauf aufbauende Beschreibung der Trivialen und Nicht-Trivialen Maschine von Heinz von Foerster, worauf im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird. Diese Modelle versuchten, mittels Input und Transformationsregeln den Output zu ermitteln, was für wenig komplexe Systeme gut funktionierte, allerdings mit steigendem Komplexitätsgrad zu einem NP-Problem (Non-deterministic Polynomial time)⁸⁹ wurde und somit für damalige (und selbst heutige) Verhältnisse nicht lösbar war.

Gutenberg beschrieb die Produktion mittels eines Input-Output-Modells.⁹⁰ Dort werden die Inputfaktoren (Mensch, Maschine, Material) durch eine Transformation (Faktorkombination) in einen Output (Produkte) verwandelt (vgl. Abschnitt 4.2).

Die Komplexität ist eine komparative Größe zur Bestimmung der Zusammensetzung des Systems. Es wird angenommen, dass die Komplexität K eines Systems mit der Anzahl n seiner Elemente, der Zahl der möglichen Zustände z dieser Elemente und der Zahl der Kopplungen k zwischen den Elementen direkt proportional ist ($K \sim nzk$). K wird zu einer quantifizierten Größe für die Komplexität, wenn eine geeignete Proportionalitätskonstante c_K eingeführt werden kann, sodass $K = c_K nzk$ gilt. Nach dieser Begriffsbestimmung nimmt die Komplexität eines Systems zu, wenn die Anzahl der Elemente, die Zahl der Zustände

⁸⁷ Vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 45.

⁸⁸ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 22 zitiert nach Prigogine, Ilya und Stengers, Isabelle (1993), S. 86ff.

⁸⁹ "The complexity class of decision problems for which answers can be checked by an algorithm whose run time is polynomial in the size of the input. Note that this doesn't require or imply that an answer can be found quickly, only that any claimed solution can be verified quickly. "NP" is the class that a Nondeterministic Turing machine accepts in Polynomial time. Also known as nondeterministic polynomial time." Zit. nach National Institute of Standards and Technology (2007).

⁹⁰ Vgl. Gutenberg, Erich (1983), S. 3.

der Elemente oder die Zahl der Kopplungen zwischen den Elementen steigt. Komplexe Systeme können von komplizierten Systemen dadurch unterschieden werden, dass komplexe Systeme aus gleichartigen Elementen bestehen, während die Elemente komplizierter Systeme verschiedenartig sind.⁹¹

Um die hohe Komplexität der Systeme zu verringern, beziehungsweise zu abstrahieren, wurde die Theorie der „Black box“ entwickelt, die auf die Analyse des Inneren eines Systems verzichtet. Der Begriff Black box stammt ursprünglich aus der Elektrotechnik, diese Form der „Ausblendung“ von unerwünschten oder zu komplexen Sachverhalten ist allerdings bereits so alt wie die Naturwissenschaft.⁹² Laut dieser Theorie ist es nicht möglich, den Output rein aus der Kenntnis des Inputs zu errechnen.⁹³ Es ist nur bekannt, welche Eingangs- und Ausgangsgrößen das System besitzt und dass es eine Relation zwischen diesen gibt.⁹⁴ Somit wird die „starre maschinenartige oder mathematische Kopplung von Input und Output“ gelöst.⁹⁵ Damit besteht dennoch eine qualitative Beschreibung des Systems, welche für viele Probleme einen Erkenntnisgewinn bringt.

Der nächste Entwicklungsschritt kommt aus dem Teilgebiet der Kybernetik, wobei versucht wurde, die Realität mittels Feedbackschleifen in Modellen abzubilden. Ziel war es, den Output möglichst stabil zu halten und damit die Veränderungen zum „Systemzustand“ so gering wie möglich blieben, um mittels gezielter Eingriffe in das System den ursprünglichen „Systemzustand“ wieder zu erreichen. Da die Kybernetik das zentrale Thema dieser Diplomarbeit ist, wird sie etwas später ausführlich erklärt.

Somit wurde der Einstieg in die Systemtheorie geschafft und es kann näher auf die Trivialen und Nicht-Trivialen Maschinen eingegangen und die wichtigsten Erkenntnisse der Kybernetik näher gebracht werden.

3.3 Triviale und Nicht-Triviale Maschine

Alan Turing bezeichnete den Algorithmus, nach dem der definierte Input in einen definierten Output transformiert wird, als Maschine, wobei diese nicht als Maschine im herkömmlichen Sinn zu sehen ist, sondern eine Reihe von Regeln und Gesetze darstellt nach dem

⁹¹ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 314.

⁹² Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 205f.

⁹³ Vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 49f.

⁹⁴ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 128.

⁹⁵ Zit. nach Luhmann, Niklas (2004), S. 50.

der Input „verarbeitet“ und zum Output „verwandelt“ wird. Foerster übernahm diese Terminologie, erweiterte diese Sichtweise und definierte zwei verschiedene Typen von Maschinen: die Triviale Maschine (Maschine erster Ordnung) und die Nicht-Triviale Maschine (Maschine zweiter Ordnung).⁹⁶

3.3.1 Triviale Maschine (TM)

Eine durch ihre Input-Output-Relation vollständig beschriebene Maschine bildet die Grundlage geradlinig-kausalen Denkens.⁹⁷ „Sie verbindet fehlerfrei und unveränderlich durch ihre Operation $\gg Op \ll$ gewisse Ursachen (Eingangssymbole, x) mit gewissen Wirkungen (Ausgangssymbole, y)“.⁹⁸ Weiters ist die Maschine durch die Gleichbehandlung aller Beobachter objektiv und Vergangenheitsunabhängigkeit, womit sie für die Denkrichtung der Ursache-Wirkungs-Logik steht.

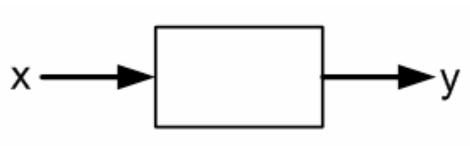


Abbildung 7: Triviale Maschine⁹⁹

Ein viel zitiertes Beispiel wird durch die Kombination von vier Eingangssymbole A, B, C, D und vier Ausgangssymbole 1, 2, 3, 4 beschrieben.¹⁰⁰ Es erfolgt die Zuweisung der Ursachen zu den Wirkungen, wonach es 256 (2^8) mögliche Kombinationen gibt. In diesem konkreten Beispiel wird folgende Zuordnung getroffen:

⁹⁶ Vgl. Foerster, Heinz von (1993), S. 135f und vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 59f.

⁹⁷ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 35.

⁹⁸ Zit. nach Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 60.

⁹⁹ Quelle: Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 60.

¹⁰⁰ Vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 60ff und Simon, Fritz B. (2007), S. 36.

Tabelle 4: Zuordnung der Eingangs- und Ausgangssymbole¹⁰¹

| x | y |
|---|---|
| A | 1 |
| B | 2 |
| C | 3 |
| D | 4 |

Das Eingangssymbol $x = A$ und das Ausgangssymbol $y = 1$, welche durch die Funktion f ineinander übergeführt werden.¹⁰² Mathematisch wird das dargestellt als

$$y = f(x)$$

oder

$$1 = f(A).$$

Somit kann die Folge von Eingangssymbolen ACDADACB bereits im Vorhinein, durch die Ausgangssymbole 13414132, bestimmt werden. Auch bei Unkenntnis der Zuordnung kann diese durch ausprobieren herausgefunden werden. Dabei ist die Anzahl der Eingangssymbole ohne Bedeutung, prinzipiell kann die richtige Lösung durch Heuristik gefunden werden, da die Maschine niemanden überraschen kann. Heinz von Foerster fasst die Eigenschaften der TM zusammen als:

- synthetisch determiniert,
- analytisch determinierbar,
- vergangenheitsunabhängig und
- voraussagbar.¹⁰³

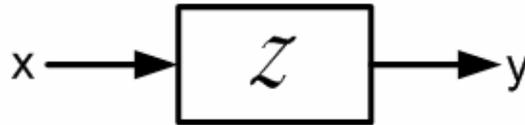
3.3.2 Nicht-Triviale Maschine (NTM)

Der Unterschied zwischen der TM und der NTM liegt in der Abhängigkeit der Transformation von ihrem „inneren Zustand“ z.

¹⁰¹ Quelle: Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 61.

¹⁰² Vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 62ff und vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 37ff.

¹⁰³ Vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 62.

Abbildung 8: Nicht-Triviale Maschine mit innerem Zustand z ¹⁰⁴

Das Ausgangssymbol ist sowohl abhängig vom Eingangssymbol, als auch vom inneren Zustand der Maschine, welcher sich je nach Eingangssymbol ändert. Leichter lässt sich das durch die mathematische Formulierung des Problems darstellen, wobei gilt:

$$y = f_y(x, z)$$

und

$$z' = f_z(x, z).$$

Die Auffassung von Heinz von Foerster ist, dass in der Maschine eine weitere Maschine steckt, also eine Maschine zweiter Ordnung. Auch zur NTM gibt es ein anschauliches Beispiel, wobei es sich um die Erweiterung des Beispiels für die TM um den inneren Zustand z handelt. Dabei kann der innere Zustand zwei verschiedene Positionen einnehmen: I und II.

Tabelle 5: Zuordnung der Eingangs-, Ausgangssymbole und des inneren Zustandes¹⁰⁵

| Im Zustand I | | | Im Zustand II | | |
|--------------|---|----|---------------|---|----|
| x | y | z' | x | y | z' |
| A | 1 | I | A | 4 | I |
| B | 2 | II | B | 3 | I |
| C | 3 | I | C | 2 | II |
| D | 4 | II | D | 1 | II |

¹⁰⁴ Quelle: Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 62.

¹⁰⁵ Quelle: Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 63.

Diese Modifikation hat zur Folge, dass nun ein Eingangssymbol nicht mehr ständig dasselbe Ausgangssymbol hervorruft. Wird beispielsweise der Input B gewählt, ist der Output im ersten Schritt (im Zustand I) 2. Anschließend wechselt der innere Zustand von I auf II und bei erneuter Wahl von Input B ergibt sich für den Output der Wert 3. Durch diese Änderung des inneren Zustandes müssten bedeutend mehr Versuche getätigt werden, um die Zuordnungen bei Unkenntnis des Systems vollständig zu beschreiben. Bei einer Anzahl von jeweils zwei Ein- und Ausgangssymbolen gibt es 65.536 (2^{16}) Möglichkeiten der Zuordnung, bei vier Symbolen würde sich dieser Wert auf 10^{2466} (2^{8192}) erhöhen. Soll die richtige Zuordnung mit Sicherheit bestimmt werden, könnte dieses Problem nicht einmal vom derzeit schnellsten Rechner in akzeptabler Zeit gelöst werden, womit es zu einem NP-Problem wird.

Die Eigenschaften der NTM fasste Heinz von Foerster wie folgt zusammen:

- synthetisch determiniert,
- analytisch unbestimmbar,
- verhangenheitsabhängig und
- unvoraussagbar.¹⁰⁶

Leider sind in der Realität die Systeme nicht immer so einfach, dass sie mit einer TM abbildet werden können, vielmehr ist die Vielzahl der Systeme mit einer NTM zu vergleichen. Deshalb ist die Anwendung dieser Theorie auf wenige Beispiele beschränkt und musste daher weiter entwickelt werden.

3.4 Kybernetik

Kybernetik leitet sich vom griechischen Wort „kybernetes“ ab, was soviel bedeutet wie Steuermann oder Lotse eines Schiffes.¹⁰⁷ Man hatte die Vorstellung, dass ein Steuermann allen Wellen und Winden zum Trotz das Schiff auf geradem Kurs hält und durch überlegte Gegenmaßnahmen die Abweichungen ausgleicht.¹⁰⁸ Der Name Kybernetik wurde vom Amerikaner Norbert Wiener in den 1950er Jahren geprägt, wobei die Namensgebung im

¹⁰⁶ Vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 66.

¹⁰⁷ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 13.

¹⁰⁸ Vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 54.

Sommer 1947 geschah.¹⁰⁹ Kybernetik ist die Wissenschaft von der Steuerungskunst (technischer) Systeme.

Ziel der Fertigungssteuerung ist es, produktionsrelevante Entscheidungen effizient durchzuführen. Dies soll möglichst fertigungsnahe (schnell) geschehen, doch ebenfalls auf das Gesamtziel (nicht bereichsoptimiert) ausgerichtet sein. Genau diese Steuerung, beziehungsweise Regelung wird in der Theorie der Kybernetik beschrieben (vgl. Abschnitt 3.4.3 und Kapitel 5).

3.4.1 Entstehung der Kybernetik

Heinz von Foerster zitiert in seinem Buch Gregory Bateson mit dessen Definition der Kybernetik: „Kybernetik ist ein Zweig der Mathematik, der sich mit den Problemen der Kontrolle, der Rekursivität und der Information beschäftigt.“¹¹⁰ Es handelt sich daher bei der Kybernetik um die Kontrolle und Abweichungsanalyse von Systemen. Die Theorie entstand in den 1940er Jahren und stammte aus dem technischen Bereich. Dort war sie als Regelungstechnik in der Produktion bereits bekannt. Doch auch in anderen Fachgebieten konnten Vorgänger der Kybernetik identifiziert werden. Die Begriffe der Regulierung waren in der Biologie bereits lange bekannt. In der Nachrichtentechnik wurde versucht, Optimierungen in den Informationsflüssen zu erreichen, was unter dem Begriff Informationstheorie verpackt wurde. Dort wurde mit der Logik und der Mathematik ein passendes Werkzeug gefunden. In der Soziologie und den Wirtschaftswissenschaften war der Ausgangspunkt die Information als zentrales Beobachtungsobjekt.¹¹¹

Durch die steigende Spezialisierung in den wissenschaftlichen Einzelbereichen wurden die Experten in ihrem jeweiligen Fachgebiet immer mehr zu Laien anderer Bereiche. Das machte ein enges Zusammenarbeiten von Fachspezialisten in übergreifenden Problemstellungen notwendig. Für diese Aufgabe wurde ein gemeinsamer Boden gesucht. Von der Kybernetik als Grenzwissenschaft zwischen den einzelnen Wissenschaften wurde erwartet, diesen zu bilden.¹¹² Es war verlockend, die Kybernetik in allen Bereichen anzuwenden, in denen ein stabiler Zustand erwünscht ist und durch dynamische Rückkopplung erhalten

¹⁰⁹ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 8.

¹¹⁰ Zit. nach Foerster, Heinz von (1993), S. 62.

¹¹¹ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 6.

¹¹² Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 4ff.

werden soll, vor allem, weil in der Kybernetik der Abstraktionsgrad in der Begriffsbildung hoch ist und daher von den verschiedensten Fachdisziplinen benutzt werden kann.¹¹³

Genau diese Verallgemeinerung machte die durchgängige Definition der Kybernetik schwer. Bertalanffy fasst die gesamte Thematik unter dem Schlagwort „Allgemeine Systemtheorie“ oder „General System Theory“ zusammen, was jedoch nach Joachim Flechtner etwas zu verallgemeinernd wirkt. Der Unterschied zur Systemtheorie liegt darin, dass kybernetische Systemmodelle nicht nur rein theoretischer Natur sind, sondern prinzipiell in die Realität übertragbar sein müssen.¹¹⁴ Weiters wird Alexej Ljapunow von Bertalanffy zitiert, welcher die Kybernetik vom regelungstechnischen Standpunkt aus sieht: „Das Grundverfahren der Kybernetik ist die algorithmische Beschreibung des Funktionslaufs von Steuerungssystemen. Der mathematische Gegenstand der Kybernetik ist das Studium der steuernden Algorithmen.“¹¹⁵ Dahingegen definiert Georg Klaus, der eine eher generische Zusammenfassung der Kybernetik versucht, die Kybernetik wie folgt: „Kybernetik ist die allgemeine, formale Wissenschaft von der Struktur, den Relationen und dem Verhalten dynamischer Systeme“¹¹⁶.

Wie die verschiedenen Definitionen erkennen lassen, hängt die Abgrenzung der Kybernetik immer vom Standpunkt des Betrachters ab. Allen Unterschieden zum Trotz sind die Gemeinsamkeiten (Relationen, Systembetrachtung, Steuerung beziehungsweise Regelung) unübersehbar.

Wird von der Entwicklung der Regelungstechnik abgesehen, lag die Entwicklung der „eigentlichen“ Kybernetik in den Erfordernissen der Kriegstechnik während des Zweiten Weltkrieges, besonders im Bereich der Fliegerabwehr, um die Präzision der Waffen zu optimieren.¹¹⁷ Der Hauptakteur war Norbert Wiener, der von der Entwicklung des „Rechenautomaten“ (computer) zwischenzeitig abließ, um die Rüstungsindustrie bei der Entwicklung dynamischer Anpassungsprogramme der Fliegerabwehrkanonen zu unterstützen.¹¹⁸

¹¹³ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 324.

¹¹⁴ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 229.

¹¹⁵ Zit. nach Flechtner, Joachim (1970), S. 9.

¹¹⁶ Zit. nach Flechtner, Joachim (1970), S. 10.

¹¹⁷ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 326.

¹¹⁸ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 7.

3.4.2 Steuerung – Regelung – Rückkopplung

Um die praktische Anwendung der Theorie zu erklären, müssen erst die grundlegenden Begriffe definiert werden. Im täglichen Sprachgebrauch wird „steuern“ und „regeln“ synonym betrachtet, doch es gibt einige Unterschiede, wenn diese Begriffe im Kontext der Kybernetik verwendet werden.

Der Begriff „steuern“ kann wie folgt beschrieben werden: „Das Auslösen in seiner reinen Form ist eine ungerichtete Form der Beeinflussung eines Verhaltens. Wirkt dagegen ein Auslöser zugleich richtend auf den ausgelösten Vorgang ein, so sprechen wir von Steuern. [...] Hier hat ja auch der Name ‚Kybernetik‘ seine Wurzeln.“¹¹⁹

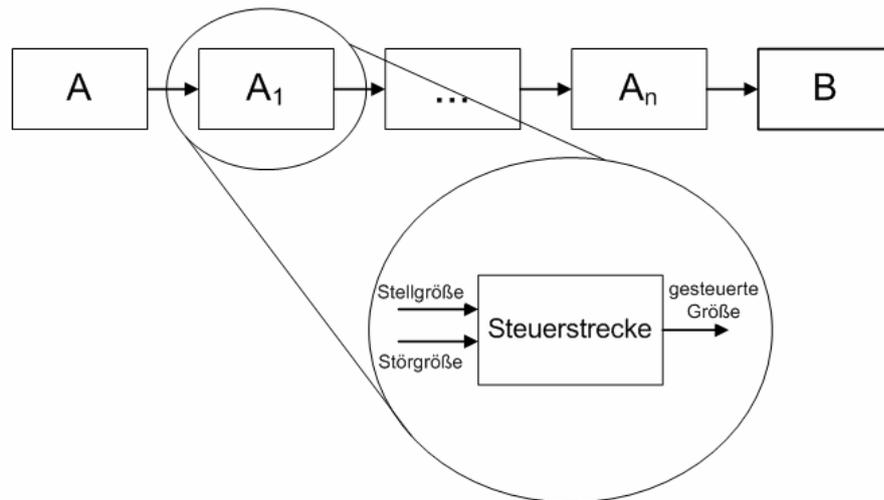
Nun stellt sich die Frage, welches Ziel es damit zu erreichen gilt. Es wird versucht, durch gezielte Steuerung einen Zustand A in einen, mit bestimmten Methoden herbeigeführten, gewünschten Zustand B überzuführen. Dafür gibt es zwei Arten, diesen zu erreichen. Entweder ist das Ziel (Zustand B) bereits gegeben und der Ausgangszustand (Zustand A) gesucht oder umgekehrt, der Ausgangszustand ist bekannt und ein Ziel ist gesucht. Um vom Zustand A zum Zustand B zu gelangen, ist ein bestimmter Weg zu finden. Dieser kann direkt sein oder über bestimmte andere Zustände – A_1, A_2, \dots, A_n – führen.

Flechtner bezeichnet diese Umwege als Taktik, um über verschiedene Zustände an ein bestimmtes Ziel zu gelangen.¹²⁰ Ein solcher Wirkungsweg wird auch als Steuerkette bezeichnet. Jede Steuerkette enthält für jede gesteuerte Größe (betrachtetes System) eine Steuerstrecke und eine Steuereinrichtung (Steuerer). Die Eingangssignale werden als Stellgrößen oder Störgrößen bezeichnet und das Ausgangssignal wird gesteuerte Größe genannt.¹²¹

¹¹⁹ Zit. nach Flechtner, Joachim (1970), S. 27.

¹²⁰ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 29f.

¹²¹ Vgl. Klaus, Georg et al. (1976), S. 769.

Abbildung 9: Steuerkette¹²²

Wichtig dabei ist zu verstehen, dass die Einflussnahme durch die Steuerung von „außen“ geschieht, also außerhalb der Systemgrenzen durchgeführt wird. Somit kann das Eingreifen in den normalen Ablauf des Systems auch als „Störung“ durch den Steuerer (z.B. eine Kraft, ein Steuermann, ...) bezeichnet werden. Dies wird solange durchgeführt bis das vom Steuerer gewünschte Ziel erreicht wird.¹²³

Ziel der Produktionsleitung ist es, eine gerichtete Einflussnahme auf das Verhalten der Fertigung (die Steuerung) durchzuführen. Dabei werden die Ziele vom Management vorgegeben. Der Produktionsleiter greift zur Zielerreichung in den Produktionsprozess als Steuerer ein.

Das „Regeln“ hingegen kann als eine besondere Form des Steuerns angesehen werden, es handelt sich dabei um die „Selbststeuerung des Systems“. Bei der Regelung wird, wie auch bei der Steuerung, ein Ziel von außen gesetzt. Doch das Verhalten wird zum Unterschied nicht von außen gesteuert, sondern das System ist so geschaltet, dass es sich selbst steuert.¹²⁴ Die Regelung erfolgt über eine Regelkreisstruktur, die eine Rückkopplung bewirkt. Diese Rückkopplung ist eine besondere Art der Wechselwirkung, welche darauf beruht, dass zwei oder mehrere (System-)Elemente sich in einer geschlossenen Kausalkette gegenseitig beeinflussen.

¹²² Quelle: Eigene Analyse während des Projekts im Zeitraum September bis Dezember 2007. Im Folgenden zitiert als: Artz, Manuel (2007).

¹²³ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 35.

¹²⁴ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 34.

Der Regelkreis besteht aus einer Regelstrecke und einer Regeleinrichtung (Regeleinheit oder Regler). Dabei ist es die Aufgabe des Reglers, die veränderliche Regelgröße x mit der Führungsgröße w zu vergleichen und bei einer Abweichung mittels Stellgröße y auf die Regelstrecke einzuwirken. Ziel ist es dabei, die Differenz zwischen der Regelgröße x und der Führungsgröße w so gering wie möglich werden zu lassen und somit der Auswirkung der Störgröße z auf die Regelstrecke auszugleichen. Anschaulich dargestellt wird die Regelung durch die Abbildung 10.¹²⁵

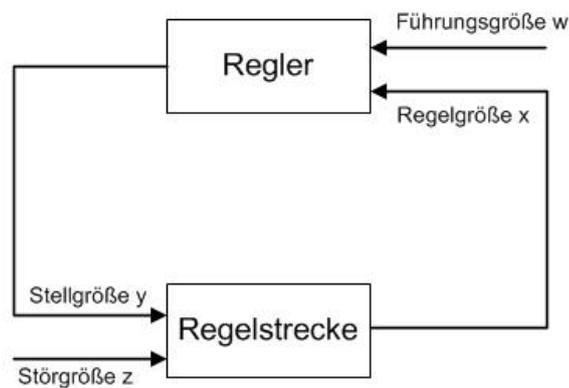


Abbildung 10: Struktur- und Funktionsschema des Regelkreises¹²⁶

Ein beliebtes Beispiel für die Unterscheidung zwischen Steuerung und Regelung ist der Thermostat. Nach einem Absinken der Außentemperatur wird nach kurzer Zeit auch die Raumtemperatur sinken. Das soll mit einer gezielten Steuerung über ein Heizsystem vermieden werden und die Raumtemperatur auf einem konstanten Niveau gehalten werden. Bei einer Steuerung wird die Außentemperatur (Umgebungstemperatur) als Stellgröße verwendet und mit dem Heizsystem gekoppelt. Das bedeutet, sinkt die Außentemperatur ab, schaltet sich das Heizsystem ein und erwärmt den Raum (das System). Sinkt die Außentemperatur stärker ab wird auch verstärkt geheizt, damit die Raumtemperatur erst gar nicht absinkt. Die Raumtemperatur wird in dieser Betrachtungsweise nicht berücksichtigt, gleich wenig wie die Frage, ob in dem temperaturgesteuerten Raum noch gearbeitet werden kann. Deshalb ist es notwendig das Heizsystem manuell abzuschalten, wenn die Raumtemperatur über dem gewünschten Zielwert liegt. Wird die Steuerungsvariante geändert und die Raum-

¹²⁵ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 42 und Klaus, Georg et al. (1976), S. 651.

¹²⁶ Quelle: Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 651.

temperatur als „Regelgröße“ verwendet, wird direkt vom System aus eingegriffen. Sinkt die Raumtemperatur unter ein definiertes Niveau, schaltet sich das Heizsystem ein. Somit ändert sich die Temperatursteuerung (von außen) in eine Temperaturregelung (von innen) und steuert sich von selbst. Ein weiteres Eingreifen (um das Heizsystem manuell abzuschalten) ist nicht mehr notwendig, da das System seinen Zielwert kennt.¹²⁷

Dieser einfache Typ für die praktische Anwendung ist ein wiederholt zitiertes Beispiel in der Literatur.¹²⁸ Dieses wenig komplexe Exemplar wird der Kybernetik erster Ordnung zugeschrieben. Zusammenfassend versucht der Thermostat durch dynamische Rückkopplungen einen statischen Zustand herzustellen. Bei einer Abweichung des gemessenen Wertes vom Zielwert wird eine Mechanik angeworfen, welche die entstandene Differenz ausgleicht und somit den ursprünglichen Zustand nahe dem Zielwert wieder herstellt. Grafisch lässt sich das auch mit der folgenden Abbildung erklären.

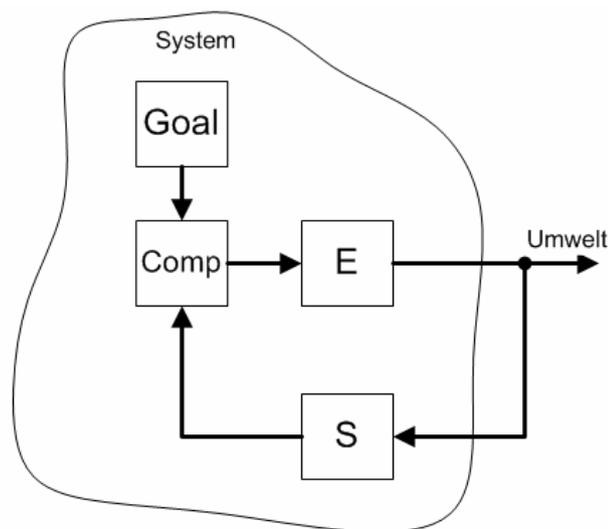


Abbildung 11: Sensor-Effektor-Modell¹²⁹

Bei diesem Modell registriert der Sensor (S) einen bestimmten Zustand des Systems welcher von der Umwelt mit geprägt wird. Der Sensor gibt dieses Signal an eine Recheneinheit (Comp) weiter, welcher einen Abgleich mit dem festgelegten Zielwert (Goal) vornimmt. Je nach Differenz des gemessenen und des vorgegebenen Wertes gibt die Recheneinheit eine

¹²⁷ Vgl. Flechtner, Joachim (1970), S. 33ff.

¹²⁸ Vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 18 und vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 53.

¹²⁹ Quelle: Foerster, Heinz von (1993), S. 99.

Handlungsanweisung an den Effektor (E) weiter eine Korrektur vorzunehmen, je nach Über- oder Unterschreitung des Zielwertes.¹³⁰

Die Rückkopplungen werden auch Feedbacks genannt und können in zwei Arten unterteilt werden: positives und negatives Feedback. Negatives Feedback bewirkt ein Einpendeln des Systemzustandes (eine Abweichungsverringerung), was zu einer Stabilisierung des Systems führt. Ein positives Feedback hingegen, ruft ein Aufschaukeln (eine Abweichungsverstärkung) hervor, was eine Destabilisierung des Systems bewirkt.¹³¹

Um das Ziel zu erreichen, zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu wissen, welchen Zustand das System in Zukunft haben wird, sind Vernetzungen mehrerer kybernetischer Schaltkreise nötig.

3.4.3 Kybernetik in der Produktion

Günther Pawellek erkannte den Zusammenhang zwischen den Produktionsprozessen und der Systemtheorie, beziehungsweise der Kybernetik und beschreibt die Fertigung als offenes, dynamisches System (vgl. Abschnitt 3.1). Die Begründung für ihn war, dass es in einer Produktion eine Vielzahl von Einzelkomponenten gibt, welche durch Wirkungsbeziehungen miteinander verknüpft sind und ein nichtdeterministisches Systemverhalten vorherrscht.¹³² Das ist auch die gängige Definition eines Systems für die Systemtheorie und Kybernetik.

Die verwendeten Steuerungssysteme in der Produktion (zur Planung und Terminierung der Auftragsabarbeitung) lassen sich nach ihrer Organisationsform, dem Steuerungsverfahren und den Steuerungsinstrumenten unterscheiden. Es soll hier speziell auf die Organisationsformen eingegangen werden.¹³³ Die Organisationsformen können wiederum eingeteilt werden in die zentrale und dezentrale Steuerungsorganisation und Mischformen daraus, wobei jede davon ihre Vor- und Nachteile besitzt.

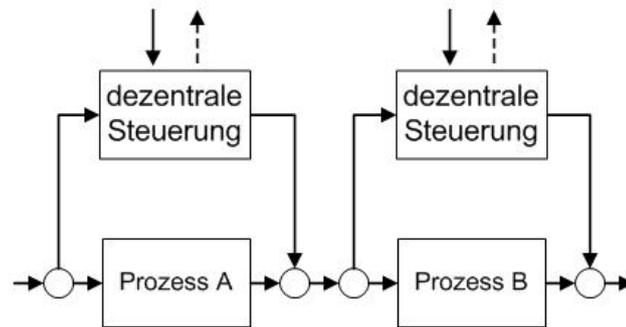
Die zentrale Organisation ist gekennzeichnet durch eine einzelne Steuerungseinheit (Abteilung, Stabstelle, Einzelpersonen), die alle zentralen Steuerungsfunktionen übernimmt und somit die gesamte interne Wertschöpfungskette auf der untersten Ebene koordiniert. Der Vorteil darin liegt in der Übersicht und der Vorgabe von bereichsübergreifenden, überge-

¹³⁰ Vgl. Foerster, Heinz von (1993), S. 99f.

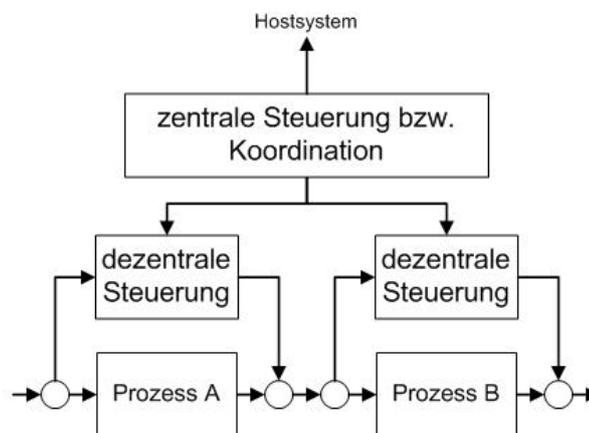
¹³¹ Vgl. Luhmann, Niklas (2004), S. 55.

¹³² Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 24.

¹³³ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 91ff.

Abbildung 13: Dezentrale Informationsverarbeitung¹³⁵

Bei einer Mischform aus zentraler und dezentraler Organisation können die Vorteile beider genutzt werden, sodass erhebliche Optimierungspotentiale bereitstehen. Mit dieser Struktur ist es möglich, (durch die Ausregelung von Störungen auf dezentraler Ebene) eine zeitnahe Koordination durchzuführen und gleichzeitig nach einem übergeordneten Gesamtziel ausgerichtet zu sein (welches von der zentralen Ebene vorgegeben wird) (vgl. Abschnitt 5.4.3). Der Nachteil dieser Struktur ist die große Anzahl an zusätzlichen Schnittstellen, was einer eindeutigen Zuordnung von Kompetenzen und Verantwortungen bedarf.

Abbildung 14: Mischform zentraler und dezentraler Informationsverarbeitung¹³⁶

Diese Einteilung der verschiedenen Steuerungsorganisationen ist elementar für die Produktionslogistik und für die optimale Erreichung der aufgestellten logistischen Ziele, denn auf

¹³⁵ Quelle: Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 92.

¹³⁶ Quelle: Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 93.

diese Strukturen hin muss die Strategie ausgelegt werden, beziehungsweise die Strukturen müssen der Strategie angepasst werden.

Die Erstellung einer Mischform von zentraler und dezentraler Steuerung soll auch bei der Firma EPCOS OHG eingeführt werden. Dabei werden die Ziele für die Durchlaufzeiten zentral vorgegeben, wobei die Abarbeitung der Lose dezentral und nach vorher definierten Eskalationsregeln erfolgt (vgl. Abschnitte 5.4 und 5.5).

Pawellek beschreibt die kybernetische Produktionsorganisation und -steuerung (KYPOS)¹³⁷ als einen ganzheitlichen Lösungsansatz zur Planung und Steuerung der Produktionslogistik, um die vorherrschende Dynamik im Materialfluss in den Griff zu bekommen. Die Strategie, um dies zu bewerkstelligen, basiert auf zwei Säulen: der integrierten Produkt- und Prozessstrukturierung sowie der adaptiven Produktionsplanung und -steuerung.¹³⁸ Dabei kommt Pawellek die oben beschriebene Mischstruktur der Organisationssteuerung zugute, da die Strategie sowohl die Nähe zur Produktion von der dezentralen Steuerung benötigt, als auch übergeordnete Ziele verfolgt.

Die integrierte Produkt- und Prozessstrukturierung hat zum Ziel, das Organisationskonzept der Produktionslogistik nach folgenden Eigenschaften auszurichten:

- operative Steuerbarkeit: die einzelnen Subsysteme sind auf ein gesamtunternehmerisches Optimum ausgerichtet, wobei die Umsetzung direkt in der Verantwortung der Subsysteme liegt
- operative Beobachtbarkeit: durch ein gutes Zusammenarbeiten über die Schnittstellen hinweg soll die Transparenz in der Fertigung gewährleistet werden
- operative Robustheit gegenüber Störungen: die Störungen werden dezentral gelöst und bleiben somit örtlich begrenzt
- Anpassungsfähigkeit an funktionale Veränderungen: durch die zentrale Überwachung, können notwendige Änderungen der Prozesse rasch durchgeführt werden und die Strategie bei Bedarf ganzheitlich angepasst werden

¹³⁷ Kybernetische Produktionsorganisation und -steuerung (KYPOS): KYPOS ist die „Strategie zur Beherrschung der Komplexität und Dynamik in organisatorischen Abläufen durch Anwendung kybernetischer Prinzipien.“ Vgl. Klaus, Peter; Krieger, Winfried (1998), S. 240.

¹³⁸ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 111ff.

- strukturunabhängige Ausbaubarkeit: neue Elemente können in die Fertigung eingebracht werden ohne die bisherige Struktur komplett umgestalten zu müssen.¹³⁹

Die adaptive Produktionsplanung und -steuerung wird durch fünf Teilziele bestimmt:

- Transparenz im produkt- und auftragsorientierten Teilefluss (zentrale Steuerung)
- differenzierte Steuerung der Teile und Aufträge (dezentrale Steuerung)
- zeitnahe Ausregelung von Störungen im Produktionsablauf (dezentrale Steuerung)
- effiziente Auslastung der Kapazitäten (dezentrale Steuerung)
- Senkung der Durchlaufzeiten und Bestände (zentrale Steuerung).¹⁴⁰

Wie aus den beiden Säulen ersichtlich, stützt sich die KYPOS auf die gemischte Organisationsstruktur, welche die Vorteile beider – der dezentralen und zentralen Steuerung – nutzt, um sowohl strategisch, als auch operativ optimal auf die logistischen Ziele ausgerichtet zu sein. Die kybernetische Produktionsorganisation und -steuerung ist für Günther Pawellek die Voraussetzung für eine flexible, vernetzte Regelung von Materialflussprozessen und eignet sich besonders zur Beherrschung der zunehmenden Dynamik und Komplexität in der Produktion. Genau diese oben definierten Ziele bildeten die Grundlage der Entscheidung der Firma EPCOS OHG zugunsten des Diplomarbeitsprojekts. Die genaue Beschreibung der Ziele wird in Abschnitt 5.3 formuliert.

Um die KYPOS umsetzen zu können, wird die Organisationsstruktur mit der Theorie der Regelkreise verbunden. Da eine Produktion allerdings über einen langen Materialfluss hinweg geregelt werden muss und das nicht über einen einzelnen Regelkreis geschehen kann, müssen diese Regelkreise miteinander vernetzt werden. Dies kann auf zwei Arten erfolgen: horizontal und vertikal. Exemplarisch ist das in den Abbildungen 15 und 16 zu sehen.¹⁴¹ In einem vertikal vernetzten Regelkreis kann jeder Regelkreis wiederum Regelstrecke eines übergeordneten Regelkreises sein. Die inhaltliche Differenzierung hängt von der horizontalen Arbeitsteilung in den Regelstrecken ab, was meist durch die einzelnen Materialflussab-

¹³⁹ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 111.

¹⁴⁰ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 112.

¹⁴¹ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 117.

schnitte vorgegeben wird. Die vertikale Arbeitsteilung wird bestimmt durch den Detaillierungsgrad und der zeitlichen Nähe an der Fertigung.

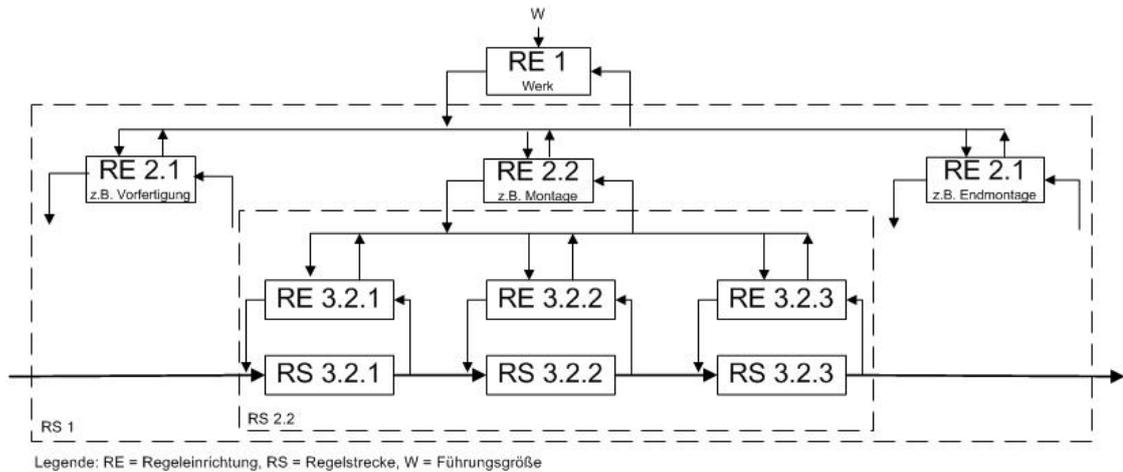
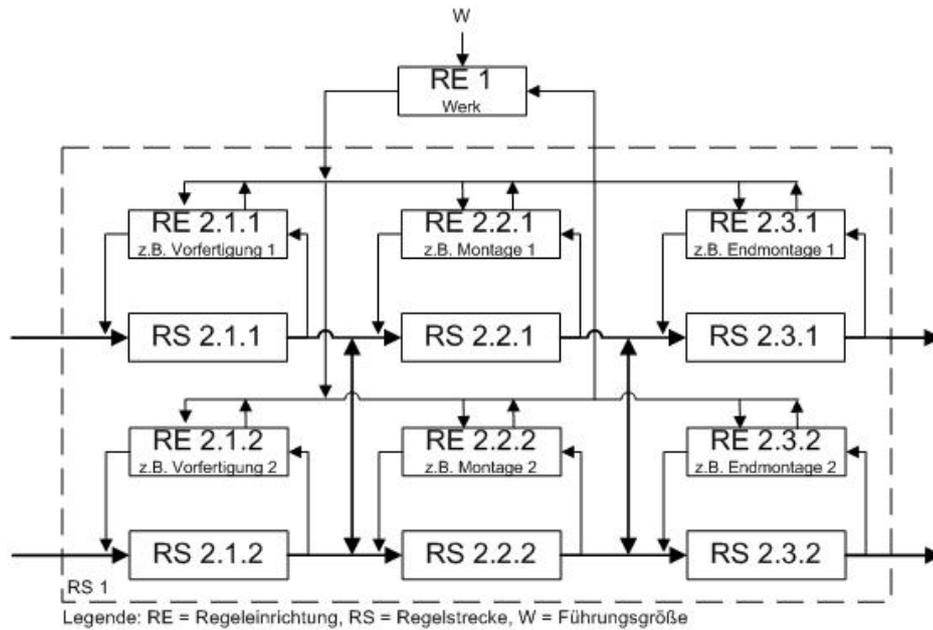


Abbildung 15: Vertikal vernetzte Regelkreise¹⁴²

Bei den horizontal vernetzten Regelkreisen können die Ebenen hintereinander oder parallel angeordnet sein. So können beispielsweise zwei Regelstrecken parallel gegenüber der übergeordneten Regelstrecke angebracht sein. In der praktischen Anwendung können dadurch Zulieferer der gleichen Produktionsstufe dargestellt werden.

¹⁴² Quelle: Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 118.

Abbildung 16: Horizontal vernetzte Regelkreise¹⁴³

Der hierarchische Aufbau dient der effizienten Funktion des Gesamtsystems. Bis zur Überschreitung einer definierten Grenze agieren die Subsysteme autonom, danach schaltet sich die übergeordnete Instanz ein, um das anstehende Problem zu lösen. Hierbei handelt es sich um eine Zuständigkeitsfrage, die vorab definiert werden muss. Die Hierarchie kann allerdings auch umgekehrt handeln, indem sie die globalen Ziele auf ihre Subsysteme herunterbricht, wobei es die Aufgabe der Subsysteme ist, eigene Lösungen für die individuellen Unterziele zu finden.¹⁴⁴

Bei der Umsetzung der kybernetischen Prinzipien werden im Idealfall Wandlungsbereitschaft (Wollen und Sollen) und Wandlungsfähigkeit (Kennen und Können) in allen Teilbereichen hergestellt. Dies sind die Grundvoraussetzungen für die Akzeptanz von Veränderungen. Wandlungsbereitschaft und -fähigkeit gehen hauptsächlich von den beteiligten Mitarbeitern aus und sind Teil der Unternehmenskultur. Doch auch das Unternehmen muss seinen Beitrag zur Motivation der Belegschaft leisten. Das geschieht durch Schließen von Wissens- und Informationslücken (Kennen), Befähigung der Mitarbeiter zur Erfüllung

¹⁴³ Quelle: Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 118.

¹⁴⁴ Vgl. Bossel, Hartmut (2004), S. 45.

der neuen Aufgaben (Können), Schaffung von Anreizsystemen (Wollen) und Unterstützung durch geeignete Organisationsstrukturen (Sollen).¹⁴⁵

Wandlungsfähigkeit wird im Fall der KYPOS durch die Selbstlenkungs- und Selbstorganisationsmechanismen eines Unternehmens hergestellt. Selbstlenkung ist die Fähigkeit eines Systems sich selbst unter Kontrolle zu halten und die Systemzustände trotz wechselnder Rahmenbedingungen aufrecht zu halten. Selbstorganisation ist die Anpassungsfähigkeit der Unternehmensstrukturen ohne Verlust der Leistungsfähigkeit. Diese beiden Mechanismen werden besonders von der KYPOS durch die Beachtung folgender drei Punkte gefördert:

- Entflechtung komplexer Materialflussabläufe,
- Vernetzung von Teilbereichen durch,
 - horizontale und vertikale Integration,
 - hohe Transparenz im Materialfluss,
 - gut funktionierende Kommunikation,
- Integration der Mitarbeiter.¹⁴⁶

Um dies zu erreichen, ist die oben beschriebene Organisationsstruktur mit dem besonderen Fokus auf die Regelkreise unerlässlich. Die Regelkreise auf der untersten Ebene bestehen, wie in Abschnitt 3.4.2 beschrieben, aus den Elementen Führungs-, Stell-, Regel- und Störgröße. Nach dem logistischen Ansatz besteht die Führungsgröße aus dem Plan-Anfangs-, beziehungsweise Plan-Endtermin und der Plan-Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrages. Die Stellgröße, mit der Einfluss auf die Regelstrecke genommen wird, entspricht der Maßnahme des Reglers bei einer Abweichung der Ist- von den Soll-Daten. Diese Maßnahmen können eine zeitliche Verschiebung, eine Änderung der Auftragsreihenfolge, zusätzliche Kapazitäten, Auftragsplitting oder eine Erhöhung der Anlagenintensität sein (vgl. Abschnitt 5.4.3).

Welche der Maßnahmen ausgewählt wird, liegt in der Verantwortung des Reglers (des Meisters in der Fertigung). Die Regelgröße ist die Durchlaufzeit, welche aus der Regelstrecke an den Regler gemeldet wird. Die Störgrößen wirken sich sowohl auf den Regler, als auch auf die Regelstrecke aus. Störgrößen können unvorhergesehene Kapazitätsausfälle,

¹⁴⁵ Vgl. Reiß, Michael et al. (1997), S. 93.

¹⁴⁶ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 121f.

fehlendes Material, zeitliche Verschiebungen der Aufträge oder Fehler in der Planung sein. Das macht eine Regelung durch eine Kontrollinstanz erst notwendig, wobei es sinnvoll ist, diese direkt vor Ort durchzuführen und somit den Prinzipien der KYPOS zu folgen.¹⁴⁷

Wie durch Günther Pawelleks Theorie erkennbar ist, gibt es große Gemeinsamkeiten zwischen einer Produktion und den Grundprinzipien der Kybernetik. Ein Beispiel, wie diese Theorie in die Praxis umgesetzt werden kann, wird im Praxisteil dieser Arbeit geliefert.

3.5 Selbstorganisation

Der nächste Schritt in der Entwicklung der Systemtheorie beschäftigt sich mit der Selbstorganisation von Systemen, wobei diese Stufe den Übergang von den nicht lebenden zu den lebenden Systemen darstellt.¹⁴⁸

Wie bereits im Abschnitt 3.2 erwähnt, können Systeme durch die Aufnahme von Energie aus der Umwelt dissipative Strukturen bilden. Diese Ordnung bleibt jedoch nur solange aufrecht, wie dem System Energie zugeführt wird, danach „zerfällt“ das System wieder in den wahrscheinlichsten Zustand, dem Zustand der Unterschiedslosigkeit.¹⁴⁹ Die gebildeten Strukturen werden nicht von einem übergeordneten Organisator gebildet, sondern werden durch Interaktion der Systemelemente untereinander gebildet. Somit erwerben die Elemente neue Eigenschaften als Ganzheit, die kein einzelnes Element des Systems aufweist. Dieses Phänomen wird Emergenz genannt und bildet eine Säule der Selbstorganisation.

Die Selbstorganisation wird auch von Hermann Haken beschrieben, dieser prägte jedoch den Begriff Synergetik. Dabei handelt es sich um die Schaffung von makroskopischer Ordnung auf Basis von mikroskopischem Chaos.¹⁵⁰

Zur aktiven Herstellung und Aufrechterhaltung der Strukturen werden bestimmte Operationen ständig wiederholt. Das ist das Prinzip der Selbstbezüglichkeit. Mathematisch kann dieser iterative und selbstreferentielle Prozess wie folgt beschrieben werden: Beginnt eine Operation (Op) mit dem Ausgangswert x_0 , ist das Ergebnis nach dem durchlaufen der Operation x_1 .

¹⁴⁷ Vgl. Pawellek, Günther (2007), S. 129f.

¹⁴⁸ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 17.

¹⁴⁹ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 22f zitiert nach Prigogine, Ilya und Stengers, Isabelle (1993), S. 90f.

¹⁵⁰ Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 24 zitiert nach Haken, Hermann (1981), S. 67f.

$$x_1 = \text{Op}(x_0)$$

Wird diese Operation noch einmal durchgeführt, wobei das Ergebnis der ersten Operation den Ausgangswert für die zweite Operation darstellt, ergibt das:

$$x_2 = \text{Op}(x_1) \text{ oder}$$

$$x_2 = \text{Op}(\text{Op}(x_0)).$$

Wird n (als Bezeichnung für den Index) immer größer und läuft gegen Unendlich ($n \rightarrow \infty$), ergibt dies die Formel:

$$x_\infty = \text{Op}(x_\infty).$$

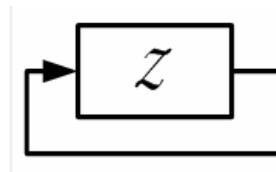


Abbildung 17: Rekursion¹⁵¹

Somit ergibt sich eine selbstbezügliche Funktion (eine Rekursion). Bei der Berechnung solcher Operationen mithilfe eines Computers ergibt sich nach endlichen Rechenschritten die Erkenntnis, dass sich die Operation einem gewissen Wert annähert. Diese Werte, welche die Ausgangswerte gewissermaßen „anziehen“, werden Attraktoren, Fixpunkte oder Eigenverhalten genannt. Diese stellen eine gewisse Stabilität, einen Gleichgewichtspunkt, dar. Dabei besitzt jede Operation einen eigenen Attraktor, der vom ursprünglichen Ausgangswert unabhängig ist. Heinz von Foerster bezeichnet diesen Wert als Eigenwert und gibt als Beispiel die Operation des „Wurzelziehens“ mit dem Eigenwert 1 an. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Anfangswerte nur bei (ab)geschlossenen Systemen (und

¹⁵¹ Quelle: Vgl. Foerster, Heinz von et al. (2004), S. 71.

selbst dort nicht immer) zum Attraktor hin konvergieren.¹⁵² Eine Zentrale Aussage ist: „In dynamischen Systemen gibt es keine Statik, ohne dass diese aktiv aufrechterhalten wird, das heißt, ohne dass Prozessmuster immer wieder realisiert werden.“¹⁵³

Bei der Firma EPCOS OHG wird die Selbstorganisation anhand der Abarbeitungsliste in den Fertigungsbereichen (System) dargestellt. Die Elemente der Abarbeitungsliste sind die auf ihr enthaltenen Lose. Die Lose stehen in gegenseitiger Konkurrenz um die Abarbeitung (Wechselwirkung), deren Reihenfolge von den Eigenschaften der Lose abhängen (bisherige Liegezeit). Mit jeder Durchführung einer Operation (Abarbeitung von Losen) wird die Abarbeitungsliste aufs Neue erstellt, wobei sich die Positionen der Lose ändern.

Die Anwendung dieser Erkenntnisse fand in vielen Bereichen statt, am bekanntesten sind in diesem Zusammenhang die Theorien der Chaos- und Komplexitätstheorie, welche sich mit dem Thema der Selbstorganisation beschäftigen.¹⁵⁴

In diesem Kapitel wurde die Verbindung zwischen einem Unternehmen und der Systemtheorie gezeigt. Wenn das Unternehmen als System betrachtet wird und seine Stakeholder als Umwelt, besteht einen hoher Grad an Wechselwirkungen, die einem offenem System entsprechen. Somit kann auch die Wirtschaftswissenschaft von der Entwicklung allgemeiner Ansätze der Systemtheorie profitieren. Weiters wurde gezeigt, dass eine Fertigung durch kybernetische Prinzipien gesteuert, beziehungsweise geregelt werden kann.

¹⁵² Vgl. Simon, Fritz B. (2007), S. 25ff und vgl. Foerster, Heinz von (1993), S. 146f und vgl. Foerster, Heinz von et al. (2006), S. 70ff.

¹⁵³ Zit. nach Simon, Fritz B. (2007), S. 27.

¹⁵⁴ Einige Vertreter und Begründer der Chaostheorie sind Henri Poincaré, Edward N. Lorenz, Benoit Mandelbrot und Mitchell Feigenbaum. Als Gründer der Komplexitätstheorie gelten Alan Turing, John Myhill, Raymond Smullyan, Juris Hartmanis und Richard Stearns. An dieser Stelle wird an die facheinschlägige Literatur dieser genannten Herren verwiesen und das Thema nicht näher beleuchtet.

4 Controlling

„Jeder hat seine eigene Vorstellung darüber, was Controlling bedeutet, oder bedeuten soll, nur jeder meint etwas anderes.“¹⁵⁵ Es herrscht noch kein Konsens wie der Begriff Controlling zu definieren ist, da es über die Auffassung und Abgrenzung eine breite Meinungsvielfalt gibt.¹⁵⁶ Deshalb ist es notwendig, sich einen groben Überblick über die Konzeptionen, welche sich in der Fachwelt etabliert haben, zu verschaffen. Da dieses Kapitel den Zusammenhang zwischen der Systemtheorie, beziehungsweise der Kybernetik und dem Controlling erläutert, wird ein besonderer Fokus auf den Aspekt der Planung, Kontrolle und Informationsversorgung gelegt, welche laut Péter Horváth neben der Koordination die wichtigsten Elemente des Controllings darstellen.¹⁵⁷

Das Controlling spielt auch in der Fertigungssteuerung eine große Rolle. Wie im Praxisteil gezeigt wird, gibt es für die DLZ einen Zielwert, der erreicht werden soll. Durch das optimale Zusammenspiel von Planung, Information und Kontrolle, soll die Streuung der DLZ der Aufträge gesenkt werden und somit zur Stabilisierung der Prozesse beitragen. Dies geschieht durch geregelte Eingriffe in die Fertigung bei Soll-Ist-Abweichungen.

4.1 Controlling in der Praxis

Das Wort Controlling leitet sich vom englischen Verb „to control“ ab, weshalb Controlling im Deutschen anfänglich mit Kontrolle übersetzt wurde. Die Kontrolle macht jedoch nur einen Teil der Aufgaben des Controllers in der Praxis aus. Bei genauerer Betrachtung des Wortstammes können über 50 verschiedene Ausprägungen des Wortes unterschieden werden. Im betriebswirtschaftlichen Zusammenhang werden vor allem die Ausdrücke „steuern, leiten oder regeln“ verwendet.¹⁵⁸

Die ersten Controller (mit gleicher oder ähnlicher Bezeichnung) gab es in England und den USA im staatlichen Bereich. Bereits im 15. Jahrhundert wurde die Person im englischen Königshof, welche mit der Aufzeichnung der ein- und ausgehenden Güter und Gelder betraut war, als „Countroller“ bezeichnet. Eine ähnliche Stelle gab es auch im 18. Jahrhun-

¹⁵⁵ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 3 zitiert nach Preißler (1985), S. 10.

¹⁵⁶ Vgl. Scherm, Ewald; Pietsch, Gotthard (2004), S. 11. und vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 3. und Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 1.

¹⁵⁷ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 114.

¹⁵⁸ Vgl. Hummel, Thomas R. (1995), S. 9f. und vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 3.

dert in den USA. Dort wurde die Person als „Comptroller“ bezeichnet und hatte die Aufgabe das Gleichgewicht zwischen dem Staatsbudget und der Verwendung der Staatsausgaben zu überwachen. Die Aufgabengebiete waren damit auf das Rechnungswesen und die Kontrolle beschränkt. Erst in den 1920er Jahren etablierte sich die Stelle des Controllers in privaten Unternehmen auf breiter Front. Durch die beginnende Globalisierung und den Einfluss amerikanischer Unternehmen konnte das Controlling Ende der 1960er Jahre auch in Europa Fuß fassen.¹⁵⁹

Im Laufe der Zeit änderten sich jedoch die Anforderungen an den Controller. Bereits in den 1940er Jahren gingen die Grundfunktionen über jene des reinen Rechnungswesens hinaus und umfassten Aufgaben der internen Revision (Entwurf und Betreuung des Systems zur Kontrolle), die Zusammenarbeit mit der externen Revision, eine Steuerfunktion (einholen von steuerlichen Informationen und Zusammenarbeit mit der Finanzbehörde) und die Aufgabe zur Interpretation der finanziellen Informationen zur Unterstützung des Managements.¹⁶⁰

Die Zeit, die der Controller mit den Aufgaben des klassischen Rechnungswesens (z.B. Buchhaltung, Kalkulation) verbrachte, verringerte sich zu Gunsten der des Berichtswesens, der Budgetierung und vor allem der Durchführung von Abweichungsanalysen. Es wurde immer wichtiger, dem Management die unüberschaubare Datenmenge in aggregierter Form vorzulegen, um den Prozess der Planung und Entscheidungsfindung zu vereinfachen und zu beschleunigen.¹⁶¹ Somit wurde der Controller immer mehr zum „Dienstleister für andere Führungskräfte“ und betreibt „Management-Service“.¹⁶²

Eine Auswertung von Rolf Eschenbach über die Wahrnehmung der Controllingaufgaben in der Unternehmenspraxis hat ein sehr ähnliches Ergebnis gebracht. So ist in der Abbildung 18 zu sehen, dass die Budgetierung, die Abweichungsanalyse inklusive deren Ursachenanalyse sowie die Systementwicklung und -kontrolle zu den Hauptaufgaben des Controllers zu zählen sind.¹⁶³

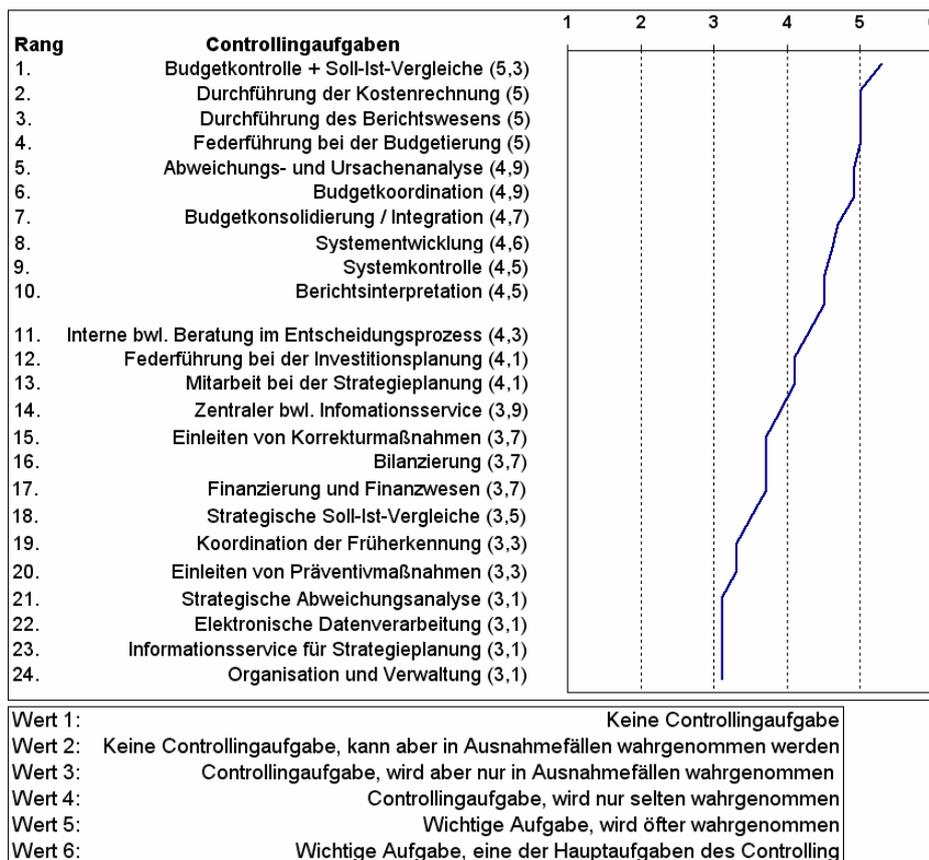
¹⁵⁹ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 23ff. und vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 4ff.

¹⁶⁰ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 24.

¹⁶¹ Vgl. Hummel, Thomas R. (1995), S. 13f.

¹⁶² Zit. nach International Group of Controlling (2001), S. 42.

¹⁶³ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 146ff.

Abbildung 18: Rangreihe der Controllingaufgaben¹⁶⁴

Es gibt jedoch unterschiedliche Ausprägungen dieser Aufgaben. In den USA beispielsweise ist der Rechnungswesenanteil stärker vertreten und der Schwerpunkt ist mehr finanzzahl-dominiert. In Deutschland wird hingegen mehr Zeit für die Gestaltung und Begleitung des materiellen Planungsprozesses aufgewendet.¹⁶⁵

Die Aufgaben des Controllings in der Fertigungssteuerung der Firma EPCOS OHG liegen eindeutig im Soll-Ist-Vergleich, in der Abweichungs- und Ursachenanalyse und in der Systemkontrolle. Die zu vergleichenden Daten betreffen die Durchlaufzeiten in der Fertigung. Die Kontrolle betrifft die richtige Abarbeitung der Lose laut Vorgabe.

Die International Group of Controlling (IGC) ist eine Interessensgemeinschaft der Aus- und Weiterbildung sowie der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des Controlling. Sie wurde 1995 gegründet und dient als Plattform für die Abstimmung und Weiterentwick-

¹⁶⁴ Quelle: Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 147.

¹⁶⁵ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 13.

lung einer übereinstimmenden Controlling-Konzeption. Vor diesem Hintergrund hat die IGC ein Controller-Leitbild veröffentlicht, in dem es heißt:¹⁶⁶

„Controller leisten begleitenden betriebswirtschaftlichen Service für das Management zur zielorientierten Planung und Steuerung

Das heißt:

- Controller sorgen für Ergebnis-, Finanz-, Prozess- und Strategietransparenz und tragen somit zu höherer Wirtschaftlichkeit bei.
- Controller koordinieren Teilziele und Teilpläne ganzheitlich und organisieren unternehmensübergreifend zukunftsorientiertes Berichtswesen.
- Controller moderieren den Controlling-Prozess so. [sic!] dass jeder Entscheidungsträger zielorientiert handeln kann.
- Controller sichern die dazu erforderliche Daten- und Informationsversorgung.
- Controller gestalten und pflegen die Controllingsysteme.

Controller sind die internen betriebswirtschaftlichen Berater aller Entscheidungsträger und wirken als Navigator zur Zielerreichung.

Die Verantwortung der Controller ergibt sich aus diesen Aufgaben.¹⁶⁷

4.2 Controlling-Konzeptionen

Die wissenschaftliche Bearbeitung des Themas Controlling hat bereits einige Konzeptionen hervorgebracht, doch erfüllt keine alle drei Anforderungen, die bestehen müssen, um daraus einen eigenständigen betriebswirtschaftlichen Bereich zu definieren.¹⁶⁸

- Eigenständige Problemstellung: Es darf sich nicht um eine Zusammenfassung von bereits bestehenden Aufgaben aus unterschiedlichen Bereichen handeln.
- Theoretische Fundierung: Dazu müssen theoretische Ansätze entwickelt werden, die Lösungsideen und einen Strukturkern besitzen, welche für die Analyse von empirischen Tatbeständen und Hypothesen angewendet werden.

¹⁶⁶ Vgl. International Group of Controlling (2001), S. V.

¹⁶⁷ Zit. nach International Group of Controlling (2001), S. 42ff.

¹⁶⁸ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 4f.

- Bewährung in der Praxis: Die theoretisch entwickelten Konzepte werden in der Praxis umgesetzt.

Ein weitgehender Konsens besteht über die Einteilung der Konzeptionstypen in:¹⁶⁹

- Rechnungswesenorientierte Konzeption (Finanzbereich)
- Informationsorientierte Konzeption (Informationsmanager)
- Führungssystembezogene Konzeption (Berater, Trainer des Managements)
 - Planung und Kontrolle im Vordergrund
 - Koordination im Vordergrund.

Die bekanntesten Vertreter des Controllings und deren Konzeption sind Thomas Reichmann, Péter Horváth, Jürgen Weber und Hans-Ulrich Küpper. Keiner der hier genannten Wissenschaftler ist der Auffassung, dass Controlling eine reine auf das Rechnungswesen basierende Informationsbeschaffung und -bereitstellung für das Management darstellt, dies würde der veralteten US-amerikanischen Auffassung von Controlling entsprechen. Der größte Dissens besteht in der unterschiedlichen Auffassung über die wahrgenommenen Aufgaben, die der Controller in den Bereichen der Planung, Steuerung und Kontrolle wahrnimmt und wo die Abgrenzung zu den Aufgaben der Entscheidungsträger in der Unternehmensleitung zu ziehen ist.¹⁷⁰

Um die folgende Einteilung der Controlling-Konzeptionen besser zu verstehen, wird eine gedankliche Separierung der Handlungsprozesse des Unternehmens in ein Ausführungs-, beziehungsweise Leistungssystem und ein Führungssystem vorgenommen.¹⁷¹ Diese Einteilung in die verschiedenen Produktionsfaktoren hat bereits Erich Gutenberg beschrieben indem er, wie in Abbildung 19 zu sehen ist, das Unternehmen in die Faktorkombination und einen dispositiven Faktor trennte.

¹⁶⁹ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 56. und vgl. Hummel, Thomas R. (1995), S. 122. und vgl. Scherm, Ewald; Pietsch, Gotthard (2004), S. 11.

¹⁷⁰ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 25f.

¹⁷¹ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 110.

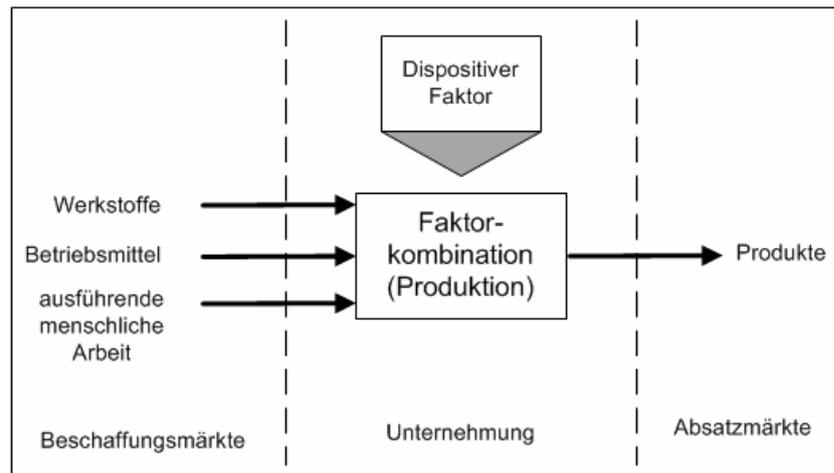


Abbildung 19: Produktionsfaktorsystem nach Erich Gutenberg¹⁷²

An dieser Stelle wird das Führungssystem, beziehungsweise der dispositive Faktor behandelt, welcher aus fünf Teilsystemen besteht:¹⁷³

- Planungssystem
- Organisationssystem
- Kontrollsystem
- Informationssystem
- Personalführungssystem.

Nun geht es darum, wie weit das Controlling in diese Führungsaufgaben mit eingreift.

4.2.1 Informationsorientierte Konzeption

In dieser Auffassung des Controllings wird der Controller als Koordinator der Informationen zur bedarfsgerechten Bereitstellung dieser, für das Management gesehen. Dazu werden die Daten problemadäquat analysiert und zielorientiert aufbereitet, damit eine rationale und effiziente Entscheidung auf unterschiedlichen Managementebenen erfolgen kann. Bei die-

¹⁷² Quelle: Vgl. Gutenberg, Erich (1983), S. 3.

¹⁷³ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 15. und vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 5.

ser Auffassung des Aufgabengebietes wird das Controlling organisatorisch meist sehr eng mit der Informationswirtschaft verwoben.¹⁷⁴

Zurückzuführen ist der Bedarf einer solchen Position auf die durch die Informationstechnologie erzeugte, Datenüberflutung und der mangelnden Abstimmung zwischen Informationsbedarf, Informationsbereitstellung und Informationserzeugung.¹⁷⁵ Ein wichtiger Vertreter dieser Theorie ist Thomas Reichmann.

Kritiker der informationsorientierte Auffassung des Controllings bemängeln den Neuheitsgrad und fassen die Zusammenfassung der Aufgaben eher als Erweiterung des Rechnungswesens auf.

4.2.2 Planungs- und Kontrollorientierte Konzeption

Diese Konzeption ist, wie die koordinationsorientierte Konzeption, auf das gesamte Führungssystem bezogen. Controlling wird hier als ein Teilsystem der Unternehmensführung angesehen. Im Mittelpunkt der Betrachtung liegen das Informationsziel und das Koordinationsziel. Der Unterschied zwischen den beiden Ansätzen liegt in der Breite der Koordinationsaufgaben, das heißt, welche Teilsysteme mit in den Koordinationsprozess aufgenommen werden.¹⁷⁶

In diesem Ansatz sind die zentralen Funktionen auf die Koordination von Planung und Kontrolle, sowie die Informationsversorgung ausgerichtet. Diese Aufgaben beziehen sich sowohl auf die operativen Führungstätigkeiten, als auch auf die strategische Ebene der Führung. Einer der bekanntesten Vertreter dieser Meinung ist Péter Horváth.¹⁷⁷

Die International Group of Controlling definiert Koordination als „Verknüpfung von Teilsystemen, insbesondere von Teilplänen. Sie kann durch Weisung, Selbstabstimmung oder Planung erfolgen.“¹⁷⁸ Weber zitiert Frese mit dessen Definition von Koordination: „In der Betriebswirtschaftslehre wird unter ‚Koordination‘ zumeist die Abstimmung von Einzelaktivitäten in Hinblick auf ein Ziel verstanden.“¹⁷⁹

¹⁷⁴ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 57f.

¹⁷⁵ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 10f.

¹⁷⁶ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 58f.

¹⁷⁷ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 59.

¹⁷⁸ Zit. nach International Group of Controlling (2001), S. 122.

¹⁷⁹ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 35 zitiert nach Frese (1989), Sp. 9.

Die planungs- und kontrollorientierte Auffassung des Controllings schließt die informationsorientierte Konzeption mit ein und erweitert diese durch den Koordinationsbedarf von Planung und Kontrolle. Dabei ist der Tätigkeitsbereich nicht auf die operativ-taktische Ebene beschränkt, sondern macht eine Ausweitung auf die strategische Ebene notwendig und sieht sich daher als Subsystem der Führung.¹⁸⁰

Als ein ebensolches Subsystem definiert Horváth das Controlling. Er sieht durch die hohe Komplexität einen Betreuungsbedarf der zentralen Führungsaufgaben Planung und Kontrolle, weshalb er beides zu einem Planungs- und Kontrollsystem zusammenfasst. Auch die Informationsversorgung sieht er als eigenständige Aufgabenstellung. Er leitet daraus das Informationsversorgungssystem ab. Beide Systeme sind ergebniszielorientiert aufeinander abzustimmen, was ein Koordinationssystem übernehmen soll (das Controllingssystem). Abbildung 20 zeigt, die Auffassung Horváths.¹⁸¹

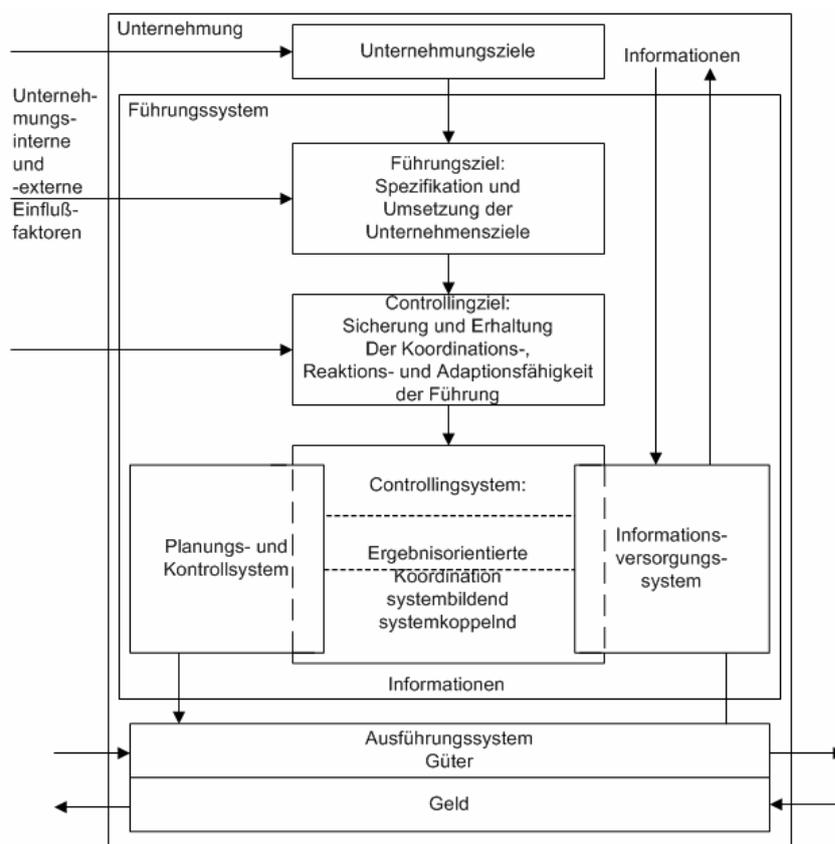


Abbildung 20: Controlling als Koordinationssystem der Führung¹⁸²

¹⁸⁰ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 11f.

¹⁸¹ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 114.

¹⁸² Quelle: Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 149.

4.2.3 Koordinationsorientierte Konzeption

Diese Konzeption erweitert die von Horváth geprägte Koordination und wird vor allem von Hans-Ulrich Küpper vertreten. Die Begründung für die Erweiterung der Koordination liegt in der Überlegung, dass nicht nur Planung, Kontrolle und Information, als Hauptaufgaben der Führung, Koordinationsbedarf aufweisen, sondern alle Führungsteilsysteme einer Abstimmung bedürfen. So wird argumentiert, dass auch die Organisationsstrukturen an die getroffenen Maßnahmen angepasst werden müssen und somit das Organisationssystem ebenfalls in den Aufgabenbereich des Controllings fällt. Weiters ist für das Erreichen von koordiniertem Handeln die Art der Verhaltensbeeinflussung wichtig, was für die Ausweitung der Koordination auf die Personalführung spricht. Damit wäre das gesamte Führungssystem abgedeckt, was in der Abbildung 21 dargestellt ist.¹⁸³

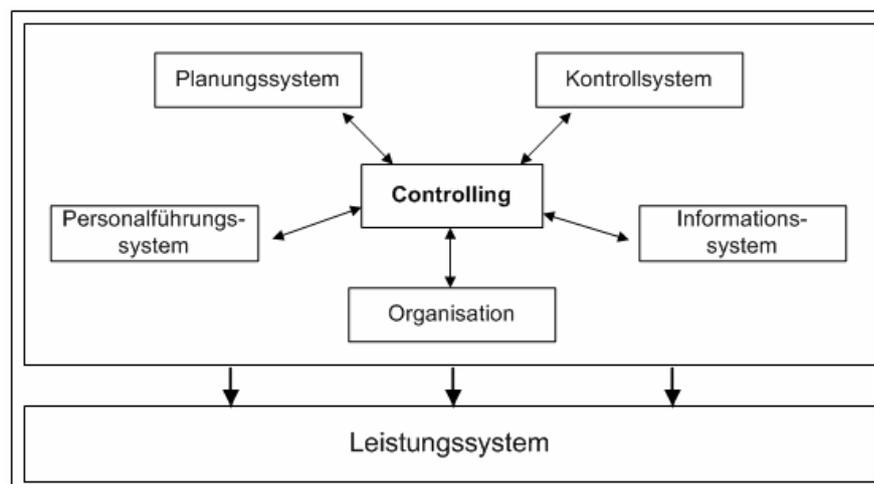


Abbildung 21: Führungssystem der Unternehmung¹⁸⁴

Jürgen Weber erweitert das Führungssystem um eine weitere Komponente – das Wertesystem. Dabei stellt das Wertesystem die Basis dar und nimmt auf alle übrigen Führungsteilsysteme Einfluss.¹⁸⁵

Kritik an der koordinationsorientierten Konzeption findet Horváth, indem er meint, dass mit der Ausweitung der Aufgabenbereiche des Controllings auf das Führungsgesamtsystem

¹⁸³ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 12.

¹⁸⁴ Quelle: Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 15.

¹⁸⁵ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 61.

tem, das Controlling mit der Unternehmensführung gleichzusetzen wäre.¹⁸⁶ Der Aussage entgegen Küpper damit, dass er die Koordination als spezifische Aufgabe ansieht und nicht als Oberbegriff für alle Führungsaufgaben.¹⁸⁷ Vielmehr wird Controlling als Sekundärkoordination gesehen, wobei die Primärkoordination von der Unternehmensführung übernommen wird. Diese übernimmt ihrerseits die Koordination des Leistungssystems.¹⁸⁸

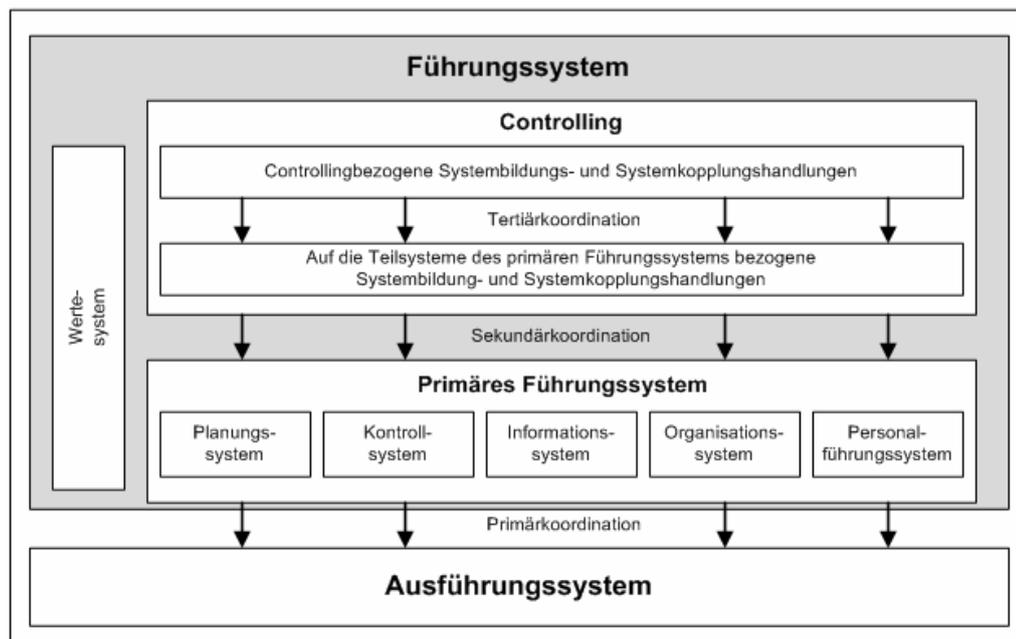


Abbildung 22: Einordnung von Controlling in das System Unternehmung¹⁸⁹

Das Controlling benötigt in dieser Konzeption ebenfalls eine Koordination, was durch die Tertiärkoordination geschieht. In Abbildung 22 wird ein Überblick über die Aufgabengebiete und Zusammenhänge gegeben.

Die oben vorgestellten Konzeptionen zählen zu den klassischen Konzeptionen in der Controlling-Theorie. Die Gemeinsamkeit liegt eindeutig bei der Information, die als Basis für alle Ausprägungen dient und je nach Richtung im Aufgabenspektrum des Controllers unterschiedlich gewichtet wird. Ein weiterer Zentraler Punkt ist die Systemauffassung des Unternehmens, was zu einer Separierung der Führungsteilsysteme führt.¹⁹⁰ Wie bei jeder

¹⁸⁶ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 122.

¹⁸⁷ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 16.

¹⁸⁸ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 60.

¹⁸⁹ Quelle: Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 300.

¹⁹⁰ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 4ff.

Arbeitsteilung muss auch dieses System koordiniert werden und auf ein (Gesamt-)Ziel ausgerichtet werden; diese Aufgabe übernimmt das Controlling.¹⁹¹ Bei dieser Problemstellung sind die Abgrenzungen, die Wechselwirkungen und die Umwelt(-einflüsse) der Teilsysteme und des Gesamtsystems wichtige Komponenten für die individuelle Aufgabenerfüllung (vgl. Abschnitt 3.1). Es ist bereits in dieser kompakten Zusammenfassung eine Überschneidung mit der Systemtheorie zu sehen, welche im folgenden Abschnitt noch deutlicher zum Vorschein tritt. Das wird erreicht, indem die Koordination der wichtigsten Führungssysteme nach Horváth (Planungssystem, Kontrollsystem und Informationsversorgungssystem) mittels (kybernetischer) Regelkreise miteinander verkoppelt werden.

4.3 Planung – Kontrolle – Information

„Planung und Kontrolle werden oft als untrennbare Einheit gesehen. So sei Planung ohne Kontrolle sinnlos und Kontrolle ohne Planung unmöglich“, wird Wild von Weber zitiert.¹⁹² Da beide, sowohl Planung als auch Kontrolle, auf Informationen basieren, kann diese Untrennbarkeit auch auf die Information ausweitert werden; das Informationssystem gilt als Basissystem für alle Führungsteilsysteme.¹⁹³ Bevor auf die Zusammenhänge eingegangen wird, sind einige Begriffserklärungen notwendig.

4.3.1 Definitionen

Planung

Die Planung ist ein rationaler und zielorientierter Prozess, der Informationen verarbeitet und sich auf zukünftige Handlungen bezieht. Er geht einer Ausführungshandlung voraus und ist damit eine Führungshandlung.¹⁹⁴ Die Planung wird oft in strategische, taktische und operative Planung unterteilt, wobei der Unterschied in der Länge der zeitlichen Betrachtungsperiode liegt. Im systemischen Ansatz ist Planung darauf ausgerichtet, entweder in der Gegenwart Entscheidungen mit größtmöglicher Berücksichtigung von zukünftigen Wirkungen zu treffen, zukunftsbestimmte Wirkungen aus vergangenen Entscheidungen he-

¹⁹¹ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 153.

¹⁹² Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 71 zitiert nach Wild (1981), S. 44.

¹⁹³ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 109.

¹⁹⁴ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 69.

rauszufinden oder laufende Anpassungen eines Unternehmens wegen Umfeldveränderungen vorzunehmen.¹⁹⁵

Kontrolle

Die International Group of Controlling definiert Kontrolle als „nichtdelegierbare Aufgabe von Führungskräften. Sie umfasst sowohl das Feststellen der Differenz von Soll- (Plan-) und Ist-Werten (Soll-Ist-Vergleich) als auch das Bestimmen von Korrekturmaßnahmen wie die Überprüfung, ob die beschlossenen Maßnahmen greifen und, wenn notwendig, das Durchführen von Sanktionen.“¹⁹⁶ Weber und Küpper sehen die Kontrolle als einen informationsverarbeitenden Prozess, bei dem ein beurteilender Vergleich zwischen zwei Größen durchgeführt wird. Das schließt, je nach Abgrenzung der Wirkungsreichweite, auch die Analyse der Abweichungsursache mit ein und geht somit über die reine Informationsverdichtungshandlung hinaus.¹⁹⁷ Eine Einteilung in die verschiedenen Reichweiten der Kontrolle wird in Abbildung 23 gezeigt.

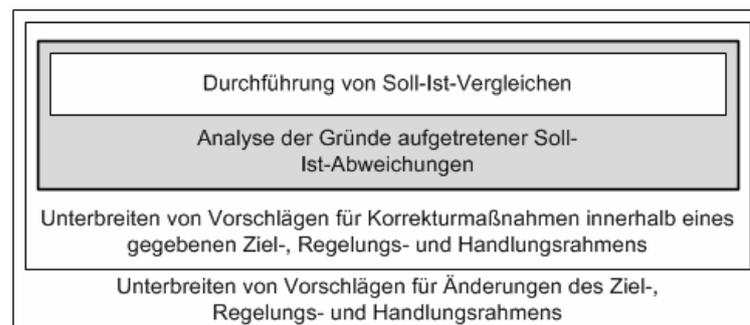


Abbildung 23: Wirkungsreichweite der Kontrolle¹⁹⁸

Welche Kontrollaufgaben dem Controlling zugeschrieben werden, ist in der Literatur nicht einheitlich beschrieben, ebenso wird die Definition der Reichweite in der Praxis unterschiedlich aufgefasst.

Beim WIP-Controlling in der Fertigung der Firma EPCOS OHG (vgl. Abschnitt 5.4.3) werden sowohl Soll-Ist-Vergleiche, als auch Ursachenanalysen betrieben. Ebenfalls findet

¹⁹⁵ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 7.

¹⁹⁶ Zit. nach International Group of Controlling (2001), S. 122ff.

¹⁹⁷ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 169. und vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 151.

¹⁹⁸ Quelle: Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 151.

ein Hinterfragen des Zielrahmens statt. Dies betrifft die Grenzwerte für die Durchlaufzeiten. Weiter reichende Kontrollen werden nicht vom WIP-Controlling verfolgt, sie können jedoch nachträglich in das Tool eingebaut werden.

Ziel der Kontrolle ist der Erkenntnisgewinn, der sowohl auf den Ist- als auch auf den Soll-Wert gerichtet ist. Im ersten Fall wird korrigierend in einen Prozess eingegriffen damit der Ist-Wert sich dem Soll-Wert angleicht und im zweiten Fall wird der Soll-Wert hinterfragt. In der Literatur wird hierbei von Feedback- und Feedforward-Kontrollen gesprochen.¹⁹⁹ Näheres zu diesen Begriffen und zum Zusammenhang mit der Kybernetik wird im Anschluss an die Definitionen erklärt (vgl. Abschnitt 4.3.2). Die Basis von Kontrollen bildet jedoch immer ein Vergleich von zwei Werten. In dem Sinn gibt es verschiedene Werte, die zum Vergleich gegenübergestellt werden können.²⁰⁰

Die gängigste Variante einer Abweichungsanalyse ist der Soll-Ist-Vergleich, beziehungsweise Plan-Ist-Vergleich – Kontrolle im eigentlichen Sinn. Diese erfolgt ex post, wobei die zu prüfende realisierte Größe mit einer gewünschten Zielausprägung verglichen wird. Zusätzlich werden die Abweichungsursachen analysiert und Vorschläge zu Korrekturmaßnahmen geliefert. Diese Art der Abweichungsanalyse wird im operativen Controlling eingesetzt, sie bezieht sich auf die Gegenwart, soll tatsächliche Abweichungen erkennen und die Abweichung korrigieren.

| | | | |
|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Festlegen der Kontrollgrößen • Ermitteln der Ist- und Soll-Größen • Soll-Ist-Vergleich | Kontrolle im engeren Sinn | Kontrolle im weiteren Sinn | Controlling |
| <ul style="list-style-type: none"> • Analyse der Abweichungsursachen | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Vorschlagen von Korrekturmaßnahmen zur Zielerreichung (Rückkopplung) bzw. Zielkorrektur (Vorkopplung) | | | |

Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Kontrolle und Controlling²⁰¹

Beim Wird-Ist-Vergleich wird der gewünschte Zielwert durch den prognostizierten Wert ersetzt. Es wird analysiert, ob die Erwartungen eingetreten sind. Der Vergleich ist in die

¹⁹⁹ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 152.

²⁰⁰ Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 317f und 483f. und vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 175.

²⁰¹ Quelle: Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 485.

Zukunft gerichtet und versucht, einer Soll-Ist-Abweichung im Vorhinein entgegen zu wirken. Diese Ausprägung wird strategische Vor- und Rückkopplung genannt. Das Ziel ist es, mögliche und wahrscheinliche Abweichungen zu erkennen und in der gegenwärtigen Situation Maßnahmen zu setzen. Die Prämissenkontrolle überprüft somit, ob die Prämissen der Planung noch zutreffen, also mit den gegenwärtigen Ist-Größen übereinstimmen.

Beim Ist-Ist-Vergleich werden bereits realisierte Größen einander gegenübergestellt. Dies wird beispielsweise bei einem Benchmark²⁰² durchgeführt, wobei die Werte desselben Zeitpunkts miteinander verglichen werden. Ein Vergleich zwischen Werten unterschiedlicher Zeitpunkte ist ebenfalls gängig. Dabei wird ein aktuell gemessener Wert mit einem vergangenen Wert verglichen, diese Ausprägung ist ebenfalls ex post und nennt sich Zeitvergleich. Ein Beispiel dafür ist der Jahresvergleich der Umsatzentwicklung eines Unternehmens.

Weitere Formen sind der Soll-Soll-Vergleich und der Wird-Wird-Vergleich. Beide Varianten werden ex ante durchgeführt und dienen zur Überprüfung der Konsistenz von geplanten Soll-Größen, beziehungsweise prognostizierten Größen. Von großer Bedeutung für die Vorkopplung ist der Soll-Wird-Vergleich, wobei die Soll-Größen bereits während der Realisationsphase den prognostizierten Wird-Größen gegenübergestellt werden.

Die Ursachen einer Abweichung, besonders bei der Abweichung der Ist-Werte von den Soll-Werten, können vielfältig sein. Die meisten liegen laut Hummel in Abweichungen der Preise, des Verbrauches und der Beschäftigung.²⁰³ Diese können auf Fehler in der Planung, der Erfassung und der Ausführung zurückgeführt werden.²⁰⁴ Hierzu ist noch anzumerken, dass die Kontrolle dann scheitern wird, wenn die Informationen über die Ist-Situation nicht ausreichend präzise und zutreffend sind. Das bedeutet, dass die Validität der Kontrolle direkt von der Qualität der Informationen abhängt.²⁰⁵

Information

Die Informationsverarbeitung ist eine der wesentlichsten Aufgaben des Controllings. Das Problem hierbei liegt nicht daran, dass die Informationen nicht vorhanden sind, sondern, dass diese sich nicht an der richtigen Stelle befinden.²⁰⁶ Deshalb ist es die Aufgabe des In-

²⁰² Benchmark ist eine Managementmethode, welche beschreibt, wie durch Vergleiche mit anderen Unternehmen, Abteilungen oder Prozessen gelernt werden kann. Ziel dabei ist, die Positionierung des eigenen Unternehmens zu verbessern. Vgl. Klaus, Peter; Krieger, Winfried (1998), S. 38f.

²⁰³ Vgl. Hummel, Thomas R. (1995), S. 44.

²⁰⁴ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 186.

²⁰⁵ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 226.

²⁰⁶ Vgl. Doppler, Klaus; Lauterburg, Christoph (2005), S. 103.

formationssysteme die Beschaffung, Speicherung, Verarbeitung und Übermittlung der eingegrenzten Informationen durchzuführen. Horváth teilt den Informationsverarbeitungsprozess demnach in die Prozessschritte Informationsbedarfsermittlung, Informationsbeschaffung und Informationsaufbereitung. Das Kernproblem dieses Prozesses sieht er in der empfängerorientierten Gestaltung des Berichtssystems.²⁰⁷

4.3.2 Zusammenhänge

Allgemein wird die Ansicht vertreten, dass Planung durch Kontrollen ergänzt werden muss, da sie der Reduktion von Ungewissheit dient. Diese Ungewissheit besteht darüber, ob Annahmen richtig getroffen wurden, die Zielwirkung der geplanten Maßnahmen richtig geschätzt wurde, die Mittel in geplanter Weise eingesetzt wurden und ob die Beteiligten sich richtig verhalten haben.²⁰⁸ Deshalb kann die Kontrolle in drei unterschiedliche Formen eingeteilt werden: Ergebniskontrolle, Verfahrenskontrolle und Verhaltenskontrolle.²⁰⁹

Der Grund, warum Kontrollen notwendig sind, liegt darin, dass durch die Zukunftsbezogenheit der Planung der Zustand vollkommener Information nicht erreicht werden kann.²¹⁰ Wie Albert Einstein zitiert wird, soll „Planung den Zufall durch den Irrtum ersetzen.“²¹¹ Um diesen Irrtum so klein wie möglich zu halten, sind Mechanismen zu erstellen, die einer Abweichung möglichst früh entgegenwirken. Es ist auch aus systemischer Sicht nicht möglich, ein komplexes System (Unternehmen) vollständig zu kontrollieren oder zu beherrschen, da die Gesamtheit des dazugehörigen Umfelds und die Wirkungszusammenhänge weder beschreibbar noch erfassbar sind. Als Alternative zu einer alles determinierenden Planung sollen Vorsorgemaßnahmen zur Verbesserung der Steuerbarkeit eines Unternehmens getroffen werden.²¹²

Eine Steuerung, beziehungsweise Regelung kann durch einen Automatismus vollzogen werden, der den Aufbau eines Regelkreises besitzt, ganz nach dem Beispiel des kybernetischen Regelkreises, wie er bereits im Abschnitt 3.4 behandelt wurde. Der Grundgedanke liegt auch bei dieser Anwendung darin, die Abweichung zweier zu vergleichender Werte nicht zu groß werden zu lassen. Diese Abweichungen sind die Auslöser für Korrektur-

²⁰⁷ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 667f.

²⁰⁸ Vgl. Horváth, Péter (2003), S. 173.

²⁰⁹ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 173.

²¹⁰ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 63.

²¹¹ Zit. nach Fueglistaller, Urs et al. (2005), S. 125.

²¹² Vgl. Eschenbach, Rolf (1996), S. 7.

scheidungen durch die Entscheidungsträger.²¹³ Gibt es keine Abweichungen, ist eine Korrektur auch nicht notwendig, es läuft alles nach Plan.

Um diese Erkenntnis für die Gestaltung der zukünftigen Entwicklung nutzen zu können, muss eine Abweichungsanalyse in Form eines wirkungsvollen Regelkreises aufgebaut werden. Dieser Regelkreis baut auf die Theorie der Kybernetik auf (vgl. Abschnitt 3.4). Nun wird erklärt, an welchen Stellen die Planung, Kontrolle und Information in den Regelkreis eingreift.²¹⁴

Das Leistungssystem (Ausführungssystem) stellt die Regelstrecke dar. Diese wird von externen (Umwelt) und internen Faktoren (Handlungsträger) beeinflusst, die im Modell als Störgrößen bezeichnet werden. In der Regelstrecke soll die Realisation des geplanten Verhaltens stattfinden, die Störgrößen verursachen allerdings ein Abweichen vom Vorgehen. An dieser Stelle geschieht die Ist-Erfassung der zu messenden Werte (der Regelgrößen), das heißt, dass die nötigen Informationen aus dem System generiert werden.

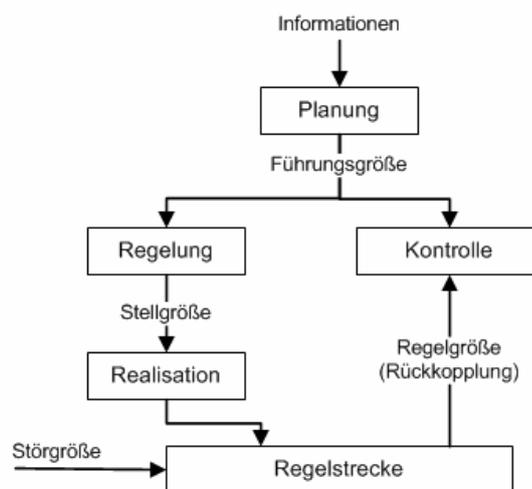


Abbildung 25: Darstellung des kybernetischen Grundprinzips – Feedback²¹⁵

Die zu realisierenden Werte (Soll-Größen) werden von der Planung in Form von Führungsgrößen vorgegeben. Die Kontrolle vergleicht die vorgegebenen Führungsgrößen (Soll) mit den Regelgrößen (Ist) und ermittelt mittels Abweichungsanalyse, ob die beiden

²¹³ Vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 164.

²¹⁴ Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 183f. und vgl. Weber, Jürgen (1995), S. 164ff. und vgl. International Group of Controlling (2001), S. 86ff. und vgl. Gollwitzer, Michael; Karl, Rudi (1998), S. 23f.

²¹⁵ Quelle: Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 183.

Werte übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, wird die Stellgröße bei der Regelung soweit abgeändert, bis sie mit der Führungsgröße übereinstimmt. Real werden Maßnahmen von der Planung ergriffen, die zur Anpassung der Durchführung des geplanten Verhaltens führen. Diese Maßnahmen werden bei der zutreffenden Regelstrecke realisiert, womit der Kreislauf von Neuem beginnt.

Dieser Regelkreislauf ist vergangenheitsbezogen, da das Eingreifen erst nach der Ermittlung der Abweichung erfolgt. Das entspricht dem Vorgehen bei Planfortschrittskontrollen. Es handelt sich beim Regelungsprinzip um eine reine Rückkopplung, beziehungsweise ein Feedback.

Es kann jedoch notwendig sein, bereits vor dem Eintreten von Abweichungen in den Regelprozess einzugreifen. Aus diesem Grund wird versucht, die Informationen über die Störgrößen vorzeitig durch Früherkennungsindikatoren zu erfassen, beziehungsweise zu prognostizieren (Wird-Werte). Die Wird-Werte werden danach mit den Soll-Werten der Planung verglichen (Kontrolle) und die Stellgrößen unter Berücksichtigung der erwarteten Abweichung neu eingestellt.

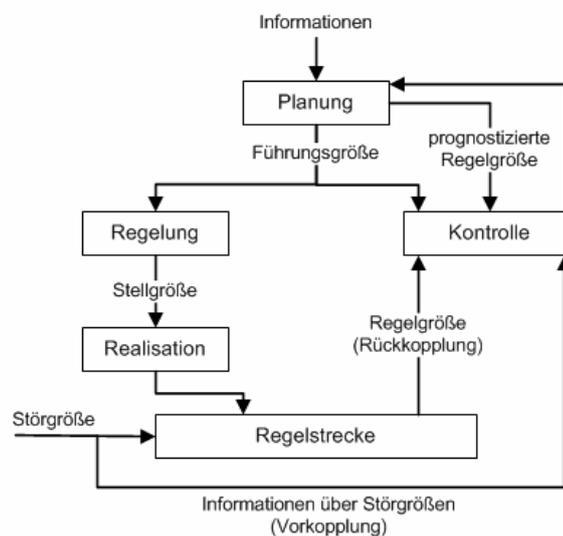


Abbildung 26: Darstellung des kybernetischen Grundprinzips – Feedforward²¹⁶

Dieses Vorgehen wird als Vorkopplung (Feedforward) bezeichnet und soll frühzeitig prognostizierte Abweichungen vorwegnehmen. Dieses Prinzip wird auch als Steuerungsprinzip

²¹⁶ Quelle: Vgl. Küpper, Hans-Ulrich (2001), S. 183.

bezeichnet. Es läuft begleitend zum Regelungsprinzip ab. Wenn diese Anpassungen ständig vorkommen, können intelligente Ausprägungen des Steuerungsprinzips einen permanenten Anpassungsbedarf erkennen und ergreifen Maßnahmen zur Anpassung der Planung an die geänderten Umweltbedingungen. Einsatz findet diese Variante besonders bei der strategischen Planung.

Die zentrale Aufgabe der kybernetischen Koordination, beziehungsweise des Controllings besteht in der Schaffung von Mechanismen zur Abstimmung der Stellgrößen anhand der Abweichungen zwischen den Soll-Werten und den Ist-Werten im Fall des Regelungsprinzips und den Wird-Werten im Fall des Steuerungsprinzips.

Die Zusammenhänge zwischen Controlling und Kybernetik werden durch den gleichen Aufbau und die Nutzung von Regelkreise belegt. Wie das Controlling zur Steuerung in der Produktion genutzt werden kann, wurde bereits in Abschnitt 3.4.3 erklärt. Die Aufgabe des Controllings in der Fertigungssteuerung ist, eine dezentrale Regelung zu erreichen, um den Aufwand der zentralen Steuerung zu verringern. Durch die Verringerung der zentralen Eingriffe (welche durch die dezentrale Steuerung ersetzt werden) verkürzen sich die Entscheidungswege und die Zeit für den Informationsaustausch wird gespart.

5 Praxisteil

Im vorliegenden Praxisteil wird dargestellt, wie mittels systemtheoretischer Grundlagen und den übrigen vorhin beschriebenen theoretischen Ausführungen ein Controlling-Prozess aufgebaut wird, welcher darauf abzielt, mehr Transparenz in die Fertigung zu bringen. Beschrieben wird die Vorgehensweise im Rahmen des Projekts „Optimierung der Fertigungsfeinsteuerung durch transparente Losverfolgung“ bei der Firma EPCOS OHG im Geschäftsbereich Vielschichttechnologie.

Das Projekt wird nach den Phasen der Ist-Situations-Analyse über die ausgearbeiteten Zielsetzungen, bis hin zur Strategiefindung und Implementierung beschrieben. Um den erreichten Status beizubehalten, beziehungsweise weiter zu verbessern, wird das nachfolgende Controlling ebenfalls in das Projekt mit aufgenommen. In dieser Weise werden die nachfolgenden Abschnitte aufgeteilt, um eine übersichtliche Struktur beizubehalten. Zuvor wird die Partnerfirma vorgestellt, um einen Überblick über die Rahmenbedingungen zu geben.

Es wird versucht, einen Link von der praktischen Anwendung zu den vorigen Kapiteln, welche die theoretischen Grundlagen liefern, zu setzen. Damit sollen die Theorien bestätigt und dem Leser anhand eines Beispiels näher gebracht werden.

5.1 Firmenbeschreibung

Das Unternehmen ist aus dem 1989 von Siemens und Matsushita gegründeten Joint Venture Siemens Matsushita Components hervorgegangen. EPCOS ist seit März 2003 einer der größten Werte im Technologie-Index TecDAX. Die EPCOS AG mit Sitz in München verfügt über ein weltweites Vertriebsnetz. Der Mitarbeiterstand im Jahr 2007 liegt weltweit bei knapp 18.000. Der jährliche Umsatz beläuft sich auf rund 2 Milliarden Euro.²¹⁷

EPCOS entwickelt, produziert und vertreibt elektronische Bauelemente mit Fokus auf die technologisch anspruchsvollen Märkte der Informations- und Telekommunikationstechnik, sowie der Automobil-, Industrie- und Konsum-Elektronik. EPCOS ist europaweit Marktführer im Bereich der passiven Bauelemente und weltweit auf Platz zwei. Mit über 40.000

²¹⁷ Die Firmenbeschreibung wurde von der Firma EPCOS OHG zur Verfügung gestellt und für die Diplomarbeit erweitert und angepasst.

Produkten verfügt das Unternehmen über eine breite Produktpalette an passiven elektronischen Bauelementen und kann daher seinen Kunden Produkte und Lösungen aus einer Hand bieten.

Der EPCOS-Konzern ist in drei Geschäftssegmente unterteilt: (1) Oberflächenwellenkomponenten, (2) Kondensatoren und Induktivitäten, (3) Keramische Bauelemente. Der Standort Deutschlandsberg ist Headquarter für das Geschäftssegment Keramische Bauelemente. Dieser ist wiederum in mehrere Geschäftsgebiete unterteilt. In Deutschlandsberg sind die Geschäftsgebiete Schutzbauelemente, Keramische Vielschicht-Bauelemente, Piezo-Aktuatoren sowie Sensor-Systeme & Sensor-Elemente vertreten. Das Werk wurde im Jahr 1970 gegründet und hat heute einen Mitarbeiterstand von etwa 1.600 Beschäftigten. Dort werden auf einer Fläche von 70.000 m² zirka 9.000 verschiedene keramische Produkte gefertigt. Der Standort Deutschlandsberg wurde zur EPCOS OHG und ist heute Weltmarktführer im Bereich der Bauelemente auf Basis halbleitender Keramik.

Die Produkte des Geschäftsgebiets Keramische Vielschicht-Bauelemente werden an zwei Standorten gefertigt: Deutschlandsberg (Österreich, rund 50 Kilometer südwestlich von Graz) und Kutina (Kroatien, rund 80 Kilometer südöstlich von Zagreb). Der Materialfluss besteht aus mehreren Fertigungsstufen (Dispositionsstufen) und beginnt bei der Mischung der Rohstoffe zur Grundmasse für die keramischen Bauteile, geht weiter über das Folienziehen aus der Grundmasse, bis hin zur Fertigung des Endproduktes und der Verpackung in Verkaufseinheiten. Der durch die Diplomarbeit behandelte Materialflussabschnitt betrifft die Fertigung der Endprodukte in der Dispositionsstufe 6 (Dispo 6). In diesem Verarbeitungsschritt wird aus den einzelnen Folien das Endprodukt erstellt und die produktspezifischen Eigenschaften entwickelt.

Der Materialfluss ist in Abbildung 27 dargestellt und zeigt die jeweiligen Verarbeitungsschritte und die Trennung der Dispo 6 in die Bereich Frontend (Fertigung Deutschlandsberg) und Backend (Fertigung Kutina).

Die angenommene Durchlaufzeit für die Aufträge beträgt vier bis sechs Wochen, wobei die Durchlaufzeit im Bereich Frontend pauschal mit zwei Wochen angenommen wird.

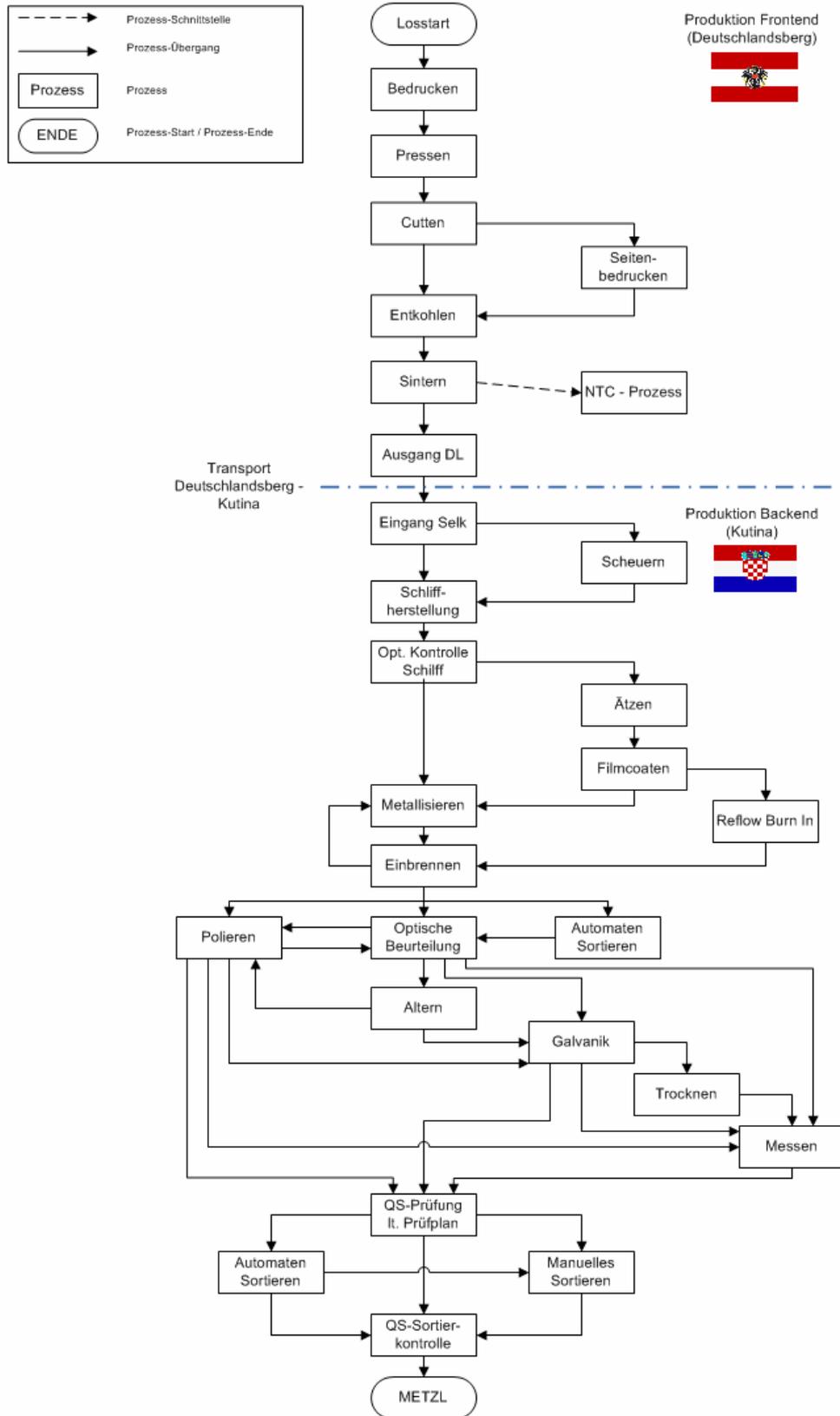


Abbildung 27: Materialfluss der Dispositionsstufe 6²¹⁸

²¹⁸ Quelle: Artz, Manuel (2007).

Die Hauptproduktgruppen sind Multilayer Ceramic Capacitor Sensoren, Multilayer Varistor Sensoren und Negative Temperature Coefficient Thermistoren.

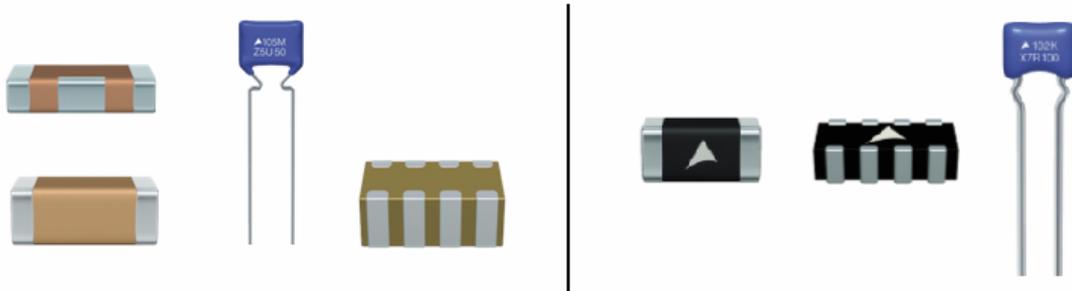


Abbildung 28: Multilayer Ceramic Capacitors (li.) und Multilayer Varistors (re.)²¹⁹

Multilayer Ceramic Capacitors (MLCC) ist die Materialbezeichnung für eine der Hauptproduktgruppen des Geschäftsbereichs Vielschichttechnologie. Hierbei werden mehrere leitfähige, keramische Folien übereinander gelegt und miteinander verpresst. Nach der Bearbeitung entsteht ein Kondensator mit speziellen Eigenschaften und diversen Anwendungsmöglichkeiten. Die Produktgruppe Multilayer Varistors (MLV) wird als Zukunftsträger aufgebaut und soll im Umsatz kontinuierlich wachsen. Hierbei werden mehrere leitfähige, keramische Folien zu einem Varistor zusammengefügt. Die Produktgruppe Negative Temperature Coefficient (NTC) wird auch Heißleiter genannt. Mit steigender Temperatur verringert sich der Widerstand im Bauteil und wird zunehmend stromdurchlässig.

5.2 Ist-Situation

Dieser Abschnitt beschreibt die Situation in der Fertigung der Firma EPCOS OHG im Geschäftsbereich Vielschichttechnologie, der Dispo 6, zum Zeitpunkt vor Beginn des Projekts im August 2007. Dabei wird der Fokus insbesondere auf die Logistikkennzahlen DLZ und WIP gelegt. Um einen besseren Überblick zu erhalten, muss jedoch die gesamte Fertigung analysiert und die Kennzahlen im Kontext betrachtet werden. Wie auch in der Systemtheorie bestehen zahlreiche Wechselwirkungen zwischen System und Umwelt, wobei in diesem Fall die Fertigung das System und die Bereiche die Elemente, beziehungsweise Subsysteme darstellen (vgl. Abschnitt 3.1).

²¹⁹ Quelle: Vgl. EPCOS OHG (2007).

Die Ist-Situations-Analyse erfolgt qualitativ und quantitativ. Das bedeutet, dass die Fertigungssituation durch Befragungen der zuständigen Mitarbeiter eingeschätzt und durch Auswertungen aus dem ERP-System²²⁰ mit dem konkreten Datenmaterial bekräftigt wird. Dabei wird das Vorgehen gewählt, dem Materialfluss zu folgen und dem Abteilungsleiter und dem (jeweiligen Bereich zugeordnete) Personal Fragen über die Fertigung zu stellen, im Hinblick auf DLZ, WIP, Auslastung und den dazugehörigen Informationsfluss.

Zu Beginn des Projekts ist die Fertigung wenig transparent. Sie wird mit dem Input gespeist und es wird auf einen Output gewartet (vgl. Abschnitt 3.2). Der Prozess der Feinsteuerung ist trotz firmenweit einheitlichem ERP-System lediglich grob umgesetzt. Allgemeine Auswertungen über den aktuellen WIP und die mittleren DLZ sind auf einer aggregierten Ebene bekannt, doch die einzelnen Aufträge können nicht auf einfache Weise gesondert verfolgt werden. Daraus folgt eine Intransparenz in der Fertigung, weil eine durchgängige automatische Losverfolgung nicht möglich ist. Es wird pauschal einen Soll-Wert für die Wartezeiten für die Produktfamilien vorgegeben, statt auf die individuellen DLZ Rücksicht zu nehmen. Die Bearbeitungszeiten für die Lose sind bekannt, doch die Wartezeiten sind im ERP-System nicht hinterlegt, womit auch keine realistische Terminierung möglich ist. Grobe Analysen ergeben, dass die Fertigungsbestände hoch sind und dadurch große Summen an Kapital gebunden sind.

Die Fertigung ist in ihre funktionalen Bereiche gegliedert, was darauf hinweist, dass es sich hierbei um eine Werkstattfertigung²²¹ handelt. Diese separierten Abteilungen optimieren sich weitestgehend eigenständig und legen den Fokus, wie von der Unternehmenskultur²²² und -leitung vorgegeben, auf die maximale Auslastung der Maschinen und des Personals. Dadurch wird der Gesamtüberblick der Auslastung über die Fertigungsstufen vernachlässigt und die Beachtung der DLZ wird in den Hintergrund gedrängt. Daraus ergibt sich eine Rüsto-optimierung, was, wenn die gesamte Dispositionsstufe betrachtet wird, wiederum zu einem Suboptimum führt. Weiters werden die Aufträge in den Abteilungen unabhängig vom Endtermin abgearbeitet. Stattdessen wird gerade jenes Los abgearbeitet, welches am Besten zum Vorhergehenden passt und als erstes in Reichweite des zuständigen Maschi-

²²⁰ Enterprise Resource Planning (ERP): „ERP disponiert und plant systematisch die Aufträge und versucht so eine optimale Auslastung der Unternehmensressourcen zu erreichen.“ Zit. nach Klaus, Peter; Krieger, Winfried (1998), S. 105.

²²¹ Die Werkstattfertigung ist dadurch charakterisiert, dass örtlich gebundene Maschinen und Arbeitsplätze mit gleichartigen Arbeitsverrichtungen zu einer produktionstechnischen Einheit zusammengefasst sind. Vgl. Hoitsch, Hans-Jörg (1985), S. 48.

²²² Die „Unternehmenskultur ist die Gesamtheit der geschriebenen und ungeschriebenen Traditionen, Gesetze und Werte, die das Denken, Fühlen und Handeln der Organisationsmitglieder beeinflussen.“ Zit. nach Doppler, Klaus; Lauterburg, Christoph (2005), S. 93.

nenbedieners liegt. Da der Lohn der Maschinenbediener unter anderem von der geleisteten Output-Menge abhängig ist, sind diese bemüht, die Lose mit großen Stückzahlen abzuarbeiten und die Lose mit geringerer Stückzahl, beziehungsweise die Entwicklungs- und Nacharbeitslose zu vernachlässigen.

Die Bedarfsplanung erfolgt wochenweise, wobei auf Grund der Bedarfe der nachgelagerten Dispositionsstufe die Fertigungsaufträge für die Dispo 6 erstellt werden. Dabei gibt es keine fixe Zuordnung zwischen den Kundenaufträgen und den Fertigungsaufträgen, da diese bei diversen Materialgruppen nach einer Verteilungsfunktion produziert werden und somit der tatsächliche Output zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt ist. Die Einlastungen der Aufträge in die Fertigung werden über die Woche verteilt, wobei Rücksicht auf die bestehenden Kapazitäten in den ersten Fertigungsschritten genommen wird. Die Aufträge werden auf ein Halbfertigwarenlager (Metzl – Metallisiertes Zwischenlager) (vgl. Abbildung 27) produziert, von welchem die Bedarfe der nachgelagerten Dispositionsstufe gedeckt werden.

Wenn Aufträge auf Grund urgierender Kundenwünsche beschleunigt werden müssen, werden diese mit einem Aufkleber gekennzeichnet, um visuell sofort erkennbar zu sein und damit in der Abarbeitungsreihenfolge vorgezogen zu werden (vgl. Abschnitt 2.3.2). Der Anteil, der als „Chef-Lose“ (bei EPCOS HC-Lose genannt – Hand Carrier) gekennzeichneten Aufträge, sollte ein gewisses Höchstmaß nicht überschreiten, da die Beschleunigung sonst nicht mehr wirksam wird. Im Bereich Qualitätsprüfung wird dieser Wert jedoch permanent überschritten, was zur Folge hat, dass selbst die HC-Lose ohne definierte Regel abgearbeitet werden und die Streuung und mittlere DLZ trotz Kennzeichnung hoch bleiben. Reicht diese Maßnahme nicht aus, werden die Endtermine neu festgelegt, um eine weitere Beschleunigung zu bewirken. Da in der Regel in der Fertigung die tagesgenauen Endtermine nicht bekannt sind, wird die Wirkung der Verschiebung aufgehoben, beziehungsweise kommt nicht zum Tragen. Der Anteil der verschobenen Aufträge gemessen an der Gesamtanzahl der Aufträge ist sehr hoch und liegt teilweise bei 60% (September 2007), was zu Störungen und Überschneidungen in der Planung der Fertigungskapazitäten führt.

Diese weitestgehend regellose Abarbeitung, Änderung der Terminierung und Beschleunigung der Aufträge führt zu einer erhöhten mittleren DLZ und zu einer breiten Streuung, wie das in Abbildung 29 zu sehen ist. Das macht den Prozess undurchsichtig und schwer vorhersagbar. Zusätzlich zu den Änderungen in der Terminierung gibt es eine verbesserungswürdige Rückmeldedisziplin an den Fertigungslinien. Dadurch ist auch die Datenqualität im ERP-System und in der darauf aufbauenden, verlinkten Datenbank verbesserungs-

würdig. Weiters werden Daten-Leichen²²³ teilweise im System behalten, worunter der repräsentative Charakter von Auswertungen leidet.

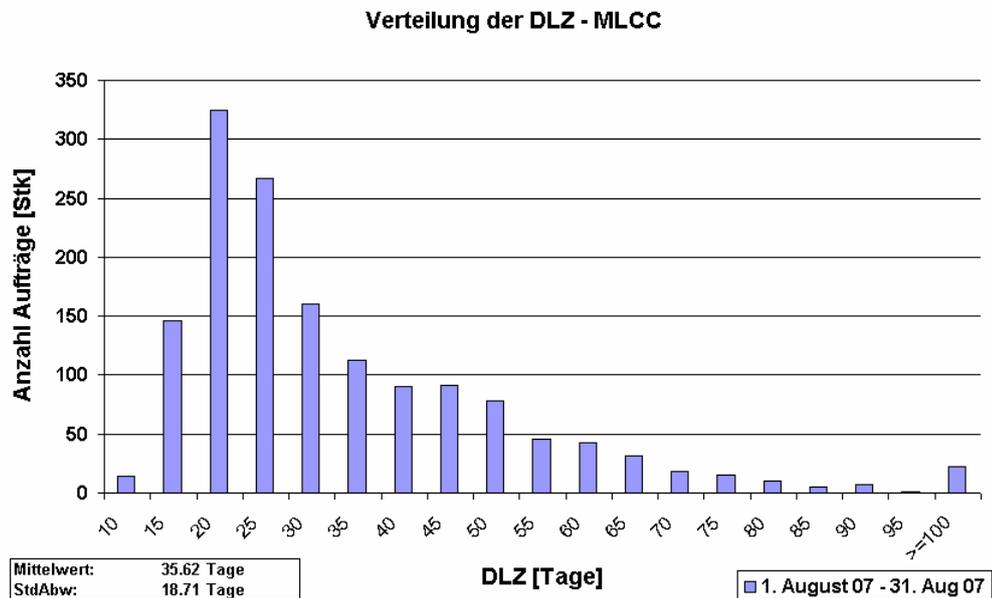


Abbildung 29: Verteilung der Durchlaufzeit für die Produktgruppe MLCC²²⁴

Aus dieser Ist-Situations-Analyse kann festgestellt werden, dass Optimierungspotential im Bereich der Fertigungsfeinsteuerung vorhanden ist. Es ist keine durchgängige automatische Losverfolgung möglich, da durch die Selbstoptimierung der Abteilungen Auswertungen bezüglich Ganzheitlichkeit nicht vorrangig getätigt werden. Durch die Konzentration auf die Rüsto Optimierung der Bereiche und die weitestgehend regellose Abarbeitung der Aufträge sind die Streuungen und der Mittelwert der DLZ hoch, was eine Prognoseunsicherheit bezüglich der DLZ zur Folge hat. Die Verschiebungen der Aufträge tragen ebenfalls zu einer Verschlechterung dieser Kennzahlen bei. Die Transparenz ist durch die verbesserungswürdige Rückmeldedisziplin und der daraus resultierenden Differenzen zwischen Realität und Abbildung im ERP-System zusätzlich gestört. Auf dieser Basis aufbauend, ergeben sich die Ziele für die Diplomarbeit, welche im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

²²³ Mit Daten-Leichen sind die Aufträge gemeint, welche fehlerhaft rückgemeldet werden beziehungsweise die nicht aus dem System gelöscht wurden, obwohl diese physisch nicht mehr vorhanden sind.

²²⁴ Quelle: Artz, Manuel (2007).

5.3 Erarbeitung der Ziele und des Projektplans

In diesem Abschnitt werden die Ziele definiert, die es durch die Diplomarbeit und das darauf aufbauende Projekt zu erreichen gilt. Die konkreten Vorgaben werden einerseits vom zuständigen Betreuer der Diplomarbeit der Firma EPCOS OHG und Leiter der für das Projekt zuständigen Abteilung (Gert Breitfuß) festgelegt und ergeben sich andererseits durch das Ergebnis der Ist-Situations-Analyse.

Die primäre Aufgabe ist, die bereits mehrmals erwähnte logistische Transparenz in die Fertigungsabläufe zu bringen, um eine Auswertung des WIP minutenaktuell durchführen zu können. Dieses Ziel wird sowohl vom Leiter der Logistikabteilung, als auch von den Fertigungsmeistern vorgegeben und ergibt sich als zwingende Notwendigkeit für ein Erheben und Ausschöpfen der logistischen Optimierungspotentiale aus der Ist-Situations-Analyse. Damit soll ein neues Instrument geschaffen werden, um Transparenz in die Fertigung zu bringen und diese effizient zu steuern. Darüber hinaus soll eine Wochenauswertung des WIP-Verlaufs zur Verfügung stehen, um die Trends ablesen zu können und somit als Grundlage für Entscheidungen auf operativer und strategischer Ebene dienen. Dies ist in Form eines Controlling-Tools zu formulieren und soll für die gesamte Dispo 6 im Geschäftsbereich Vielschichttechnologie anwendbar sein, damit eine lückenlose Verfolgung möglich ist.

Daraus ergibt sich, dass für das Controlling eine Regelstrecke und ein Regelsystem, beziehungsweise Regelkreislauf aufgebaut werden muss. Durch das Controlling soll eine DLZ- und Streuungsverringerung herbeigeführt werden und eine weitestgehende Selbststeuerung der Fertigungslinien, mit Eingriffsmöglichkeiten für die operative Logistik, entstehen. Zusätzlich wird durch die transparente Fertigung die Datenqualität zunehmen, da die Datenleichen aus dem System entfernt werden und eine ständige Aktualisierung durchgeführt wird.

Aus den oben definierten Zielen gilt es, einen Projektplan aufzustellen, um eine strukturierte Vorgehensweise zu gewährleisten. Der Projektplan (auch Projektterminplan genannt)²²⁵ gibt einen Überblick über die weitere Vorgehensweise und gibt die Meilensteine für die jeweiligen Projektphasen vor. Die Visualisierung geschieht mit Hilfe eines Balkendiagramms, wobei die Balken auf die Zeitachse aufgetragen werden. Es ist wichtig, Zwischenziele zu definieren und ihr Erreichen auch anzuerkennen, da das auf die Motivation der

²²⁵ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 81f.

Mitarbeiter einen positiven Einfluss hat. Ein Fehlen solcher Zwischenziele zählt zu den acht typischen Fehlern bei Veränderungsprozessen:²²⁶

- Duldung von zu viel Selbstherrlichkeit
- Keine Führungskoalition
- Unterschätzen der Kraft der Vision
- Mangelnde Kommunikation der Vision
- Visionsblockierende Hindernisse
- Fehlende Planung kurzfristiger Erfolge
- Verfrühte Erklärung des Sieges
- Veränderungen werden nicht in der Unternehmenskultur verankert.

Es wird an dieser Stelle nicht auf die einzelnen Meilensteine des Projektplans eingegangen, da die Vorgehensweise im Abschnitt 5.4 ausführlich beschrieben wird.

Die Ausarbeitung der Meilensteine ergibt sich größtenteils aus den festgelegten Zielen. Sie dient als Rohgerüst und zur Bildung eines zeitlichen Rahmens. Die Verfeinerung wird durch das virtuelle Durchspielen des Projektablaufs in Zusammenarbeit mit der Logistik-Abteilung und durch ständige Anpassungen und Erweiterungen im Projektverlauf erreicht. Die Terminierung der Meilensteine wird grob angegeben, da die Erfahrungswerte für die Dauer der einzelnen Schritte nicht vorhanden sind. Deshalb werden die Monate in drei Zeitblöcke unterteilt (Anfang, Mitte und Ende), um eine Flexibilität in der Zielerreichung gewährleisten zu können.

Die großzügigen Zeitangaben können dadurch begründet werden, dass zum Ersten der Mutterkonzern der EPCOS OHG, die EPCOS AG, ihren Geschäftsjahreswechsel mit 1. Oktober vollzieht und dadurch die Mitarbeiterkapazitäten belegt sind. Zweitens sind die Standorte der Produktion aufgeteilt (Deutschlandsberg und Kutina, vgl. Abschnitt 5.1), weshalb die Erhebung der Ist-Analyse und die Treffen mit allen Beteiligten sich auf einen längeren Zeitraum erstrecken. Drittens ist das Diplomarbeitprojekt (welches in Abbildung 30 in Form eines Projektplanes dargestellt ist) als begleitendes Projekt geplant, wobei die Tagesgeschäfte ebenfalls erledigt werden müssen und somit die zeitlichen Kapazitäten stark begrenzt sind.

²²⁶ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 18.

Projektplan
Diplomarbeit: "Optimierung der Fertigungseinplanung durch Transparenz in der Losverfolgung" von Manuel Artz

| Meilensteine | Anfang Aug | Mitte Aug | Ende Aug | Anfang Sept | Mitte Sept | Ende Sept | Anfang Okt | Mitte Okt | Ende Okt | Anfang Nov | Mitte Nov | Ende Nov | Anfang Dez |
|--|------------|-----------|----------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------|
| Ist-Situations-Analyse | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Zieldefinition | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Entwicklung der Sequenzerliste (SL) | | | | ■ | | | | | | | | | |
| DLZ ermitteln, vergangenheitsbezogen | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Implementierung der SL als Pilot am Standort DL | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Monitoring: WIP-Aufzeichnungen, DLZ-Verfolgung (MW, StAbw, min, max) | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Validitätsprüfung SL | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Anpassung der SL | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Zwischenpräsentation der Ergebnisse | | | | | | | | | | | | | |
| Materialfluss-Analyse für Dispositionsstufe D6 und Bereichsbildung | | | | | | | | | | | | | |
| Erstellung der Schulungsunterlagen für die SL | | | | | | | | | | | | | |
| Infrastruktur für SL bereitstellen | | | | | | | | | | | | | |
| Personal in der Pilot-Abteilung am Standort DL schulen | | | | | | | | | | | | | |
| Personal in der Pilot-Abteilung am Standort Kutina schulen | | | | | | | | | | | | | |
| Pilotprojekt für Standort Kutina | | | | | | | | | | | | | |
| Personal am Standort DL schulen | | | | | | | | | | | | | |
| Implementierung der SL für alle Bereiche am Standort DL | | | | | | | | | | | | | |
| Personal am Standort Kutina schulen | | | | | | | | | | | | | |
| Implementierung der SL für alle Bereiche am Standort Kutina | | | | | | | | | | | | | |
| Letzte Anpassungen der Sequenzerliste | | | | | | | | | | | | | |
| Erarbeitung von Regelkreisläufen und Regelkreislauf-Hierarchien | | | | | | | | | | | | | |
| Erarbeitung von Controllingkennzahlen für WIP und DLZ | | | | | | | | | | | | | |
| Steuerungsmechanismen erarbeiten | | | | | | | | | | | | | |
| Einführen des Controllings | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 30: Projektplan²²⁷

Die Strategie, um die Verringerung der Streuung und des Mittelwerts der DLZ zu erreichen, ist die Einführung einer Vorgabe zur Abarbeitung der Aufträge an den einzelnen Arbeitsbereichen. Die feine Aufschlüsselung, wie sie in der obigen Abbildung zu sehen ist, wurde im Laufe des Projekts überarbeitet und stellt den letzten Stand des Projektplans dar. Zu Beginn des Projekts steht fest, dass es eine Liste von Aufträgen geben soll, welche vom zuständigen Fertigungspersonal abgearbeitet wird. Die genauen Spezifikationen müssen erst entwickelt und an einer geeigneten Pilot-Abteilung getestet werden. Nach begleitendem Monitoring, Validitätsprüfung und Anpassung an die Erfordernisse sollen die Ergebnisse der Geschäftsgebietsleitung präsentiert werden und ein weiteres Vorgehen besprochen werden.

Diese Liste soll zu Beginn jeder Schicht den zuständigen Maschinenbedienern in der Fertigung zur Verfügung stehen. Bei Abweichungen der DLZ und des WIP von den ausgearbeiteten Grenzen hat eine Benachrichtigung der Fertigungsleiter, beziehungsweise der Logistik-Abteilung zu erfolgen. Regelkreise und Steuerungsmechanismen werden entwickelt und dienen als Grundlage für das WIP-Controlling (vgl. Abschnitte 3.4.3 und 4.3.2). Eine genauere Beschreibung der Umsetzung wird im folgenden Abschnitt behandelt.

Der Projektplan steht dem Projektteam als Kontrolle über den Fortschritt zur Verfügung. Dabei gilt es, die gesetzten Zwischenziele durch das Erreichen der Meilensteine abzarbeiten und den hinterlegten Zeitplan einzuhalten. Durch die ständige Visualisierung der Ter-

²²⁷ Quelle: Artz, Manuel (2007).

mine wird ein Bewusstsein für die Dringlichkeit der Punkte geschaffen. Dieser Projektplan kann sich je nach Projektverlauf ändern und ist situativen Anpassungen unterworfen. Der Grund dafür liegt im großen Zeithorizont und der Unplanbarkeit aller Emergenzen und Umwelteinflüsse (vgl. Abschnitt 4.3.1). Um die Unvorhersagbarkeit in Grenzen zu halten, ist es wichtig, einen Projektplan zu erstellen, damit trotz Änderungen im Ablauf der Überblick gewahrt bleibt.

5.4 Vorgehen

Nachdem die Meilensteine im Projektplan festgelegt wurden, geht es darum, diese nach der gegebenen Reihenfolge abzarbeiten. Der folgende Abschnitt widmet sich der Umsetzung des Projekts bei der Firma EPCOS OHG im Geschäftsbereich Vielschichttechnologie und beschreibt die Vorgehensweise bei der Durchführung.

5.4.1 Erstellung der Sequenzerliste

Der Plan ist, die Reihenfolge der Abarbeitung für den aktuellen WIP in den verschiedenen Abteilungen vorzugeben und somit die Freiheiten der Maschinenbediener bei der Abarbeitung zu beschränken. Damit wird gewährleistet, dass die Aufträge nicht nach regellosem Prinzip an den Maschinen eingelastet werden. Der Grund liegt darin, dass einige Aufträge unverhältnismäßig schnell abgearbeitet werden und einige Aufträge eine lange Verweilzeit in der Abteilung aufweisen. Das bedeutet, dass die Streuung der DLZ reduziert wird und die Aufträge dadurch besser planbar werden. Diese vorgegebene Reihenfolge wird den Maschinenbediener als ausgedruckte Liste zur Verfügung stehen. Nach Absprache mit dem Leiter der Logistikabteilung wird diese Liste Sequenzerliste (in weiterer Folge mit SL abgekürzt) genannt und wird mit dieser Bezeichnung den Mitarbeitern vorgestellt.

Die SL stellt eine komplette Neuerung im Bereich Frontend (vgl. Abschnitt 5.1) dar und existiert auch im Bereich Backend nicht in Form einer automatisch generierten Abarbeitungssequenz.

Die SL dient vor allem zur Steuerung der Abarbeitung der Low-Runner (Materialien, die selten disponiert werden). Die High-Runner (Materialien, die sehr oft disponiert werden), welche durch eine Kanban-Steuerung koordiniert werden, bleiben unberücksichtigt. Der ursprüngliche Wunsch, die Reihenfolge nach der SZ-Regel zu sortieren (die geringste Dif-

Mögliche Gründe für ein Nicht-Einhalten der Reihenfolge sind:

- Sperrung des Auftrages durch die Abteilung der Qualitätssicherung
- Vorziehen von Eilaufträgen – wenn die Priorisierung noch nicht in der SL aktualisiert wurde
- geringfügiges Vorziehen des Auftrages aus Rüstkosten- und Rüstzeit-Gründen.

Der Anspruch der Fertigung und der Logistik an die SL ist, sich nicht ausschließlich auf die bisherige Liegezeit zu fixieren, sondern eine Flexibilität in Richtung Kunden zuzulassen, weshalb eine zusätzliche Spalte zur Priorisierung (externe Priorität) eingefügt wird (vgl. Abschnitt 2.3.2). Diese soll jedoch die Ausnahme und nicht die Regel in der Sortierung darstellen.

Die erste Aufgabe ist, die Daten für die SL aus der Datenbank zu generieren. Dafür wird eine SQL-Abfrage entwickelt und mittels des Programms allroundautomations® Query Reporter ausgegeben, was in Zusammenarbeit mit der IT- und Logistikabteilung geschieht. Die Abbildung 32 zeigt einen Auszug des Quellcodes, welcher (exemplarisch für andere Abteilungen) die SQL-Abfrage für die Abteilung Cutten (hier im Speziellen für die Bearbeitungsmethode Nitto) darstellt.

```

Query Reporter - auskunft@metis - [sequenzerliste_03_CUTTEN-NITTO.rep]
SQL | Layout | Options
select '03_Cutten-Nitto' as Aufnr, null as Typ, null as Prio, null as Material, null as Bauform, null as Masse, null as Stapelanzahl,
null as RM_Pressen, null as bish_Liegezeit, null as Betriebsmittel, null as Kommentar, sysdate as datum from dual
union all
select distinct(k.aufnr, substr(k.aufnr,1,1) typ, decode(k.prio,'10','H',k.prio), k.sachnummer material, bf.text bauform, ma.text masse,
round(a.menge,0) menge, round(k.mstart/s.richt,2) stapelanzahl, a.rzeitbis RM_Pressen, round(sysdate-a.rzeitbis,2) bisherige_Liegezeit,
ba.betriebsmittel Betriebsmittel, ko.text Kommentar, null
from vs.kopfl k, vs.aposll a, vs.aposll b, vs.stammll bf, vs.stammll ma, vs.stammll s, vs.pruefl ko, werk.betriebsmittel ba
where (k.losnr, k.losart) in ((a.losnr, a.losart))
and (k.losnr, k.losart) in ((b.losnr, b.losart))
and (k.losnr, k.losart) in ((bf.losnr, bf.losart))
and (k.losnr, k.losart) in ((ma.losnr, ma.losart))
and (k.losnr, k.losart) in ((s.losnr, s.losart))
and (k.losnr, k.losart) in ((ko.losnr(+), ko.losart(+)))
and b.inventarnr = ba.inventarnr(+)
and ko.merknmr(+) = '5292'
and a.arbgnr = 20620
and b.arbplnr in ('722KEA10', '722KEA15', '722KEA20', '722KEA25', '722KEA30', '722KEA40', '722KEA50', '722KEA70', '722KEA75', '722VEA10',
'722VEA15', '722VEA20', '722VEA25', '722VEA30', '722VEA40', '722VEA50', '722VEA56', '722N250A')
and a.status > 2
and b.status = 2
and bf.merknmr = 102998
and ma.merknmr = 281000
and s.merknmr = '220000'
and substr(k.sachnummer, 1, 5) in ('26306', '26206', '22506')
and k.dlief is null
and k.sachnummer not like '262060B2336K461'
order by 13, 3 desc, 2, 9

```

18:19 | ORA-01013: user requested cancel of current operation

Abbildung 32: Rohfassung der Abfrage für den Bereich Cutten Nitto²³⁰

Die Entscheidung, welche Abteilung als Pilot-Projekt dienen soll, fällt auf den Bereich Cutten, da dieser überschaubar ist und Potential zur Verbesserung besitzt. Damit die genaue Abgrenzung festgelegt werden kann, muss die Verknüpfung zwischen dem Materialfluss in dieser Abteilung und dem ERP-System gefunden werden. In der Abteilung Cutten sind die Materialgruppen (MLCC, MLV und NTC) in drei verschiedene Bearbeitungsmethoden (Nitto, Dycem und L21), mit jeweils unterschiedlichen DLZ, unterteilt.²³¹ Da diese auf jeweils unterschiedlichen Maschinen gefertigt werden, werden die Arbeitsplatznummern zur Abgrenzung der Materialflüsse (und somit der SL) verwendet.

Die Aufträge werden vor dem Eingang in den Bereich und nach dem Verlassen des Bereiches im ERP-System rückgemeldet. Die SQL-Abfrage ist so aufgebaut, dass die betreffenden Arbeitsplätze, die zur Separierung dienen, noch nicht rückgemeldet sein dürfen, doch der Eingang in den Bereich durch die letzte Rückmeldung bestätigt wurde. So sind die Aufträge als WIP des Bereiches Cutten anzusehen. Dies setzt eine gute Rückmeldedisziplin voraus, welche durch regelmäßige Kontrollen erreicht werden soll.

²³⁰ Quelle: Artz, Manuel (2007).

²³¹ Nitto, Dycem und L21: Diese Namen bezeichnen jeweils eine verschiedene Bearbeitungsmethode beziehungsweise eine Zuordnung zu verschiedenen Bearbeitungsmaschinen und -schritten im Bereich Cutten.

Um die Validität der SL zu prüfen, wird ein Probeauszug angefertigt (Anwesenheit laut ERP-System) und damit direkt vor Ort die physische Anwesenheit der Aufträge kontrolliert. Da es einige Abweichungen zwischen den realen und im ERP-System enthaltenen Gegebenheiten gibt, werden die Ursachen dieser Differenzen erforscht und beseitigt. Zum einen begründen sich die Abweichungen dadurch, dass die Aufträge nicht ordnungsgemäß rückgemeldet oder aus dem System genommen wurden und zum anderen ist die SL noch nicht an die realen Gegebenheiten angepasst. Diese Unterschiede werden jedoch in Zusammenarbeit mit den Fertigungsmeistern und der IT-Abteilung ausgeglichen.

5.4.2 Einführung der Sequenzerliste

Die SL wird der Fertigung täglich zur Verfügung gestellt, damit die Abarbeitung nach der vorgegebenen Reihenfolge geschehen kann. Die Abteilung Cutten wird offiziell zum Pilot-Projekt für die Einführung der SL. Es wird eine Schulung der Fertigungsleiter durchgeführt, welche die relevanten Informationen an die Fertigungsmeister und die Maschinenbediener weiterleitet. Es gilt, die Kommunikationslücken zu schließen und den Mitarbeitern die für die Erfüllung ihrer Aufgabe wichtigen Informationen zukommen zu lassen.²³² Da die SL nach einwöchiger Verwendung keine signifikanten Verbesserungen von Mittelwert und Streuung der DLZ herbeigeführt hat, wird eine Abweichungsanalyse durchgeführt. Die Kontrolle der Abarbeitungsreihenfolge der letzten Tage lässt erkennen, dass die Maschinenbediener die Liste nicht ausschließlich nach dem geforderten Prinzip abarbeiten, sondern das alte System bevorzugt und deshalb beibehalten wird.

Der Grund dafür liegt darin, dass die Anweisungen nicht ausreichend kommuniziert, sondern formlos vermittelt wurden und die Kontrolle der richtigen Abarbeitung nicht für jeden spürbar war. Durch diese mangelnde Kommunikation ist genau die vorhin beschriebene Kommunikationslücke entstanden, die es zu vermeiden gilt. Eine Besprechung mit dem Fertigungsleiter und den Fertigungsmeistern wird dazu genutzt, die Argumente für die Abarbeitung nach der FCFS-Regel zu erklären und die Betroffenen zu Beteiligten zu machen (vgl. Abschnitt 2.3.2).

Ab diesem Zeitpunkt wird verstärkt auf das Changemanagement Wert gelegt, da eine anschließende Verbesserung der Motivation der Mitarbeiter festgestellt wird. Nach dieser Besprechung wird nach der SL gearbeitet und sofort eine Verbesserung der Streuungswerte

²³² Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 17 und S. 62.

bemerkbar. Abbildung 33 lässt erkennen, wann die Abarbeitung nach der SL begonnen hat. Der Peak am 15. September 2007 repräsentiert die Abarbeitung der ältesten Lose in der Abteilung, woraufhin die Streuung und der Mittelwert der DLZ nach oben schnellen. Danach pendelt sich die DLZ wieder ein und bewegen sich auf einem deutlich niedrigeren Niveau als vorher.

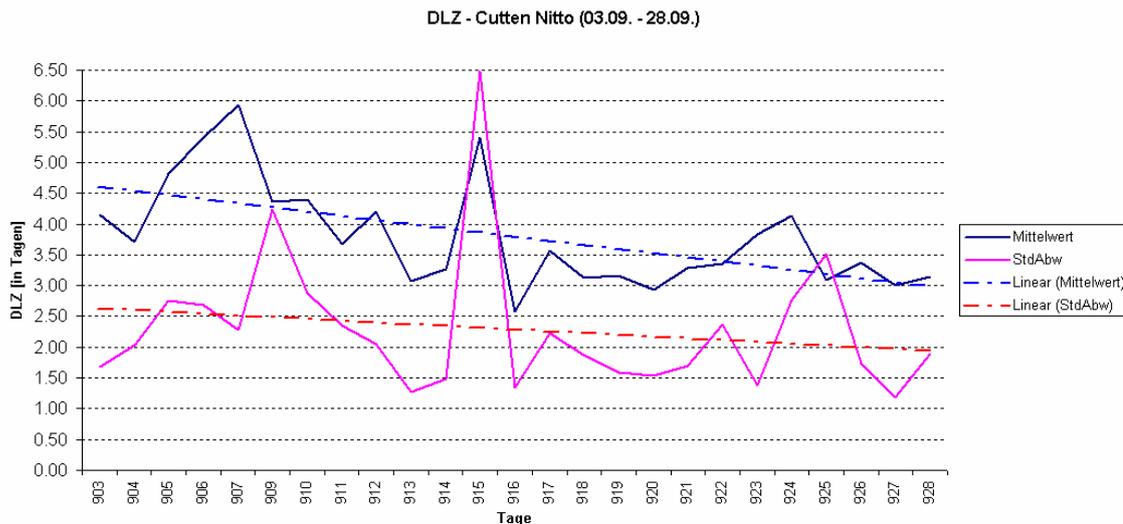


Abbildung 33: Auswertung der Streuung und der mittleren DLZ, September 2007²³³

Dieser Erfolg kann, nach beibehalten der Vorgehensweise, weiter gesteigert und auf einem stabilen Level gehalten werden. Der Fortschritt wird bei der Besprechung der Logistikabteilung, welche für das Projekt zuständig ist, mit der Leitung des Geschäftsgebiets mitgeteilt. Die Ergebnisse zum damaligen Zeitpunkt sind:

- eine Verringerung der Streuungswerte für die DLZ durch Abarbeitung der Aufträge, welche am Längsten in der Abteilung verweilen (für den Zeitraum vom 3. bis 28. September 2007 ergibt sich eine Verringerung von ca. 21%)
- eine Verringerung der mittleren DLZ (für den Zeitraum vom 3. bis 28. September 2007 ergibt sich eine Verringerung von ca. 34%)
- eine Erhöhung der Datenqualität durch ständige Aktualisierung der Daten und Abgleich der im System angezeigten und realen Anwesenheit der Aufträge in der Abteilung

²³³ Quelle: Artz, Manuel (2007).

- eine Transparenz der Abteilung durch Kenntnis des WIP zu jedem Zeitpunkt und Aufzeichnungen über den Verlauf der Kennzahlen WIP, Mittelwert und Streuung des WIP und der DLZ und eine Aufzeichnung des Outputs.

Daraufhin wird die volle Unterstützung der Geschäftsgebietsleitung für das Projekt zugesichert und die Einführung der SL für die gesamte Dispo 6 an beiden Standorten (Deutschlandsberg und Kutina) angeordnet. Diese Unterstützungserklärung wird top-down über alle Hierarchiestufen weitergegeben, wovon sich die Projektverantwortlichen weniger Barrieren bei der Einführung erwarten, da diese laut Changemanagement einer der Hauptgründe für das Scheitern bei der Implementierung von Veränderungen sind.²³⁴

Um mit der Implementierung der SL für die gesamte Dispo 6 zu beginnen, muss zuerst der gesamte Materialfluss ermittelt und eine Einteilung für die Bereichsbildung ausgearbeitet werden. Dafür wird die Aufnahme der Situation vor Ort gemacht, um einen Einblick in die realen Fertigungsabläufen zu bekommen. Da die Fertigung auf zwei Standorte aufgeteilt ist, gibt es einen Bruch im Materialfluss und Unterschiede in der Unternehmenskultur, nicht jedoch im Informationsfluss, da beide über dasselbe ERP-System abgebildet werden. Der Materialfluss der Dispo 6 wurde bereits im Abschnitt 5.1 in der Abbildung 27 dargestellt.

Die Einteilung der Bereiche wird gemeinsam mit der Logistikabteilung, den Fertigungsleitern, der Arbeitswirtschaft und der IT-Abteilung erarbeitet, um die verschiedenen Anforderungen an die SL ganzheitlich zu betrachten. Generell gilt, dass die Rückmeldepositionen im Materialfluss als limitierende Faktoren angesehen werden. Somit kommt die Einteilung der 46 verschiedenen SL zu Stande (die Anzahl änderte sich mit der laufenden Anpassung). Es werden nicht in allen Bereichen dieselben Spezifikationen verlangt, deshalb wird die SL den individuellen Anforderungen angepasst. Die erarbeiteten SL kommen nicht in allen Bereichen zum Einsatz, da es nicht überall notwendig und sinnvoll ist. Zum Beispiel sind im Bereich Bedrucken die DLZ so kurz, dass eine Vorgabe der Abarbeitungsreihenfolge überflüssig ist. Die SL werden trotzdem erstellt, da sie der Übersicht und lückenlosen Losverfolgung durch den Materialfluss dienen und somit die Transparenz der gesamten Dispo 6 erhöhen.

Bei der Analyse des Materialflusses ist auffallend, dass für manche Materialien ein Arbeitsplan hinterlegt ist, der nicht der Realität entspricht. Durch Anpassung der betroffenen Ar-

²³⁴ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 16.

beitspläne durch die Arbeitswirtschaft werden die Datenqualität des Systems und die Validität der SL weiter gesteigert. Wegen des ständigen Abgleichs zwischen den Daten im ERP-System und den realen Verhältnissen werden die meisten Systemfehler ausgebessert und die Fertigung durch das Löschen der Daten-Leichen oder das Weiterbearbeiten der Aufträge bereinigt. Dabei ist die Zusammenarbeit mit dem im operativen Bereich tätigen Personal sehr wichtig und hilfreich. Um das Personal zu motivieren, ist es unerlässlich, sie von der Sinnhaftigkeit der geplanten Umstellung zu überzeugen, was sich als schwierig herausstellt, da hier sowohl persönliche als auch sachliche Barrieren überwunden werden müssen. Wie in Abbildung 34 ersichtlich, können die betroffenen Akteure im Veränderungsprozess als Promotoren, Skeptiker, Bremser und Gegner auftreten.

Die Skeptiker müssen von der Notwendigkeit der Veränderungen überzeugt werden, weswegen die sachlichen Risiken zu entkräften sind. Bei den Bremsern stehen hingegen die persönlichen Risiken im Vordergrund, welche durch Verdeutlichung der persönlichen Vorteile genommen werden müssen. Die Bremser sind schwerer zu identifizieren, da sie teilweise mit Sachargumenten versuchen, die gefühlten persönlichen Risiken zu kaschieren. Absolute Gegner müssen durch das Erreichen von Erfolgen durch die Veränderung überzeugt werden.²³⁵

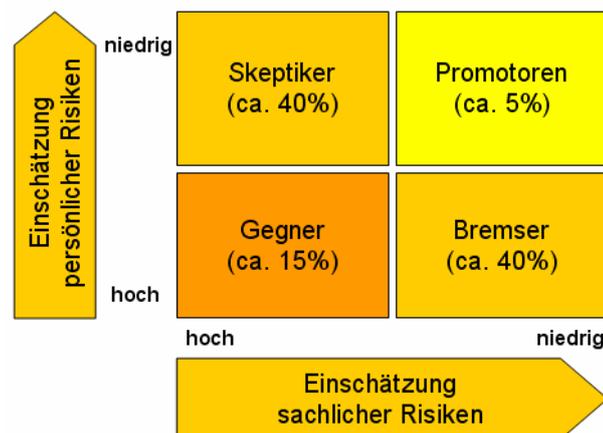


Abbildung 34: Akzeptanzmatrix²³⁶

²³⁵ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 14f.

²³⁶ Quelle: Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 14.

Es ist an diese Stelle zu erwähnen, dass die Möglichkeiten der SL ihre Grenzen haben. Ein Nachteil ist, dass Aufträge, welche Abweichungen von den berücksichtigten Materialflüssen, beziehungsweise Arbeitsplänen aufweisen, nicht in den SL angezeigt werden. Diese Situation kommt selten vor, beziehungsweise ist keine grobe Störung der Transparenz und kann daher vernachlässigt werden. Damit diese Aufträge nicht im Materialfluss stecken bleiben, muss eine regelmäßige Überprüfung der SL auf Validität erfolgen. Dies geschieht mittels einer eigens dafür kreierten SQL-Abfrage. Weiters müssen jegliche Änderungen der Arbeitspläne bekannt gegeben und in der Programmierung der SL berücksichtigt werden.

Ein weiteres Problem, welches bei der Übermittlung der Daten vom ERP-System auf die Datenbank auftritt, kann ausschließlich durch die Anpassung und Verbesserung der Schnittstellen gelöst werden. Es handelt sich hierbei um die Verzögerung bei der Übertragung von Rückmeldungen aus dem ERP-System und der Stornierung von Arbeitsschritten aus dem Arbeitsplan. Die SL ist kein Heilmittel gegen schlechte mittlere DLZ, sondern hilft bei der Erreichung einer höheren Transparenz in der Fertigung. So kann die SL weder Mittelwert und Streuung der DLZ, noch den Output verbessern. Sie ist eine Handlungsempfehlung und unterstützt als Methode die Fertigung. Das heißt, dass die Erfolge nur erreicht werden wenn ein begleitendes Controlling durchgeführt wird.

Nach der Entwicklung, aber vor der Einführung der SL für alle Bereiche, werden Analysen bezüglich Validität durchgeführt. Diese brachten Mängel in der Datenqualität zum Vorschein, welche auf unsaubere Abschlüsse der Aufträge zurückzuführen sind. Diese Datenleichen müssen beseitigt werden, bevor die SL an die Abteilungen weitergegeben wird, da die Glaubwürdigkeit der SL direkt damit in Verbindung steht und somit der Erfolg der Implementierung daran hängt. Fehler in der SL würden den Skeptikern und Gegnern als Bestätigung ihrer Meinung dienen, wodurch die Projektdurchführung gefährdet wäre. Deshalb ist es wichtig, die Mitarbeiter in den Projektablauf einzubeziehen.²³⁷

Für die SL gibt es eine Grundaufstellung, in welcher die wichtigsten Daten aufgelistet sind. Diese kann für die jeweiligen Abteilungen individuell angepasst und modifiziert werden. Zum Beispiel werden im Bereich Cutten die Spalten Stapelanzahl, Masse, Bauform und eine Spalte für die eingesetzten Betriebsmittel in die SL aufgenommen, was in der Abbildung 35 zu sehen ist.

²³⁷ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 15.

| 03_Cutten-Nitto | | | Seite 1 von 2 | | | | Druckdatum: 10.12.200708:55 | | | | |
|-----------------|-----|------|--------------------|---------|------------|---------|-----------------------------|---------------|----------------|-----------|--|
| Auftrag | Typ | Prio | Sachnummer | Bauform | Masse | Menge | Stapelanzahl | bishLiegezeit | Betriebsmittel | Kommentar | |
| | | | 10.12.2007 05:33 | | | | | | | | |
| 105046141 | 1 | 1 | Z63060A2076K310 | 805 | X7R/252E | 270600 | 100 | 6,69 | | | |
| 105010939 | 1 | 1 | Z62060E2366K447 | 1206 | VAR/C201 | 189000 | 140 | 6,69 | | | |
| 105035260 | 1 | 1 | Z63060A2259K410 | 805 | X7R/252E | 1951600 | 700 | 6,06 | | | |
| 105035253 | 1 | 1 | Z63060A2256K433 | 805 | X7R/252E | 1394000 | 500 | 3,86 | | | |
| 105034918 | 1 | 1 | Z62065E2599K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 3,86 | | | |
| 105034902 | 1 | 1 | Z62060E2630K432 | 402 | VAR/C202 | 2179350 | 150 | 3,86 | | | |
| 105034900 | 1 | 1 | Z62060E2602K410 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 3,86 | | | |
| 105035255 | 1 | 1 | Z63060A2256K433 | 805 | X7R/252E | 1394000 | 500 | 3,12 | | | |
| 105034922 | 1 | 1 | Z62065E2600K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 3,12 | | | |
| 105034925 | 1 | 1 | Z62065E2600K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 3,12 | | | |
| 105034924 | 1 | 1 | Z62065E2600K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 3,12 | | | |
| 105035406 | 1 | 1 | Z63060A2451K347 | 805 | X7R/252E | 1951600 | 700 | 2,61 | | | |
| 105034927 | 1 | 1 | Z62065E2600K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 2,76 | | | |
| 105035240 | 1 | 1 | Z63060A2159K310V28 | 1206 | X7R/252E | 268000 | 250 | 1,54 | | | |
| 105035086 | 1 | 1 | Z63060A1801K182 | 603 | C.O.G/600L | 727650 | 150 | 1,41 | | | |
| 105034880 | 1 | 1 | Z62060E2462K482 | 1206 | VAR/C201 | 94500 | 70 | 1,28 | | | |
| 105010951 | 1 | 1 | Z62060E2462K482 | 1206 | VAR/C201 | 94500 | 70 | 1,28 | | | |
| 105035286 | 1 | 1 | Z63060A2419K510 | 1206 | X7R/252E | 337500 | 250 | 1,25 | | | |
| 105035287 | 1 | 1 | Z63060A2419K510 | 1206 | X7R/252E | 337500 | 250 | 1,17 | | | |
| 105034871 | 1 | 1 | Z62060E2372K439 | 805 | VAR/C201 | 254610 | 90 | 1,17 | | | |
| 105034873 | 1 | 1 | Z62060E2372K439 | 805 | VAR/C201 | 254610 | 90 | 1,17 | | | |
| 105034872 | 1 | 1 | Z62060E2372K439 | 805 | VAR/C201 | 254610 | 90 | 1,17 | | | |
| 105035241 | 1 | 1 | Z63060A2159K310V28 | 1206 | X7R/252E | 230400 | 200 | 1,11 | | | |
| 105035038 | 1 | 1 | Z63060A1604K222V28 | 603 | C.O.G/900L | 803400 | 150 | 1,09 | | | |
| 105058386 | 1 | 1 | Z62060E2343K380 | 805 | VAR/C201 | 254610 | 90 | 0,95 | | | |
| 105035237 | 1 | 1 | Z63060A2157K233V28 | 1206 | C.O.G/900L | 345600 | 300 | 0,95 | | | |
| 105034934 | 1 | 1 | Z62060E2702K427 | 402 | VAR/C202 | 2016900 | 150 | 0,87 | | | |
| 105034935 | 1 | 1 | Z62060E2702K427 | 402 | VAR/C202 | 2016900 | 150 | 0,87 | | | |
| 105035282 | 1 | 1 | Z63060A2286K222 | 603 | C.O.G/900L | 803400 | 150 | 0,87 | | | |
| 105034936 | 1 | 1 | Z62060E2702K427 | 402 | VAR/C202 | 2016900 | 150 | 0,87 | | | |
| 105058584 | 1 | 1 | Z63060A1866K112 | 402 | C.O.G/HQML | 268920 | 20 | 0,78 | | | |
| 105035088 | 1 | 1 | Z63060A1866K112 | 402 | C.O.G/HQML | 268920 | 20 | 0,78 | | | |
| 105058583 | 1 | 1 | Z63060A1866K112 | 402 | C.O.G/HQML | 268920 | 20 | 0,78 | | | |
| 105058589 | 1 | 1 | Z63060A1866K112 | 402 | C.O.G/HQML | 268920 | 20 | 0,78 | | | |
| 105058586 | 1 | 1 | Z63060A1866K112 | 402 | C.O.G/HQML | 268920 | 20 | 0,78 | | | |
| 105058585 | 1 | 1 | Z63060A1866K112 | 402 | C.O.G/HQML | 268920 | 20 | 0,77 | | | |
| 105035267 | 1 | 1 | Z63060A2277K315 | 603 | X7R/252E | 1606800 | 300 | 0,77 | | | |
| 105035234 | 1 | 1 | Z63060A2132K39 | 402 | C.O.G/600L | 1312200 | 100 | 0,77 | | | |
| 105011067 | 1 | 1 | Z25060C2682L868 | 805 | NTC/8507 | 223040 | 80 | 0,73 | | | |
| 105011068 | 1 | 1 | Z25060C2682L868 | 805 | NTC/8507 | 223040 | 80 | 0,73 | | | |

Abbildung 35: Endversion der Sequenzerliste für den Bereich Cutten Nitto²³⁸

Damit den Abteilungen der Aufwand, die SL auszudrucken und weiterzugeben, abgenommen wird und die Regelkreise selbststeuernd und somit dezentral angewendet werden (vgl. Abschnitt 3.4.3), muss den zukünftigen Anwendern ein geeigneter Zugang zu den SL verschafft werden. Begleitend gibt es eine Schulung, wie die SL eingesetzt wird, wie damit gearbeitet wird und warum diese Maßnahmen getroffen werden. Die Schulungsteilnehmer waren die Mitarbeiter der Logistikabteilung, die Fertigungsleiter und die Fertigungsmeister. Es war die Aufgabe der Fertigungsmeister, den Maschinenbedienern die richtige Handhabung der SL und die Vorgehensweise bei Abweichungen zu erklären.

Bei dieser Schulungsmaßnahme wird besonders auf die kundengerechten Informationen (die Maschinenbediener sind als Anwender die Kunden der SL) geachtet und speziell auf eine konstruktive Kommunikation nach den Prinzipien des Changemanagements geachtet.²³⁹

²³⁸ Quelle: Artz, Manuel (2007).

²³⁹ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 23.

Nach der Bereinigung der Daten und der Einschulung der Mitarbeiter wird die SL in allen Abteilungen vom Standort Deutschlandsberg eingeführt, in denen Potentiale auszuschöpfen sind. Die Beurteilung, wo Potentiale vorhanden sind, wird mit der Logistik-Abteilung erörtert. Dabei wird auf Basis der maximalen DLZ und des im Bereich enthaltenen WIP entschieden. Sind diese beiden Werte hoch, sind dementsprechend die Hebel zur Verbesserung groß. Begleitend wird ein permanentes Monitoring von WIP, Mittelwert und Streuung des WIP und der DLZ eingeführt und über die gesamte Zeit hinweg verfolgt, um die richtige Abarbeitung zu kontrollieren.

Die Einführung der SL am gesamten Standort Deutschlandsberg ist eine Herausforderung für das Projektteam, da, wie bereits erwähnt, mit dem Aufbau von Barrieren zu rechnen ist. Doch durch integrative Kommunikation (funktional und sozial²⁴⁰) und mit der Unterstützung der Geschäftsgebietsleitung können die Mitarbeiter vom positiven Effekt des Projekts überzeugt und die Motivation gesteigert werden. Es ist wichtig, die Phasen des Veränderungsprozesses zu kennen und die geplanten Aktionen dahingehend auszurichten. In Abbildung 36 sieht man die wahrgenommene eigene Kompetenz im Verlauf eines Veränderungsprozesses.

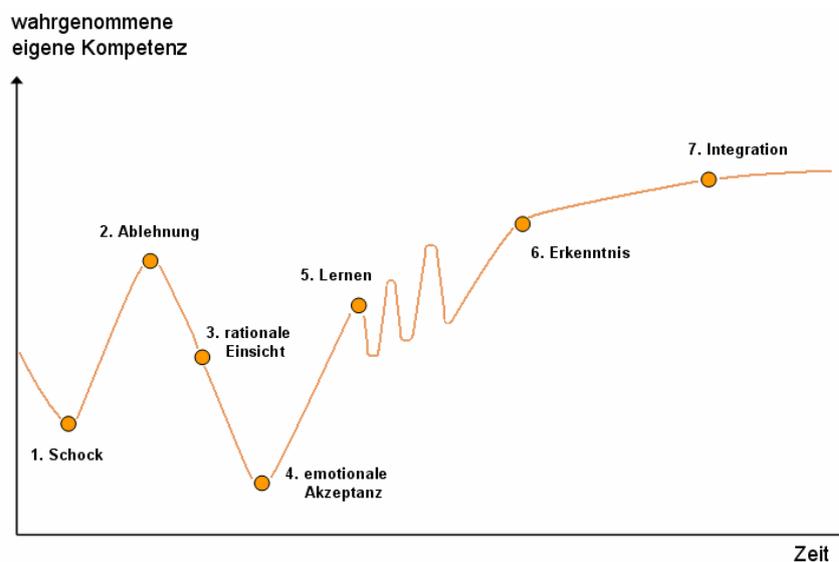


Abbildung 36: Phasen von Veränderungsprozessen²⁴¹

²⁴⁰ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 59.

²⁴¹ Quelle: Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 11.

Im Laufe des Projekts wurden alle Phasen des Veränderungsprozesses lehrbuchartig durchlaufen:²⁴²

1. Schock: Bei der Bekanntgabe von Veränderungen in der Produktion war die Überraschung groß, da die Ansicht vertreten wurde, dass der Prozess trotz einiger Probleme gut laufe.
2. Verneinung: Die SL wurde als für nicht notwendig empfunden und die alten Gewohnheiten wurden beibehalten.
3. Einsicht: Nach intensiven Gesprächen wurde eingesehen, dass die Veränderung eine Verbesserung der derzeitigen Situation mit sich bringt.
4. Akzeptanz: Die Einführung der SL in der Fertigung wurde akzeptiert und die Barrieren nach und nach abgebaut.
5. Lernen: Nachdem bewusst mit der SL gearbeitet wurde, gab es eine Beteiligung der Mitarbeiter bei der Weiterentwicklung der SL und Vorschläge zur Verbesserung. Das bewirkte eine Steigerung der wahrgenommenen eigenen Kompetenz über dem Ausgangsniveau, da die Arbeit effizienter durchgeführt werden konnte.
6. Erkenntnis: Die Gründe für den Erfolg der SL wurden von den Mitarbeitern gefunden und anerkannt.
7. Integration: Großteils wurde die Veränderung als eine enorme Erleichterung empfunden und vollständig in das Arbeitsleben integriert.

In jeder dieser Phasen muss anders auf die Mitarbeiter und ihr Empfinden der eigenen Kompetenz reagiert werden. Bereits das Wissen über diese Phasen führt zu einem erhöhten Verständnis der Einstellung der Mitarbeiter, welche von den Veränderungen betroffen sind. Wird dieses Wissen von Beginn an berücksichtigt, können viele typische Fehler bei Veränderungen vermieden werden.

Zeitgleich mit der Einführung der SL am Standort Deutschlandsberg wird ein weiteres Pilotprojekt am Standort Kutina eingeführt, wobei hier der Bereich Eingang Selk ausgewählt wird. Die SL wird den Bedürfnissen angepasst und steht der Fertigung täglich zur Verfügung. Nach ebenfalls erfolgreicher Einführung und Transparenz über den WIP in der Abteilung, wird die SL auch an diesem Standort für alle Bereiche übernommen, wo die Einführung Sinn macht. Der Unterschied zwischen den beiden Fertigungsstandorten liegt

²⁴² Vgl. Reiß, Michael et al. (1997), S. 242ff und vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 11f.

in der Unternehmenskultur und den bisherigen Fertigungsgegebenheiten. Bereits bei der Bekanntgabe von bevorstehenden Änderungen sind die Mitarbeiter am Standort Kutina offener als ihre Kollegen in Deutschlandsberg. Das liegt vor allem am Engagement bei der Einführung der SL und zeigt sich durch das Ausbleiben größerer Barrieren. Zurückzuführen ist das auf den unterschiedlichen Umgang mit Veränderungen.

Ein weiterer Unterschied liegt darin, dass es in Deutschlandsberg, im Gegensatz zu Kutina, keine Listen zur Orientierung der Abarbeitung gegeben hat und die Einführung der SL somit eine komplette Neuerung war. In Kutina stellt die SL eine Vereinfachung der Abarbeitung dar, weil eine Vielzahl von Listen durch eine einzige (mit allen relevanten Daten bestückte) Liste abgelöst wird. Somit werden den Skeptikern bereits zu Beginn der Veränderung die Bedenken genommen.²⁴³

Ein weiterer Punkt für die reibungslose Einführung der SL in Kutina ist die sofortige Einbindung der Maschinenbediener und der Fertigungsleiter in den Aufbau der Liste, was am Standort Deutschlandsberg zu Beginn verabsäumt wurde.²⁴⁴ Alle Vorschläge zur Anpassung des Layouts und der Ausgabe der Zusatzinformationen werden mit in die Überlegungen aufgenommen und sofort umgesetzt, beziehungsweise eine Ablehnung schlüssig begründet. Dadurch werden die Veränderungen in der Fertigung, die durch die SL hervorgerufen werden, wahrgenommen und jeder Beteiligte merkt, dass er einen Einfluss auf das Projekt hat, was einen sehr positiven Einfluss auf die Mitarbeitermotivation hat.²⁴⁵

Neben der engen Zusammenarbeit der SL-Entwickler mit dem operativ damit arbeitenden Personal haben besonders die direkte Kommunikation zwischen den Beteiligten sowie das Ausschalten von Schnittstellen starken Einfluss auf die Umsetzung des Projekts. Durch Vermeiden von Vermittlern und Reduktion des Informationsaustausches über IT können einige Probleme schnellstmöglich und ohne Umwege im direkten Gespräch gelöst werden. Das macht eine effiziente Arbeitsweise möglich und beschleunigt die Realisierung des Projekts.

Als nächster Projektschritt erfolgt eine Weiterentwicklung der Sortierung der SL. Die bisher verwendete bereichsweise FCFS-Sortierung, also die Sortierung nach der bisherigen Liegezeit im jeweiligen Bereich, erfüllt nicht die Anforderungen der Fertigung, beziehungsweise der Logistik, weshalb diese adaptiert wird. Die Umstellung erfolgt auf eine dis-

²⁴³ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 15.

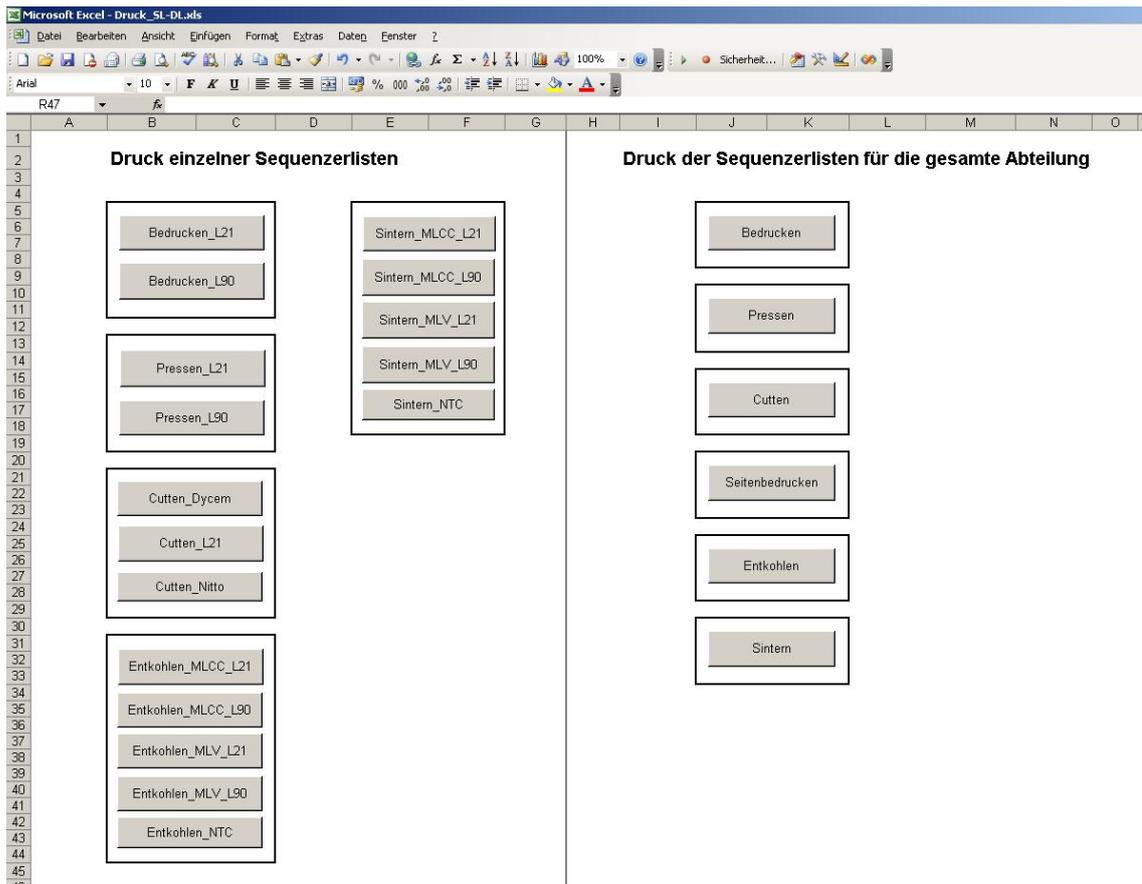
²⁴⁴ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 24f.

²⁴⁵ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 25.

positionsstufenbezogene FCFS-Sortierung (vgl. Abschnitt 2.3.2). Damit löst der Ist-Starttermin²⁴⁶ das bisherige Hauptkriterium der Sortierung ab. Das heißt, dass der Auftrag, welcher am längsten in der Produktion ist (im Gegensatz zur längsten Liegezeit im Bereich) an die erste Stelle der Abarbeitungsreihenfolge in der SL gesetzt wird. Das hat den Vorteil, dass, wenn ein Auftrag eine Verspätung in der Abarbeitung hat, dieser den Verzug, durch automatisch geregelte Vorreihung wieder aufholen kann. Dies war bei der bisherigen Vorgehensweise nicht möglich. Kam dort eine Verzögerung in der Abarbeitung zustande, konnte diese nicht automatisch wieder aufgeholt werden.

Eine weitere Effizienzsteigerung bringt die Automatisierung der Ausgabe der SL. Die Generierung der SL aus der Datenbank muss anfangs manuell durchgeführt werden, was den Maschinenbedienern viel Zeit kostet. Deshalb wird ein automatischer Report eingeführt, welcher jeweils eine halbe Stunde vor Schichtbeginn die Generierung der SL veranlasst und das Ergebnis der Abfrage in einer Textdatei auf dem Fertigungslaufwerk abspeichert. Damit wird dem Fertigungspersonal ein Arbeitsschritt abgenommen, was in direkter Folge eine Zeitersparnis bewirkt. Falls sich nachträglich einige Änderungen ergeben, kann die SL ebenfalls manuell durchgeführt werden. Die Aktualisierung erfolgt für die Abteilungen in Deutschlandsberg alle 2 Stunden und für den Standort Kutina alle 8 Stunden, jeweils beginnend um 5:30 Uhr. Grund für die unterschiedliche Aktualisierungsfrequenz liegt in der Anforderung der jeweiligen Fertigung. Weiters wird eine bedienerfreundliche Oberfläche im Microsoft® Excel® erstellt, die das Drucken der gewünschten SL per einfachen Mausklick ermöglicht. Ein Auszug der Bedieneroberfläche ist in der Abbildung 37 zu sehen.

²⁴⁶ Der Ist-Starttermin kennzeichnet den Zeitpunkt, wann der Auftrag in die Fertigung eingelastet wird.

Abbildung 37: Anwenderoberfläche zum Druck der Sequenzerliste²⁴⁷

Mit dieser Microsoft® Excel®-Datei wird der Aufwand für das Drucken der SL verringert, da auf die aktuellste Version zugegriffen wird und die Wartezeit für die Durchführung der Abfrage somit wegfällt. Weiters wird eine automatische Spaltenanpassung gemacht, wodurch die SL bereits im geeigneten Format ausgegeben wird. Die SL stellt die erste Stufe des Controllings dar. Die genaue Funktionsweise wird im folgenden Abschnitt erklärt.

5.4.3 WIP-Controlling

Der nächste Schritt nach der Entwicklung und Einführung der SL ist die Entwicklung eines Controlling-Tools für die Fertigung und für die Logistikabteilung. Das Controlling ist zentraler Punkt des Projekts. Um bisherige Erfolge beibehalten zu können, beziehungsweise zu steigern, sind überwachende Maßnahmen und ständiges Reporting nötig, welche Grundlagen des Controllings darstellen (vgl. Abschnitt 4.1). In diesem Abschnitt wird die

²⁴⁷ Quelle: Artz, Manuel (2007).

Entwicklung und Implementierung des Regelmechanismus in die Praxis behandelt und es wird beschrieben, welche Ziele damit verfolgt werden.

Um das Ziel zu erreichen, das heißt, ein Controlling-Tool für die Fertigung zu schaffen, müssen Regeln für die Struktur und die Handhabung aufgestellt werden. Dazu werden die klassischen Ansätze des Controllings mit denen der Kybernetik verknüpft. Dies geschieht mit Hilfe von Regelkreisen (vgl. Abschnitt 3.4.3). Die Gemeinsamkeiten von Controlling und Kybernetik wurden bereits im Theorieteil erläutert (vgl. Abschnitt 4.3.2). Hier wird erklärt, welche Regelstrecken verwendet werden und wie die Regelkreishierarchien aufgebaut sind.

Der erste Schritt ist die Modellierung des Realsystems, beziehungsweise des gewünschten Systems. Die grundlegende Frage ist dabei, welche die Input-, Outputfaktoren und Zielwerte sind und wie diese Faktoren abgegrenzt werden. Dadurch wird die Regelstrecke (in weiterer Folge RS genannt) definiert und die Regeleinheit (in weiterer Folge RE genannt) bestimmt, die Einfluss auf die RS nimmt.

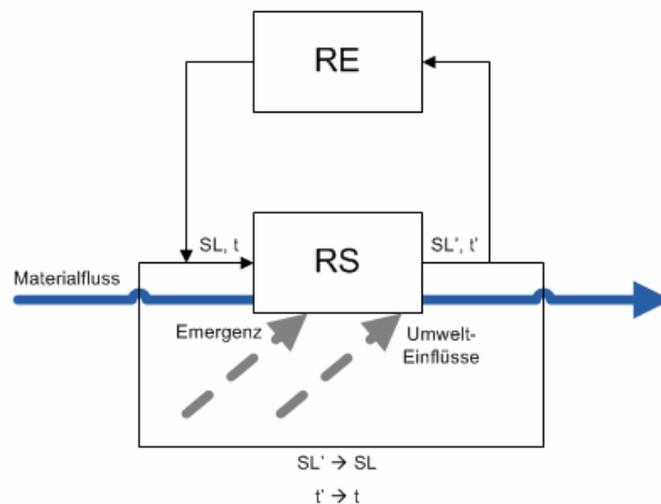


Abbildung 38: Exemplarischer Regelkreislauf für eine Abteilung²⁴⁸

In Abbildung 38 ist exemplarisch für eine Fertigungsabteilung dargestellt, wie die unterste Ebene der Regelkreise aufgebaut ist. Als RS wird die Zeit der Abarbeitung der SL ausgewählt, welche durch die Weitergabe der SL in die Fertigung zum Zeitpunkt t (Zeitpunkt, an

²⁴⁸ Quelle: Artz, Manuel (2007).

dem die SL in die Fertigung gebracht wird) und t' (Zeitpunkt, an dem die darauf folgende SL in die Fertigung gebracht wird) begrenzt wird. Dies geschieht jeweils zu Schichtbeginn. Als Input dient die SL (SL) zum Zeitpunkt t , der Output wird definiert durch die bearbeitete SL (SL') zum Zeitpunkt t' . Da der resultierende Output der Input für den folgenden Zyklus ist, kann das System als selbstreferentielles System (vgl. Abschnitt 3.5) betrachtet werden, welches durch eine Schleifenbildung gekennzeichnet wird. Somit befindet sich hier die Verbindung zur Systemtheorie, die sich mit dem Verhalten von selbstreferentiellen Systemen beschäftigt (Selbstorganisation). Formal wird diese Selbstreproduktion durch den folgenden Ausdruck dargestellt: $SL' \rightarrow SL$.

Wie ebenfalls in Abbildung 38 ersichtlich, gibt es externe und interne Einflüsse (Umwelteinflüsse und Emergenzen) auf die RS, die die geplante Abarbeitung der SL stören. Solche Einflüsse können zum Beispiel bei technischen Abschlüssen von Aufträgen (die danach nicht mehr auf der Liste erscheinen sollen) oder Aufträgen mit Qualitätsproblemen (die nicht abgearbeitet werden können weil sie zur weiteren Bearbeitung gesperrt wurden) auftreten. In dieser Situation darf der Maschinenbediener (als RE) von der Top-down-Abarbeitung der SL abweichen und das nächste Los zur Abarbeitung freigeben. Die Maßnahme, welche die RE setzen muss, ist der Eintrag eines Kommentars in die SL, mit einer Begründung für die Abweichung von der üblichen Abarbeitungsreihenfolge. Dafür gibt es ein Kommentarfeld, um diese Information allen anderen Bearbeitern zukommen zu lassen. Am Standort Kutina ist dafür ein Eintrag in die lokale Datenbank vorgesehen, um den aktuellen Status zu vermerken.

Die RE ist somit der zuständige Fertigungsmeister oder der Maschinenbediener, welcher den Abgleich zwischen Soll- und Ist-Zustand durchführt und daraus die ersten Maßnahmen ableitet (vgl. Abschnitt 4.3.2). Der Soll-Zustand ist eine von oben bis unten lückenlos abgearbeitete SL. Für jegliche Abweichung muss wie bereits erwähnt, eine Erklärung in Form eines Kommentars abgegeben werden. Dadurch kann in die RS eingegriffen werden, um das gewünschte Gleichgewicht wieder herzustellen. Ein Beispiel für das Einfügen von Kommentaren ist in der Abbildung 39 zu sehen.

| 03_Cutten-Nitto | | | Seite 1 von 2 | | | | Druckdatum: 19.12.2007 11:04 | | | | |
|-----------------|-----|------|-------------------|---------|----------|---------|------------------------------|---------------|----------------|------------|--|
| Auftrag | Typ | Prio | Sachnummer | Bauform | Masse | Menge | Stapelanzahl | bishLiegezeit | Betriebsmittel | Kommentar | |
| 03_Cutten-Nitto | | | 19.12.2007 09:31 | | | | | | | | |
| 105058495 | 1 | 1 | Z62067 B1811 J227 | 603 | VAR/C202 | 280800 | 50 | 6,08 | | | |
| 105058499 | 1 | 1 | Z62065 E2599 K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 5,1 | | Aufgeklebt | |
| 105058500 | 1 | 1 | Z62065 E2599 K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 5 | | Aufgeklebt | |
| 105058501 | 1 | 1 | Z62065 E2599 K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 5 | | Aufgeklebt | |
| 105058490 | 1 | 1 | Z62065 E2600 K423 | 402 | VAR/C201 | 2179350 | 150 | 4,9 | | Aufgeklebt | |
| 105034785 | | | | | | 33320 | 80 | 3,76 | | | |
| | | | | | | | 45 | 3,76 | | | |

Abbildung 39: Sequenzerliste mit Spalten für Betriebsmittel und Kommentar²⁴⁹

Wird ein Los aus Qualitätsgründen gesperrt, gibt es ein Abkommen zwischen der Fertigungsabteilung und der Abteilung für die Prozesstechnik das besagt, dass kein gesperrtes Los länger als 24 Stunden wegen Qualitätsproblemen im Materialfluss bleiben darf und innerhalb dieser Frist abgearbeitet werden muss. Allerdings kann es vorkommen, dass die Probleme komplizierter sind und deshalb mehr Zeit zur Lösung benötigt wird. In diesem Fall ist der Fertigungsverantwortliche in Kenntnis zu setzen, was den Druck zur schnellen Behebung der Qualitätsprobleme auf die Prozesstechnik erhöht.

Die oben stehenden Ausführungen beschreiben die unterste Ebene des Controllings, welche aus Sicht der Logistikabteilung und Fertigungsleiter auf höherer Ebene selbststeuernd ist, da die RS (Sequenzerliste) nur von der ersten Ebene der RE (Fertigungsmeister beziehungsweise Maschinenbediener) geregelt wird und selbst aus dem Regelungsprozess ausgeschlossen bleibt. Das Verhalten wird von innen gesteuert (Regelung innerhalb des Systems, vgl. Abschnitt 3.4.2). Jede SL verursacht ihren eigenen Regelkreis und muss auf höherer Ebene aggregiert werden. Daraus entsteht eine Regelkreishierarchie mit verschiedenen Grenzwerten (vgl. Abschnitt 3.4.3). Diese hierarchische Staffelung wird exemplarisch in Abbildung 40 dargestellt.

²⁴⁹ Quelle: Artz, Manuel (2007).

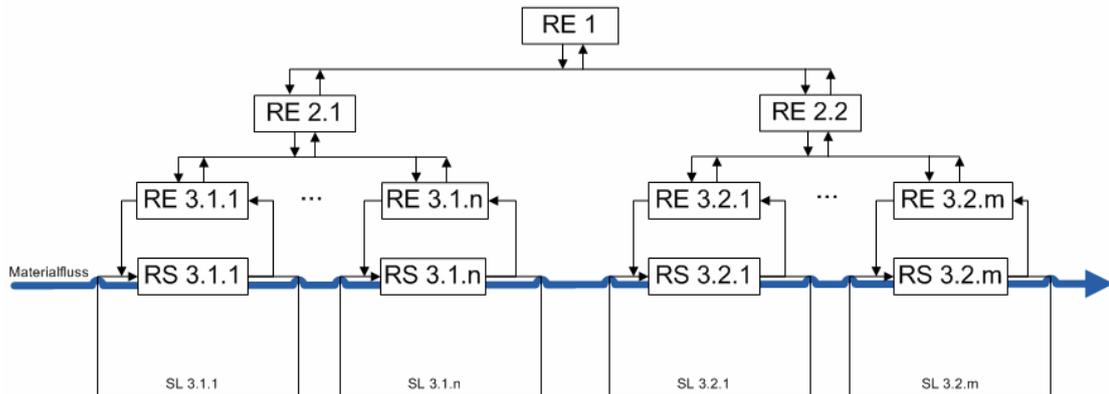


Abbildung 40: Exemplarische Regelkreise für Dispositionsstufe 6²⁵⁰

Diese Darstellung ist sehr ähnlich der im Theorieteil bereits erwähnten Abbildung 15 mit den von Pawellek beschriebenen vertikal vernetzten Regelkreisen.²⁵¹ Der Hauptunterschied ist, dass die RS im Diplomarbeitprojekt einen selbstreferentiellen Charakter besitzt, da die SL, welche hier den Informationsfluss darstellt, nicht an die nächste RS anschließt und somit nicht dem Materialfluss folgt (vgl. Abschnitte 3.4.3 und 3.5). Die aufeinander folgenden SL beeinflussen sich gegenseitig, doch die Verbindung wird in der Abbildung 40 durch den Materialfluss ausgedrückt.

Auf der zweiten Ebene des Controllings werden die SL per Abfrage durchsucht, um die Aufträge zu erfassen, deren bisherige Liegezeit bereits über einem bestimmten Grenzwert liegt. Diese Abfrage (Controlling-Report genannt) wird jeweils eine halbe Stunde vor Schichtbeginn automatisch durchgeführt und abgespeichert, kann jedoch auch manuell angestoßen werden. Das Resultat ist ein minutengenaues Protokoll der derzeitigen Fertigungssituation, welches zeigt, wie viele Aufträge den Grenzwert bereits überschritten haben.

²⁵⁰ Quelle: Artz, Manuel (2007).

²⁵¹ Vgl. Pawellek (2007) S. 118.

| SL-Original | SL | Limit | Anzahl_Aufträge_Über_Limit | Anzahl_Aufträge_Gesamt | Anteil_in_Proz | Max_Liegezeit | SL_Aufträge_über_Limit |
|-------------|-----------------------------|------------|----------------------------|------------------------|----------------|---------------|------------------------|
| 07 | Ausgang | 2 Tag(e) | 31 | 58 | 53,45 | 200,31 | |
| 07 | Transport | 1 Tag(e) | 38 | 68 | 55,88 | 169,56 | |
| 08 | Eingang | 2 Tag(e) | 5 | 5 | 100 | 94,02 | |
| 09-1 | Scheuern | 2,5 Tag(e) | 4 | 22 | 18,18 | 4,35 | |
| 09-2 | Schliff | 4 Tag(e) | 8 | 44 | 18,18 | 10,37 | |
| 09-3 | OptiKont | 1 Tag(e) | 10 | 10 | 100 | 36,18 | |
| 10 | Aetzen | 3 Tag(e) | 19 | 37 | 51,35 | 20,2 | |
| 11 | Filmcoating | 3 Tag(e) | 12 | 22 | 54,55 | 115,8 | |
| 12 | Metallisieren-Chipstar | 3 Tag(e) | 10 | 45 | 22,22 | 17,53 | |
| 14 | Metallisieren-Palomar | 5 Tag(e) | 24 | 55 | 43,64 | 49,28 | |
| 16 | Metallisieren-Quicksilver | 3 Tag(e) | 13 | 24 | 54,17 | 61,25 | |
| 17 | Einbrennen-BTU-MLCC | 4 Tag(e) | 0 | 13 | 0 | 1,07 | |
| 18 | Einbrennen-BTU-MLV | 4 Tag(e) | 14 | 54 | 25,93 | 37,8 | |
| 19 | Einbrennen-Koyo | 3 Tag(e) | 1 | 12 | 8,33 | 51,83 | |
| 20 | 14.1 OptiBeurt | 3 Tag(e) | 8 | 38 | 21,05 | 101,56 | |
| 21 | 14.2 Altern | 2 Tag(e) | 26 | 40 | 65 | 62,93 | |
| 22 | 14.3 Polieren | 2,5 Tag(e) | 3 | 11 | 27,27 | 24,37 | |
| 23 | 15 Galvanik-MLCC-BME | 2,5 Tag(e) | 8 | 17 | 47,06 | 7,12 | |
| 24 | 15 Galvanik-MLCC-NME | 2,5 Tag(e) | 3 | 34 | 8,82 | 7,93 | |
| 25 | 15 Galvanik-MLV | 4 Tag(e) | 0 | 13 | 0 | 2,19 | |
| 26 | 16-1 Trocknen | 2 Tag(e) | 19 | 21 | 90,48 | 6,19 | |
| 27 | 16-2 Messen | 7 Tag(e) | 73 | 132 | 55,3 | 163,51 | |
| 28 | 17 QS-Pruefen lt. Pruefplan | 5 Tag(e) | 13 | 61 | 21,31 | 452,78 | |
| 29 | 18 Automaten-sortieren-MLCC | 3 Tag(e) | 71 | 110 | 64,55 | 196,09 | |
| 30 | 18 Automaten-sortieren-MLV | 3 Tag(e) | 20 | 36 | 55,56 | 95,82 | |
| 31 | 19 Manuelles Sortieren | 2 Tag(e) | 8 | 16 | 50 | 46,12 | |
| 32 | 20 QS-Sortierkontrolle | 2 Tag(e) | 62 | 120 | 51,67 | 269,8 | |
| 33 | 21 Metzl | 1 Tag(e) | 25 | 36 | 69,44 | 168,07 | |

Abbildung 41: Controlling-Report – Tagesübersicht²⁵²

Wie in Abbildung 41 ersichtlich, zeigt die Auswertung, in welchen Abteilungen der Grenzwert (hier als Limit bezeichnet) überschritten wird. Dieses Limit wird ebenfalls in der Auswertung ausgegeben, sowie die Gesamtanzahl der im WIP befindlichen Aufträge. Es ist sinnvoll, auch den relativen Anteil (Anteil in Prozent) anzugeben, da in manchen Bereichen der WIP viel höher ist als in anderen Bereichen und die Absolutanzahl der Aufträge über dem Limit alleine nicht repräsentativ ist. Weiters wird gezeigt, wie lange der Auftrag mit der längsten bisherigen Liegezeit bereits in der Abteilung verweilt, um einen Überblick über die Dringlichkeit der Abarbeitung zu erhalten. Wie ebenfalls in Abbildung 41 ersichtlich, kann direkt per Mausklick auf die aktuelle Version der SL zugegriffen werden.

Die Grenzwerte für die bisherige Liegezeit der Bereiche werden im Abgleich mit der Logistikabteilung festgelegt. Die ersten Zielwerte stützten sich auf eine DLZ-Auswertung der vergangenen zwei Monate, dabei wird darauf geachtet, dass zumindest ein Drittel der Aufträge mit der DLZ über dem Zielwert liegt. Weiters werden die DLZ pro Tag gemittelt, auf eine Zeitleiste aufgetragen, eine Trendlinie hinzugefügt und abschließend die Standardabweichungen der Tages-Durchlaufzeit mit in Relation gesetzt. Daraufhin wird der DLZ-Wert der Trendlinie zum Auswertungszeitpunkt als Richtwert genommen und je nach Standardabweichung ein Toleranzwert hinzugezählt. Dieser Wert ergibt den Grenzwert für das Controlling. Für den Bereich Entkohlen wird, wie in Abbildung 42 ersichtlich, auf diese Art ein Grenzwert von 4 Tagen für die DLZ ermittelt.

²⁵² Quelle: Artz, Manuel (2007).

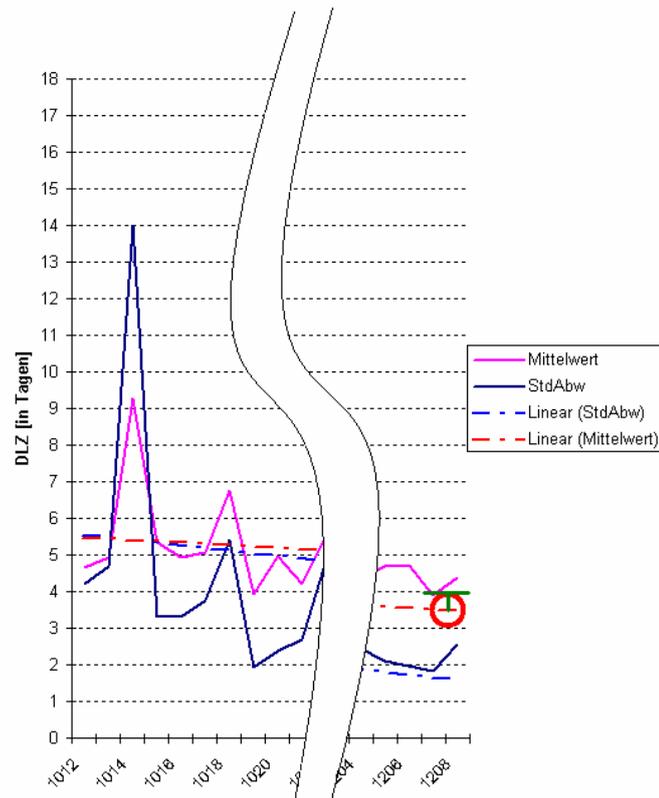


Abbildung 42: Ermittlung der DLZ-Zielwerte am Beispiel des Bereiches Entkohl²⁵³

Der rote Kreis in Abbildung 42 markiert die mittlere DLZ der Trendlinie und der grüne Strich gibt den hinzugefügten Toleranzwert wieder. Um die derzeitige Fertigungssituation nicht außer Acht zu lassen, wird ein Abgleich mit den aktuellen SL gemacht und der Leiter der Logistikabteilung nach seiner subjektiven Meinung zum ermittelten Grenzwert befragt. Der Abgleich ergibt eine geringe Änderung der bereits ermittelten Grenzwerte, die Werte werden lediglich auf ganze, beziehungsweise halbe Tage gerundet, da eine feinere Untergliederung nicht notwendig ist.

Bei der Überschreitung der Grenzwerte wird somit die Abteilung auf der oben beschriebenen Auswertung aufgelistet. Diese Auswertung muss im Zuge eines Controlling-Prozesses Konsequenzen folgen lassen. Die zu treffenden Maßnahmen werden in Zusammenarbeit mit den Fertigungsleitern (in diesem Fall RE) festgelegt. Die RS werden durch die SL dargestellt, bei welchen in der Auswertung eine Überschreitung des Grenzwertes festgestellt werden konnten.

²⁵³ Quelle: Artz, Manuel (2007).

Bei einer Überschreitung der Grenzwerte wird eine Analyse hinsichtlich Qualität und Kapazität durchgeführt. Sind die Zeitüberschreitungen auf Qualitätsprobleme zurückzuführen, ist es die Aufgabe des Fertigungsleiters, eine Ursachenfindung anzustoßen und diese schnellstmöglich zu beseitigen. Dazu werden die konkreten Lose begutachtet und daraus Rückschlüsse gezogen. Bei Engpässen im Kapazitätsbereich (Personal oder Maschine) wird auf eine situative Anpassung abgezielt. Liegt der Engpass im Personalbereich, wird eine zeitliche Anpassung der Kapazität durch Aufbau von Überstunden angeordnet oder durch kurzfristige Verschiebung von mehrfach geschultem Personal aus einem anderen Fertigungsbereich kompensiert. Sind die Kapazitäten der Maschinen der Grund für den Aufbau der Pufferbestände, wird eine intensitätsmäßige Anpassung der Engpassmaschinen durchgeführt, was jedoch nur begrenzt möglich ist (vgl. Abschnitt 2.3.1). Diese Maßnahmen sind kurzfristiger Natur und können daher über längere Zeit nicht wirtschaftlich aufrecht erhalten werden.

Die oberste Ebene des Controllings stellt eine Trendbeobachtung der auf Ebene zwei ermittelten Daten dar. Die täglich automatisch ausgeführten Controlling-Reports werden auf einem definierten Pfad abgespeichert und stehen für jeden als Textdatei zur Verfügung. Die Trendbeobachtung wird in einer Microsoft® Excel®-Datei dargestellt. Es gibt aus Gründen der Übersichtlichkeit für die beiden Standorte Deutschlandsberg und Kutina jeweils eigene Grafiken. Es gibt auch zwei unterschiedliche Darstellungsformen der über dem Grenzwert liegenden Aufträge, wobei zum einen die y-Achse die Einheit „Anzahl der Aufträge“ hat, zum anderen ist die Einheit in „Prozent vom Ganzen“ angegeben. Die Daten für den Trend reichen sieben Tage in die Vergangenheit, dieser Umstand kann jedoch mit geringen Anpassungen geändert werden. Wegen der Übersichtlichkeit in der Grafik und Überschaubarkeit der Zahlenwerte im Datenblatt wird dieses Zeitfenster gewählt.

Wie in Abbildung 43 zu sehen, kann ein Update per Mausklick durchgeführt werden – ein speziell dafür programmiertes Makro führt dieses Update aus. Dabei werden die alten Daten überschrieben und darauf aufbauend wird eine Grafik zur Visualisierung der Ergebnisse erstellt, welche in Abbildung 44 zu sehen sind.

| SL-Original | SL | Limit | Anzahl_Aufträge_Über_Limit | Anzahl_Aufträge_Gesamt | Anteil_in_Proz | Max_Liegezeit | SL_Aufträge_über_Limit |
|-------------|---------------------------|------------|----------------------------|------------------------|----------------|---------------|------------------------|
| 07 | Ausgang | 2 Tag(e) | 31 | 58 | 53,45 | 200,31 | |
| 07 | Transport | 1 Tag(e) | 38 | 68 | 55,88 | 169,56 | |
| 08 | Eingang | 2 Tag(e) | 5 | 5 | 100 | 94,02 | |
| 09-1 | Scheuern | 2,5 Tag(e) | 4 | 22 | 18,18 | 4,35 | |
| 09-2 | Schliff | 4 Tag(e) | 8 | 44 | 18,18 | 10,37 | |
| 09-3 | OptiKont | 1 Tag(e) | 10 | 10 | 100 | 36,18 | |
| 10 | Aetzen | 3 Tag(e) | 19 | 37 | 51,35 | 20,2 | |
| 11 | Filmcoating | 3 Tag(e) | 12 | 22 | 54,55 | 115,8 | |
| 12 | Metallisieren-Chipstar | 3 Tag(e) | 10 | 45 | 22,22 | 17,53 | |
| 12 | Metallisieren-Palomar | 5 Tag(e) | 24 | 55 | 43,64 | 49,28 | |
| 12 | Metallisieren-Quicksilver | 3 Tag(e) | 13 | 24 | 54,17 | 61,25 | |
| 13 | Einbrennen-BTU-MLCC | 4 Tag(e) | 0 | 13 | 0 | 1,07 | |
| 13 | Einbrennen-BTU-MLV | 4 Tag(e) | 14 | 54 | 25,93 | 37,8 | |
| 13 | Einbrennen-Koyo | 3 Tag(e) | 1 | 12 | 8,33 | 51,83 | |
| 14-1 | OptiBeurt | 3 Tag(e) | 8 | 38 | 21,05 | 101,56 | |
| 14-2 | Altern | 2 Tag(e) | 26 | 40 | 65 | 62,93 | |
| 14-3 | Polieren | 2,5 Tag(e) | 3 | 11 | 27,27 | 24,37 | |
| 15 | Galvanik-MLCC-BME | 2,5 Tag(e) | 8 | 17 | 47,06 | 7,12 | |
| 15 | Galvanik-MLCC-NME | 2,5 Tag(e) | 3 | 34 | 8,82 | 7,93 | |
| 16-1 | Trocknen | 4 Tag(e) | 0 | 13 | 0 | 2,19 | |
| 16-2 | Messen | 2 Tag(e) | 19 | 21 | 90,48 | 6,19 | |
| 17 | OS-Pruefen lt. Pruefplan | 7 Tag(e) | 73 | 132 | 55,3 | 163,51 | |
| 18 | Automatensortieren-MLCC | 5 Tag(e) | 13 | 61 | 21,31 | 452,78 | |
| 18 | Automatensortieren-MLV | 3 Tag(e) | 71 | 110 | 64,55 | 196,09 | |
| 19 | Manuelles Sortieren | 3 Tag(e) | 20 | 36 | 55,56 | 95,82 | |
| 20 | OS-Sortierkontrolle | 2 Tag(e) | 8 | 16 | 50 | 46,12 | |
| 21 | Metz | 2 Tag(e) | 62 | 120 | 51,67 | 269,8 | |
| 21 | Metz | 1 Tag(e) | 25 | 36 | 69,44 | 168,07 | |

Abbildung 43: Controlling-Report Datenblatt²⁵⁴

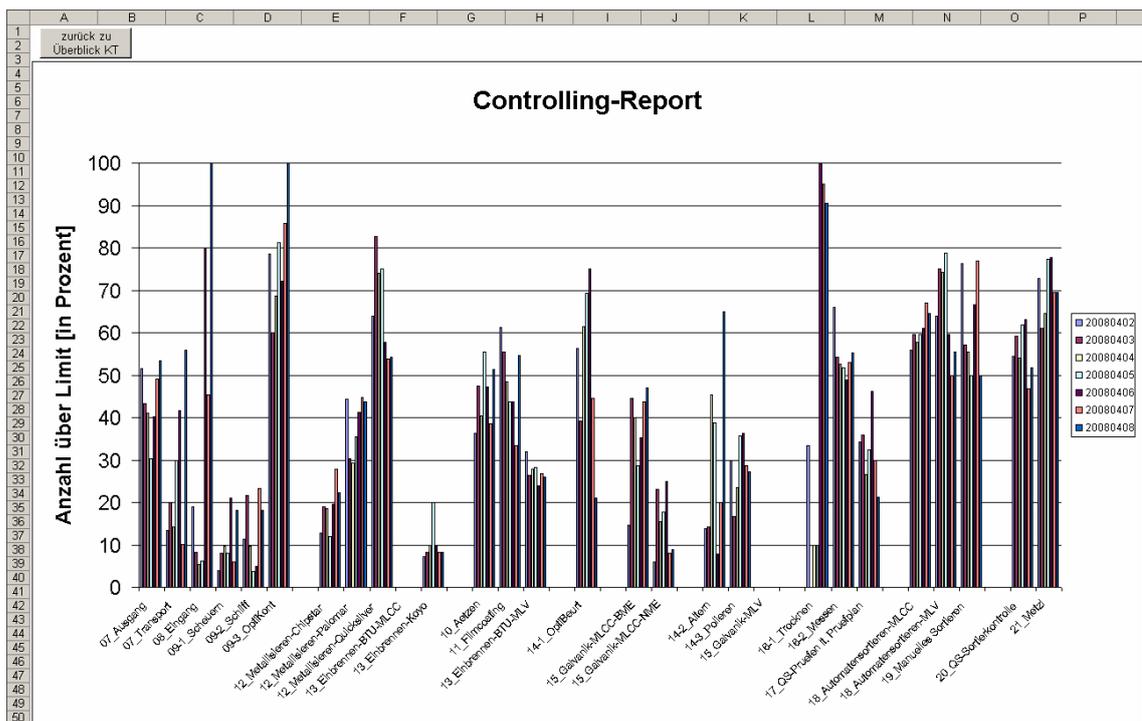


Abbildung 44: Controlling-Report Grafik²⁵⁵

²⁵⁴ Quelle: Artz, Manuel (2007).

²⁵⁵ Quelle: Artz, Manuel (2007).

In dieser Auswertung hat der zuständige Fertigungsleiter (in dem Fall RE) einen Gesamtüberblick über die Fertigung inklusive einer vergangenheitsbezogenen Trendbeobachtung. Ist ein Steigen der Anzahl an Aufträgen über dem Grenzwert zu verzeichnen, werden auf operativer und planender Ebene Maßnahmen getroffen, um diese Steigerung wieder abzubauen. Mögliche Maßnahmen für eine Einflussnahme in die RS werden mit dem zuständigen Fertigungsleiter (bei tiefer greifenden Änderungen auch mit dem Geschäftsgebietsleiter) erarbeitet.

Mittel- bis langfristig gilt es, Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchzuführen. Ziel der Berechnung ist die Antwort auf die Frage, ob eine quantitative Anpassung von Personal und/oder Maschinen im betreffenden Bereich eine geeignete Option ist, um die aktuellen und möglichen zukünftigen Kapazitätsprobleme zu lösen (vgl. Abschnitt 2.3.1). Hierzu zählen Maßnahmen zum Personalabbau, beziehungsweise -aufbau oder eine mögliche Investition. Eine weitere Möglichkeit der Anpassung ergibt sich dadurch, dass das Einschleusen der Aufträge angepasst wird. Dazu ist ein Abgleich mit dem aktuellen WIP, dem Lagerbestand, dem Auftragsbestand und der zukünftigen Produktmixstrategie zu machen.

Die nachhaltigste Lösung ist ein organisatorisches und prozesstechnisches Überarbeiten der Fertigung. Dabei sind die Grenzen des Möglichen zu beachten, da einige Fertigungsbereiche bereits optimal aufgestellt sind und sich aus einem Reengineering-Projekt in diesen Bereichen keine konkreten Verbesserungsvorschläge ergeben werden. Die dritte Stufe des Controllings erfordert ein abteilungsübergreifendes Denken und alle beteiligten Parteien müssen mit einbezogen werden, um im Sinne des Gesamtoptimums zu agieren. Eben diese Interdisziplinarität ist wiederum die Verknüpfung zur Systemtheorie, welche ihre Schnittstellen in zu (fast) jedem Fachgebiet hat (vgl. Abschnitte 3.1 und 3.2).

Mit diesen oben erwähnten Maßnahmen wird die Fertigung im Hinblick auf die DLZ durch Verringerung der Streuung stabilisiert, um mittel- und langfristig die Mittelwerte der DLZ zu senken. Der Vorteil dieses Controlling-Tools ist, dass auch bei einem stark schwankenden Produktionsprogramm durch dieselbe Vorgehensweise ein standardisiertes Instrument zur Verfügung steht, das die Komplexität in aussagekräftige Kennzahlen reduziert. Im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP)²⁵⁶ werden die Grenz-

²⁵⁶ Der Begriff kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) ist in der Managementliteratur weit verbreitet. Allgemein wird KVP als das Streben der Organisation zu stetiger Verbesserung umschrieben. In der Managementlehre wird KVP gleichbedeutend mit dem aus Japan stammenden Begriff Kaizen verwendet. Semantisch stammt Kaizen aus der chinesischen Sprache und setzt sich aus den Worten Kai (sich verbessern im Sinne einer Persönlichkeitsveränderung zum Besseren hin) und Zen (gut) zusammen. In Japan gilt Kaizen als philosophischer Führungssatz. Vgl. Gastl, René (2005), S. 21ff.

werte immer weiter nach unten korrigiert und eine Verbesserung der Gesamtdurchlaufzeit bewirkt.

In diesem Abschnitt ist die starke Verschränkung des Controllings mit der Systemtheorie anhand einer praktischen Anwendung zu erkennen. Dabei steht die Stabilisierung des Systems trotz Emergenzen und Umwelteinflüsse im Vordergrund. Durch die Vorgabe von Soll-Werten (durch die Planung), welche mit den Ist-Werten (aus der Informationsverarbeitung) verglichen werden (Kontrolle), und der Festlegung eines Maßnahmenkataloges bei Überschreitung dieser Soll-Werte kann die Fertigung mittels eines einfachen Tools gesteuert, beziehungsweise geregelt werden (vgl. Abschnitte 3.1, 3.4.2, 3.4.3, 4.1 und 4.3.2).

5.4.4 Erfolge des Projekts in Zahlen

Durch das Projekt haben sich die Kennzahlen der Fertigung signifikant verbessert. Welche Werte durch die Einführung der SL und das begleitende Controlling positiv beeinflusst wurden, wird in diesem Abschnitt erklärt. Erste valide Werte werden aus der Fertigung vom Standort Deutschlandsberg verwendet, da die SL dort bereits längere Zeit eingesetzt wurden und somit mehr Aussagekraft haben. Als Beispiele für die Bandbreite der Veränderungen werden die Best Practice²⁵⁷ Abteilung Entkohlen und der gesamte Fertigungsbereich Deutschlandsberg (Frontend) beschrieben (vgl. Abschnitt 5.1).

²⁵⁷ Als Best Practice werden jene Unternehmen, Abteilungen oder Prozesse bezeichnet, die bei einem Benchmark (vgl. Abschnitt 4.3.1) die besten Methoden beziehungsweise Praktiken verwenden und somit als Musterunternehmen, -abteilungen oder -prozesse gelten. Vgl. Klaus, Peter; Krieger, Winfried (1998), S. 39.

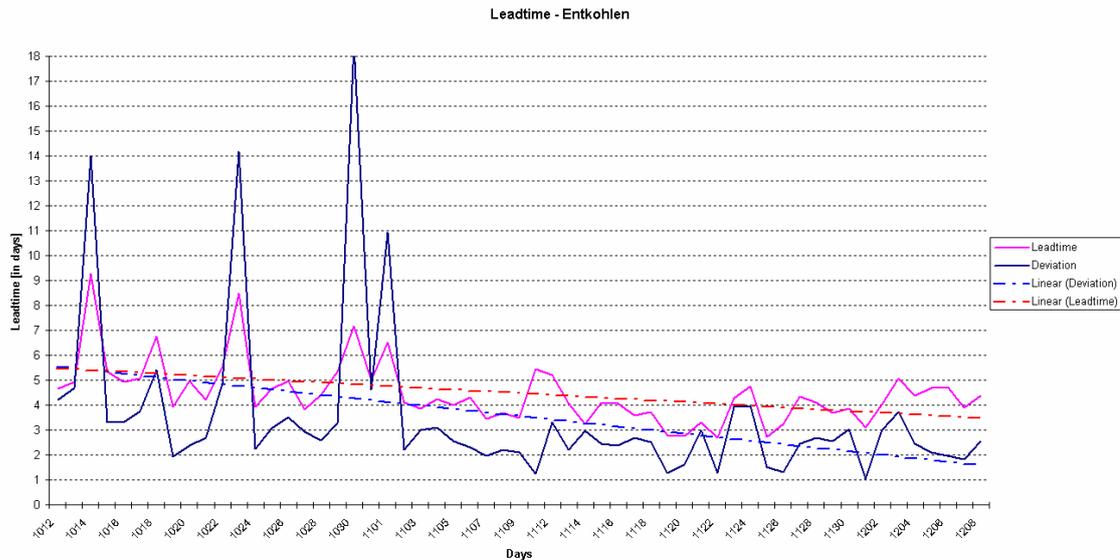


Abbildung 45: DLZ-Analyse Entkohlen²⁵⁸

Abbildung 45 zeigt den Verlauf der Mittelwerte und Standardabweichung der DLZ (pro Tag zusammengefasst), aufgetragen auf eine Zeitreihe. Die Analyse beginnt mit dem 12. Oktober 2007 und endet mit den Daten vom 10. Dezember 2007.

Die Abarbeitung nach allen Vorgaben der SL beginnt Ende Oktober und ist charakterisiert durch den zweiten, dritten und vierten Peak im Zeitverlauf. Der Grund für diese Ausschläge nach oben, sowohl von den Werten des Mittelwertes als auch der Standardabweichung, liegt in der Abarbeitung der alten Lose. Die hohen DLZ für den Bereich belasten diese beiden Kennzahlen überproportional. In der Grafik ist ebenfalls erkennbar, dass mit jeder Abarbeitung von lange liegenden Aufträgen das Niveau der DLZ im Anschluss merklich sinkt. Die Kennlinie vor dem zweiten Peak spiegelt das hohe Niveau der DLZ vor der Einführung der SL wieder.

Wird eine Trendlinie in die Abbildung 45 gelegt, ist eine signifikante Änderung des Mittelwertes und der Standardabweichung der DLZ erkennbar. Werden für die Berechnung der Veränderung die Endpunkte der Trendgeraden als mittlere Werte für die ausgewählten Zeitpunkte verwendet, ergibt der Wert für die mittlere DLZ am 12. Oktober 2007 5,5 Tage und für die Standardabweichung ebenfalls 5,5 Tage. Die Werte für den 10. Dezember 2007 liegen für den Mittelwert der DLZ bei 3,5 Tagen und für die Standardabweichung bei 1,7

²⁵⁸ Quelle: Artz, Manuel (2007).

Tagen. Das ergibt für die mittlere DLZ in diesem Zeitraum eine Verbesserung von 36,4% und eine Verringerung der Streuung von 69,1%.

Die Best Practice Daten im Bereich Entkohlen können nicht auf die gesamte Fertigung umgemünzt werden, doch Auswertungen im Bereich Frontend zeigen, dass trotzdem signifikante Verbesserungen in allen Bereichen verzeichnet wurden.

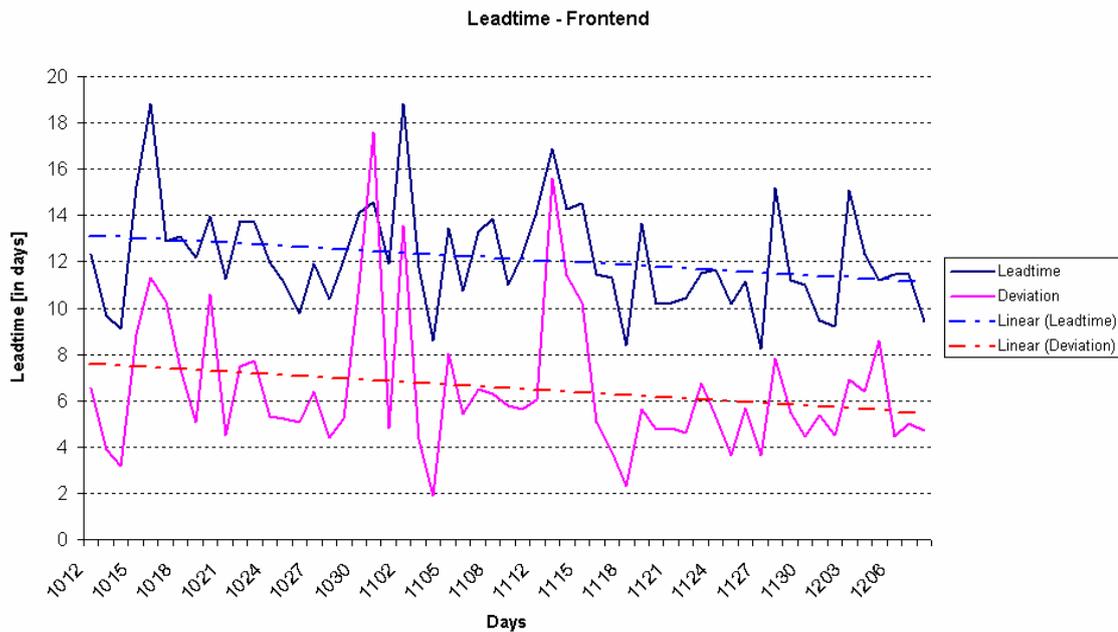


Abbildung 46: DLZ-Analyse Frontend²⁵⁹

In Abbildung 46 sind die Daten für den gesamten Bereich Frontend abzulesen. Die Berechnung der oben bereits erwähnten Kennzahlen ist dieselbe wie für den Bereich Entkohlen, ebenso ist die Zeitspanne dieselbe. Die Werte für die mittlere DLZ haben sich von 13,2 Tage auf 11,2 Tage verbessert, was einer Verringerung von etwa 15% entspricht. Bei der Streuung sind die Werte von 7,7 Tagen auf 5,7 Tage gesunken, was einer Verbesserung von etwa 26% entspricht.

Analysen über alle einzelnen Bereiche haben ergeben, dass die Verbesserungen der mittleren DLZ zwischen 0% und 36,4% liegen und die Verringerung der Standardabweichung zwischen 13% und 69,1% liegt.

²⁵⁹ Quelle: Artz, Manuel (2007).

Neben der Senkung der Streuungswerte und der Mittelwerte der DLZ ergeben sich Einsparungen durch den geringeren Zeitbedarf bei der Suche nach Aufträgen in der Fertigung. Am Standort Kutina wurde die Suche von zwei Fertigungsmeistern durchgeführt, die jeweils 2 Stunden pro Schicht und zusätzlich 2 Schichten pro Woche dafür benötigten. Das ergibt bei einer Fertigung, die jeden Tag im Jahr je drei Schichten pro Tag arbeitet, eine Ersparnis von 4.796 Stunden. Ein Fertigungsmeister kostet der Firma € 8,80 pro Arbeitsstunde (inklusive aller zusätzlich anfallenden Kosten).

2 Mitarbeiter x 2 h pro Schicht x 3 Schichten pro Tag x 365 Tage pro Jahr = 4.380 h

1 Mitarbeiter x 8 h pro Woche x 52 Wochen pro Jahr = 416 h

(4.380 h + 416 h) pro Jahr x € 8,80 pro h = € 42.204,80 pro Jahr.

Die jährlichen monetären Einsparungen betragen € 42.204,80.

Durch das Diplomarbeitenprojekt ergeben sich neben den erwarteten Ergebnissen noch zahlreiche weitere positive Effekte. Neben den monetären Einsparungen gibt es auch qualitative Verbesserungen, die zwar schwer monetär zu bewerten sind, aber dennoch einen enormen Nutzen für die Fertigung haben. Die folgende Gegenüberstellung zeigt die Veränderungen, die das Projekt hervorgerufen hat.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Ausgangssituation mit dem Ergebnis²⁶⁰

| Ausgangssituation | Ergebnis |
|---|---|
| Oberstes Ziel: rüstzeitenoptimiertes Handeln, Maschinen maximal auslasten | Oberstes Ziel: DLZ-Orientierung unter Einbeziehung der Auslastung |
| Nahezu regellose Abarbeitung | FCFS-Regel der Abarbeitung mit Möglichkeit der Priorisierung |
| Hoher Anteil an „Chef-Losen“ | Geringerer Anteil an priorisierten Losen |
| Hoher Anteil an Terminverschiebungen | Kaum Terminverschiebungen |
| Intransparente Fertigung | Transparenz in der Fertigung (WIP bekannt) |
| rudimentäre Losverfolgung | Gezielte Losverfolgung möglich |
| Hohe Mittelwerte und Streuungen der DLZ | Mittelwert und Streuung der DLZ gesunken |
| Hoher WIP | WIP aktiv beeinflussbar durch Steuerbarkeit |
| Prognoseungenauigkeiten | Prognosegenauigkeit gestiegen |
| hoher Lagerbestand muss vorgehalten werden | Bestandssenkungspotentiale können ausgeschöpft werden |
| Mäßige Datenqualität | Gute Datenqualität durch ständige Aktualisierung sowie durch Löschen der Daten-Leichen |
| Hoher zeitlicher Aufwand bei der Urgierung von Aufträgen, hoher Zeitbedarf für das Suchen von Losen und für die Priorisierung von Aufträgen | Durch Kontrolle der Liegezeiten und Priorisierung der Aufträge auf Knopfdruck wird der zeitliche Aufwand erheblich verringert |

Die wichtigste Verbesserung (und der ursprüngliche Grund für den Start des Diplomarbeitprojekts) liegt in der Schaffung von Transparenz in der Fertigung. Durch diese, vorher nicht vorhandene Transparenz können die Aufträge besser verfolgt und gezielt abgearbeitet werden. Es ist nun erstmals möglich, mit einem einzigen Tool die gesamte Fertigungsfeinplanung durchzuführen. Durch das darauf aufbauende Controlling wird die Fertigung auch auf mittelfristige Sicht transparenter und kann als strategisches Instrument verwendet werden. Damit ergibt sich, wie in der Theorie beschrieben, eine dezentrale Regelung mit einer zentralen Steuereinheit (vgl. Abschnitt 3.4.3).

Ein zusätzlicher Nutzen des Projekts ist, dass die Anzahl der priorisierten Lose und die Terminverschiebungen abgenommen haben, da die DLZ einem regelmäßigen Monitoring unterzogen werden und damit besser prognostiziert werden kann, wann die Bearbeitung des Loses beendet ist. Weiters können die Potentiale zur Bestandssenkung ausgeschöpft werden, da die Produktions-, beziehungsweise realen internen Wiederbeschaffungszeiten bekannt sind.

Ein weiterer positiver Effekt ist die Verbesserung der Datenqualität im ERP-System, da durch die ständige Aktualisierung der SL und das Einführen des Controlling-Kreislaufs alle

²⁶⁰ Quelle: Artz, Manuel; Breifuß, Gert (2007).

Anomalien bei den Aufträgen aufgezeigt und begründet werden. Einer der größten Vorteile, die durch die Einführung der SL und des begleitenden Controllings entstanden ist, ist die zeitliche Einsparung für die Fertigungsleiter und die operative Logistik bei der Koordination der Abarbeitung und der Priorisierung der Aufträge. Als Schnittstelle zwischen Logistikabteilung und Fertigung verschlang vor dem Projekt die Suche nach Losen und die mühsame Priorisierung unnötig Zeit und bot trotz des hohen Aufwands kaum Transparenz. Mit der SL und den begleitenden Vereinfachungen ist der WIP jederzeit minutenaktuell bekannt und Änderungen können mit geringem zeitlichem Aufwand getätigt werden.

5.5 Zusammenfassung des Praxisteils

Ein Vorteil der eingeführten SL ist, dass die vorliegende Reihenfolge, welche von der SL vorgegeben wird, unabhängig vom Controlling-Prozess ist. Die einzigen Anpassungen, die zu tätigen sind, betreffen die unterschiedlichen Zielwerte, je nach Sortierungskriterium. Damit ist eine Flexibilität in der strategischen Ausrichtung gewährleistet und eine Änderung des Steuerungsprinzips kann ohne große Umstellung erfolgen. Vor allem auf der Maschinenbedienerseite ist mit geringen Barrieren zu rechnen, da sich die Abarbeitung der SL vom Seitenkopf herab durch eine unterschiedliche Sortierung nicht ändert.

Mit Hilfe der SL und einem darauf aufbauenden Controlling kann, wie aus dem Praxisbeispiel erkennbar ist, Transparenz in die Losverfolgung gebracht werden. Gleichzeitig werden Einsparungen in Form von Kapitalbindungskosten durch Senkung der mittleren DLZ und der Streuungswerte der DLZ realisiert. Dabei ist es wichtig, von Anfang an strukturiert vorzugehen. Im Projektplan muss viel Zeit für die Erhebung der Ist-Situation eingeplant werden, da das gesamte Projekt auf die Qualität der erhobenen Daten aufbaut und auf deren Validität angewiesen ist. Ebenfalls ist der Zeitbedarf bei der Umsetzung nicht zu unterschätzen, da in dieser Phase oft unvorhersehbare Ereignisse passieren.

Ein weiterer Punkt ist die Orientierung nach dem Kundenwunsch, wobei die Kunden im Falle der SL die Mitarbeiter im Fertigungsbereich, beziehungsweise die Fertigungsmeister sind. Das Produkt muss ihren Anforderungen angepasst sein und die Betroffenen müssen zu Beteiligten gemacht werden, was laut Changemanagement einen wesentlichen Erfolgsfaktor darstellt und damit die Umsetzung des Projekts von dieser Seite reibungslos möglich ist.²⁶¹ Durch die Einführung der SL und durch das darauf aufbauende WIP-

ist.²⁶¹ Durch die Einführung der SL und durch das darauf aufbauende WIP-Controlling, konnten alle anfänglich gesetzten Ziele erfüllt und durch weitere positive Effekte sogar übertroffen werden (vgl. Abschnitt 5.4).

Somit wurden durch Hilfsmittel wie: SL und ein projektorientiertes Controlling, unter Beachtung der theoretischen Grundlagen und Zusammenhänge (beginnend bei der Fertigungssteuerung, über die Systemtheorie und Kybernetik, bis hin zum Controlling) die Logistikleistungen der Fertigung verbessert.

5.6 Ausblick

Abschließend möchte ich eine kurze Handlungsempfehlung abgeben, welche sich auf Basis des beschriebenen Projekts ergeben hat. Dabei ist zu beachten, dass einige in dieser Arbeit behandelte Punkte bereits in groben Zügen in den betroffenen Abteilungen umgesetzt werden.

Als erste Handlungsempfehlung ist die Verringerung der Anzahl an priorisierten Losen zu sehen. Es wird bereits begonnen, die Priorisierung der Aufträge zu reduzieren, was jedoch konsequent durchgeführt und regelmäßig kontrolliert werden muss. Der Grund für diese Maßnahme wurde bereits öfters erwähnt und liegt in der Abweichung der Abarbeitung nach der FCFS-Regel. Das bedeutet, dass die HC-Lose (Chef-Lose) bevorzugt abgearbeitet werden und somit in der SL vorgereiht werden. Kommen diese Abweichungen häufig vor, erhöht sich die Streuung der DLZ, was zur Folge hat, dass die Prognosegenauigkeit sinkt.

Ein weiterer Punkt ist die endgültige Bereinigung der Fertigungslinie durch das Abarbeiten von alten Aufträgen. Dies wurde im Zuge des Projekts größtenteils durchgeführt, doch es befinden sich noch immer zu viele Aufträge mit langen bisherigen Liegezeiten in den Abteilungen. Die meisten davon sind entweder Lose der Forschungsabteilung, welche ins System eingelastet wurden, doch nicht mehr weiter verfolgt, beziehungsweise falsch rückgemeldet wurden, oder Nacharbeitslose, welche nach der Qualitätskontrolle zurückgestellt wurden und auf eine erneute Bearbeitung warten.

Als weitere Handlungsempfehlung gilt die Reduktion des WIP für alle Fertigungsabteilungen, die nicht als Engpass gelten. Durch zu hohe Fertigungsbestände sind die DLZ trotz des Projekts auf einem hohen Niveau, was Kapitalbindungskosten und Ineffizienzen her-

²⁶¹ Vgl. Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006), S. 14f und 21ff.

vorrufen. Die Senkung des WIP kann erreicht werden durch gezielte Reduktion der Einlastung an Aufträgen in die Fertigung oder durch eine intensitätsmäßige und zeitliche Anpassung der Kapazitäten, um den überhöhten WIP aus den Fertigungslinien zu bringen (vgl. Abschnitt 2.3.1). Dazu muss die optimale Bestandsmenge errechnet werden, die sich aus dem derzeitigen Produktionsprogramm ergibt.

Es ist weiters sinnvoll, die Sortierung der SL nach der FCFS-Regel auf die Regelung nach der SZ-Regel umzustellen, da dies eine Fertigung ermöglicht, die eine Verbesserung der internen Liefertreue zur nachgelagerten Dispositionsstufe bewirkt (vgl. Abschnitt 2.3.2). Durch die Selbstregelung des Systems kann auch ohne Priorisierung ein Auftrag vorgereicht werden, welcher dringender benötigt wird. Bei dieser Variante lässt das System die Abstände zwischen Soll- und Ist-Zeiten erst gar nicht so groß werden, dass die Gefahr laufen, sich zu verspäten. Dafür sind vorab Anpassungen durchzuführen. Die im ERP-System hinterlegten Wartezeiten müssen der Realität entsprechend angeglichen werden, was durch eine genaue Analyse der Fertigungssituation im eingeschwungenen Zustand in Erfahrung gebracht wird. Abschließend ist die Anpassung der SL durchzuführen, was lediglich einen geringen Aufwand an Programmierarbeit bedeutet.

Ein Controlling der Liefertreue der Aufträge von der Dispositionsstufe 6 an die Dispositionsstufe 9 wird bereits durchgeführt, doch wird den Ergebnissen geringere Aufmerksamkeit geschenkt als der Liefertreue zum Endkunden hin. Da diese Konstellation als interne Kunden-Lieferanten-Beziehung bezeichnet werden kann, ist es wichtig, effizient und kundenorientiert zu arbeiten. Deshalb ist es von Vorteil, die Controllingzahlen neben den Fertigungskennzahlen intern zu veröffentlichen und mit in den leistungsabhängigen Anteil der Entlohnung aufzunehmen. Somit ist der Ansporn auf der Maschinenbediener-Ebene größer, die Aufträge rechtzeitig zu liefern.

Als letzter Punkt ist die Umstellung der Wochenplanung auf eine bedarfsgesteuerte Tagesplanung zu erwähnen. Aktuell werden die Aufträge von der Vertriebsabteilung geclustert und die anstehenden Aufträge in einem Wochenpaket an die Einlastungsstelle für die Fertigung der Dispo 6 weitergegeben. Diese teilt die Startzeiten für die Aufträge teilloptimiert über die Woche hinweg ein. Dieses System soll abgeändert werden in eine Tagesplanung in der die Aufträge je nach Bedarf in die Fertigung eingelastet werden. Diese Änderung wird durch die bereits oben erwähnten Handlungsempfehlungen unterstützt, da eine Sortierung nach der SZ-Regel ein Zusammenwarten der Aufträge überflüssig macht. Der Grund dafür ist, dass die geforderten Endtermine selbstregelnd sind und ein Zusammenwarten keinen

Unterschied für die Fertigung darstellt, außer dass die Einlastung verzögert wird. Weiters kann mittels Kopplung der beiden Dispo 6 und Dispo 9 der Kundenauftragstermin direkt als Sortierungskriterium hinterlegt werden und es entfällt somit eine weitere Schnittstelle.

Alle erwähnten Maßnahmen dienen der Verbesserung der Logistikleistung in der Fertigung. Nach Absprache mit der Logistikabteilung und den Fertigungsleitern werden in den oben erwähnten Punkten hohe Potentiale zur Kostensenkung vorhergesagt. Somit würde es zu einer Steigerung der Logistikleistungen bei gleichzeitiger Kostensenkung kommen, was das Ziel eines jeden Unternehmens sein sollte. Diese Handlungsempfehlungen sind im Sinne der Nachhaltigkeit und Transparenz nicht nur in der Fertigung, sondern auch in den damit zusammenhängenden dispositiven Abteilungen zu verstehen. Um diese Reihe an Veränderungen durchzuführen, bedarf es eines ganzheitlichen Projekts, welches im Sinne des Changemanagement aufgebaut ist und die Unterstützung von allen Abteilungen und Hierarchiestufen erhält. Damit wäre ein weiterer Schritt in Richtung optimierter Fertigung getan.

Literaturverzeichnis

Bertalanffy, Ludwig von (1973): General Systems Theory – Foundations, Development, Applications. 4. Aufl., New York: George Braziller Inc. ISBN: 0-14-060004-3.

Biedermann, Hubert (2002): Prozessorientiertes Anlagenmanagement – Was Instandhaltung und Produktion von modernen Qualitätskonzepten lernen können. Köln: TÜV-Verlag GmbH. ISBN: 3-8249-0725-9.

Bossel, Hartmut (2004): Systeme, Dynamik, Simulation – Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt: Books on Demand GmbH. ISBN: 3-8334-0984-3.

Clausius, Rudolf (2006): Die Potentialfunktion und das Potential. 1. Aufl. [Reprint der Auflage von 1877], Saarbrücken: Vdm Verlag Dr. Müller. ISBN-13: 978-3865507532.

Doppler, Klaus; Lauterburg, Christoph (2005): Change Management – Den Unternehmenswandel gestalten. 11. Aufl., Frankfurt/Main: Campus Verlag. ISBN: 3-593-37808-6.

Eschenbach, Rolf (1996): Controlling. 2. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN: 3-7910-1078-6.

Flechtner, Joachim (1970): Grundbegriffe der Kybernetik – Eine Einführung. 5. Aufl., Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.

Foerster, Heinz von (1993): Kybernetik. Berlin: Merve Verlag. ISBN: 3-88396-111-6.

Foerster, Heinz von et al. (2006): Einführung in den Konstruktivismus. 9. Aufl., München: Piper Verlag. ISBN-13: 978-3-492-21165-9.

Fueglistaller, Urs et al. (2005): Entrepreneurship – Modelle-Umsetzung-Perspektiven mit Fallbeispielen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN: 3-409-12577-9.

Gastl, René (2005): Kontinuierliche Verbesserung im Umweltmanagement - Die KVP-forderung der ISO 14001 in Theorie und Unternehmenspraxis. 1. Aufl., Zürich: vdf Hochschulverlag AG. ISBN: 3-7281-3034-6.

Gollwitzer, Michael; Karl, Rudi (1998): Logistik-Controlling – Wirkungszusammenhänge-Leistung, Kosten, Durchlaufzeit und Bestände. München: Wirtschaftsverlag Langen Müller / Herbig. ISBN: 3-7844-7376-8.

Gutenberg, Erich (1976): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Band I: Die Produktion. 22. Aufl., Berlin: Springer Verlag. ISBN: 3-5400-5694-7.

Gutenberg, Erich (1983): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Band I: Die Produktion. 24. Aufl., Berlin: Springer Verlag. ISBN: 3-5400-5694-7.

Haken, Hermann (1981): Erfolgsgeheimnisse der Natur – Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. ISBN: 3421027242.

Hoitsch, Hans-Jörg (1985): Produktionswirtschaft – Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. München: Verlag Franz Vahlen GmbH. ISBN: 3 8006 1121 x.

Horváth, Péter (2003): Controlling. 9. Aufl., München: Verlag Franz Vahlen GmbH. ISBN: 3 8006 2992 5.

- Hoss, Klaus (1965): Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden. Würzburg: Physica-Verlag.
- Hummel, Thomas R. (1995): Controlling – Grundlagen und Instrumente. Heidelberg: Sauer-Verlag GmbH. ISBN: 3-7938-7130-4.
- International Group of Controlling (2001): Controller-Wörterbuch – Die zentralen Begriffe der Controllerarbeit mit ausführlichen Erläuterungen. 2. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN: 3-7910-1627-x.
- Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion (1990): Produktionsplanung. Heidelberg: Physica-Verlag. ISBN: 3-7908-0477-0.
- Klaus, Georg et al. (1976): Wörterbuch der Kybernetik. 4. Aufl., Berlin: Dietz Verlag.
- Klaus, Peter; Krieger, Winfried (1998): Gabler-Lexikon Logistik – Management logistischer Netzwerke und Flüsse. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN: 3-409-19502-5.
- Kostka, Claudia; Mönch, Annette (2006): Change Management – 7 Methoden für die Gestaltung von Veränderungsprozessen. 3. Aufl., München: Carl Hanser Verlag. ISBN: 3-446-40285-3.
- Küpper, Hans-Ulrich (2001): Controlling – Konzeptionen, Aufgaben und Instrumente. 3. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN: 3-7910-1808-6.
- Kurbel, Karl (1995): Produktionsplanung und -steuerung – Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. 2. Aufl., München: R. Oldenbourg Verlag GmbH. ISBN: 3-486-23178-2.
- Lödding, Hermann (2001): Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. ISBN: 3-18-358702-5.
- Lödding, Hermann (2005): Verfahren der Fertigungssteuerung. Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 3 5402 0232 3.
- Luhmann, Niklas (2004): Einführung in die Systemtheorie. 2. Aufl., Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag. ISBN: 3-89670-459-1
- Maxwell, James Clerk (2001): Theory of Heat. 9. Aufl. [Reprint von 1888], Mineola (NY): Dover Publications Inc. ISBN-13: 978-0486417356.
- Nakajima, Seiichi (1995): Management der Produktionseinrichtungen – Total Productive Maintenance. Frankfurt/Main: Campus Verlag GmbH. ISBN: 3-593-35164-1.
- National Institute of Standards and Technology: NP. URL: <<http://www.nist.gov/dads/HTML/np.html>> (Stand: 17.12.2007; Zugriff: 08.01.2008)
- Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans-Peter (2003): Logistische Kennlinien – Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 2. Aufl., Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 3-540-43700-2.
- Ossimitz, Günther; Lapp, Christian (2006): Das Metanoia-Prinzip: Eine Einführung in systemisches Denken und Handeln. Hildesheim, Berlin: Verlag Franzbecker. ISBN: 978-3-88120-422-4.
- Pawellek, Günther (2007): Produktionslogistik – Planung-Steuerung-Controlling. München: Carl Hanser Verlag. ISBN: 978-3-446-41057-2.
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle (1993): Das Paradox der Zeit – Zeit, Chaos und Quanten. München: Piper Verlag. ISBN: 3492111815.

- Reiß, Michael et al. (1997): Change Management – Programme, Projekte und Prozesse. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN: 3-7910-0947-8.
- Rücker, Thomas (2006): Optimale Materialflusssteuerung in heterogenen Produktionssystemen. 1. Aufl., Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. ISBN: 3 8350 0536 7.
- Rüger, Manfred (1974): Die Berücksichtigung reihenfolgeabhängiger Rüstzeiten bei der Reihenfolgeplanung. Inaugural-Dissertation, Universität zu Köln.
- Scherm, Ewald; Pietsch, Gotthard (2004): Controlling – Theorien und Konzeptionen. München: Verlag Franz Vahlen GmbH. ISBN: 3 8006 3129 6.
- Schönsleben, Paul (2000): Integrales Logistikmanagement – Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen. 2. Aufl., Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 3-540-66844-6.
- Simon, Fritz B. (2007): Einführung in die Systemtheorie und Konstruktivismus. 2. Aufl., Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag. ISBN: 978-3-89670-547-1.
- Wannenwetsch, Helmut (2006): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik – Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 3. Aufl., Berlin: Springer-Verlag. ISBN: 3 5400 0481 5.
- Weber, Jürgen (1995): Einführung in das Controlling. 6. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN: 7910 9206 5.
- Wiendahl, Hans-Peter (1987): Belastungsorientierte Fertigungssteuerung – Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung. München: Carl Hanser Verlag. ISBN: 3-446-14592-3.
- Zäpfel, Günther (1982): Produktionswirtschaft – Operatives Produktions-Management. New York: Walter de Gruyter. ISBN: 3-11-007450-8.