

Masterarbeit

**FLEXIBILISIERUNG DER PRODUKTION VON
ZERKLEINERUNGSMASCHINEN FÜR FESTE
ABFÄLLE UND HOLZIGE BIOMASSE**

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Ing. Franz Valentin Steinkellner, BSc.

1710322029

betreut und begutachtet von

FH-Hon.-Prof. DI (FH) Dr.techn. Vinzenz Sattinger

Graz, im November 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Franz Steinkellner".

Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.



Unterschrift

DANKSAGUNG

Meiner Familie möchte ich für die moralische und organisatorische Unterstützung während des gesamten Studiums danken. Ohne diese großartige Unterstützung wäre ein berufsbegleitendes Studieren in dieser Form für mich nicht möglich gewesen.

Meinem Vorgesetzten und Betreuer der Masterarbeit Herrn Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Zahrnhofer, möchte ich für die Möglichkeit danken, ein Thema aus dem Arbeitsumfeld der Abteilung Planung für diese Arbeit heranzuziehen und zu bearbeiten, sowie für seine persönliche Unterstützung während des gesamten berufsbegleitenden Studiums.

Meinen Kolleginnen und Kollegen bei der Komptech GmbH sowie meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. (FH) Dr. techn. Vinzenz Sattinger möchte ich für die persönliche und fachliche Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Im Vorfeld der Masterarbeit wurde über Kontakte der FH CAMPUS02 bei der Siemens PLM Software Niederlassung in Linz hinsichtlich der Möglichkeit einer Testlizenz für den Zeitraum der Masterarbeit und deren Inhalt angefragt, welche dankenswerterweise auch für einen Zeitraum von sechs Monaten in Form einer Professional Version gewährt wurde. Die Abwicklung und Bereitstellung der Software und Lizenzen sowie die Unterstützung in anwendungsspezifischen Fragen werden von der ACAM Systemautomation GmbH und deren Zweigniederlassung in Niklasdorf bei Leoben übernommen.

KURZFASSUNG

Das Produktionssystem von Komptech ist aktuell an den Seriennummern der produzierten Maschinen ausgerichtet, welche auch von Bedeutung für die ersten Arbeitsschritte der Maschinenproduktion sind. In diesem System kann auf Konfigurationsänderungen der Kunden nicht effizient reagiert werden. Darüber hinaus ist die Simulation der Produktionsstückzahlen mit den aktuellen Planungswerkzeugen nicht möglich und Vorhersagen bezüglich der Realisierung der geplanten Produktionsstückzahlen sind ungenau und umständlich.

Diese Masterarbeit behandelt den theoretischen Hintergrund von Produktstrukturen, Lean Production und Modularität. Die Definitionen werden verwendet, um das derzeitige Produktionssystem von Zerkleinerungsmaschinen bei Komptech zu beschreiben, und führen zu Methoden, um das aktuelle Produktionssystem in ein *Configure-to Order*-System (CTO-System) umzuwandeln. In einem solchen System befindet sich der Konfigurationspunkt der Maschine nahe am Liefertermin. Konfigurationsänderungen des Kunden können effizienter verarbeitet werden. Im zweiten Teil der Masterarbeit wird mit der Simulationssoftware *Siemens Tecnomatix Plant Simulation* ein Simulationsmodell der Produktionsanlage in Frohnleiten erstellt.

Berechnungen des Durchsatzes und der Lieferzeit mit oder ohne Maßnahmen zur Flexibilisierung zeigen, dass mit der Implementierung der entwickelten Methoden in das Produktionssystem und das Enterprise Resource Planning-System (ERP-System) eine erhebliche Reduzierung der Lieferzeit möglich ist. Das Simulationsmodell der Produktionsanlage gilt für den realen Produktionsstandort und kann angewendet werden, um zukünftige Szenarien der Produktion zu simulieren. Als Ergebnis eines Simulationsexperiments, bei dem die Flexibilisierungsmethoden implementiert werden, wird die Steigerung der Produktivität des Produktionssystems demonstriert.

ABSTRACT

The production system of Komptech is connected to serial numbers of the produced machines and of major importance among the first working steps of the machines' production. This fact is consequently not appropriate regarding customers' configuration changes. In addition to this the simulation of the production quantity is with the current planning tools not possible and forecasts regarding the realization of the planned production quantities are inaccurate and circumstantial.

This master thesis deals with the theoretical background of product structures, Lean Production and modularity. The definitions are used to describe the current production system of shredding machines at Komptech and lead to methods to change the current production system to a *Configure-to-Order* system (CTO-system). In such a system the configuration point of the machine is close to the delivery date and customer configuration changes can be processed more efficiently. In the second part of the master thesis a simulation model of the production plant at Frohnleiten is generated with the simulation software *Siemens Tecnomatix Plant Simulation*.

Calculations of the throughput and delivery time with or without actions for flexibilization manifest that with the implementation of the developed methods in the production system and Enterprise Resource Planning system (ERP-System) a significant reduction of the delivery time is possible. The simulation model of the

production plant is valid to the real production site and can be applied to simulate future scenarios of the production. As a result of one simulation experiment where the methods for flexibilization are implemented, the increase of the production system's productivity is demonstrated.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Unternehmensbeschreibung Komptech GmbH.....	1
1.2	Abteilung Planung.....	2
1.3	Ausgangssituation	3
1.4	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	3
2	Planungsumfeld.....	4
2.1	ERP-System	4
2.2	Produktstruktur.....	7
2.2.1	F-Artikel.....	8
2.2.2	SET-Artikel.....	9
2.3	Modularität	10
2.3.1	Ursachen und Beweggründe	10
2.3.2	Allgemeines	11
2.3.3	Unterschiedliche Auffassungen und Sichten zur Modularität	11
2.3.4	Definition der Modularität.....	14
2.3.5	Potenziale modularer Produktstrukturen	15
2.3.6	Mögliche Risiken und Konflikte der Modularisierung.....	18
2.3.7	Modularität bei der Komptech GmbH	19
3	Theoretische Grundlagen der Produktion	20
3.1	Stücklistenstrukturen	20
3.1.1	Mengenübersichts-Stückliste.....	20
3.1.2	Struktur-Stückliste.....	21
3.1.3	Varianten-Stückliste.....	21
3.1.4	Baukasten-Stückliste	21
3.1.5	Unterscheidung nach Verwendungszweck.....	21
3.2	ERP-Planungsstrategien	22
3.2.1	Vorplanung.....	22
3.2.2	Fertigungsarten.....	23
3.2.3	Planungsstrategien	26
3.3	Grundbegriffe der Fertigung und Montage	27
3.3.1	Montage	27
3.3.2	Fertigungsarten.....	29
3.3.3	Lieferzeit	31
3.3.4	Durchlaufzeit.....	31
3.4	Lean Production.....	33
3.4.1	Elemente und Regeln von Lean Production	33
3.4.2	Lean Production bei der Komptech GmbH.....	34
3.4.3	Flexible Produktion	35
3.5	Grundlagen der Digitalen Fabrik und Anwendungsmöglichkeiten.....	38

3.5.1	Nutzen der Digitalen Fabrik	39
3.5.2	Der Modelbegriff	40
3.5.3	Simulationsmethoden	40
4	Maßnahmen zur Flexibilisierung von Zerkleinerungsmaschinen	43
4.1	Ist-Zustand Produktionssystem von Zerkleinerungsmaschinen	43
4.1.1	Produktionsbedarfsplanung	43
4.1.2	Bedeutung der Seriennummer.....	44
4.1.3	Maschinenstücklistenanlage und Maschinenanteil Slowenien	46
4.1.4	Kunden- und Fertigungsauftragsanlage	48
4.1.5	Fertigungsschritte bei der Produktion von Zerkleinerungsmaschinen.....	50
4.1.6	Kundenauftragsunabhängige Produktion von Baugruppen bzw. Modulen	56
4.2	Erarbeitung der Maßnahmen für flexiblere Maschinenproduktion.....	58
4.2.1	Nutzung von Modularitäten.....	58
4.2.2	Anpassungen ERP-Systemstrukturen	60
4.2.3	Anpassungen Materialstücklistenanlage	63
4.2.4	Angepasste Modulmontage der Zerkleinerungseinheiten	63
4.2.5	Vormontage der Motormodule mit Zwischenlagerung.....	66
4.2.6	Theoretische Auftragsdurchlaufzeit und Lieferzeit	68
4.2.7	Vorgehensweise hinsichtlich Implementierung der Maßnahmen	69
4.2.8	Risiken der Maßnahmen.....	69
4.2.9	Abgewandelte Formen der Umsetzung der Maßnahmen	70
4.2.10	Vorteile der Maßnahmen zur Flexibilisierung	71
5	Simulationsmodellerstellung für die Endmontage am Standort Frohnleiten	73
5.1	Aktuelles Vorgehen bei der Produktionsplanung.....	73
5.2	Modellerstellung.....	74
5.3	Erstsimulation und Modellvalidierung	79
5.3.1	Simulation	79
5.3.2	Validierung.....	80
5.4	Analyse der Simulationsergebnisse und Simulationsversuche	82
5.4.1	Simulationsversuch: Reduktion von Bearbeitungszeiten an Ein- und Ausgangsstation	82
5.4.2	Simulationsversuch: Stückzahlsteigerung für das Geschäftsjahr 2018.....	83
5.4.3	Simulationsversuch: Maßnahmen zur Flexibilisierung aus Unterkapitel 4.2	85
5.4.4	Simulationsversuch: 10 Montageplätze und gleicher Konfiguration wie in Abschnitt 5.4.2 ..	86
5.4.5	Simulationsversuch: 10 Montageplätze mit Puffer	89
6	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick.....	90
6.1	Ergebnisse Simulationsmodell Endmontage	90
6.2	Ergebnisse Flexibilisierung der Maschinenproduktion	90
6.3	Ausblick.....	91
6.3.1	Flexibilisierung der Maschinenproduktion	91
6.3.2	Simulationsmodell der Endmontage.....	91
	Literaturverzeichnis	92
	Abbildungsverzeichnis.....	93

1 EINLEITUNG

1.1 Unternehmensbeschreibung Komptech GmbH

Die Komptech GmbH mit Hauptsitz in Frohnleiten (Österreich) ist ein weltweit führender Anbieter von Maschinen und Anlagen für die mechanische und biologische Behandlung von festen Abfällen und Holziger Biomasse. Das Produktportfolio umfasst über 30 Typen von Maschinen aus den Bereichen „Zerkleinerungstechnik“, „Kompostierung“, „Siebtechnik“ und „Separation“.

Neben dem Stammsitz in Frohnleiten, wo das Kompetenzzentrum für Zerkleinerungstechnik angesiedelt ist, gibt es noch wichtige Tochterunternehmen bzw. Produktionsstandorte in Ljutomer (Slowenien), sowie in Oelde (Deutschland).

Im Werk Oelde ist das Kompetenzzentrum für Siebtechnik und Separation angesiedelt. Am Produktionsstandort in Ljutomer werden Komponenten wie Maschinenrahmen, Zerkleinerungseinheiten, sowie diverse Stahlbauteile für die Endmontage der Zerkleinerungsmaschinen am Standort in Frohnleiten produziert. Des Weiteren wird der Maschinentyp TOPTURN (Kompostmietenumsetzmaschine) mit all seinen Varianten vollständig am Standort in Slowenien produziert.

Daneben firmiert am Standort in Ljutomer noch das Landtechnikunternehmen Farmtech, welches auf die Herstellung von Kippern und Stallungstreuern spezialisiert ist und die Produktionsressourcen des Produktionsstandortes gleichberechtigt nutzt. Im obersteirischen St. Michael befindet sich das Komptech Research Center, wo Neuentwicklungen, Erprobungen und Prototypenmontagen durchgeführt werden.

Am Stammsitz der Komptech-Gruppe in Frohnleiten findet die Endmontage der Zerkleinerungsmaschinen der Typen CRAMBO, TERMINATOR und AXTOR statt. Unter Endmontage wird in diesem Zusammenhang die mechanische, hydraulische, sowie die elektrische Montage der Maschinen ebenso verstanden, wie der finale Endcheck der Maschinen vor der Auslieferung zum Händler respektive Kunden.

Bei den Produkten CRAMBO und TERMINATOR handelt es sich um langsam laufende Zwei- bzw. Einwellenzerkleinerer, welche je nach Ausstattung ein Maschinengewicht von bis zu 28 t erreichen. Diese Maschinen werden für die Zerkleinerung von Abfällen, wie Restmüll, Sperr/Gewerbemüll, Baumischabfälle, Reifen und Holziger Biomasse, eingesetzt. Die Maschinen arbeiten mit einer Arbeitsdrehzahl der Zerkleinerungswalzen von 5 bis 50 min⁻¹. Die AXTOR-Produktlinie zählt zu den schnell laufenden Zerkleinerern und wird für das Hacken bzw. Schreddern von Stammholz, Waldrestholz, Grünschnitt und Altholz eingesetzt. Die Maschinen arbeiten mit einer Arbeitsdrehzahl von 400 bis 800 min⁻¹.

Die Maschinentypen unterteilen sich grundsätzlich in zwei Gruppen, nämlich mobile Maschinen und stationäre Maschinen. Die Mobilmaschinen werden von Dieselmotoren unterschiedlicher Leistungs- und Abgasstufen angetrieben und verfügen grundsätzlich über die Mobilität „Hook“ (Wechselldersystem), „Track“ (Raupenlaufwerk) oder „Trailer“ (Anhängerarbeitsmaschine). Als Stationärmaschinen werden jene Maschinen bezeichnet, die ortsfest montiert und eingesetzt werden und deren Antriebsleistung von Drehstromasynchronmotoren bereitgestellt wird. Diese Maschinentypen gibt es ausschließlich als Langsamläufer. Bei diesen Projekten handelt es sich um Zerkleinerungsanlagen, die meist in Verbindung mit Förder-

technik und vor- und nachgelagerten Aufbereitungsstufen in Großanlagen zur Behandlung von festen Abfällen und holziger Biomasse zum Einsatz kommen und, hauptverantwortlich vom Komptech-Anlagenbau-büro mit Sitz in Wien, betreut werden.



Abb. 1.1: CRAMBO 5200 ec direct der Komptech-Produktlinie CRAMBO, Quelle: Komptech GmbH.

1.2 Abteilung Planung

Die Aufgaben der Abteilung Planung der Komptech GmbH am Standort Frohnleiten liegen vor allem im Bereich der Fertigungssteuerung für die Standorte Frohnleiten und Ljutomer.

Bestandteil dessen ist die Produktionsgrobplanung, die Fertigungsauftragsanlage, Materialdisposition im Fertigungsverbund Österreich-Slowenien, der Bereich des Änderungsmanagements, sowie, dem übergeordnet, die Produktionsbedarfsplanung anhand eines Sales & Operations Forecasts. Die Abteilung stellt die direkte Schnittstelle des Bereiches Operations mit dem Sales Department dar und ist in diesem Zusammenhang auch für die Auftragsabwicklung von Maschinenaufträgen, technische Klärungen und Lieferterminaussagen verantwortlich.

Als weiterer Tätigkeitsbereich gilt die Stationärtechnik bzw. Systemtechnik, in deren Rahmen von Mitarbeitern der Planungsabteilung technische Klärungen, Projektmanagementaufgaben und technische Konzepte für Stationärtechnikprojekte durchgeführt bzw. erarbeitet werden.

1.3 Ausgangssituation

Die Fertigung von Zerkleinerungsmaschinen bei Komptech wird derzeit bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt mit maschinentypenspezifischen Seriennummern gesteuert, was zum einen die Fertigung auf definierte Maschinentypen schon sehr früh einschränkt und zum anderen wenig Flexibilität für den Vertrieb bei der Änderung der Maschinenkonfiguration bietet. Eine Änderung von Maschinentypen und Maschinenkonfigurationen ist derzeit relativ aufwändig, da beginnend beim Kundenauftrag bis hin zu Fertigungsaufträgen auf Einzelteilebenen eine manuelle Anpassung notwendig ist. Durch diesen Umstand wird die Gesamtdurchlaufzeit eines Kundenauftrages auch verlängert. Dies ist ein Aspekt, der sowohl bei hohem als auch bei niedrigem Auftragseingang, respektive Lagerfertigung, die Flexibilität stark einschränkt.

Derzeit wird die Produktion am Standort in Frohnleiten mit Hilfe von MS-Excel bzw. einer Webanwendung geplant. Hiermit werden auch Aussagen über mögliche künftige Produktionsstückzahlen getroffen. Dies ist relativ ungenau. Umgebungseinflüsse können nur bedingt berücksichtigt werden.

1.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Untersuchungsinteresse der Arbeit ist es, die notwendigen Adaptionen des derzeitigen Ablaufes zu erarbeiten beziehungsweise zu prüfen, welche notwendig sind, um den Zeitpunkt zur Spezifizierung der Maschinen auf den Montagebeginn der Endmontage in Frohnleiten zu verlegen und die vorgelagerten Produktionsschritte zu anonymisieren. Dies beinhaltet die Stücklistenstrukturen, die Abläufe im ERP-System, sowie die Erarbeitung eines Simulationsmodelles der Montage in Frohnleiten, um die Auswirkungen von Ablaufänderungen schnell und in mehreren Durchläufen prüfen und simulieren zu können.

Die Zielsetzung der Arbeit ist es, eine Aussage zu treffen, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um den Zeitpunkt zur Spezifizierung der Maschinen laut Kundenauftrag so weit wie möglich und sinnvoll nach hinten zu verschieben. Dies soll zum einen durch die Nutzung der teilweise bereits vorhandenen modularen Produktstruktur bei Komptech, und zum anderen durch das Ausnutzen von vorhanden ERP-Systemstrukturen, ermöglicht werden. Dadurch soll einerseits die Flexibilität bei der Abarbeitung von Kundenaufträgen gesteigert werden, andererseits die Maschinendurchlaufzeit bzw. Kundendurchlaufzeit von der Beauftragung bis hin zur Auslieferung verringert werden.

Die Schaffung eines Simulationsmodelles, mit dem die Montageabläufe am Standort in Frohnleiten simuliert werden können, stellt ein weiteres Ziel dieser Arbeit dar. Für die Erstellung des Simulationsmodelles wird in dieser Arbeit die Software *Technomatrix Plant Simulation* genutzt.

2 PLANUNGSUMFELD

2.1 ERP-System

ERP ist ein Akronym für „Enterprise Resource Planning“ und bedeutet übersetzt „Unternehmensressourcenplanung“. Mit Unternehmensressourcen sind hierbei Material, Maschine, Mensch, Finanzen und Information gemeint.

ERP-Systeme dienen zur Steuerung und Überwachung von Produktionsabläufen und unterstützen den Nutzer bei den damit einhergehenden material- und produktionswirtschaftlichen Entscheidungen.¹

Geschichtlich beginnt die Entwicklung der ERP-Systeme bei den MRP-Systemen (Material Requirement Planning) in den sechziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts, welche zur Planung von Produktionsmaterialien, wie Rohmaterial, Zukaufteilen, Halbfertigwaren, Baugruppen usw., dienen. In den 1970er Jahren entwickelten sich sogenannte MRP II-Systeme, wobei MRP hier nun für Manufacturing Resource Planning stand und die Ressourcen Mensch und Maschine in den Planungen mitberücksichtigte. Die nächste Stufe bildeten die Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssysteme, kurz PPS, welche durch Steuerungsfunktionalitäten ergänzt wurden und durch Rückmeldedaten aus den Produktionsbereichen den Abarbeitungsstatus von Aufträgen transparent darstellten.²

Der heutige Stand der Technik wird durch die ERP-Systeme gebildet, welche der Produktion vor- und nachgelagerte Prozesse, wie Vertrieb, Einkauf, Finanz, Logistik und Schnittstellen zu anderen Systemen, integriert haben. Wesentlicher Nutzen dieser Systeme ist, dass durch das konsolidierte Datenvolumen dieser Systeme eine Datenbasis entsteht, welche Auskunft über die gesamten betrieblichen Abläufe eines, z.B. produzierenden Unternehmens, geben kann und somit eine wichtige Entscheidungsunterstützung auf allen Ebenen des Unternehmens bietet und transparent alle Unternehmensprozesse darstellt.³

ERP-Systeme sind mittlerweile in allen Branchen wie z.B. Maschinenbau, Autoindustrie, Pharmaunternehmen, Dienstleistungs- und Gesundheitsunternehmen im Einsatz. Der Verbreitungsgrad der Systeme in Industrieunternehmen ab ca. 1000 Beschäftigten liegt bei nahezu 100 %. Sie gehören in vielen Unternehmensbereichen zum täglichen Arbeitswerkzeug. Die Vielzahl von Softwaremodulen für jeden relevanten Funktionsbereich im Unternehmen werden in Abb. 2.1, am Beispiel des ERP-Systems SAP R/3[®], dargestellt.⁴

Das ERP-System SAP R/3 findet auch bei der Komptech GmbH an allen Produktionsstandorten Anwendung und bildet daher das Rückgrat der Fertigungssteuerung und Produktionsbedarfsplanung für die einzelnen Standorte bzw. wird auch standortübergreifend für die Steuerung und Planung eingesetzt.

¹ Vgl. Bauer (2014), S. 8.

² Vgl. Osterhage (2014), S. 3.

³ Vgl. Osterhage (2014), S. 4.

⁴ Vgl. Bauer (2014), S. 8 f.

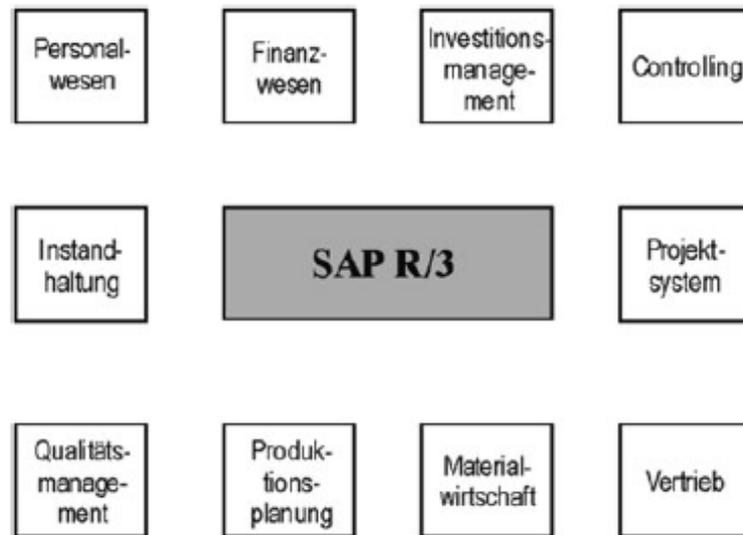


Abb. 2.1: Module des SAP R/3®, Quelle: Bauer (2014), S. 9.

Die einzelnen Module des Systems greifen auf einen umfangreichen Datenbestand zu, welcher aus Stammdaten und Bewegungsdaten besteht. Für die Einsatzbereitschaft beziehungsweise Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit des ERP-Systems ist ein aktueller und möglichst vollständiger Datenbestand unerlässlich. Der Pflege dieser Daten kommt deshalb eine außerordentliche Bedeutung für die Qualität der betrieblichen Abläufe zu. Beispiele für Stammdaten sind der Materialstamm, die Stückliste, der Arbeitsplatz, Arbeitsplan-, Kunden- und Lieferantenstamm.⁵

Der Stammdatenpflege kommt auch bei Komptech, wie oben allgemein beschrieben, eine besondere Bedeutung zu. Diese wird durch Mitarbeiter der Planungsabteilungen an den jeweiligen Standorten durchgeführt und erst durch die korrekte und vollständige Pflege dieser Daten ist eine Disposition bzw. Fertigung der Materialien möglich. Aus der Qualität einzelner Stammdatensätze ergeben sich zusammengefasst auch Stammdaten bzw. Dispositionsdaten für übergeordnete Baugruppen, die diese Materialien enthalten. Wenn in diesem Zusammenhang Datensätze falsch oder unvollständig sind, ist eine korrekte Disposition von Baugruppen oder Produkten nicht möglich, wie die bisherige Erfahrung im Unternehmen, seit der Einführung des Systems im Jahr 2014, gezeigt hat.

ERP-Systeme besitzen eine gemeinsame zentrale Datenbank, welche einen unternehmensbereichsübergreifenden Zugriff auf Stammdaten ermöglicht. Bei den ersten ERP-Systemen war dies eine physisch zentrale Datenbank. Aktuell basieren die Systeme jedoch auf einem Client-Server-Modell, d.h. auf einem verteilten und meistens skalierbaren System. An den Kern des ERP-Systems können die unterschiedlichen Module angehängt werden und dadurch die Funktionalität des Systems erweitern. Es ist somit möglich, dass Betriebe, die kein Modul für den Kundendienst oder das Qualitätsmanagement benötigen, dieses einfach ersatzlos streichen. Die in den Modulen erstellten Daten, welche in den Datenbanken abgelegt werden, sollen in alle Prozesse des Unternehmens eingebunden werden können. Zu diesem Zweck besitzt

⁵ Vgl. Bauer (2014), S. 9 f.

ein ERP-System eine Workflowkomponente. Mit dieser werden die Prozesse verwaltet, gesteuert und ausgeführt. Die Prozesse müssen zuvor von der Implementationskomponente erstellt werden. Diese Implementationskomponente ist für das Customizing von ERP-Funktionen und -Daten ebenso verantwortlich, wie für die Administrierung des Systems.⁶

In Abb. 2.2 ist die Einordnung des ERP-Systems in Form einer schematischen Übersicht in der IT-Landschaft eines Unternehmens dargestellt.

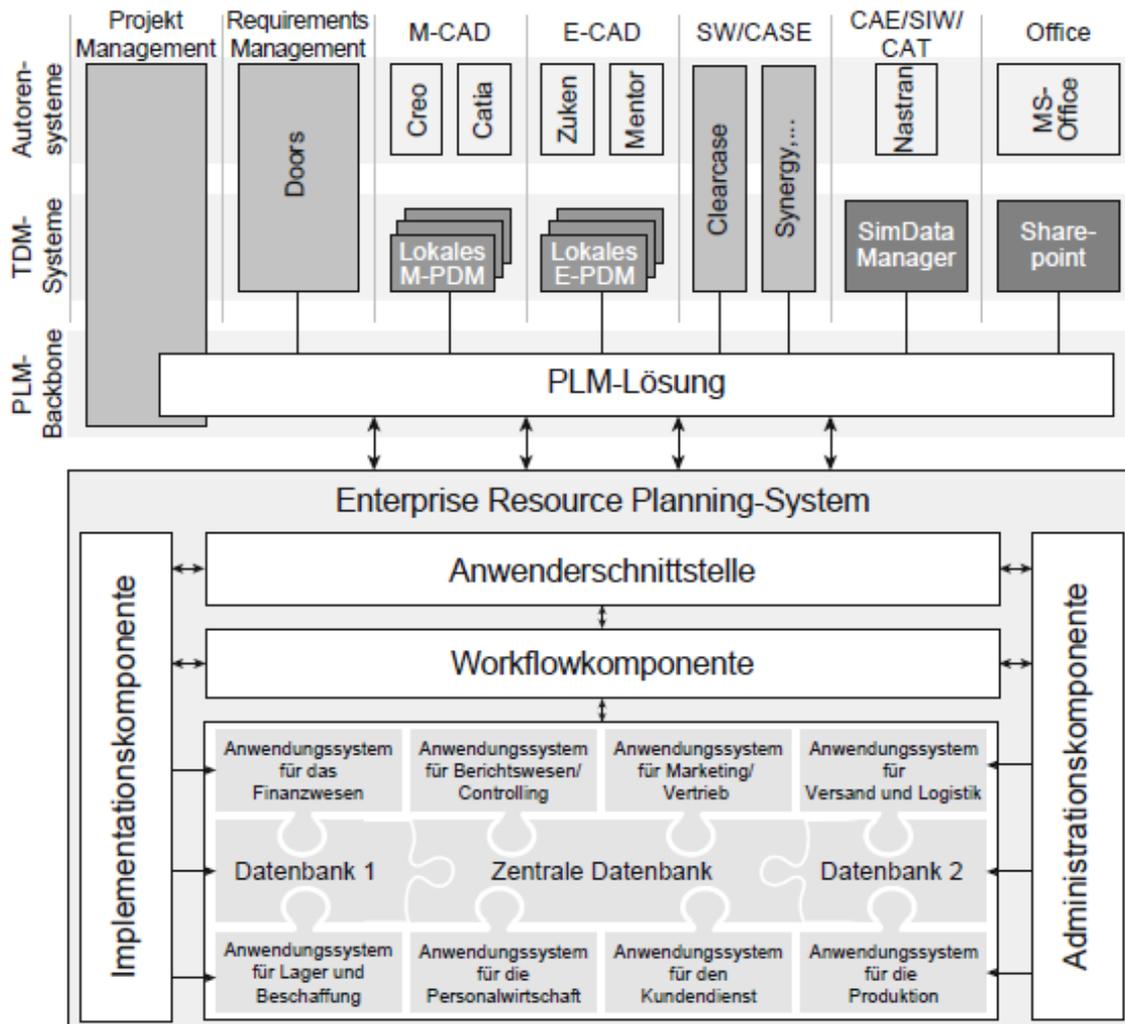


Abb. 2.2: Einordnung von ERP in die IT-Landschaft eines Unternehmens, Quelle: Osterhage (2014), S. 311.

Bei Komptech sind die Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemen grundsätzlich gleich aufgebaut, wie in Abb. 2.2 visualisiert. Die Anlage von Komponentendaten erfolgt grundsätzlich in der Konstruktion, wo ein, der CAD-Software zugeordnetes, PDM-System die Daten über eine Schnittstelle in das PLM-System überträgt und in weiterer Folge das PLM-System die Daten in das ERP-System überträgt. Dem nachgelagert ist der Prozess der Stammdatenpflege in der Planungsabteilung und abschließend die Dispositions- bzw. Fertigungsfreigabe.

⁶ Vgl. Osterhage (2014), S. 312.

2.2 Produktstruktur

Im folgenden Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen von Produktstrukturen, sowie die aktuelle Umsetzung bei Komptech behandelt. Diese Inhalte bilden die Basis für die Maßnahmen zur Flexibilisierung.

„Die Produktstruktur beschreibt die physische, hierarchische Zusammensetzung eines Produktes aus seinen Komponenten und deren physischen Beziehungen. Innerhalb der Produktstruktur sind in Baugruppen weitere Einzelteile und (Unter-) Baugruppen auf tieferer Ebene zusammengefasst“⁷ (siehe Abb. 2.3).

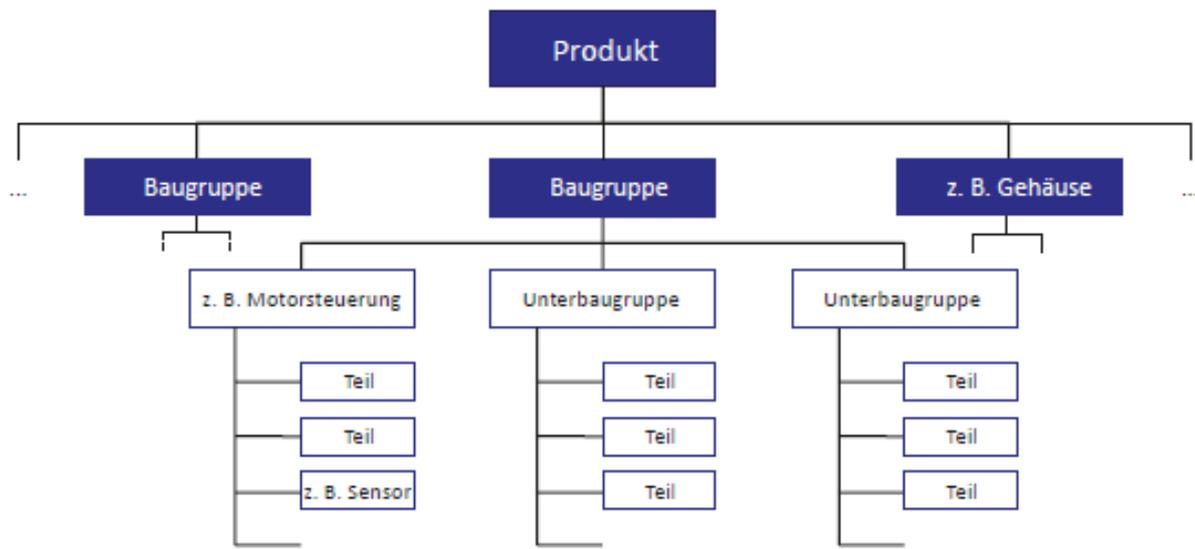


Abb. 2.3: Prinzipielle Einteilung einer Produktstruktur, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 79.

In der Produktentwicklung wird die Produktstruktur mit Hilfe von Strukturstücklisten und im Produktdatenmanagement festgelegt. Diese legen somit den hierarchischen Produktaufbau fest. Die Gestaltung der Produktstruktur beeinflusst die nachfolgenden Lebensphasen des Produktes stark, wie den Einkauf oder die Produktion. Der Ablauf der Montage wird zum Beispiel durch die gebildeten Baugruppen bereits prägend mitbeeinflusst. Für die Variantenbildung von Produkten ist der Aufbau der Produktstruktur ebenfalls ein entscheidendes Kriterium, da eine überlegte Strukturierung die Variantenkonfiguration vereinfacht und erfahrungsgemäß deutlich weniger Aufwand generiert als die Variantenkonstruktion.⁸

Ziele der Produktstruktur:

- Einfache Fertigung des Produktes
- Hoher Anteil wiederverwendbarer Komponenten/hoher Gleichteilanteil
- Möglichst kundenneutrale bzw. anonyme Fertigung bis in die oberen Produktstrukturebenen
- Abbildung des Produktes in den Unternehmensstrukturen respektive Systemen wie PDM- und ERP-System

⁷ Krause/Gebhardt (2018), S. 79.

⁸ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 79.

Die Produktstruktur bildet somit die Hauptplanungsbasis eines Unternehmens.⁹

Die unterschiedlichen Sichten auf ein Produkt innerhalb der unterschiedlichen Abteilungen und Bereiche eines Unternehmens würden bereichsspezifische Produktstrukturen erfordern, da jeder Bereich Interesse an unterschiedlichen Eigenschaften des Produktes hat. Für die Entwicklung und Konstruktion sind die zu erfüllenden Funktionen des Produktes relevant, während für den Einkauf die Bauteile, Komponenten und Halbzeuge interessant sind, die eingekauft werden müssen. In der Fertigung und Montage sind wiederum die notwendigen Fertigungsoperationen zur Herstellung des Produktes und die mögliche Montagereihenfolge der Teile von Bedeutung. In der Praxis entsteht die aktive Produktstruktur daher in enger Kooperation zwischen Konstruktion und Fertigung und stellt normalerweise einen Kompromiss zwischen den Interessen der Konstruktion, jenen der Fertigung, wenig Dokumentationsaufwand und einer einfachen Fertigungssteuerung dar.¹⁰

Die Produktstruktur bei Komptech gliedert sich beginnend bei der Komponentenartikelnummer in Baugruppenstücklisten, F-Artikel und abschließend in SET-Artikel. Die Kombination aus F-Artikeln und SET-Artikeln bilden vollständige Maschinen ab. Die Festlegung dieser Artikelnummern erfolgt nach einem vorgegebenen Schlüssel, welcher eine Zuordnung zu Teilekategorien, Baugruppen und schließlich Maschinentypen ermöglicht.

2.2.1 F-Artikel

Der Fertig-Artikel (F-Artikel) bildet den Kopf einer Stückliste ab, welcher darunterliegend aus Baugruppen und Komponenten besteht und eine für den Vertrieb relevante Maschinenoption oder Zusatzausstattung darstellt. In Abb. 2.4 ist ein solcher F-Artikel ersichtlich. Es handelt sich hierbei um die Mobilitätsoption eines Raupenlaufwerkes. Ein F-Artikel kann in einer Maschinenkonfiguration mehrfach oder aber auch in mehreren unterschiedlichen Maschinentypen vorkommen. Im Wesentlichen finden sich alle F-Artikel in der Produktpreisliste bzw. im Maschinenkonfigurator wieder und werden durch diese aufgebaut.

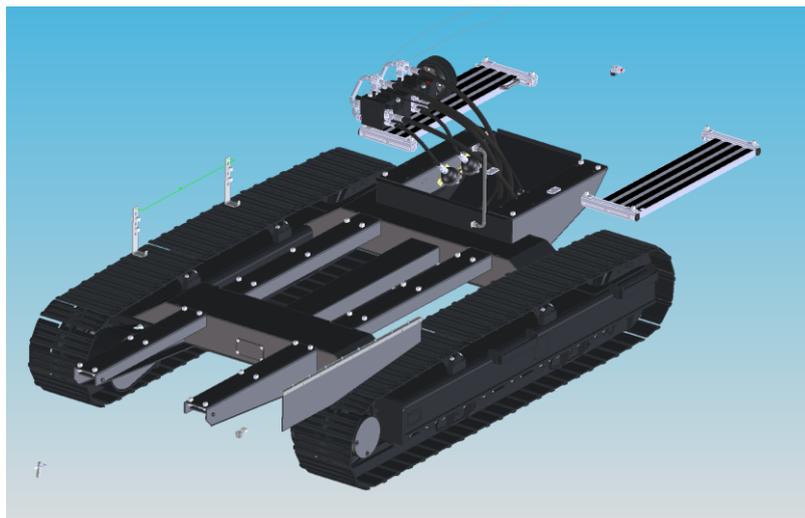


Abb. 2.4: FMZ1012 – Track-Fahrgestell, Quelle: Eigene Darstellung.

⁹ Vgl. Feldhusen (2015), Online-Quelle [05.08.2018]

¹⁰ Vgl. Feldhusen (2015), Online-Quelle [05.08.2018]

2.2.2 SET-Artikel

Der SET-Artikel ist eine Zusammenstellung von F-Artikeln, die eine definierte Maschinentypenvariante darstellen. Diese Zusammenstellung lässt sich mit diversen optionalen Artikeln erweitern und bildet zusammen mit diesen eine vollständige und funktionsfähige Maschine ab. Der SET-Artikel bildet hierfür das Grundgerüst wie auch die Basis und beinhaltet in seiner Stückliste alle F-Artikel, die eine Maschinentypenvariante eindeutig abbilden, wie z.B. den Grundmaschinenrahmen eines Maschinentyps, welcher für alle Varianten des Maschinentyps gleich ist und das Antriebsmodul, welches die Maschinentype in unterschiedliche Leistungsvarianten gliedert. In der Regel erfolgt die Festlegung des SET-Artikels bis zu dem Grad, an dem eine Maschine im Feld nicht mehr verändert werden kann. Dementsprechend ohne eine Zerkleinerungseinheit, denn diese könnte nach Auslieferung der Maschine getauscht werden, ebenso wie eine Maschine eine andere Mobilität erhalten kann. Die SET-Artikel-Struktur wurde zuerst im Zuge der Modularisierung der Maschinenkonstruktion für variantenreiche Maschinentypen eingeführt und in Folge der Produktionsplanung mit SAP auf alle Maschinentypen übertragen, da sich hierdurch diverse Vorteile ergeben, auf die im nachfolgendem Kapitel eingegangen wird.

Die in Abb. 2.5 dargestellten F-Artikel FCRG2 (CRAMBO), FCR1G2 (CRAMBO Diesel spezifisch), FCRHG2 (Hydraulischer Antrieb), FMH50 (Hydraulischer Antrieb 5000) und FMC13T4FG2 (Motormodul C13 T4f) bilden zusammen den SET-Artikel FCRS50H4FG2, welcher die Maschinentypenvariante CRAMBO 5000 Diesel hydraulisch T4f im ERP-System abbildet.

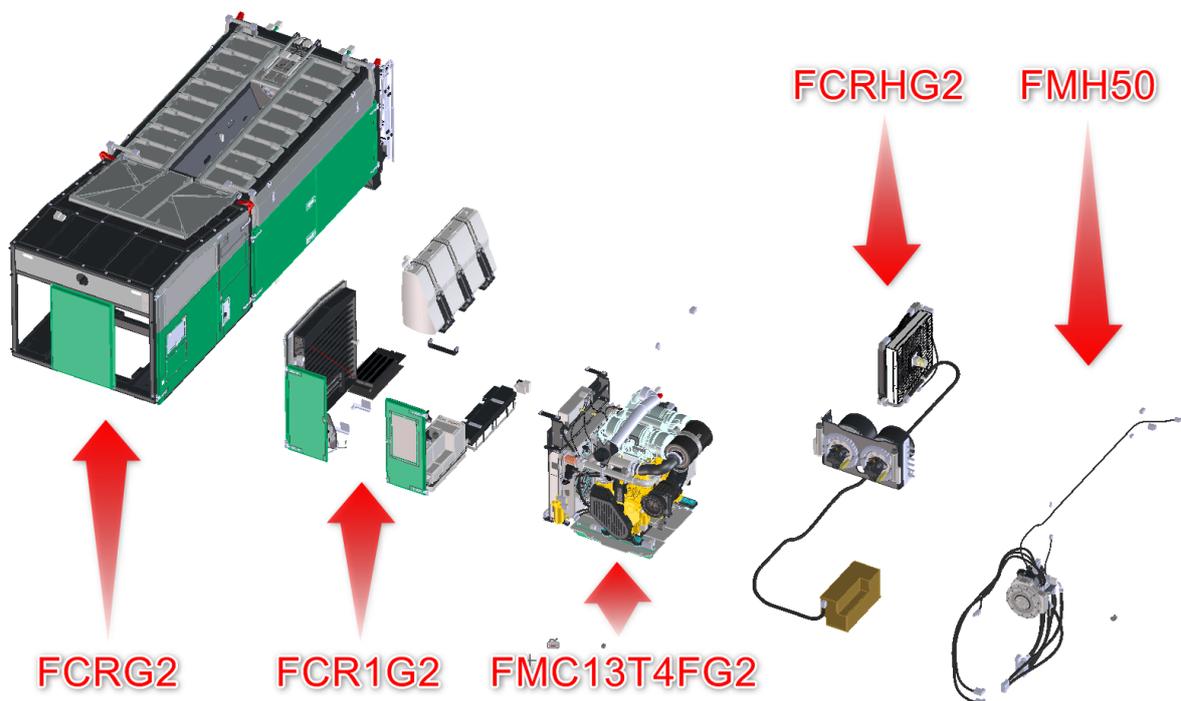


Abb. 2.5: Beispiel SET-Artikel FCRS50H4FG2, Quelle: Eigene Darstellung.

2.3 Modularität

In diesem Unterkapitel werden zunächst die theoretischen Hintergründe der Modularität von Produkten und die Beweggründe für die Umsetzung derselben erläutert, bevor auf die Umsetzung im Unternehmen eingegangen wird.

2.3.1 Ursachen und Beweggründe

Zusätzlich zur funktions- und fertigungsgerechten Konstruktion wird immer häufiger die Frage nach der „logistikgerechten Konstruktion“ gestellt. Hierbei gilt es, während des Produktentwicklungsprozesses die logistischen Zielgrößen der Produktionslogistik bezüglich

- Durchlauf- und Lieferzeit,
- Kosten (Transport-, Lager-, Auftragsabwicklungskosten) und
- Bestände (Kapitalbindung)

zu optimieren.¹¹ „Die Forderung nach kundenindividuellen Produktausprägungen, der technische Fortschritt, die kürzer werdenden Produktlebenszyklen sowie die Notwendigkeit im internationalen Wettbewerb unterschiedliche Landesausführungen anzubieten, führen zu einer stark ansteigenden Vielfalt auf der Produkt- und Teileebene. Die Erhöhung der Produkt- und Teilevielfalt stellt höhere Anforderungen an die Effizienz der Logistik in Beschaffung, Materialfluss, Fertigung, Montage und Distribution.“¹²

Als Ursachen für diese Vielfalt können grob markt- und unternehmensbedingte Ursachen unterschieden werden:

Marktbedingte Ursachen sind z.B.

- Wettbewerbsdruck (100-prozentige Abdeckung individueller Kundenwünsche etc.),
- Internationalisierung und
- steigende Ansprüche der Kunden.

Unternehmensbedingte Ursachen sind z.B.

- Informationsdefizite und
- keine verursachungsgerechte Kostenbewertung von Varianten.

Um diese Produkt- und Teilevielfalt zu reduzieren, müssen Produktelemente eliminiert bzw. substituiert werden. Diese Reduzierung kann mit Hilfe folgender Maßnahmen durchgeführt werden:

- Streichung von Produktelementen
- Vereinheitlichung von Produktelementen und Schnittstellen

¹¹ Vgl. Pawellek (2007), S. 42 f.

¹² Pawellek (2007), S. 46.

- Bildung von Ausstattungspaketen
- Modularisierung¹³

2.3.2 Allgemeines

Die Modularisierung beschäftigt sich mit der gezielten Entwicklung einer modularen Produktstruktur durch die, nach verschiedenen Gesichtspunkten bestimmte, Zusammenfassung von Komponenten eines Produktes in Module. Hiermit können große Potenziale zur Vereinfachung in allen Prozessen des Unternehmens erzielt werden. Das Ziel der Modularisierung ist hierbei, Einsparungseffekte durch die Entwicklung einer modularen Produktstruktur zu erreichen und damit auch die unternehmensinterne Komplexität zu senken, sowie wesentliche Vorteile und Einsparungseffekte für alle Produktlebensphasen zu generieren. Die Modularität selbst stellt eine abstrakte Eigenschaft der Produktstruktur dar und ist in unterschiedlichen Bereichen und Disziplinen der Industrie und Wissenschaft mit teilweise unterschiedlichen Bedeutungen in Verwendung. Die Beweggründe für die Modularisierung von Produkten werden als Modultreiber bezeichnet.¹⁴

2.3.3 Unterschiedliche Auffassungen und Sichten zur Modularität

Sicht der Koppelung, Entkoppelung und Schnittstellen

Hierbei handelt es sich um die am weitesten verbreitete Sicht auf die Modularität. Ein Modul wird bei dieser Sichtweise als Menge von (System-) Komponenten gesehen, die deutlich stärker miteinander gekoppelt sind als mit anderen Komponenten des Systems.¹⁵

„Die Entkoppelung von Modulen eines Produktes beschreibt den Zustand einer Produktstruktur, in der die Module wenig voneinander abhängig sind. Die Abhängigkeit kann dabei in strukturellen Verbindungen bestehen, aber auch durch Informations-, Material- oder Energieaustausch gegeben sein. Die Entkopplung von Modulen ist eine Eigenschaft der Modularität. Module basieren auf Entkopplung, da erst durch die Konzentration von Kopplungen innerhalb eines Moduls (intramodular) und dessen Entkopplung vom Rest der Produktstruktur Module (intermodular) entstehen.“¹⁶

Die Kopplungsarten können dabei physische Verbindungen zwischen den Komponenten, wie z.B. Verschraubungen zur Realisierung eines Kraftflusses, sein. Es können jedoch auch der Austausch von Stoffen, Informationen oder Energie bei der Betrachtung der Kopplungsart relevant sein. Die Kopplungsintensität wird durch die Anzahl und Art der Kopplung beschrieben. Ebenso kann diese durch technische Größen, wie übertragene Kräfte oder Leistungen, beschrieben werden. Andere Herangehensweisen gehen von potenziellen Änderungsauswirkungen als Kriterium für die Kopplungsintensität aus. Umso stärker das Modul

¹³ Vgl. Pawellek (2007), S. 48.

¹⁴ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 89.

¹⁵ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 91.

¹⁶ Krause/Gebhardt (2018), S. 92.

entkoppelt ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass dieses aufgrund von Änderungen anderer Module ebenfalls geändert werden muss.¹⁷

Die Begrifflichkeit der Schnittstelle wird häufig verwendet, um die Kopplung respektive Verbindung der Module untereinander zu beschreiben.

„Eine Schnittstelle ist ein Bereich der Interaktion zwischen zwei (Teil-) Systemen oder zum Beispiel zwischen Modulen eines Produktes. Die Interaktion kann eine Positionierung, ein Krafffluss oder der Austausch von Energie, Stoff oder Informationen sein.“¹⁸

Technische Sicht

Um die Gesamtfunktion des Produktes zu ermöglichen, interagieren die einzelnen Komponenten eines Produktes miteinander. Bestimmte Anordnungen und Kopplungen der Komponenten sind daher technisch besonders sinnvoll. Diese Kopplungen sind vor allem durch notwendige Verbindungen der Komponenten untereinander oder einer eventuell notwendigen Trennung von Komponenten bestimmt, die z.B. im Betrieb nicht nahe aneinander angeordnet sein sollen (z.B. Wärmequellen oder empfindliche Sensoren). Ergonomische Grundsätze im Hinblick auf die Erreichbarkeit durch den Benutzer spielen hier ebenfalls eine Rolle.¹⁹

Funktionale Sicht

Unterschiedliche Ansätze nutzen Funktionen zur Beschreibung der Modularität. Die Vorteile dieser Zuordnung von Funktionen und Modulen wird in beinahe allen wissenschaftlichen Ansätzen zur Modularität betont. Die Motivationen hierfür umfassen neben einer guten Funktionsweise des Produktes auch die einfache Organisation in der Entwicklung, eine gute Änderbarkeit der Konstruktion und Aspekte der Montagevereinfachung. Manche Ansätze gehen hier deutlich weiter und adressieren hiermit vereinfachte Updates der Produkte in der Marktphase oder eine einfache Übernahme von Modulen in neue Produktgenerationen. Diese Ansätze, die die Leitlinie der funktionalen Sicht nutzen, sind somit zusätzlich strategisch- oder ressourcenorientiert.²⁰

Produktvarianten einer Produktfamilie können auf einer gemeinsamen modularen Basis aufbauen. Sie können dann durch die Kombination dieser konfiguriert werden. Die grafische Darstellung solcher Kombinationsmöglichkeiten findet sich in Abb. 2.6 wieder. Diese Sichtweise bildet im Wesentlichen auch die Basis für die Zusammenstellung der, unter Kapitel 2.2 beschriebenen, SET-Artikel, sowie übergeordnet für die Kombination mit Zusatzausstattungen zu fertigenden Endprodukten.

¹⁷ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 92 f.

¹⁸ Krause/Gebhardt (2018), S. 93.

¹⁹ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 93.

²⁰ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 94 f.

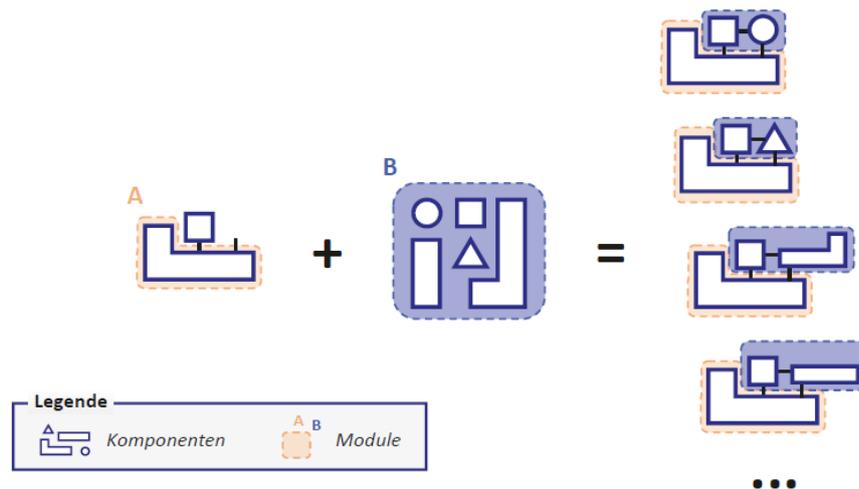


Abb. 2.6: Sichtweise der Konfiguration von Produktvarianten auf die Modularität, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 96.

Prozess- und Organisationssicht

Die Entkoppelung von Modulen kann auch aus Prozesssicht bestehen, wenn entlang der Produktlebensphasen einzelne Komponenten getrennt voneinander behandelt werden können. Die Entkopplung dient hierbei z.B. zur getrennten Entwicklung, Beschaffung, Produktion oder Wartung vom Rest der Produktstruktur. Diese Sichtweise hat die Aufteilung eines Produktes in sinnvolle und übersichtliche Module zur Konsequenz und dient zur Vereinfachung dessen Kompliziertheit, des allgemeineren Verständnisses und der Bearbeitbarkeit. Durch die modulare Produktstrukturierung lassen sich somit Prozesse in der gesamten Produktentstehung einfacher organisieren. Des Weiteren ist durch die Bildung von Modulen eine überschaubarere Gliederung der Prozesse möglich. So kann beispielsweise nach Bestellvorgängen, Fertigungsoperationen oder Vormontagebaugruppen gegliedert werden. Diese Ansätze verfolgen die Modularisierung aus Gründen wie Zukaufumfängen, Produktion an unterschiedlichen Standorten und Montage.²¹

Eine der ersten Motivationen im Zusammenhang mit der Modularisierung von Produkten ist jene der Nutzung von Kommunalitäten. Durch die häufige Verwendung von gleichen Modulen werden, durch die damit einhergehende erhöhte Stückzahl, Skalen- und Lernkurveneffekte ausgelöst.²²

„Kommunalität bezeichnet „Ähnlichkeit“, „Gemeinsamkeiten“ oder „das Teilen gemeinsamer Eigenschaften“ und steht für die Nutzung von Gemeinsamkeiten varianter Produkte mit dem Ziel, die interne Varianz der Produkte im Unternehmen und die damit verbundene Komplexität im Unternehmen zu reduzieren. Die Kommunalität von Modulen ist eine Teilgröße der Modularität sowie eine graduelle und relative Eigenschaft varianter Produkte.“²³

²¹ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 97 f.

²² Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 98.

²³ Krause/Gebhardt (2018), S. 98 f.

„Der Begriff wird häufig weiter spezifiziert und zum Beispiel verwendet für

- funktionale Kommunalität als Ähnlichkeit der Anforderungen und Lösungsprinzipien,
- Komponentenkommunalität oder technische Kommunalität als physische Ähnlichkeit,
- Strukturkommunalität als Ähnlichkeit von Produktstrukturen oder
- Prozesskommunalität als Ähnlichkeit von genutzten Prozessen.“²⁴

Produktstrategische Sicht

Die Produktstrategie beinhaltet den Beitrag der Produkte zur Unternehmensstrategie beziehungsweise die Anwendung dieser auf die Produkte. Die Produktstrategie ist mittel- bis langfristig angelegt und dient der erfolgreichen Positionierung der Produkte und seiner Varianten am Markt, Produktinnovationen, den Markt-lebenszyklus und die Weiterentwicklung neuer Produktversionen und Produktgenerationen.

So können etwa neue Produktvarianten oder die Integration neuer Technologien in das Produkt durch die Entwicklung neuer Module implementiert werden. Durch eine möglichst ausgeprägte Entkopplung dieser Module vom übrigen Produkt wird die Planbarkeit und Umsetzung vereinfacht.

Diese Sichtweise zeigt auf, dass sich die Betrachtung der Modularität nicht auf ein einzelnes Produkt be-schränken sollte. Die Konfiguration von Varianten durch Module oder die Mehrfachverwendung von Modu-len in unterschiedlichen Produktfamilien oder Produktlinien sind wesentliche Potenziale und die Hauptmo-tivation modulare Produktstrukturen in variantenreichen Produkten über das gesamte Produktprogramm zu verwenden, um den langfristigen Erfolg am Markt zu sichern.²⁵

2.3.4 Definition der Modularität

„Modularität ist eine graduelle Eigenschaft der Produktstruktur. Wesentlich ist die Konzentration von Kopplungen der Komponenten innerhalb der Module. Diese weisen untereinander stärkere Kopplungen auf als zu anderen Komponenten oder Modulen. Module umfassen Komponenten mit bestimmten Ge-meinsamkeiten, die so als logische Einheit behandelt werden können. Die Modularität ist zielgerichtet auf die Anforderungen aller Produktlebensphasen ausgerichtet. Besonders hervorzuheben sind dabei die

- Kommunale Verwendung – Module werden in verschiedenen Produkten verwendet, um Einspa-rungen durch Skaleneffekte zu ermöglichen.
- Kombinierbarkeit – Durch Kombination der Module können verschiedene Produktvarianten konfi-guriert werden.“²⁶

Die fünf wesentlichsten Eigenschaften der Modularität werden in Abb. 2.7 zusammengefasst dargestellt. Sie werden im Allgemeinen für die Beschreibung des Begriffes der Modularität in der Literatur genutzt.

²⁴ Krause/Gebhardt (2018), S. 99.

²⁵ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 99.

²⁶ Krause/Gebhardt (2018), S. 100.

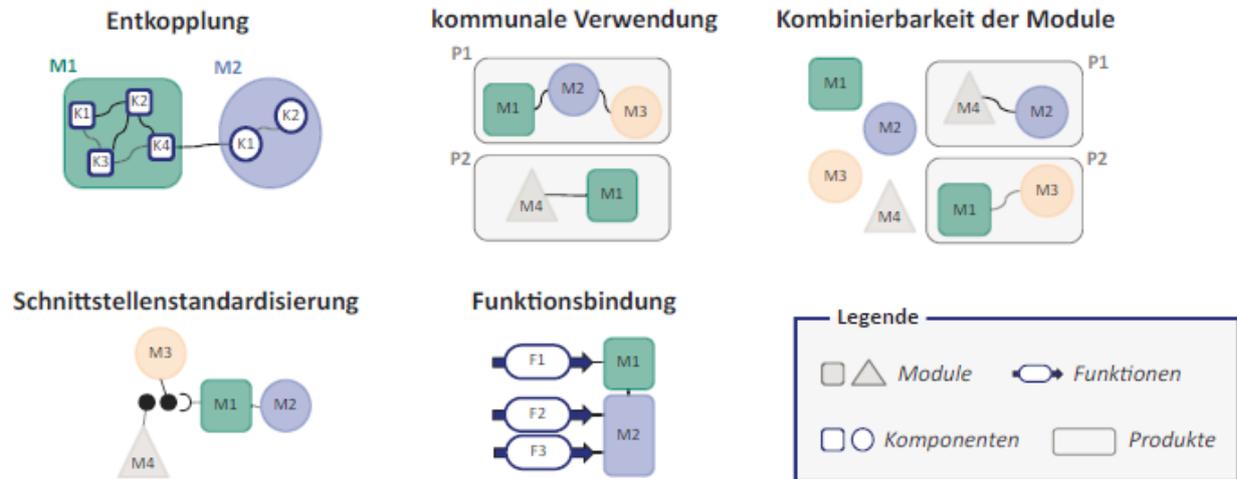


Abb. 2.7: Eigenschaften modularer Produkte, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 100.

Die Entkopplung der Module ist die wesentlichste Voraussetzung für die Modularität einer Produktstruktur, da sie die Bildung separierbarer Module erst möglich macht. Die weiteren Eigenschaften, wie kommunale Verwendung, Kombinierbarkeit, Schnittstellenstandardisierung und Funktionsbindung, beschreiben die Ausführung der Modularität konkreter. Nach welchen Kriterien die Entkopplung ausgeführt wird, ergibt sich aus den jeweiligen Zielen der Modularisierung.²⁷

2.3.5 Potenziale modularer Produktstrukturen

Die Auswirkungen der Produktstrukturierung auf verschiedene Aspekte entlang der ganzen Wertschöpfungskette sind unterschiedlich. Es können wesentliche strategische Zielgrößen, wie Qualität, Kosten, Zeit, aber auch die Flexibilität, direkt beeinflusst werden. Der Erfolg eines Produktes kann durch eine modulare Produktstruktur daher maßgeblich verbessert werden.²⁸

Durch eine geschickte Modularisierung ist es möglich, in allen Lebensphasen eines Produktes Einsparungspotenziale zu nutzen. Eine Produktlebensphase stellt eine Unternehmensfunktion entlang der Produktentstehung, der Nutzung oder während des Recyclings eines Produktes dar. Im Unternehmen steht meist ein Fachbereich bzw. eine Abteilung hinter jeder Produktlebensphase. Jeder dieser Fachbereiche strebt die Umsetzung seiner Anforderungen an die Produktstruktur und damit die Erschließung seiner individuellen Potenziale an. Zu den generischen Lebensphasen, wie in Abb. 2.8 dargestellt, gehören die Produktentwicklung, die Beschaffung, die Herstellung, der Vertrieb, die Nutzung, sowie das Recycling und die Entsorgung.²⁹

²⁷ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 100.

²⁸ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 105.

²⁹ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 106.

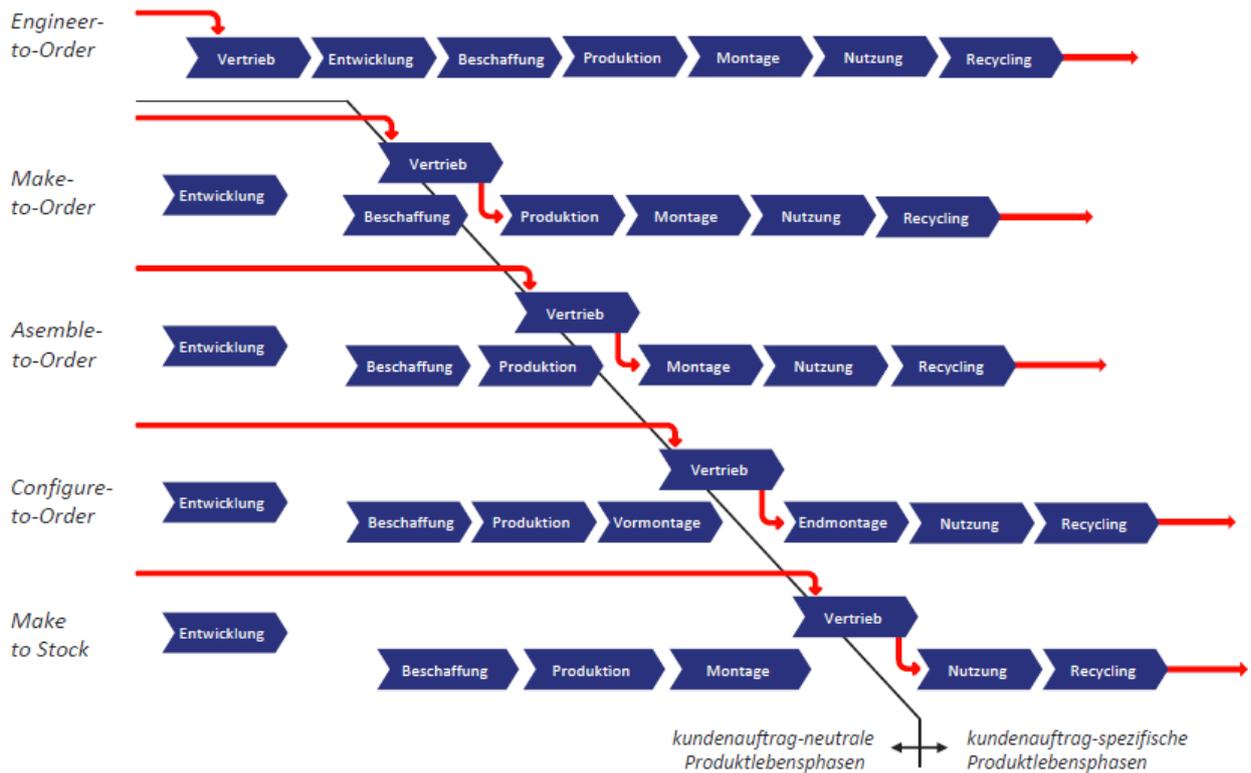


Abb. 2.8: Übersicht der Produktlebensphasen, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 106.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, zu erwähnen, dass die Produktlebensphasen nicht mit dem Produktlebenszyklus zu verwechseln sind. Letzterer beschreibt den typischen Absatzverlauf eines Produktes.

Im derzeitigen Fertigungssystem der Komptech GmbH kann von einer Vorgehensweise des *Make-to-Order* bzw. des *Assemble-to-Order* gesprochen werden. Bei *Assemble-to-Order* wird die Beschaffung, gleich wie beim Verfahren *Make-to-Order*, durch die Produktionsprogrammplanung im ERP-System ausgelöst. Der Unterschied zum *Assemble-to-Order*-Verfahren ist jedoch, dass in der Komponentenfertigung die unteren Ebenen ebenfalls auf Basis der Produktionsprogrammplanung ausgelöst und gefertigt werden. Große Schweiß- und Bearbeitungsbaugruppen werden aktuell auf Basis von Kundenaufträgen gefertigt, was aufgrund der Wertigkeit und der Kosten für die Lagerung solcher Baugruppen durchaus plausibel ist. Ziel der Arbeit ist es dennoch, die notwendigen Schritte zu definieren, um ein *Configure-to-Order*-System zu ermöglichen, da angenommen wird, dass hierdurch die Liefer- bzw. Durchlaufzeit für Kundenaufträge erheblich reduziert werden könnte. Durch die bei der Komptech GmbH umgesetzte Modularität ergibt sich grundsätzlich die Möglichkeit, die Maschinenkonfiguration erst kurz vor dem Start der Endmontage zu definieren und die Maschine erst danach zu montieren. Dieses vorhandene Potenzial der Modularität wird jedoch in der momentanen Situation nur zu einem geringen Teil genutzt. Beim *Make-to-Stock*-Verfahren werden die Maschinen in einer Basiskonfiguration auf Lager unabhängig von einem Kundenauftrag basierend auf Prognosen fertig gebaut. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass die Wahrscheinlichkeit eines Maschinenumbaus im Kundenauftragsfall relativ hoch ist und dass mit ihr auch der Lagerwert an Fertigprodukten ansteigt. Als Vorteil dieser Variante kann im Falle eines Kundenauftrages für eine lagernde Maschine und einer dementsprechenden Materialverfügbarkeit für die Endausstattung der Maschine eine kürzere Lieferzeit im Vergleich zu den anderen Vorgehensweisen angeführt werden.

Produktentwicklung

In der Produktentwicklung ist es möglich, durch stark entkoppelte Module diese parallel in getrennten Teams zu entwickeln. Außerdem wird durch gekapselte Module die Vergabe von Entwicklungsaufträgen an externe Dienstleister wesentlich erleichtert. Eine Mehrfachverwendung von Modulen bei unterschiedlichen Produkten steigert die Losgrößen dieser in der Produktion. Ein weiterer Vorteil modularer Produktstrukturen kann eine verbesserte Robustheit der Struktur gegenüber konstruktiven Änderungen sein, welche beispielsweise durch neue Vorschriften oder technologischem Fortschritt nötig werden können. Bewährte Module lassen sich außerdem aus vorherigen Produktgenerationen oder anderen Produktfamilien leichter übernehmen und man reduziert dadurch den Aufwand an Konstruktionstätigkeit und Dokumentation.³⁰

Die Modularisierung der Produkte generiert jedoch auch erhöhte Aufwände, die hier nicht unerwähnt bleiben sollen.

Konstruktionen können durch die gewünschte Modularität auch aufwändiger werden und die Spezifikation von Schnittstellen schwierig sein. Die Erstellung von Baukästen von kombinierbaren Modulen kann mitunter auch sehr aufwändig sein.³¹

Risiken in der Entwicklung und Umsetzung modularer Produktstrukturen sind z.B. das höhere Gewicht der Konstruktion, mehr Qualitäts- und Montageschritte durch mehr Schnittstellen und Mehrkosten durch Überdimensionierung von Modulen. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass die Potenziale der modularen Produktstrukturierung im Vergleich zu den anfänglichen Mehraufwänden in der Entwicklung der modularen Produktstruktur überwiegen.³²

Beschaffung

Im Bereich der Beschaffung und des Einkaufs ergeben sich durch modulare Produktstrukturen große Vorteile bei der Bestellung von vormontierten Baugruppen. Im Rahmen der Produktentwicklung wird es dem Einkauf erleichtert, komplette extern entwickelte Einheiten zuzukaufen. Wenn Module in mehreren Produktvarianten oder -linien zum Einsatz kommen und dadurch die Stückzahlen dieser steigen, können hiermit meist auch bessere Einkaufskonditionen erreicht werden als mit variantenreichen Sonderkomponenten.³³

Produktion und Montage

Durch erhöhte Stückzahlen von standardisierten Modulen ist es in der Regel möglich, die Stückkosten dieser zu senken. Aus der Reduktion der Stückkosten leitet sich ebenso eine Reduktion der Rüstkosten ab, wie auch eine Reduktion des Bedarfes an Werkzeugen und Vorrichtungen. Die Ausnutzung von Lernkurven- und Skaleneffekten wird verbessert und die Durchlaufzeit in der Produktion und Montage kann

³⁰ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 108.

³¹ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 107.

³² Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 114.

³³ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 109.

verringert werden. Durch die Modularisierung können das Produktionssystem und daraus folgend die Prozesse in Haupt- und Nebenstränge unterteilt werden. So können einzelne Module auf Nebenlinien oder Nebenmontageplätzen gefertigt werden und dann durch Zuführung und Integration der Module an der Hauptlinie oder am Hauptmontageplatz das Gesamtprodukt hergestellt werden. Dies unterstützt die Umsetzung von kundenindividuellen Anpassungen wesentlich, da man diese auf die Nebenlinien der Produktion beschränken kann und nach dem Prinzip des *Postponement* möglichst spät im Produktionsprozess erfolgt. Es können durch eine effektive Anwendung der Modularisierung in der Produktion und Montage Verbesserungen im Materialfluss erzielt werden, die Auswirkungen von Änderungskonstruktionen auf die Montage und Fertigung reduziert und die Planungssicherheit erhöht werden. Durch das bereits erwähnte *Postponement*, also der Verlagerung der variantenbildenden Module an das Ende der Montage, kann schnell und flexibel auf neue Aufträge und Änderungen reagiert werden. Sich erhöhende Montagezeiten durch eine erhöhte Anzahl an Schnittstellen müssen bei den Entscheidungen im Bereich der Produktion hier mitberücksichtigt werden.³⁴

Vertrieb

Großes Potenzial modularer Produktstrukturen liegt im Vertrieb, da hier durch die Konfiguration von Modulen eine einfache Erstellung von Produktvarianten möglich wird. Diese einfache Konfiguration ermöglicht eine Reduktion der Auslieferungszeiten bzw. eine Verbesserung der Verfügbarkeit, was in vielen Branchen einen Wettbewerbsvorteil darstellt. Weiters können durch die Abgeschlossenheit der Module neue Strategien für den Vertrieb abgeleitet werden, wie z.B. spätere Produktupdates, Produkterweiterungen oder Anpassungen. Nachteilig kann sich die Modularität hier durch eine geringe Differenzierung der Produkte am Markt auswirken, was in manchen Marktsegmenten durchaus gewünscht ist. Aus genannten Gründen ist eine Beachtung der Interessen des Vertriebes in der Entwicklung modularer Produktstrukturen besonders wichtig.³⁵

2.3.6 Mögliche Risiken und Konflikte der Modularisierung

Aus den bisherigen Ausführungen ist erkennbar, dass es keine einzige optimale Produktstruktur geben kann und dass diese stets einen Kompromiss darstellt. Mögliche Konflikte liegen in der oft mangelnden Kommunikation zwischen den Abteilungen und dem Interesse, die eigenen Abläufe im Rahmen von Abteilungszielen zu optimieren, (siehe Abb. 2.9) ohne einen Blick auf das gesamte Unternehmen und die beste Gesamtlösung zu richten. Eine starke kommunale Verwendung von Modulen über viele Produktvarianten-familien hinweg ist meist nicht ohne Über- oder Unterdimensionierung dieser möglich. Die vorteilhaften Effekte in Entwicklung, Beschaffung und Produktion müssen gegen negative Auswirkungen abgewogen werden.³⁶

³⁴ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 109 f.

³⁵ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 111.

³⁶ Vgl. Krause/Gebhardt (2018), S. 115 f.

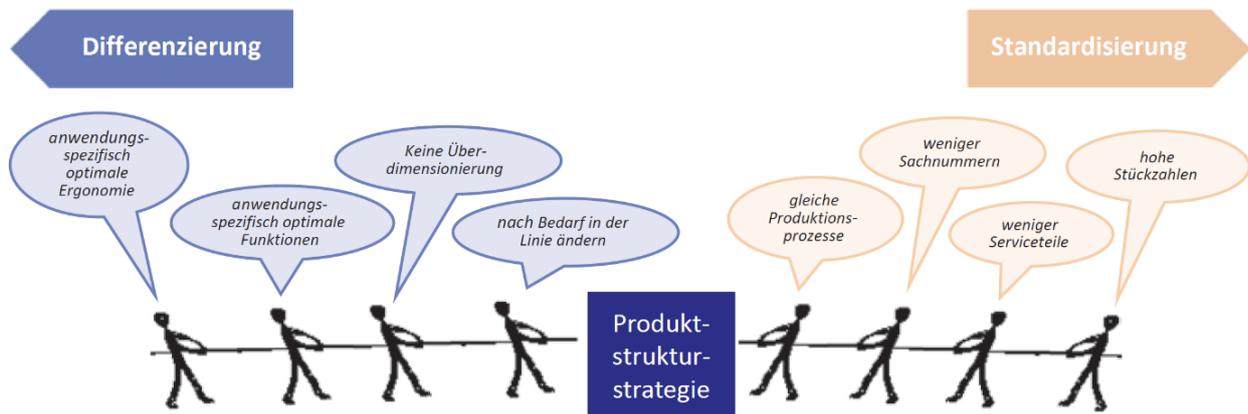


Abb. 2.9: Zielkonflikt zwischen Standardisierung Differenzierung, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 116.

2.3.7 Modularität bei der Komptech GmbH

Im Zuge respektive im Vorlauf der Einführung von SAP, dem ERP-System der Komptech GmbH, wurden die Produktstrukturen und -konstruktionen hinsichtlich Modularität intensiv überarbeitet, um ähnliche Konstruktionen zu vereinheitlichen, Doppelgleisigkeiten zu eliminieren und einheitliche Artikelstrukturen zu schaffen. Hierbei kamen vor allem die Grundsätze der kommunalen Verwendung und der Kombinierbarkeit der Module zum Einsatz. Vor dieser Umstellung hatten viele Maschinenvarianten ihre eigenen F-Artikel und unter ihnen etwa auch den gleichen Maschinenrahmen, so musste bei konstruktiven Änderungen die Stückliste jeder Variante geändert und angepasst werden. Dies hatte zur Folge, dass nicht immer alle Änderungen bei allen Maschinenvarianten direkt umgesetzt wurden und die Stücklisten der Maschinen nicht die gleichen Komponenten enthielten. Bei ähnlichen Maschinentypen wurden gleiche Komponenten verbaut, diese aber in separaten Baugruppen strukturiert, gewartet und geändert. Außerdem wurden bei unterschiedlichen Maschinentypen unterschiedliche Konstruktionsvarianten von funktional gleichen Teilen eingesetzt, was nicht dem Vereinheitlichungsprinzip entspricht.

Die besten Beispiele für die Umsetzung einer modularen Produktstruktur sind in diesem Zusammenhang die Förderbänder, Motormodule und Maschinenverkleidungen der Maschinentypen CRAMBO und TERMINATOR. So werden z.B. bei allen Maschinentypenvarianten der beiden Produkte die gleichen Austrags- und Abwurfförderbänder verwendet. Durch genau definierte Schnittstellen am Hauptprodukt können diese auch separat vorproduziert, montiert und gelagert werden. Die Maschinenverkleidungen der beiden Produktlinien werden z.B. komplett extern zugekauft, am Standort in Slowenien vormontiert und dann in der Endmontage der Maschinen in Frohnleiten final an der Maschine verbaut. Durch Modularität ist es außerdem möglich, ein Motormodul bei den beiden Produktlinien CRAMBO und TERMINATOR zum Einsatz zu bringen. Die drei unterschiedlichen Leistungs- und zwei Abgasnachbehandlungsvarianten ergeben in Summe sechs Module, die in 16 Varianten des Typs TERMINATOR und in zwölf Varianten der Produktlinie CRAMBO zum Einsatz kommen.

3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN DER PRODUKTION

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Begriffe und Zusammenhänge, die die Produktion von Komptech GmbH am Standort in Frohnleiten betreffen, erläutert und deren theoretische Hintergründe ausgeführt. Am Beginn des Produktionsprozesses stehen die gültigen Stücklistenstrukturen im ERP-System, die zusammen mit den Fertigungszeichnungen die Basis für die Produktion von Komponenten und Baugruppen der Maschinen legen. Diese bilden weiterführend auch die Grundlage für die Produktionsbedarfsplanung im ERP-System und der weiterführenden Fertigungsauftragsanlage. Die Strukturen und unterschiedlichen Verfahren der Fertigung im ERP-System SAP werden im zweiten Teil dieses Kapitels beschrieben. Die ERP-Systemabläufe stellen in Folge des Produktionsprozesses auch das Fundament der Montage der Produkte am Standort in Frohnleiten dar und haben Einfluss auf die Kennzahlen dieser Montage, wie z.B. die Lieferzeit und die Durchlaufzeit. Dies sind Begriffe, deren Bedeutungen im dritten Teil des Kapitels genauer betrachtet werden. In den beiden letzten Teilen des Kapitels wird auf die Grundlagen von Lean Production und dessen Bedeutung für Komptech GmbH eingegangen. Abschließend werden die Grundlagen der digitalen Fabrik ausgeführt, welche die Basis bzw. Verknüpfung für die, im Praxisteil folgende, Modellerstellung und Simulation der Montageabläufe in Frohnleiten bildet.

3.1 Stücklistenstrukturen

Neben den Konstruktionszeichnungen stellt die Stückliste einen wichtigen Informationsträger zur detaillierten Beschreibung eines Endproduktes dar.³⁷

Sie enthält, verbal und mit Positionsnummern festgelegt, die Menge, die Einheit der Menge und die Benennung aller Baugruppen und Einzelteile samt Normteilen, Fremdteilen und Hilfsstoffen. Die Positionsnummern bilden dabei auch das Bindeglied zwischen den Konstruktionszeichnungen und der Stückliste. Die Stückliste gibt in weiterer Folge auch die für die Auftragsabwicklung benötigten eindeutigen Sachnummer bzw. Artikelnummer einer Position an. Alle zu einem Erzeugnis gehörenden Stücklisten werden „Stücklistensatz“ genannt.³⁸

3.1.1 Mengenübersichts-Stückliste

Diese Stücklistenart enthält für das Produkt nur eine Auflistung der Einzelteile mit ihren Artikelnummern und Mengenangaben. Mehrfach vorkommende Einzelteile erscheinen nur einmal. Es werden jedoch alle Artikelnummern eines Produktes aufgeführt. Eine Stufengliederung ist bei der Mengenübersichts-Stückliste nicht vorhanden und stellt somit die einfachste Stücklistenart dar.³⁹

³⁷ Vgl. Westkämper (2006), S. 126.

³⁸ Vgl. Phal/u.a. (2007), S. 560.

³⁹ Vgl. Phal/u.a. (2007), S. 561 ff.

3.1.2 Struktur-Stückliste

Die Struktur-Stückliste gibt die Erzeugnisstruktur mit allen Baugruppen und Teilen wieder, wobei jede Gruppe sofort bis zur höchsten Stufe (Ordnung der Erzeugnisgliederung) aufgegliedert ist. Die Gliederung der Baugruppen und Teile entspricht in der Regel dem Fertigungsablauf in Form einer mehrstufigen Aufgliederung. Der Vorteil dieser Stücklistenart liegt darin, dass in ihnen die Gesamtstruktur eines Erzeugnisses/Produktes bzw. einer Baugruppe erkannt werden kann. Eine Gefahr besteht bei diesem Stücklistentyp in der mit steigender Positionszahl erhöhten Unübersichtlichkeit der Stücklistenstruktur, vor allem, wenn es eine Reihe von Wiederholbaugruppen an jeweils verschiedenen Stellen gibt. Hierdurch ergeben sich auch Nachteile im Änderungsdienst.³⁹

3.1.3 Varianten-Stückliste

Bei der Varianten-Stückliste handelt es sich um eine Stücklisten-Sonderform, in der verschiedene Produkte oder Baugruppen mit einem hohen Anteil identischer Baugruppen und Einzelteilen zusammengefasst sind. Es werden Informationen mehrerer verschiedener Stücklisten zu einer einzigen zusammengeführt. Die gleichbleibenden Teile eines Produktspektrums werden in einer sogenannten Grund-Stückliste zusammengefasst. Variantenstücklisten können vor allem in Baukastensystemen mit einem hohen Anteil gleicher Bausteine rationell sein.⁴⁰

3.1.4 Baukasten-Stückliste

Die Baukasten-Stückliste stellt eine einstufige Auflösung eines Produktes oder einer Baugruppe dar. Dies bedeutet, dass sie nur Baugruppen und Teile der nächsttieferen Stufe enthält. Die Mengenangaben beziehen sich nur auf die im Kopf genannte Gruppe.⁴⁰

3.1.5 Unterscheidung nach Verwendungszweck

Eine Unterscheidung von Stücklisten kann auch nach deren Verwendungszweck vorgenommen werden.

Konstruktions-Stücklisten

Hier nimmt der Konstrukteur die Teilezusammenstellung und eine entsprechende Erzeugnisstruktur nach Funktionsgesichtspunkten vor. Die Positionen werden so zusammengestellt, wie sie sich im Rahmen der Konstruktion ergeben bzw. benötigt werden. Diese Stücklisten sind häufig auftrags- und fertigungsneutral und dienen der Dokumentation der Konstruktionsergebnisse auf der einen und zur Unterstützung bei Neu- und Anpassungskonstruktionen auf der anderen Seite.⁴⁰

Fertigungs- oder Montage-Stückliste

In diesen Stücklistenformen, welche Abwandlungen von Konstruktionsstücklisten sind, werden Fertigungs- und Montageangaben ergänzt. Fertigungs-Stücklisten sind vor allem in der Einzelfertigung von Produkten auftragsspezifisch.⁴⁰

⁴⁰ Vgl. Phal/u.a. (2007), S. 561 ff.

Weitere Ableitungsmöglichkeiten nach dem Verwendungszweck der Stücklisten sind Bereitstellungs- oder Kommissionier-Stücklisten, Kalkulations-Stücklisten und Ersatzteil-Listen. Es sollte aber angestrebt werden, mit einer Stücklistenart zu arbeiten.⁴⁰

Stücklisten werden in Konstruktion, Normung, Disposition, Arbeitsvorbereitung und Fertigungssteuerung, Vorkalkulation, Materialbeschaffung und Lagerwesen, Montage, Kontrolle, Wartung, Instandhaltung und Ersatzteilwesen, Betriebsabrechnung, sowie Dokumentation, vielseitig verwendet, deswegen kommt ihrem Inhalt eine erhebliche Bedeutung zu. Der Inhalt von Stücklisten wird ständig erweitert. Besonders trifft dies bei der Einführung von ERP-Systemen zu. Es erweist sich hier als zweckmäßig, die an das Teil gebundenen Information in Teilestammdaten beziehungsweise kurz Stammdaten und Information über die Zuordnung zu bestimmten Strukturen des Produktes, z.B. Teilebeziehungen untereinander in Erzeugnisstrukturdaten oder kurz Strukturdaten, zu trennen.⁴¹

Stammdaten

Stammdaten sind teilebezogene Daten, z.B. Zeichnungs- oder Artikelnummern, zur Identifizierung der Teile, Werkstoffangaben, Mengeneinheit und Teileart.⁴²

Strukturdaten

Strukturdaten sind erzeugnisbezogene Daten, z.B. Positionsnummern, zur Angabe der Reihenfolge der Teile, Änderungsvermerke, Auftragsnummern und bestimmte Schlüsselzahlen.⁴²

Teileverwendungsnachweis

Der Nachweis der Teileverwendung stellt die umgekehrte Form einer Stückliste dar. Er gibt an, in welchen Baugruppen ein Teil verwendet wird und enthalten ist. Dies ist besonders für den Änderungsdienst hilfreich.⁴² Dieser wird bei Komptech GmbH als Änderungsmanagement bezeichnet und in weiterer Folge dieser Arbeit als solches bezeichnet.

3.2 ERP-Planungsstrategien

3.2.1 Vorplanung

Mit der Einführung von SAP wurde am Standort Frohnleiten ebenfalls mit der Vorplanung auf F-Artikel-Basis gestartet. Der Bedarf, der sich aus dem Produktionsforecast ergibt, wird seitdem in einem Planungstableau im ERP-System eingetragen und generiert dadurch Vorplanbedarfe im System, welche Maschinenbedarfe, bezogen auf Komponentenstückzahlen und Termine, im SAP darstellen. Der F-Artikel ist hierbei der Kopfartikel einer Stückliste, unter welcher komplette Maschinenbaugruppen und Komponenten in ihrer Anzahl und Spezifikation gegliedert und aufgelistet sind. Auf Basis dieser Bedarfe werden Einzelteile für Maschinen produziert und Zukaufkomponenten bestellt.

⁴¹ Vgl. Phal/u.a. (2007), S. 565 f.

⁴² Vgl. Phal/u.a. (2007), S. 566.

3.2.2 Fertigungsarten

Die Fertigungsart bzw. Produktionsart beschreibt die Häufigkeit der Leistungswiederholung im Produktionsprozess. Merkmale zur Bestimmung der Fertigungsart sind die Wiederholhäufigkeit gleicher oder ähnlicher Produkte, sowie die Auflagenhöhe der Fertigungsaufträge. Eng verbunden mit der Fertigungsart ist auch die Fertigungsorganisation. Die Fertigungsart der Fließfertigung beispielsweise bedingt die Herstellung einer hohen Stückzahl gleichartiger Produkte und einer gleichzeitigen Anordnung der Fertigungsanlagen nach der Organisationsform der Flussfertigung. In weiterer Folge beeinflussen der Grad der Produktstandardisierung und die Tiefe der Produktstruktur die konkrete Fertigungsart. Deshalb haben sich zu den theoretischen Grundtypen Massen-, Serien-, Kleinserien-, und Einzel- beziehungsweise Einmalfertigung verschiedene Formen von Fertigungsarten gebildet, die auch implizit die Fertigungsorganisation beinhalten.

Wichtige Fertigungsarten sind:

- diskrete Fertigung
- Serienfertigung
- Prozessfertigung
- Kanban
- Projektfertigung⁴³

Im Folgenden werden die beiden (diskrete Fertigung und Kanban), für die Komptech GmbH relevanten und für diese Arbeit bedeutenden, Fertigungsarten aus Sicht der Anwendung im ERP-System näher beschrieben.

Diskrete Fertigung

Die diskrete Fertigung, welche auch Werkstattfertigung genannt wird, charakterisiert die Fertigung eines Erzeugnisses auf Basis von Fertigungsaufträgen. Diese Fertigungsart kommt zum Einsatz, wenn die zu produzierenden Erzeugnisse häufig wechseln, die Bedarfe unregelmäßig auftreten und die Fertigung einen werkstatorientierten Ablauf hat. Begonnen wird die diskrete Fertigung mit dem Eröffnen und Bearbeiten eines Fertigungsauftrages. Dies kann durch manuelles Anlegen des Fertigungsauftrages erfolgen oder durch die Umwandlung eines in der Produktionsplanung erzeugten Planauftrages.⁴⁴

Der Planauftrag ist die Anforderung der Materialbedarfsplanung an ein Werk, die Beschaffung eines Werkmaterials in einer bestimmten Menge zu einem bestimmten Termin zu veranlassen.⁴⁵

Der Fertigungsauftrag ist eine Anforderung an die Produktion, Materialien bzw. Leistungen zu einem festgelegten Termin in einer bestimmten Menge herzustellen bzw. zu erbringen. Mit diesem wird festgelegt, auf welchem Arbeitsplatz und mit welchen Einsatzmaterialien das entsprechende Material bzw. Produkt zu

⁴³ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 69.

⁴⁴ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 69 f.

⁴⁵ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 498.

produzieren ist. Die Eröffnung eines Fertigungsauftrages erzeugt automatisch Reservierungen für die benötigten Materialkomponenten. Für Fremdbeschaffungsteile werden Bestellanforderungen erstellt und an den Arbeitsplätzen, an denen der Auftrag abgearbeitet werden soll, entstehen Kapazitätsbelastungen. Die Aufträge werden bei Material- und Kapazitätsverfügbarkeit freigegeben. Als Vorbereitung der Durchführung können die entsprechenden Fertigungsauftragspapiere ausgedruckt werden. Das Erzeugnis bzw. Produkt wird anhand des Fertigungsauftrages produziert und die gefertigte Menge und erbrachten Leistungen werden dem Fertigungsauftrag rückgemeldet. Das Produkt wird abschließend auf Lager gelegt, der Wareneingang wird gebucht und der Fertigungsauftrag abgerechnet.⁴⁶

Kanban

Hierbei handelt es sich um eine Fertigungsart bzw. ein Fertigungsverfahren zur Produktions- und Materialflusststeuerung, welches von einer aufwendigen Planung der Bedarfsmengen absieht und die Produktion verbrauchsorientiert steuert. Kanban ist hierbei die japanische Übersetzung für „Karte“. Diese war ursprünglich für die Information zwischen Verbraucher bzw. Arbeitsplatz verantwortlich, um vermitteln zu können, welches Material und in welcher Menge wohin geliefert werden soll und ist Namensgeber für dieses Verfahren. Die Beschaffung bzw. Fertigung des Materials wird erst dann veranlasst, wenn dieses auch tatsächlich benötigt wird. Die zur Produktion eines Produktes benötigten Komponenten werden in einer bestimmten Menge vor Ort in Behälter, Gebinden oder dergleichen bereitgehalten. Wenn ein Bereitstellungsobjekt leer ist, wird der Nachschub dieser Komponente oder Baugruppe nach einer zuvor festgelegten Strategie, wie z.B. Eigenfertigung, Fremdbeschaffung oder Umlagerung, angestoßen. Die Produktion steuert beim Kanban-Verfahren den Nachschub also weitestgehend selbst, womit der manuelle Buchungsaufwand erheblich reduziert werden kann. Außerdem werden die Bestände reduziert, weil nur das produziert wird, was auch wirklich in der Produktion und Montage gebraucht wird. Es erfolgt kein Schieben des Materials durch die Produktion (Push-Prinzip), sondern es wird durch einen Verbraucher, wie z.B. einer Fertigungsstufe oder einem Produktionsschritt, von der vorgelagerten Fertigungsstufe der sogenannten Quelle abgerufen, wenn dies benötigt wird (Pull-Prinzip).⁴⁷

In Abb. 3.1 wird das Grundprinzip des Kanban-Verfahrens anhand einer Fließfertigung, die mit Materialbehältern versorgt wird und von einer Quelle beliefert wird, vereinfacht dargestellt.

⁴⁶ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 70.

⁴⁷ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 78.

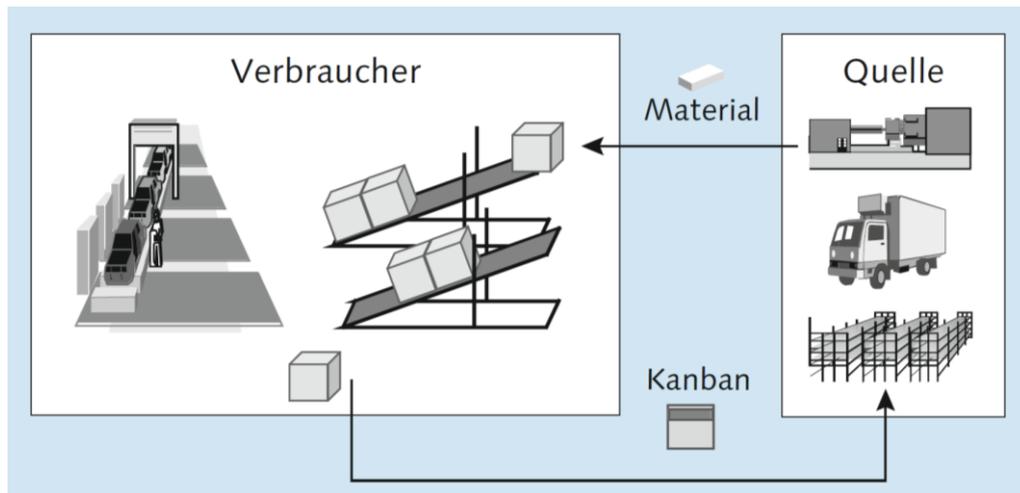


Abb. 3.1: Grundprinzip des Kanban-Verfahrens, Quelle: Dickersbach/Keller (2014), S. 78.

Das Werk wird in sogenannte Produktionsversorgungsbereiche, kurz PVB, eingeteilt. Der Kanban-Regelkreis legt in diesem Zusammenhang fest, wie das Material für das Verfahren zu beschaffen ist. Es wird eine Nachschubstrategie festgelegt, die besagt, ob das Material eigengefertigt oder fremdbeschafft werden soll. Weiters legt dieser Regelkreis die Anzahl der zwischen Verbraucher und Quelle umlaufenden Behälter, sowie die Mengen pro Behälter, fest.⁴⁸

Bei der Eigenfertigung als Nachschubstrategie kann dieser mit einem Fertigungsauftrag erfolgen, bei der Fremdbeschaffung etwa über eine Bestellung oder einen Lieferplan. Bei der Umlagerung als Nachschubstrategie kann der Nachschub über eine Reservierung oder eine direkte Umbuchung im System erfolgen.⁴⁹

Wenn mit Unterstützung des ERP-Systems die Kanban-Abwicklung erfolgen soll, werden die Behälter im System mit einem bestimmten Status verwaltet. Die Statusänderung von „voll“ auf „leer“, der sogenannte Kanban-Impuls, kann z.B. mit Hilfe eines Barcodelesegerätes erfolgen, indem über eine am Behälter befindliche Karte gefahren wird. Dieser Kanban-Impuls löst nun die Wiederbeschaffung nach definierter Nachschubstrategie aus.⁵⁰

In Abb. 3.2 wird der schematische Ablauf und die Wirkung des Kanban-Impulses im ERP-System dargestellt.

⁴⁸ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 78 f.

⁴⁹ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 79.

⁵⁰ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 80.

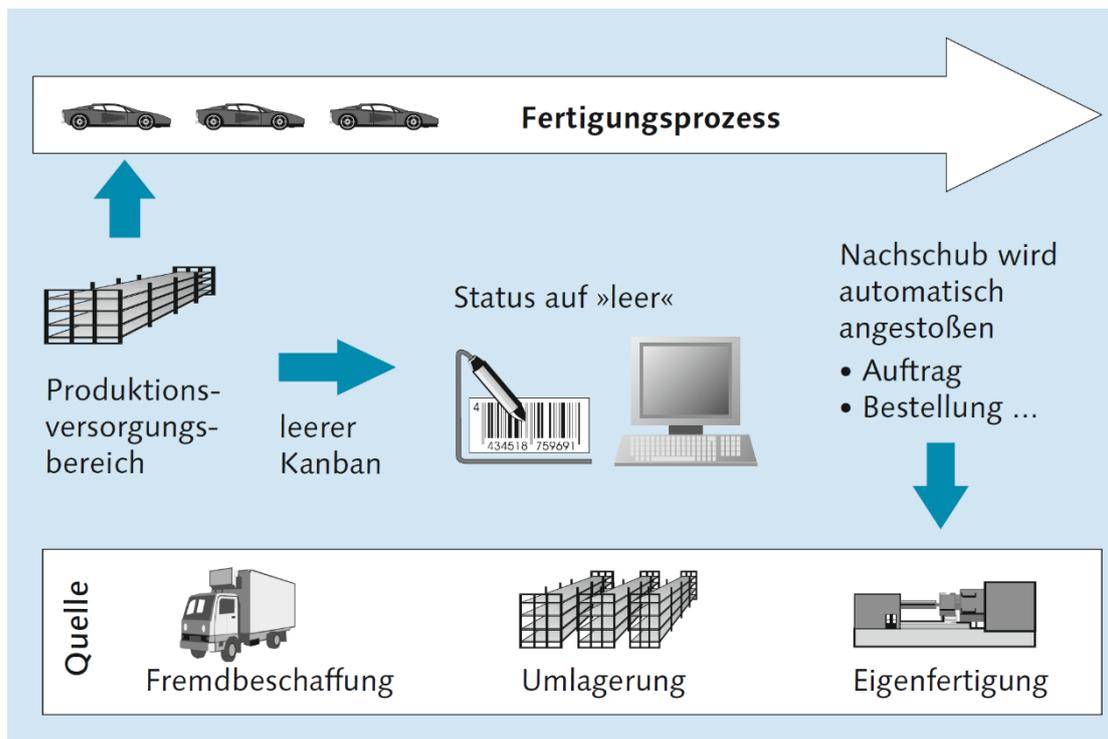


Abb. 3.2: Kanban-Impuls, Quelle: Dickersbach/Keller (2014), S. 80.

3.2.3 Planungsstrategien

Lagerfertigung

Bei dieser Planungsstrategie erfolgt die gesamte Planung allein aufgrund des Planprimärbedarfs. Hier liegt die Annahme zugrunde, dass das Produkt auf Lager liegen muss, damit der Kunde es kauft. Es bedeutet ebenso, dass die Kundenaufträge nicht bedarfswirksam im ERP-System sind. Diese Art der Fertigung wird häufig in der Konsumgüterindustrie eingesetzt.⁵¹

Kundeneinzelfertigung

Die Kundeneinzelfertigung stellt das exakte Gegenteil der Lagerfertigung dar. Die Fertigung wird erst durch den konkreten Kundenauftrag angestoßen und der Kundenauftrag wird deutlich nach dem Auftragseingang beliefert, da die Belieferung nicht vom Lager erfolgt. Die Kundeneinzelfertigung wird bei komplexen Produkten, welche häufig konfigurierbar sind, eingesetzt. Beispiele hierfür sind der Sondermaschinenbau oder Automobile.⁵²

Vorplanung mit Endmontage

Bei der Vorplanung mit Endmontage gibt es viele Parallelen zur Lagerfertigung mit jedoch einem wesentlichen Unterschied: Die Kundenaufträge sind bedarfsrelevant. Um eine Doppelfertigung zu vermeiden, verrechnen sich die Kundenaufträge mit den Planprimärbedarfen. Der Vorteil dieser Strategie liegt darin, dass

⁵¹ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 218.

⁵² Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 218.

bei einer zu gering angesetzten Vorplanung dennoch die Fertigung und Beschaffung angestoßen wird, um den tatsächlichen Kundenmehrbedarf zu decken.⁵³

Vorplanung ohne Endmontage

Diese Planungsstrategie hat die Besonderheit, dass die letzte Fertigungsstufe nur dann produziert wird, wenn ein konkreter Kundenauftrag vorliegt. Ansonsten ist diese Strategie gleich wie die Vorplanung mit Endmontage. In den vorgelagerten Fertigungsstufen (Halbfabrikate und Rohmaterialien) werden die Beschaffung und die Produktion bereits anhand des Planprimärbedarfs angestoßen. Hiermit kann besonders das Risiko der Kapitalbindung vermindert werden. Dies gilt vor allem, wenn die letzte Fertigungsstufe eine anteilmäßig hohe Wertschöpfung beinhaltet. Weiteres wird die Strategie bei divergierendem Materialfluss bei der letzten Produktionsstufe eingesetzt, um Lieferprobleme zu vermeiden, falls das falsche Produkt prognostiziert wurde. Diese Strategie kann sowohl in Verbindung mit der Kundeneinzelfertigung, als auch mit der Lagerfertigung, verwendet werden.⁵⁴

3.3 Grundbegriffe der Fertigung und Montage

3.3.1 Montage

Neben der Einzelteillfertigung im Werk 1 der Komptech-Gruppe in Ljutomer in Slowenien, wo durch Trenn-, Umform- und Fügeverfahren die Einzelteile und Schweißbaugruppen der Umwelttechnik- und Landtechnikmaschinen gefertigt werden, stellt die Montage der Komponenten und Baugruppen in den Werken 2 in Ljutomer und 3 in Frohnleiten einen wichtigen Wertschöpfungsfaktor im Unternehmen dar. Aufgrund dieser Bedeutung für die Wertschöpfung liegt hier, durch Optimierung der Abläufe in diesem Bereich, großes Potenzial, um den Unternehmenserfolg nachhaltig zu steigern, welches auch durch diese Arbeit aufgezeigt werden soll.

Als Montage wird die „Gesamtheit aller Vorgänge, die dem Zusammenbau von geometrisch bestimmten Körpern dienen,“⁵⁵ bezeichnet.“

Es kann dabei zusätzlicher formloser Stoff zur Anwendung kommen. Als Hauptfunktion der Montage ist das Fertigungsverfahren des Fügens zu sehen, welches den eigentlichen Prozess des Schaffens einer Verbindung zwischen mehreren Teilen bewirkt. Das Fügen selbst ist dabei nicht der Montage gleichzusetzen. Die Montage wird zwar stets unter der Anwendung von Fügeverfahren durchgeführt, das schließt jedoch die Nebenfunktionen Handhabung, Justierung, Kontrolle, sowie diverse Sonderoperationen mit ein.⁵⁶

⁵³ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 219.

⁵⁴ Vgl. Dickersbach/Keller (2014), S. 219.

⁵⁵ Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011), S. S97.

⁵⁶ Vgl. Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011), S. S97.

Die Montage hat als Schnittstelle zwischen Entwicklung und Vertrieb als letzte Stufe des Herstellungsprozesses eine besondere Aufgabe und wird zu einem logistischen Orientierungspunkt des Produktionsbetriebs. Technologisch erweist sich im Rahmen der Montage die Funktionsfähigkeit der Produkte. Aus organisatorischer Sicht erweist sich in der Montage die Elastizität der Produktion gegenüber Nachfrageschwankungen am Markt. In der montagegerechten Gestaltung der Produkte und Planung der Betriebsmittel liegen große Rationalisierungspotenziale. In Abb. 3.3 wird die Einbettung der Montage zwischen Markt, Entwicklung, Konstruktion und Fertigung dargestellt.⁵⁷

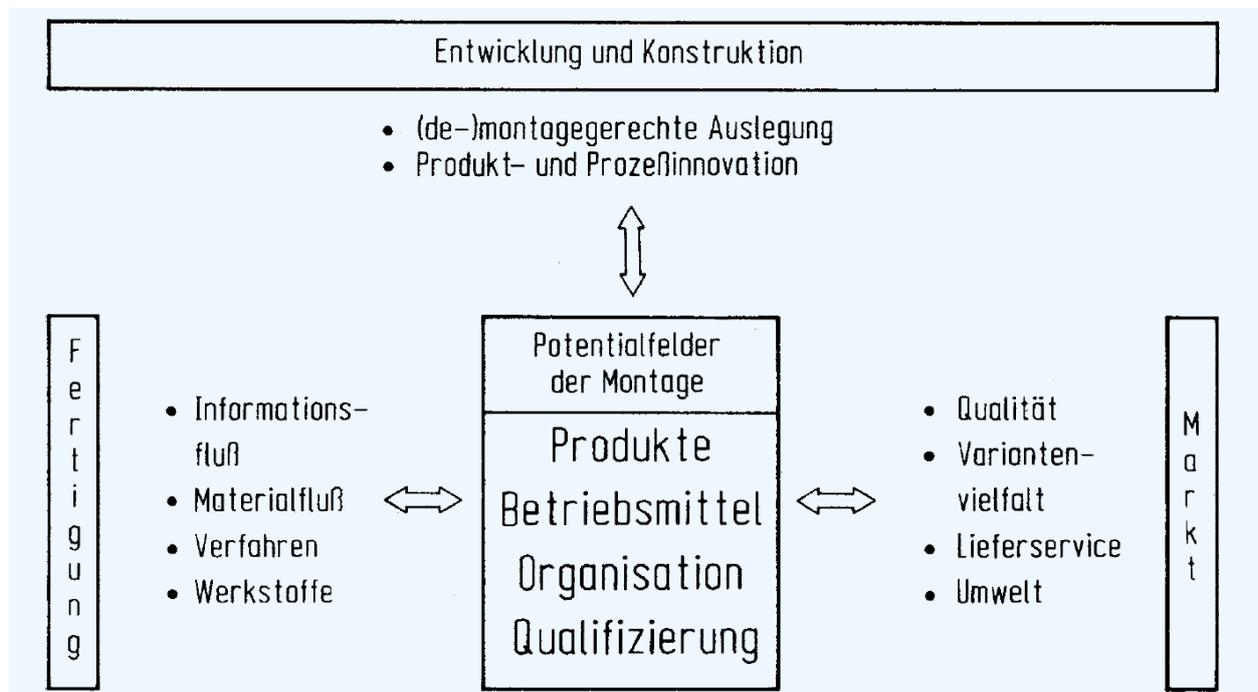


Abb. 3.3: Stellung der Montage zwischen Markt, Entwicklung, Konstruktion und Fertigung, Quelle: Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011) S. S99.

Das zu montierende Produkt wird durch Stücklisten, sowie durch die geometrischen und technologischen Eigenschaften der zu montierenden Bauteile und Baugruppen, definiert. Der Montagevorgang lässt sich in Primär- und Sekundärmontage unterteilen. Unter der Primärmontage sind Vorgänge zu verstehen, welche der unmittelbaren Wertschöpfung dienen, wie Fügeoperationen bei der Herstellung eines Produktes. Unter Sekundärmontage sind die aufgrund des gewählten Montageprinzips erforderlichen Vorgänge zu verstehen, die nicht unmittelbar zur Wertschöpfung beitragen, wie z.B. Transport, Wendung und Greifen. Die jeweiligen Anteile an Primär- und Sekundärmontagevorgängen sind ein Maß für die Produktivität und die Wirtschaftlichkeit des betrachteten Montageprozesses.⁵⁸

Die Organisationsformen der Montage können im Wesentlichen aufgrund der Bewegung des Montageobjektes unterschieden werden. Eine strukturelle Übersicht über die Organisationsformen der Montage ist in

⁵⁷ Vgl. Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011), S. S99.

⁵⁸ Vgl. Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011), S. S100.

Abb. 3.4 ersichtlich. Die Montage bei der Komptech GmbH im Werk 3 in Frohnleiten kann als Einzelplatzmontage charakterisiert werden, da das Montageobjekt unbewegt an einer Station, an einem ortsfesten Arbeitsplatz, dem Montageplatz montiert wird (rot markierter Pfad in Abb. 3.4).

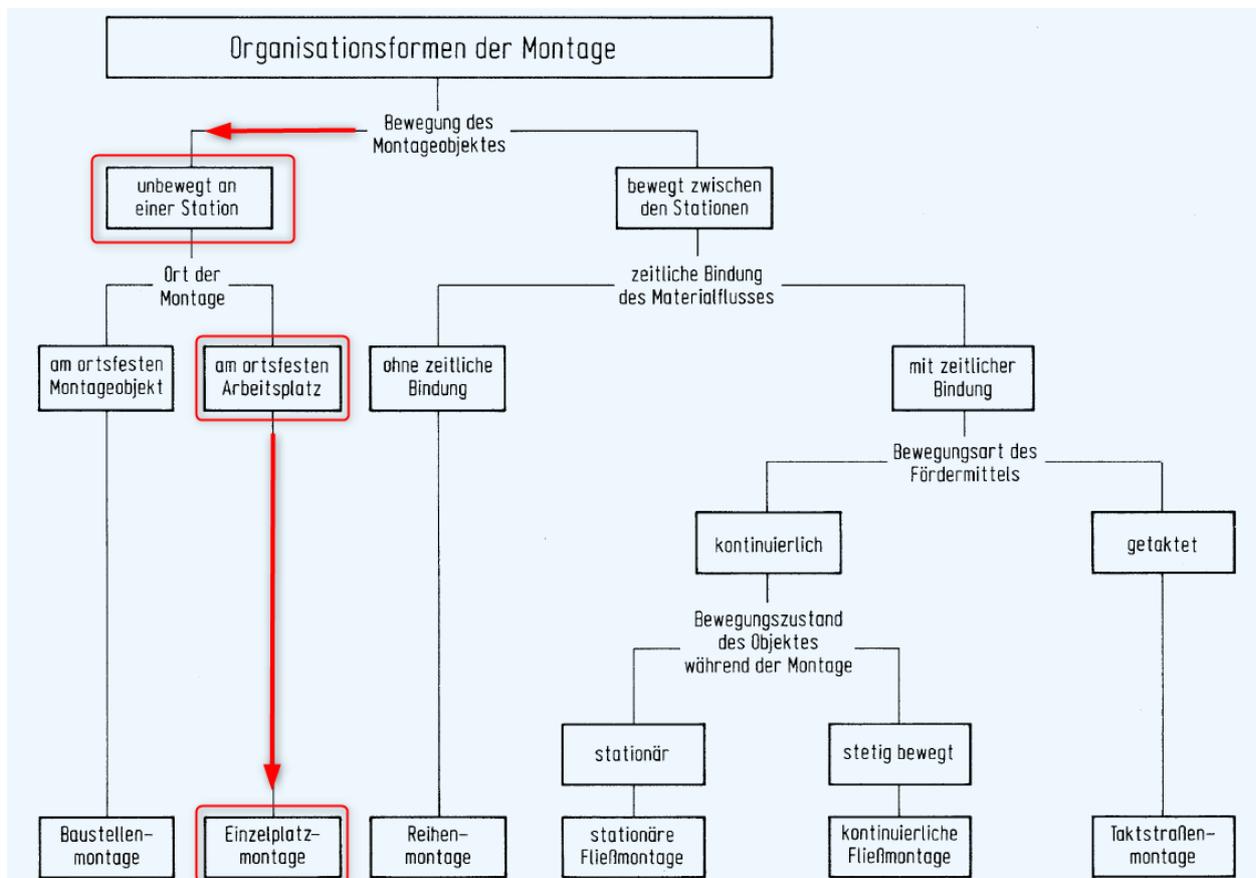


Abb. 3.4: Organisationsformen der Montage, Quelle: Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011) S. S101 (leicht modifiziert).

Im Zusammenhang mit der Produktivität muss es also Ziel jedes Unternehmens sein, die wertschöpfenden Primäranteile im Rahmen der Montage zu optimieren oder zu steigern und die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten so weit wie möglich zu reduzieren. Dies sind auch grundsätzliche Ziele bei der Umsetzung des *Lean Production*-Konzeptes. Beispiele für Primäranteile der Montage bei der Komptech GmbH sind z.B. die Montage des Antriebsaggregates an der Maschine oder die Montage der Hydraulikkomponenten, während der Transport der Maschine und der Anbaukomponenten zum Montageplatz als Sekundäranteil gesehen werden kann. Negativ auf die Produktivität des Unternehmens wirken sich daher auch Umbauvorgänge an bereits montierten Baugruppen oder fertig montierten Maschinen aus, da hier zum einen die Maschine nochmals zum Montageplatz transportiert werden muss und zum anderen bereits montierte Baugruppen wieder demontiert und rückeingelagert werden müssen. In weiterer Folge ist es notwendig, den Umbau selbst durchzuführen und somit erneut Montagekapazität hierfür aufzuwenden.

3.3.2 Fertigungsarten

Die Fertigung kann nach der durchschnittlichen Auflagenhöhe (Losgröße) und Wiederholhäufigkeit der Erzeugnisse unterteilt werden. Es werden hierbei vier Fertigungsarten unterschieden: Einzelfertigung, Einzel-

und Kleinserienfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung. Die Gliederung der Fertigungsarten ist in Abb. 3.5 ersichtlich.⁵⁹

Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
Kriterien • durchschnittliche Auflagenhöhe der Erzeugnisse • durchschnittliche Wiederholhäufigkeit pro Jahr			
Auflagenhöhe gering; keine Wiederholung	Auflagenhöhe < 50; Wiederholhäufigkeit < 12	Auflagenhöhe > 50; Wiederholhäufigkeit < 24	sehr große Auflagenhöhe; Fertigung ununterbrochen

Abb. 3.5: Unterscheidung der Fertigungsarten, Quelle: Lödding (2016), S. 125.

Die *Einmalfertigung* ist gekennzeichnet durch eine geringe Auflagenhöhe. Hier wird nur ein kleines Los aufgelegt. Das Erzeugnis wird nach Abschluss der Fertigung auch nicht nochmals gefertigt. Somit ergibt sich hier eine Wiederholhäufigkeit von 0. Die *Einzel- und Kleinserienfertigung* ist gekennzeichnet durch eine geringe Auflagenhöhe und geringe Wiederholhäufigkeit. Hier dominiert, ähnlich der Einmalfertigung, die Werkstättenfertigung, eine Fertigung, in der die einzelnen Bereiche nach dem dort durchgeführten Fertigungsverfahren strukturiert sind. Eine Lagerfertigung stellt eine Ausnahme dar, da in der Regel auf einen Kundenauftrag hin gefertigt wird.

Die *Serienfertigung* weist höhere Stückzahlen und Wiederholhäufigkeiten auf. Der Anteil der Inselfertigungen nimmt zu, jener der Werkstättenfertigung ab. Unter Inselfertigung versteht man ein Arbeitssystem, welches nach den zu fertigenden Produkten und nicht nach den Fertigungsverfahren strukturiert ist. Typisch sind bei dieser Fertigungsart Mischfertiger, die einen gewissen Teil der Erzeugnisse auf Lager fertigen, einen Teil auf Kundenaufträge hin. Bei der Massenfertigung werden sehr hohe Stückzahlen erreicht. Die Fertigung ist in der Regel nach dem Fließprinzip aufgebaut und organisiert, wobei die Lagerfertigung dominiert.

Die Anwendungsbereiche der *Massenfertigung* nehmen wegen der zunehmenden Variantenvielfalt ab. Neue Konzepte, wie die kundenindividuelle Massenfertigung (Mass Customization) oder die flexible Produktionsendstufe, zielen darauf ab, die Vorteile der Massenfertigung mit der Flexibilität der Werkstättenfertigung zu verknüpfen.⁶⁰

Bei der Komptech GmbH kommen je nach Fertigungsstufe und Komponenten unterschiedliche Fertigungsarten zur Anwendung. Auf Maschinenebene kann mittlerweile von einer Kleinserienfertigung bzw. bei manchen Produktlinien, wie CRAMBO und TERMINATOR, von einer Serienfertigung gesprochen werden. Im Stationärtechnikbereich kommt es bei den anlagenspezifischen Adaptionen häufig zu Einmalfertigungen, wobei der Kern dieser Maschinen modular aufgebaut ist und z.B. die gleiche Zerkleinerungseinheit hat, wie

⁵⁹ Vgl. Lödding (2016), S. 125.

⁶⁰ Vgl. Lödding (2016), S. 126.

eine Mobilmaschine des Typs CRAMBO oder TERMINATOR. Im Mobilmaschinenbereich wurden bzw. werden jene Produkte mit Stückzahlen von kleiner 5 pro Jahr sukzessive abgekündigt. Voraussetzung hierfür war bzw. ist, dass die Produkte keine Bedeutung für die Unternehmensstrategie bzw. den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens hatten bzw. haben.

Bei der Komponentenfertigung für z.B. Zerkleinerungswerkzeuge und Verschleißteile kann jedoch definitiv von einer Serienfertigung gesprochen werden.

3.3.3 Lieferzeit

Die Lieferzeit ist definiert als jene Zeitdauer zwischen dem Auftragseingang und der Auslieferung des Auftrags. Im Regelfall wird sie in der Einheit „Betriebskalender- bzw. Arbeitstage“ gemessen. Die Länge der Lieferzeit steht in engem Zusammenhang mit der Bevorratungsstrategie des Unternehmens. Während sich bei der Lagerfertigung die Lieferzeit ausschließlich aus dem Versand der Ware ergibt, kommen bei der auftragsbezogenen Montage bzw. Produktion die Zeitanteile für die Montage bzw. für Montage und Fertigung hinzu. Wenn auch noch eine auftragsbezogene Beschaffung von Komponenten oder Baugruppen notwendig ist, geht auch die Beschaffungszeit in die Lieferzeit mit ein.⁶¹

Im einfachsten Fall einer streng sequenziellen Auftragserfüllung, im speziellen also bei einstufigen Fertigungsaufträgen, besteht die Lieferzeit eines Unternehmens aus sechs Komponenten:⁶²

$$ZL = ZDL + ZB + ZLP + ZV + BV + ZAD \quad (3.1)$$

ZL/d Lieferzeit
ZDL/d Durchlaufzeit
ZB/d Beschaffungszeit
ZLP/d Lieferzeitpuffer
ZV/d Versandzeit
BV/d Belastungsverschiebung
ZAD/d Administrationszeit

3.3.4 Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrages ist definiert als die Zeitdauer zwischen der Auftragsfreigabe und dem Bearbeitungsende eines Auftrags.⁶³

$$ZDA = TAE - TAB \quad (3.2)$$

ZDA/d Auftragsdurchlaufzeit
TAE/d Bearbeitungsende Auftrag
TAB/d Bearbeitungsanfang Auftrag

⁶¹ Vgl. Lödding (2016), S. 22.

⁶² Vgl. Lödding (2016), S. 44.

⁶³ Vgl. Lödding (2016), S. 32.

In der Kundenauftragsfertigung resultiert die Bedeutung der Durchlaufzeit aus ihrem Einfluss auf die Lieferzeit des Produktes. Sie bildet die Untergrenze für die Lieferzeit eines Kundenauftrages. Die Streuung der Durchlaufzeit beeinflusst außerdem die Termin- und Liefertreue des Unternehmens. Wird z.B. die Auftragspezifikation vom Kunden nach der Auftragsfreigabe geändert, bieten kurze Durchlaufzeiten diverse Vorteile. So kann bei gegebenem Liefertermin der Auftrag später für die Fertigung freigegeben werden als bei langen Durchlaufzeiten. In diesem Zusammenhang ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass Änderungswünsche des Kunden eintreffen, bevor der Fertigungsauftrag freigegeben wird.⁶⁴

Diese Freigabe hat in der Praxis zur Folge, dass Zeiten auf den Aufträgen erfasst werden, Materialien zu den Aufträgen gebucht und kommissioniert werden und, im ungünstigsten Fall, bereits mit der Fertigung bzw. Montage von Komponenten gestartet wird, welche dann im Zuge der Auftragsänderung vielleicht nicht mehr benötigt werden. Dies stellt eine unnötige Verschwendung dar und sollte daher unter allen Umständen vermieden werden.

Eines der Hauptziele dieser Arbeit ist es, die notwendigen Maßnahmen zu definieren, um die Lieferzeit der Zerkleinerungsmaschinen durch eine Reduktion der Durchlaufzeit zu verringern, indem man den Konfigurationszeitpunkt der fertig montierten Maschine soweit wie möglich in Richtung Ende des Produktentstehungsprozesses verschiebt.

⁶⁴ Vgl. Lödning (2016), S. 32.

3.4 Lean Production

Die als *Lean Production* oder *Toyota-Produktionssystem*, kurz TPS, nach Hr. Taiichi Ohno bekannt gewordenen Methoden, stellen eine elementare Basis für effizienten, konkurrenzfähigen und modernen Materialfluss dar und finden im Sondermaschinenbau, der Baubranche, der Medizintechnik, im Handwerk, der Biochemie oder im Großserienherstellungsprozess erfolgreich Anwendung. Die einfachen Prozesse, die auf eine direkt erkennbare und sehr schnelle Verbesserung abzielen, führen zu einem Anstieg der Wirtschaftlichkeit innerhalb des Unternehmens, wobei die Optimierung von Prozessen und Abläufen primär das typische Merkmal dieser Methode ist, die Verbesserung von betriebswirtschaftlichen Kennzahlen nur einen sekundären Effekt bildet.⁶⁵

3.4.1 Elemente und Regeln von Lean Production

Einige wesentliche Themen und Vorgehensweisen von Lean Production sind:

Vermeidung von Verschwendung

Um Fortschritte zu erreichen, wird nach Problemen und Verschwendungen gesucht. Das Ignorieren von Problemen fördert negative Entwicklungen. Hierbei ist die Vermeidung der Überproduktion eine der wesentlichsten Verschwendungsarten.⁶⁶

5W-Ursachenanalyse

Die simple Methode der fünf „Warum“-Fragen führt sehr schnell zu den Wurzeln eines Problems und auch auf dessen Ansätze zur Lösung.⁶⁷

Poka Yoke

Unter diesem Begriff wird vielfach die vollständige Kontrolle oder auch die 100-prozentige Kontrolle verstanden. Die Selektion von Fehlern ist in jedem Fall günstiger als die vielfältigen Auswirkungen von Fehlern im Nachgang zu beheben. Charakterisierend ist die Forderung nach konsequenter Fehlervermeidung durch einfachste Prüfprozesse, welche präventiv stattfinden.⁶⁷

Kaizen

Die Methode zur kontinuierlichen Verbesserung wurde anfangs ausschließlich für Produktionsprozesse entwickelt. Heute wird sie für nahezu alle Arbeitsprozesse angewendet, wobei starke Überschneidungen zu *Poka Yoke* existieren.⁶⁸ Methoden, wie 5S oder der Prozess der kontinuierlichen Verbesserung, kurz KVP, zählen hierzu.

⁶⁵ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 4 f.

⁶⁶ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 8 f.

⁶⁷ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 9.

⁶⁸ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 9 f.

Kraft der individuellen Fertigkeiten und des Teamworks

Wesentliche Säule des Lean-Gedankens ist die möglichst umfassende Nutzung der Innovationskraft und Kompetenz der Belegschaft. Spezialisten sollen nicht nur arbeiten, sondern auch ihr Know-How soll entscheiden, wie Probleme gelöst werden oder Abläufe verbessert werden können.⁶⁹

Just-in-time

Dieses Prinzip umfasst zunächst, dass das Material zur richtigen Zeit in der geforderten Menge am notwendigen Ort bereitgestellt wird. Hiermit kann Verschwendung durch Wartezeiten, unnötige Puffer und damit Ineffizienz vermieden werden. Bedingungslose Kundenorientierung, Neuausrichtung der Produktionsabläufe und Produktionsvorrichtungen sind ebenfalls Teil dieses Prinzips.⁷⁰

Supermarkt-Prinzip und Lieferanten-Kanban

Hier wird das Kanban-Prinzip auf Lieferanten übertragen und nach dem Pull-Vorgehen durch jeden Verbrauch ein neuer Bedarf beim Lieferanten angestoßen.⁷⁰

Produktionsglättung

Die Produktionsglättung wird auch *Production Leveling*, Produktionsnivellierung oder *Heijunka* genannt. Hierunter ist der Ausgleich der Arbeitsinhalte mit dem Ziel der Fließfertigung gemeint, um einen gleichmäßigen Takt zu erreichen. Des Weiteren umfasst dies die Anpassung und das Modellieren der Arbeitsinhalte, um möglichst wenig Verschwendung zu erreichen. Letztlich beinhaltet die Produktionsnivellierung aber auch die Pufferbildung zur Vermeidung des Peitschenschlageffekts mit dem Ziel, einen kontinuierlichen Materialfluss und JIT-orientierte Prozesse zu erreichen.⁷⁰

3.4.2 Lean Production bei der Komptech GmbH

Der Einsatz oder die Anwendung des Systems der „schlanken Produktion“ für Kleinserienhersteller und mittelständische Betriebe hatte lange Zeit den Ruf, nur schwer realisierbar zu sein. Dies mag bis zu einem gewissen Grad auch korrekt sein, da sicherlich nicht alle Methoden und Modelle, die für die Großserie erdacht wurden z.B. auf einen mittelständischen Maschinenbauer wie Komptech, übertragen werden können. Jedoch ermöglicht die gezielte Anwendung von *Lean Production* bzw. Managementmethoden auch bei Unternehmen dieser Größe eine Steigerung des Unternehmenserfolges und der Flexibilität. Komptech verfolgt hier mit dem Programm „Getting Lean“ eine klare Strategie, mit Hilfe dieser sämtliche Abläufe innerhalb des Unternehmens erfasst, bewertet und im Bedarfsfall nach den Lean-Grundsätzen angepasst werden, um Verschwendung zu vermeiden. Im Zuge des Programmes „Getting Lean“ wurde auch eine eigene Lean-Abteilung innerhalb des Unternehmens etabliert, die sich um die Umsetzung von Projekten im Lean-Bereich verantwortlich zeigt. So wird im Zuge des Programmes besonders Augenmerk auf Ordnung und Sauberkeit in der Produktion gelegt und die 5S-Methoden aktiv angewendet. Weiters wird der Prozess der kontinuierlichen Verbesserung gelebt und auch mit einem Prämiensystem ein zusätzlicher

⁶⁹ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 10.

⁷⁰ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 11.

Anreiz für die Einreichung von Vorschlägen geschaffen. Im Zuge einer Lean-Projektgruppe werden für einen Zeitraum von jeweils einem Jahr Projekte definiert, die in den unterschiedlichen Operationsabteilungen, wie Technik, Einkauf, Produktion, Planung und Lager, umgesetzt werden, um zur Effizienzsteigerung und Erhöhung des Unternehmenserfolges beizutragen. Der Umsetzungsgrad dieser Projekte wird im Rahmen von regelmäßigen Meetings verfolgt.

Ziel des Lean-Gedankens im Unternehmen soll es aber auch sein, alle Prozesse vom Auftragseingang bis hin zur Auslieferung nach diesen Grundsätzen zu gestalten und sich nicht rein auf die Abläufe innerhalb der Produktion zu beschränken.

3.4.3 Flexible Produktion

Die flexible Produktion und auch der flexible Materialfluss sind vor allem durch kurze Durchlaufzeiten charakterisiert. Dieser wichtige Zusammenhang wird jedoch sehr oft durch den strikten Fokus auf Verbesserungen in der Planung nicht wahrgenommen. Durch zunehmend komplexe Abläufe in und mit Produktionsplanungssystemen wird ein immer höherer Abstraktionsgrad erreicht, welcher in einem immer höheren Einsatz an Informationstechnologie resultiert. Das oberste Ziel auf dem Weg zur flexiblen Produktion muss daher die Reduzierung der Durchlaufzeit sein. Dies kann durch unterschiedliche Maßnahmen, wie die Festlegung der Fertigungskapazität, dem Aufbau einer Fertigungslinie, der Festlegung der Materialbereitstellung und dem Aufbau einer fließenden Materiallogistik, erreicht werden.⁷¹

Betriebliche Ursachen für die Planung:

- Die Fertigungsdurchlaufzeit ist länger als die Kundenerwartungszeit. Dieser Konflikt wird durch entsprechende Bevorratung bei Fertigprodukten und Halbfertigprodukten gelöst. Die Höhe hängt hierbei signifikant mit der Zeitdifferenz zwischen der Fertigungsdurchlaufzeit und der Kundenerwartungszeit ab.
- Stark dynamisch schwankende Nachfrage oder Disposition von Zukaufteilen mit langer Lieferzeit oder knapper Verfügbarkeit.
- Hoher Automationsgrad oder niedrige Flexibilität der Fertigungsanlagen und einem damit verbundenen notwendigen hohen Nutzungsgrad.⁷²

Die ersten beiden Punkte treffen auf die Notwendigkeit der Planung bei der Komptech GmbH direkt zu, da sowohl die gesamte Fertigungsdurchlaufzeit länger ist als die von Kunden erwartete Lieferzeit, als auch eine schwankende Nachfrage an Produkten vorhanden ist. In weiterer Folge handelt es sich bei einem Großteil der Zukaufkomponenten außerdem um Langläufer mit Lieferzeiten von mehreren Wochen und Monaten.

⁷¹ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 28.

⁷² Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 29.

Probleme der Planung:

- Da die Zukunft nicht vorhersehbar ist, ist eine auf Prognosen basierende Planung per Definition fehlerbehaftet. Zu früh oder zu spät hergestellte Produkte aufgrund fehlerhafter Planung bedeuten daher eine Verschwendung von Ressourcen.
- Die genaue Beschreibung von Planungsszenarien scheitert an der Komplexität, schnellen Änderungen der Planungsvoraussetzungen und der Unvorhersehbarkeit der Einflussfaktoren.
- Hohe Kosten für Hardware, Software, in- und externer Dienstleistung benötigen moderne Planungssysteme.⁷³

Die PPS-Systeme oder übergeordnet die ERP-Systeme haben die Aufgabe, mit gegebenen Liefer- und Kundenerwartungszeiten umzugehen und entsprechende Bevorratungsgrenzen an Fertigware oder Halbfertigfabrikaten anzulegen. Die Aufgabe besteht also im Normalfall nicht in der Entschärfung des Konfliktes zwischen Lieferzeit und der Erwartung des Kunden, sondern im planerischen Umgang damit. Ziel muss es daher sein, die Abläufe und Prozesse soweit zu verbessern, dass der Konflikt beseitigt bzw. reduziert werden kann und kürzere Zeiträume planerisch überbrückbar sind. Viele Unternehmen machen es sich bei der Einführung von ERP-Systemen leicht und fixieren bestehende Prozesse mit der Funktionalität des ERP-Systems oder passen die Prozesse an die Funktionalität der Software an, anstatt die bestehenden Prozesse zu verbessern. Jeder zusätzliche Tag an Fertigungsdurchlaufzeit kostet im Sinne der Kapitalbindung Geld und kann im Zuge des Work-in-process (WIP) betrachtet werden.⁷⁴

Nach der Fertigungsfreigabe für den Auftrag fällt dieser defacto in ein „schwarzes Loch“. Er wird bis zur Unkenntlichkeit abstrahiert, über verschiedene funktionale Abteilungsstrukturen und mehrstufigen Stücklisten, mit Start-, Ende- und Übergangszeiten versehen. Er wird verteilt und damit vermischt mit Planungs- und Kundenaufträgen anderer Herkunft und zu anonymisierten Standardlosgrößen zusammengefasst. Dies ist alles hochkomplex und daher nur noch mit ERP-Software durchschaubar. Nach einer gewissen Anzahl an Bearbeitungen, Abteilungsdurchläufen, Ein- und Auslagerungen wird der Fertigungsauftrag als fertig gemeldet und dann durch die Logistik zum Kunden ausgeliefert. Trägt man diese Abläufe aus Zeit und Reaktionsschnelligkeit in einer Kurve auf, entsteht ein sogenanntes Badewannenprofil, welches in Abb.3.6 ersichtlich ist.⁷⁵

Diese Abstraktion der Aufträge führt vor allem im Bereich der Eigenfertigungsdisposition im Komponentenwerk 1 in Slowenien zu einem erheblichen Planungsaufwand und macht in der momentanen Situation Aussagen über die exakte Durchlaufzeit von Komponenten in der Fertigung sehr schwierig. Eine Aussage über die Fertigstellung von Baugruppen fasst diese teilweise falschen Aussagen zu einer falschen Durchlaufzeit für die Baugruppe zusammen. Je höher die Fertigungsebenen der Aufträge sind, desto leichter wird die Planbarkeit der Vorgänge und Aussagen über Liefer- und Durchlaufzeiten können schneller und in einer höheren Qualität getroffen werden. Durch die beschriebene Zusammenfassung zu Fertigungslosgrößen und die hinterlegten Vorlaufzeiten der Komponenten zu übergeordneten Baugruppen kommt es nicht selten

⁷³ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 29.

⁷⁴ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 29 f.

⁷⁵ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 30.

vor, dass die Änderung eines künftigen Maschinenbedarfes über mehrere Monate starke Auswirkungen auf die aktuelle Komponentenfertigung hat. Dementsprechend lange sind auch die Reaktionszeiten auf Änderungen von Kopfaufträgen, da diese bis in die Einzelteillfertigung durchschlagen. Ziel und Ansatz der Arbeit wäre es daher, die Fertigung auch nach den Lean-Grundsätzen zu beruhigen und von Auftragsänderungen und Definitionslücken so weit wie möglich zu entkoppeln.

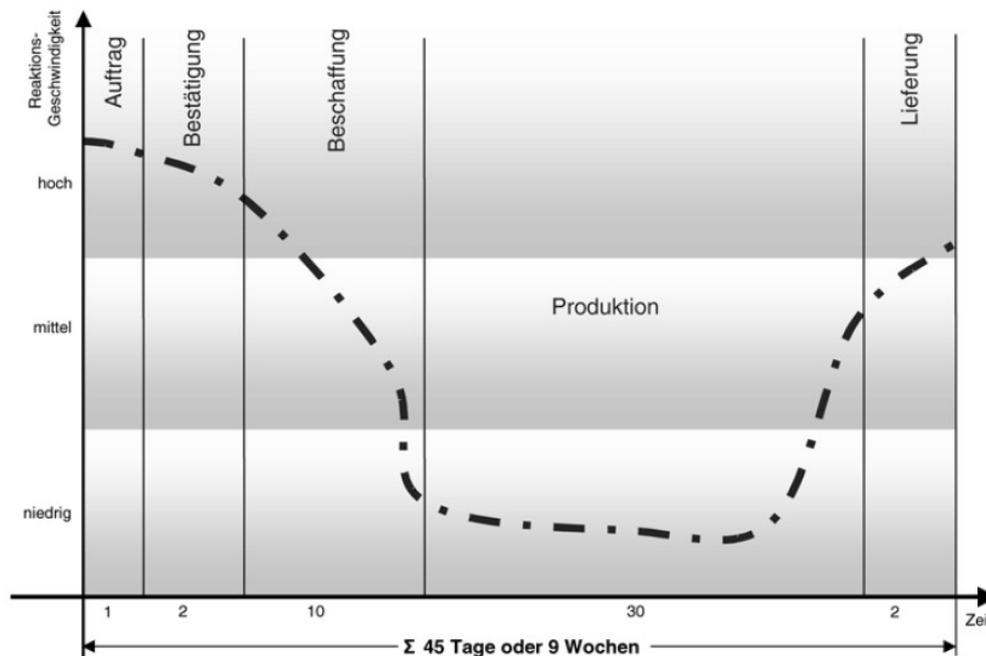


Abb. 3.6: Wirtschaftliches Potenzial der Fertigungsdurchlaufzeit, Quelle: Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 31.

Die Mittel zur Beseitigung der langen Produktionsdurchlaufzeiten gehen in der Regel nicht in die Richtung die Prozesse zu vereinfachen, sondern die Steuerung und Kontrolle zu erhöhen. Leitstände als Instrument und Betriebsdatenerfassungssysteme (BDE) zur Rückmeldung der notwendigen Fertigungsstätten sind häufig die Antwort. Die Erfassung und Visualisierung dieser Daten ist ein wichtiger Aspekt der Transparenz einer Fertigung und ist bei der Erkennung von Problemen innerhalb dieser dienlich. Sie ermöglicht aber nur bedingt eine nachhaltige Reduktion der Fertigungsdurchlaufzeiten. Dem entgegen steht der Ansatz nicht die Komplexität des Systems der mehrstufigen Fertigung zu beherrschen, sondern durch geeignete organisatorische Maßnahmen die Komplexität zu senken.⁷⁶

Alternative Konzepte

Der Ablauf der Fertigung sollte konsequent nach dem Prozess der Produkterstellung ausgerichtet werden. Durch eine logische und physische Verkettung der Wertschöpfung entfallen Übergangs- und Wartezeiten, die das eigentliche Potenzial zur Verminderung der Durchlaufzeit darstellen und nicht eine reine Fokussierung auf Bearbeitungszeiten, wie von Maschinenlieferanten und REFA gerne gefordert wird. Eine weitere wichtige Voraussetzung ist die Bereitstellung der Materialien, die für die Fertigung der Produkte benötigt wird. Hier kommt man wieder zum klassischen Planungsproblem, welche Materialien in welchen Mengen

⁷⁶ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 30.

und wie viele Ressourcen benötigt werden, wie auch Planungsprozesse, die jedoch unter anderen Gesichtspunkten stattfinden.⁷⁷

3.5 Grundlagen der Digitalen Fabrik und Anwendungsmöglichkeiten

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und dreidimensionalen Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“⁷⁸

Für ein Unternehmen in der Größe von Komptech, also einen Betrieb mittlerer Größe, ist ein durchgängiger Einsatz von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik noch nicht üblich. Dies liegt an begrenzenden Personalkapazitäten in diesem Bereich, fehlendem Know-How, aber auch nicht vorhandenen Investitionsmöglichkeiten. Die angebotenen Werkzeuge der großen Softwarehäuser sind eher für Konzerne konzipiert und haben daher für Klein- und Mittelbetriebe einen zu großen Funktionsumfang, der nicht benötigt wird. Aus diesem Grund stehen die Kosten für Lizenzgebühren bislang in vielen Bereichen auch noch nicht in einem wirtschaftlichen Verhältnis zum erwarteten Nutzen der Werkzeuge.⁷⁹ Doch auch wenn ein durchgängiger Einsatz der Methoden momentan nicht wirtschaftlich erscheint, können einzelne Werkzeuge aus dem großen vorhandenen Pool zur Umsetzung der Digitalen Fabrik herausgegriffen werden und für Betriebe mittlerer Größe nutzbar gemacht werden bzw. werden diese bereits genutzt. Die möglichen Anwendungsfelder der Digitalen Fabrik entlang der Lebenszyklusphasen eines Produktes sind in Abb. 3.7 im Überblick dargestellt. Für diese Arbeit sind die Möglichkeiten der Digitalen Fabrik im Bereich der Produktionsplanung, Montageplanung, sowie der Fertigungsprozessplanung, von Interesse. Diese Möglichkeiten werden im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe von *Plant Simulation* auszunutzen versucht.

⁷⁷ Vgl. Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 31 f.

⁷⁸ VDI (Hrsg.) (2008), S. 3.

⁷⁹ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 24.

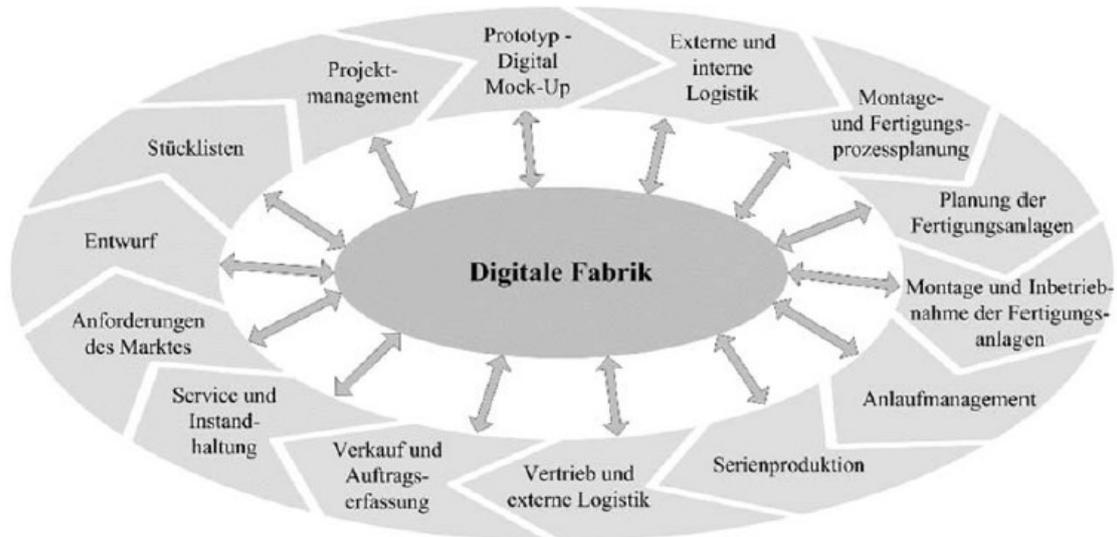


Abb. 3.7: Anwendungsfelder der Digitalen Fabrik, Quelle: Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 26.

Unter Produktionsplanung ist hierbei die ablauforganisatorische Gestaltung von Produktionsprozessen unter der Festlegung der technologischen, zeitlichen, örtlichen, mengenmäßigen und logistischen Bedingungen gemeint. Ziel der Produktionsplanung ist die Bewertung und Auswahl von unterschiedlichen Planungsalternativen und Produktionsabläufen, sowie die Koordination und bestmögliche Auslastung der zur Verfügung stehenden Ressourcen.⁸⁰

3.5.1 Nutzen der Digitalen Fabrik

Mit den Werkzeugen der digitalen Produktionsplanung können die Fertigungs- und Montageprozesse kompletter Werke, Linien oder einzelner Arbeitsschritte geplant und analysiert werden. Mit Simulationen von Modellen können die Produktionsdurchsätze bestimmt und die Auswirkungen von Planungsänderungen untersucht werden. Weiters können die Kosten und Zeiten des Produktionsprozesses in Erfahrung gebracht werden. Zu den hierzu benötigten Eingangsdaten gehören neben den Produktdaten, wie z.B. den Stücklisten, insbesondere Arbeitspläne und Angaben über vorhandene Maschinen, sowie Informationen zu erforderlichen neuen Maschinen. Mit diesen Methoden und Werkzeugen kann nun zu einem frühen Zeitpunkt ein neuer Prozessablauf digital erprobt werden, um dessen Eignung und Umsetzbarkeit zu überprüfen.⁸¹ Diese Möglichkeit der digitalen Erprobung stellt auch den Hintergrund der Anwendung in dieser Arbeit dar, denn bevor aufwendige Umstellungen am derzeitigen Produktionssystem vorgenommen werden, können diese durch das digitale Simulationsmodell schnell und einfach simuliert werden bzw. Aussagen getroffen werden, wie sich Ablaufänderungen in der Montage auf die Gesamtmaschinenstückzahl auswirken.

⁸⁰ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 35.

⁸¹ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 36 f.

3.5.2 Der Modelbegriff

Ein Modell ist eine „vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild.“⁸²

Ein Modell enthält im Allgemeinen nicht alle Attribute des Originals, sondern nur jene, die dem Ersteller oder Nutzer relevant erscheinen. Hierbei kommen die Prinzipien der Abstraktion zum Einsatz. Modelle sollen grundsätzlich so abstrakt wie möglich und so detailliert wie nötig sein. Dieser Grundsatz dient auch dazu, den Aufwand bei der Modellerstellung im Rahmen zu halten und das unnötige zeitintensive Modellieren von Attributen zu vermeiden, die für eine Simulation z.B. gar nicht notwendig sind.⁸³

3.5.3 Simulationsmethoden

Mit Simulation ist eine Aussage hinsichtlich des Verhaltens von Modellen über einen Zeitraum möglich. Sie werden z.B. zur Abbildung von Organisationsstrukturen, Arbeitsabläufen, funktionalen Zusammenhängen in Produktionsanlagen, aber auch zur Vorhersage des Wetters, herangezogen.⁸⁴

Simulationen besitzen einige wesentliche Vorteile, so kann beispielsweise für Experimente ein Simulationsmodell wesentlich leichter modifiziert werden als ein physisches System. Sie erlauben Untersuchungen an real noch nicht existierenden Systemen und ermöglichen ein risikoloses Optimieren bereits existierender Systeme, ohne einen laufenden Produktionsbetrieb zu stören oder zu gefährden. Simulationen erlauben den Vergleich und die Analyse mehrerer alternativer Varianten und ermöglichen, das Verhalten eines Systems über einen längeren Zeitraum zu beobachten und auszuwerten. Abschließend kann noch die Kostenersparnis als großer Vorteil genannt werden, da Tests an realen physischen Systemen teuer, aufwendig, aber auch mit Gefahren verbunden sein können.⁸⁵

Die Simulation ist, nach VDI (Verein Deutscher Ingenieure), das „Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind; insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt.“⁸⁶

Es werden in diesem Zusammenhang die kontinuierliche Simulation, die ereignisdiskrete Simulation und die zeitgesteuerte Simulation unterschieden. Bei der zeitgesteuerten Simulation wird bei jedem Schritt in der Simulation die Simulationszeit um einen festen Wert erhöht. Wenn die Modellierung Zufälligkeiten ausschließt, handelt es sich um deterministische Simulationsmodelle. Bei der kontinuierlichen Simulation sind die Zeit und die Zustandsvariablen durch stetige Funktionen beschreibbar. Die ereignisdiskrete Simulation

⁸² Vgl. VDI (Hrsg.) (2014), S. 3.

⁸³ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 84.

⁸⁴ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 117.

⁸⁵ Vgl. Eigner/Roubanov/Zafirov (Hrsg.) (2014), S. 98 ff.

⁸⁶ VDI (Hrsg.) (2014), S. 3.

bildet Zustandsänderungen nur zu diskreten Zeitpunkten in Abhängigkeit vom Eintreten eines Ereignisses ab.⁸⁷

Zur Gruppe der kontinuierlichen Simulation zählen z.B. die Finite-Element-Methode (FEM), die Mehrkörpersimulation (MKS) und Ergonomiesimulationen.

Ereignisdiskrete Simulation

Der Begriff der ereignisdiskreten Simulation (Discrete Event-Simulation, kurz DES) wird in der Literatur auch häufig als Ablaufsimulation bzw. Materialflusssimulation bezeichnet. Mit Hilfe dieser Simulationsart werden logistische Prozesse, Materialflüsse, Produktionsprozesse und deren Auslegung, sowie die Leistung von Produktionssystemen betrachtet.⁸⁸

„Die abzuarbeitenden Ereignisse werden mit einem Zeitstempel in einer Ereignisliste verwaltet, die Simulationszeit wird entsprechend dem Zeitstempel des ersten Ereignisses in der Liste gesetzt, und das Ereignis wird abgearbeitet.“⁸⁹ Der Ablauf ist in Abb. 3.8 dargestellt.

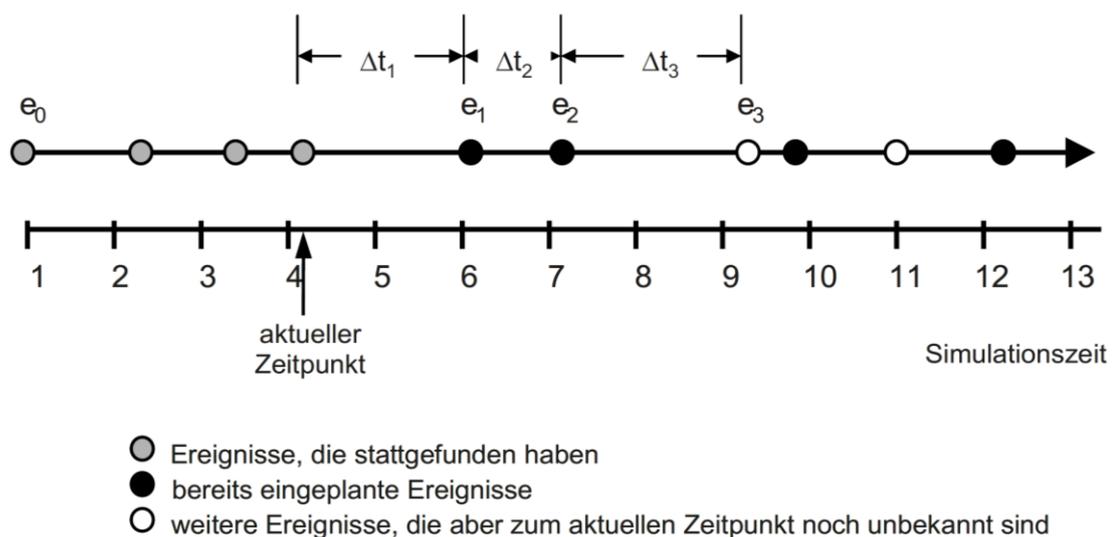


Abb. 3.8: Einordnung von Ereignissen in Abhängigkeit der Simulationszeit, Quelle: Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 129.

In der Zeit zwischen den einzelnen Ereignissen wird angenommen, dass sich das System in einem unveränderlichen Zustand befindet. Die Methode findet bei Produktionsprozessen Anwendung, wenn diese diskret, also nicht stetig, ablaufen. Das heißt, dass das Montageteil da oder nicht da ist, die Maschine für Bearbeitung bereit oder nicht bereit ist oder die Arbeitsschicht stattfindet oder nicht stattfindet.

Mit dieser Simulationsmethode lassen sich Systeme mit diskreten beweglichen Objekten, wie Produktions- oder Materialflusssysteme, sehr gut abbilden.⁹⁰

⁸⁷ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 117.

⁸⁸ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 129.

⁸⁹ Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 128.

⁹⁰ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 128.

Ein Produktionssystem kann dabei in unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden und dabei unterschiedliche Zielgrößen im Rahmen der Simulation ermittelt werden. Auf der Anlagen- und Produktionsbereichsebene sind u.a. die Dimensionierung von Puffern und die Leistungsdaten von Maschinen oder Montagestationen zu bewerten. Weiters können Zwischenpuffer, Taktzeiten und Losgrößen variiert werden, um Produktionszeiten zu ermitteln und Transport- und Materialkosten zu reduzieren. Auf höherer Werk- oder Konzernebene lassen sich Materialflüsse dimensionieren und Netzstrukturen bewerten. Abhängig von der Ebene und Komplexität des Betrachtungsgegenstandes, variiert der Detaillierungsgrad der Simulationsmodelle. Je nach Sichtweise kann eine symbolische, aber auch eine realitätsnahe 2D- oder auch 3D-Darstellung, für das Simulationsmodell zweckmäßig sein. Der Einsatz von Produktions- bzw. Fabriklayouts zur Visualisierung von Modellen kann zum allgemeinen besseren Verständnis der Betrachtung dienen, bzw. die maßstäblichen Verhältnisse in das Simulationsmodell integrieren.⁹¹ Beim zu erstellenden Simulationsmodell im Rahmen dieser Arbeit handelt es sich um eine ereignisdiskrete Simulation der Montageabläufe am Produktionsstandort von Komptech in Frohnleiten. Für die Modellierung und Simulation wird die Simulationssoftware *Siemens Tecnomatix Plant Simulation* eingesetzt.

⁹¹ Vgl. Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 129.

4 MAßNAHMEN ZUR FLEXIBILISIERUNG VON ZERKLEINERUNGSMASCHINEN

4.1 Ist-Zustand Produktionssystem von Zerkleinerungsmaschinen

In diesem Kapitel werden die derzeitigen strukturellen Abläufe der Produkterstellung von Komptech am Standort in Frohnleiten von der Forecastplanung bis hin zur Auslieferung der fertig produzierten Maschine erläutert. Diese Abläufe bilden die Basis für die Erarbeitung von Maßnahmen, um die Produktion von Zerkleinerungsmaschinen am Standort in Frohnleiten zu flexibilisieren.

4.1.1 Produktionsbedarfsplanung

Am Beginn der Produktion von Umwelttechnikmaschinen bei Komptech steht ein so genannter Operations Forecast, welcher auf den Daten des jeweiligen Geschäftsjahresbudgets und den darin definierten Maschinentypenvarianten basiert. Dieser Operations Forecast wird mit Hilfe von SET-Artikeln zu einer Primärbedarfsplanung im ERP-System umgewandelt. Dies geschieht mit Hilfe der Data-Warehouse Anwendung SAP BW, welche in Abb. 4.1 auszugsweise dargestellt wird und auf Systemdaten aus den unterschiedlichen Modulen des ERP-Systems zugreift, sowie Eingabedaten auch in diese Module übertragen kann. Im Konkreten wird auf die Module *Production Planning & Control (PP)*, *Materials Management (MM)* und *Sales & Distribution (SD)* zugegriffen.

Operations Plan Zeitpunkt der Planung: 10.2018

Daten Sichern Übergabe Bedarfe FC freigeben

Produktfamilie	Material		Offen 01.2019	Plan Gesamt 01.2019 GJ 2019	Offen 02.2019	Plan Gesamt 02.2019 GJ 2019	Offen 03.2019
Axtor	FAX80UK	Axtor 8012 Semitrailer T2/Stufe II					
	FAX80UR	Axtor 8012 Track T2/Stufe II		1 ST			
	FAX80UT	Axtor 8012 Trailer T2/Stufe II					
	FAXS454F	Axtor 4510 T4f/Stufe V					
	FAXS504F	Axtor 5010 T4f/Stufe IV				1 ST	
	FAXS603A	Axtor 6010 T3/Stufe IIIA					
	FAXS604F	Axtor 6010 T4f/Stufe IV		1 ST			1 ST
	FAXS624F	Axtor 6210 T4f/Stufe V					
	Ergebnis			2 ST		1 ST	1 ST
Chippo	FCH05	Hackbox CHIPPO 10					
	Ergebnis						
Crambo	FCRS34H3AG2	Crambo 3400 D hydraulisch T3/Stufella					
	FCRS34H4FG2	Crambo 3400 D hydraulisch T4f/StufeIV				1 ST	
	FCRS42M3AG2	Crambo 4200 D direct T3/Stufella					
	FCRS42M4FG2	Crambo 4200 D direct T4f/StufeIV					
	FCRS50H3AHDG2	Crambo 5000D hydraulisch T3/Stufella HD		2 ST			
	FCRS50H4FG2	Crambo 5000 D hydraulisch T4f/StufeIV				2 ST	2 ST
	FCRS52M3AHDG2	Crambo 5200 D direct T3/Stufella HD		2 ST			
	FCRS52M4FG2	Crambo 5200 D direct T4f/StufeIV					2 ST
	FCRS60H3AG2	Crambo 6000 D hydraulisch T3/Stufella					

Abb. 4.1: Operations-Planung mit SAP BW, Quelle: Eigene Darstellung.

Auf Basis dieses Forecasts erfolgt im weiteren Schritt eine erste grobe Zuteilung der Maschinen zu den Kundenaufträgen. In diesem Stadium wird bereits definiert, um welche Produktfamilie und Maschinentypenvariante es sich handelt. Die geplanten SET-Artikel der Maschinen gliedern sich, wie in Abschnitt 2.2.2 beschrieben, in unterschiedliche Module und generieren im ERP-System Vorplanbedarfe und damit gepaart Planaufträge für die Disposition von Komponenten für die Eigenfertigung, Auslösung von Fertigungsaufträgen und Disposition von Zukaufteilen.

4.1.2 Bedeutung der Seriennummer

Im Zuge der Einplanung der Maschinen in den Produktionsplan (Abb. 4.2) wird für diese eine Seriennummer vergeben. Diese Nummer ist in der fünften Spalte von links in Abb. 4.2 ersichtlich und gliedert sich in zwei Bereiche auf. Die ersten drei Ziffern stehen für die Maschinentypenvariante, die letzten drei Ziffern stellen eine fortlaufende Produktionsnummer dar, welche sich nach dem Auftragseingang bzw. der Baureihenfolge der Maschinen orientiert.

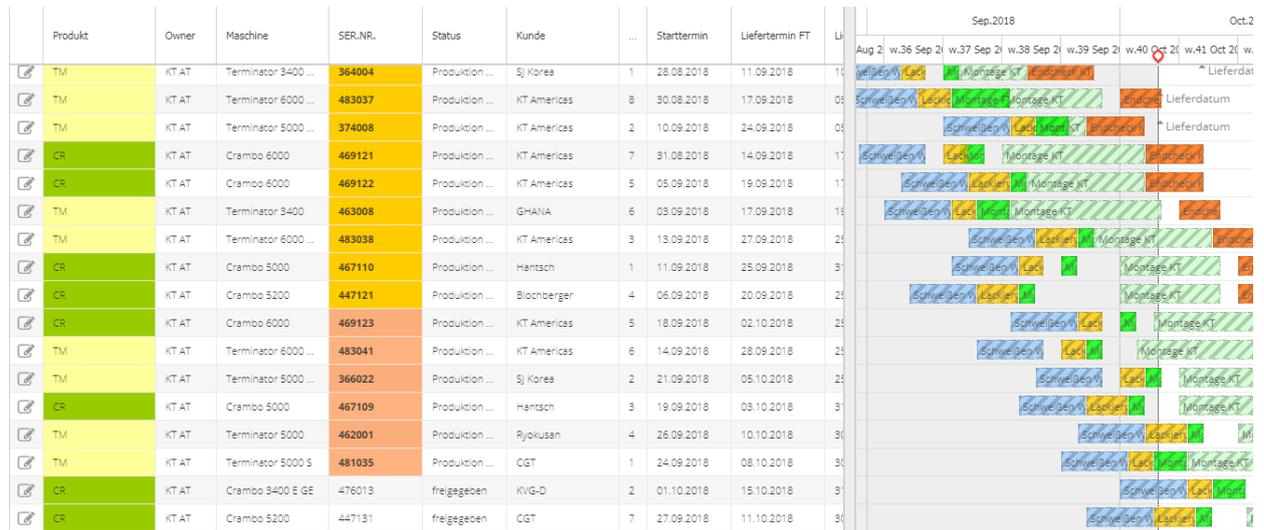


Abb. 4.2: Übergreifender Produktionsplan für Umwelttechnikmaschinen, Quelle: Komptech GmbH.

In der Vergangenheit war die Einplanung einer Maschine in den Produktionsplan ohne Seriennummer grundsätzlich nicht möglich, da das bis vor kurzem verwendete Produktionsplanungswerkzeug vor der durchgängigen Einführung des ERP-Systems SAP an allen Standorten und Abteilungen auch Reporting- und Archivierungsfunktionen erfüllen musste. Mit der Neueinführung eines webbasierten Produktionsplanungswerkzeuges wurde dies korrigiert. Es ist nunmehr auch möglich, Maschinen ohne Seriennummer einzuplanen und somit bereits vor Auftragsdefinition Aussagen über Kapazitäten, Taktung und Lieferzeiten der Maschinen zu treffen und dies auch durch Anlage des Datensatzes im Produktionsplan zu dokumentieren.

Die Seriennummer ist dabei eine eindeutige alphanumerische Bezeichnung der Maschine, die als Identifikation für Maschinen einer Serie oder eines Maschinentyps herangezogen wird. Sie dient in weiterer Folge auch der Rückverfolgung von Maschinen in Bezug auf die verbauten Komponenten. Dies ermöglicht der Serviceabteilung, wie auch dem Kunden, besondere Serviceleistungen zu bieten, da es häufig nur unter Angabe der Seriennummer möglich ist, die korrekten Ersatz- oder Verschleißteile an den Endkunden oder Händler zu übermitteln. Des Weiteren können mit der Seriennummer verbaute Komponenten, in Abhängigkeit der jeweiligen Fertigungsdokumentation, eindeutig identifiziert werden und so z.B. Wartungsintervalle, Standzeiten, Lebensdauer der Komponenten oder Betriebsmittelspezifikationen an den Maschinennutzer übermittelt werden. Die Seriennummer wird am Typenschild der Maschine angebracht und steht in unmittelbarem Bezug zur Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, welche vorgibt, dass diese deutlich erkennbar und dauerhaft an der Maschine angebracht werden soll.

Dies ermöglicht eine rasche Zuordnung von Zeichnungen und Artikelnummern zu einzelnen Maschinentypenvarianten bzw. Produktlinien, da eine Vielzahl an Teilen einer Produktlinie bei mehreren Maschinentypenvarianten eingesetzt wird.

Serialnummer

Bei einer Serialnummer handelt es sich um eine Nummer, „die einem Materialeinzelstück zusätzlich zur Materialnummer gegeben wird, um das Einzelstück von allen anderen Stücken dieses Materials individuell unterschieden zu können. Die Kombination aus Materialnummer und Serialnummer ist eindeutig.“⁹²Mit ihr wird bei Komptech in den Serviceabteilungen gearbeitet, um die Nachrüstungen, Ersatzteilmachsendungen und Servicearbeiten an Maschinen nachvollziehbar und historisiert darstellen zu können. Die Serialnummer orientiert sich dabei zu 100 Prozent an der von der Planung vergebenen Maschinenseriennummer. Die Serialnummer für die Maschine M447130 ist z.B. die 447130.

Bedeutung für Vertrieb

Derzeit werden Kundenaufträge mit der M447130 als Kopfmateriale des Auftrags angelegt und dem Kunden in der Auftragsbestätigung übermittelt. Eine Änderung dieses Auftrages bzw. eine Auftragsbestätigung ohne Maschinenseriennummer ist grundsätzlich möglich.

Bei Anzahlungsrechnungen für z.B. Direktvertriebskunden in Deutschland oder Österreich ist im aktuellen System bzw. Prozess jedoch keine nachträgliche Änderung des Kundenauftrages mehr möglich und somit auch keine Änderung bzw. nachträgliche Ergänzung der Maschinenseriennummer, jedoch ist die Maschinentypenvariante bei der Erstellung einer Anzahlungsrechnung bereits fixiert und ändert sich nur mehr in Ausnahmefällen. Laut aktuellem Status basiert die Datenablage im Datenmanagementsystem zu den einzelnen Aufträgen, was die Vertriebskorrespondenz und die Auftragsdokumente betrifft, auf Maschinenseriennummern.

4.1.3 Maschinenstücklistenanlage und Maschinenanteil Slowenien

Die Maschine wird auf Basis der Maschinenseriennummer mit der Materialnummer **M447130** in der Werks-sicht 1200 des ERP-Systems angelegt. Die Materialnummer M447130 bildet dabei in der Produktstruktur die höchste Ebene der Maschinenstückliste und leitet sich aus der Maschinenseriennummer ab. Im nächsten Schritt folgt eine Anlage der sogenannten M-SLO-Maschine (Maschinenanteil Slowenien) mit der Materialnummer **M447130SLO**, welche in beiden Werken (1200 und 3200) erfolgt.

Im nachfolgenden Schritt wird, wie für jede Eigenfertigungskomponente, ein Arbeitsplan erstellt und die Materialstückliste auf Basis der F-Artikel-Ausstattung (Maschinenkonfiguration) der Vertriebsabteilung erstellt. Das Beispiel für eine solche Materialstückliste ist in Abb. 4.4 dargestellt.

⁹² Dickersbach/Keller (2014), S. 506.

Materialstückliste anzeigen: Positionsübersicht Allgemein

Unterpos. | Neue Einträge | Kopf | Gültigkeit

Material: M447130 AMBO 5200 DIESEL DIRECT
 Werk: 1200 KOMPTECH GmbH (KT)
 Alternative: 1

Material | Dokument | Allgemein

Pos.	P...	Komponente	Komponentenbezeichnung	Menge	ME	BGr	Fertigungsrelevanz	Ups	Gültig ab
0010	L	FCRS52M4FG2	Crambo 5200 D direct T4f/StufeIV	1	ST	✓	XX	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0020	L	FCRW01073	VT-Satz Sichelzahn	1	ST	✓	32	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0030	L	FCRW01053	Walze gepanzert, unbestückt	1	ST	✓	32	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0040	L	FCRZ070	Kassette Bio	1	ST	✓	32	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0050	L	FCRZ0210	VT-Satz Bio-Zähne	1	ST	✓	32	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0060	L	FCRZ021	Biozahnhalter unbestückt	1	ST	✓	XX	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0070	L	FMZ1711	Austragsband Standard	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0080	L	FMZ1616G2	Abwurfband 6,5 m	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0090	L	FMZ3121G2	ÜBM Hydraulik/Mechanik-Vorbereitung	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0100	L	FMZ112G2	Funkfernbedienung Basic G2	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0110	L	FMZ3401	Feuerlöscher	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0120	L	FMZ3501	Connect	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0130	L	FZ010	Maschinendokumentation	1	ST	<input type="checkbox"/>	XX	<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0140	L	M447130SLO	CRAMBO 5200 DIESEL DIRECT	1	ST	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	02.10.2018
0150	L	FMZ1012	Track direct	1	ST	✓	12	<input type="checkbox"/>	03.10.2018

Abb. 4.4: Maschinenstückliste im ERP-System, Quelle: Komptech GmbH.

Die Materialnummer M447130SLO ist ebenfalls Teil dieser Stückliste (Abb. 4.4) und repräsentiert den Fertigungsanteil des Schwesterwerkes, was die Herstellkosten und somit die Maschinenkalkulation betrifft. Diese Systematik dient grundsätzlich dazu, die Wertschöpfungsanteile innerhalb des Fertigungsverbundes abzubilden.

Auf Basis der Fertigungsrelevanzen, welche in Abb. 4.4 rot markiert sind, wird im Schwesterwerk 3200 die Stückliste für M447130SLO angelegt, welche jene F-Artikel beinhaltet, die ausschließlich bzw. teilweise am Standort in Ljutomer produziert bzw. montiert werden. Die Stückliste der M-SLO wird in Abb.4.5 anhand des Beispiels der Maschine 447130 dargestellt.

Materialstückliste anzeigen: Positionsübersicht Allgemein

Unterpos. | Neue Einträge | Kopf | Gültigkeit

Material: M447130SLO AMBO 5200 DIESEL DIRECT
 Werk: 3200 FARMTECH SLO (FT)
 Alternative: 1

Material | Dokument | Allgemein

Pos.	P...	Komponente	Komponentenbezeichn...	Menge	ME	BGr	F..	Ups	Gültig ab	Gültig bis	Änderungsnr.
0010	L	FCRS52M4FG2	Crambo 5200 D direct T...	1	ST	✓	<input type="checkbox"/>		02.10.2018	31.12.9999	
0020	L	FCRW01073	VT-Satz Sichelzahn	1	ST	✓	<input type="checkbox"/>		02.10.2018	31.12.9999	
0030	L	FCRW01053	Walze gepanzert, unbest...	1	ST	✓	<input type="checkbox"/>		02.10.2018	31.12.9999	
0040	L	FCRZ070	Kassette Bio	1	ST	✓	<input type="checkbox"/>		02.10.2018	31.12.9999	
0050	L	FCRZ0210	VT-Satz Bio-Zähne	1	ST	✓	<input type="checkbox"/>		02.10.2018	31.12.9999	
0060	L	FCRZ021	Biozahnhalter unbestückt	1	ST	✓	<input type="checkbox"/>		02.10.2018	31.12.9999	

Abb. 4.5: Materialstückliste M447130SLO, Quelle: Komptech GmbH.

Der Begriff „Fertigungsrelevanz“ bedeutet in diesem Zusammenhang, wie im Wortlaut ausgesagt, den Montageort der Komponenten. Es gibt F-Artikel, wie z.B. die Zerkleinerungseinheiten der Maschinen, welche ausschließlich am Standort in Ljutomer montiert werden. Es gibt aber auch F-Artikelbaugruppen, die für die Montage in Slowenien und Österreich relevant sind und somit eine Mischrelevanz aufweisen. Die Relevanzen werden in Abb. 4.4 anhand des Maschinenstücklistenbeispiels in einer eigenen Spalte rot markiert dargestellt. Die Relevanzeinstellung 12 bedeutet, dass der F-Artikel für das Werk 1200 (Werk 3) fertigungsrelevant ist, die Einstellung 32 hingegen, dass der F-Artikel für das Werk 3200 (Werk 2) fertigungsrelevant ist. Die Einstellung XX spezifiziert eine Mischrelevanz in beiden Werken. Es besteht die Möglichkeit, dass Komponenten an unterschiedlichen Standorten verbaut werden, jedoch ist es im momentanen Produktionssystem nicht möglich, Baugruppen respektive F-Artikel an unterschiedlichen Standorten zu montieren.

4.1.4 Kunden- und Fertigungsauftragsanlage

Die Information über die angelegte Maschinenstückliste wird an die Vertriebsabteilung übermittelt. Diese legt anschließend den Kundenauftrag mit der dazugehörigen Maschinenstückliste M447130 im ERP-System an und setzt somit einen Kundenauftragsbedarf im ERP-System ab. Im Zuge dieser Tätigkeit wird ebenso die Seriennummer als Datensatz im System eingepflegt. Die Maschinenstückliste M447130 löst sich im Kundenauftrag in die einzelnen F-Artikel auf. Dieser Bedarf generiert über den Materials Requirement Planning-Run (kurz MRP-Run) im ersten Schritt einen bedarfsdeckenden Planauftrag für diesen Kundenauftrag. Der MRP-Run wird an den unterschiedlichen Standorten mindestens einmal täglich durchlaufen und dient zur korrekten Terminierung von Materialien innerhalb des ERP-Systems auf Basis der Kundenauftrags- bzw. Vorplanungsdaten. Im Schwesterwerk in Slowenien findet ein solcher MRP-Run dreimal täglich statt, um die Disposition bis auf die erste Fertigungsebene übersichtlicher zu gestalten.

Der Planauftrag, welcher sich aus dem Kundenauftrag ableitet, wird in weiterer Folge in einen Fertigungsauftrag umgewandelt. Die Basis hierfür bilden zum einen die Fertigungsrelevanzen, welche entscheiden, in welchen Werken die Fertigungsaufträge für diverse F-Artikel ausgelöst werden, und zum anderen die Daten, die sich durch die Produktionsplanung ergeben. Die hier festgelegten Start- bzw. Endtermine werden für die Terminierung der Fertigungsaufträge herangezogen. Wichtige Termine in diesem Zusammenhang sind der Start der Rahmenschweißerei im Schwesterwerk in Slowenien und der Start der Endmontage der Zerkleinerungsmaschine am Standort in Frohnleiten.

Für die erwähnte M-SLO wird eine Intercompany-Bestellung (IC-Bestellung) im ERP-System ausgelöst, welche wiederum im Werk in Slowenien einen Bedarf generiert, der mit einem Planauftrag gedeckt wird und anschließend in einen Fertigungsauftrag umgewandelt wird. Die Aufschlüsselung solch einer IC-Bestellung ist in Abb. 4.6 ersichtlich, wobei an erster Stelle der Positionsübersicht „M-SLO Maschine“ angeführt wird und darunter alle Eigenfertigungskomponenten, die für die Montage im Werk 3 in Frohnleiten relevant sind.

Maßnahmen zur Flexibilisierung von Zerkleinerungsmaschinen

IC Bestellung M447130_00 angelegt von Franz Steinkellner

Übersicht: Druckansicht Nachrichten Pers. Einstellung Als Vorlage sichern Dokumente anzeigen

IC Bestellung M447130_00 Lieferant 3200 FARMTECH d.o.o. Belegdatum 02.10.2018

Kopf

Er	S..	Pos	K	P	Material	Kurztext	Bestellmenge	B...	T	Lieferdatum	Nettopreis	Wä...	pro	B...	Warengru...	Anforderer	Werk	Lage
		10			M447130SLO	CRAMBO 5200 DIESEL DI...		1ST	T	09.11.2018	1,00 EUR	1	1	ST	Fertigartikel ...		KOMPTECH	..Produ
		20			161786000B	Bolzen sz		2ST	T	09.11.2018	6,85 EUR	1	1	ST	Schweißbau...		KOMPTECH	..Produ
		30			161795003A	Übergangsblech r sz		1ST	T	09.11.2018	38,47 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		40			161795503A	Übergangsblech l sz		1ST	T	09.11.2018	38,47 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		50			167016000A	Hebwerkzeug sz		1ST	T	09.11.2018	17,03 EUR	1	1	ST	Schweißbau...		KOMPTECH	..Produ
		60			167700430	Distanzrohr		1ST	T	09.11.2018	1,72 EUR	1	1	ST	Bearbeitung...		KOMPTECH	..Produ
		70			167929000C	Batterierahmen sz		1ST	T	09.11.2018	32,07 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		80			169900081A	Dichtblech		2ST	T	09.11.2018	9,13 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		90			447400190A	Adapterplatte Batterieha...		1ST	T	09.11.2018	2,25 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		100			447400200A	Schlauchhalterung SG CR...		2ST	T	09.11.2018	1,01 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		110			447554000A	Stützbügel sz		1ST	T	09.11.2018	29,39 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		120			447900251	Filterkonsole		2ST	T	09.11.2018	15,40 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		130			447900600	Kabelschiene l		1ST	T	09.11.2018	18,75 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		140			447900610	Kabelschiene r		1ST	T	09.11.2018	19,08 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		150			447943000B	Ölfilterkonsole sz		1ST	T	09.11.2018	38,16 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		160			449400030	Konsole hyd Riemen ...		1ST	T	09.11.2018	8,21 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		170			449500260	Abdeckung		1ST	T	09.11.2018	16,96 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		180			449544000A	Riemenschutz r sz		1ST	T	09.11.2018	148,86 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		190			449545000A	Riemenschutz l o sz		1ST	T	09.11.2018	107,46 EUR	1	1	ST	Schweißbg ...		KOMPTECH	..Produ
		200			449546001	Riemenschutz l u sz		1ST	T	09.11.2018	59,56 EUR	1	1	ST	Schweißbau...		KOMPTECH	..Produ
		210			467100010	Deckblech l		1ST	T	09.11.2018	9,00 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ
		220			467100020	Schottblech l		1ST	T	09.11.2018	5,06 EUR	1	1	ST	Zuschnitt		KOMPTECH	..Produ

Abb. 4.6: Auszug IC-Bestellung ERP-System, Quelle: Komptech GmbH.

Separat werden über den Fertigungsauftrag die Eigenfertigungskomponenten des Standortes Ljutomer, die am Standort Frohnleiten montiert werden, erfasst und mit der IC-Bestellung der M-SLO mitbestellt. Die Darstellung dessen im ERP-System ist in Abb. 4.7 ersichtlich.

Bedarfs-/Bestandsliste von 18:13 Uhr

Materialbaum ein MD03 Einzpl. einstufig md02 Stückliste ändern Fertigungsauftrag ändern OK

Material M447130SLO [CRAMBO 5200 DIESEL DIRECT]

Dispobereich 3200 FARMTECH SLO (FT)

Werk 3200 Dispomerkmale PD Materialart FERT Einheit SI

Einzelliste Werksübergreifende Sicht

Z.. Datum	Dispoelement	Daten zum Dispoelem.	Umterm. ...	A..	Zugang/Bedarf	Verfügbare Menge	Lie...	Ab...	La...	Charge / Anfr
15.10.2018	BStand						0			03.10.2018
06.11.2018	BS-Abr	M447130_00/00010			82	1-	1-	1200	1210	
09.11.2018	Fe-Auf	M447130-5000/PP03/FR	06.11.2018		10	1	0			3200

Abb. 4.7: Bedarfsübersicht Werk Ljutomer für M447130SLO, Quelle: Komptech GmbH.

4.1.5 Fertigungsschritte bei der Produktion von Zerkleinerungsmaschinen

Die Einzelteilerfertigung am Standort in Slowenien startet in der Regel vier Wochen vor dem Start der Rahmenschweißerei bzw. zum Bedarfszeitpunkt laut ERP-System im Komponentenwerk 1 (Ljutomer/Slowenien). Nach Abschluss der Komponentenfertigung werden die Teile ins Werk 2 (Ljutomer/Slowenien) in die Rahmenschweißerei transportiert, wo dann das Heften des Maschinenrahmens erfolgt. Der fertig geheftete Maschinenrahmen des Typs CRAMBO ist in Abb. 4.8 ersichtlich. Dieser Maschinenrahmen ist Teil des SET-Artikels FCRS52M4FG2, welcher in der Maschinenstückliste in Abb. 4.5 an Position 0010 angeführt wird.

In Abhängigkeit der verfügbaren Kapazitäten werden einzelne Unterschweißbaugruppen, wie große Querrahmenbaugruppen, bereits zu einem früheren Zeitpunkt geheftet und verschweißt.

Zur Verdeutlichung der Größenverhältnisse dienen die Daten des Maschinenrahmens der Produktlinie CRAMBO, die eine Länge von 6700 mm, eine Breite von 2500 mm und eine Höhe von 2243 mm bei einem Endgewicht der Rahmenschweißbaugruppe von ca. 4500 kg aufweist.



Abb. 4.8: Heftarbeitsplatz CRAMBO-Rahmen Werk 2 Ljutomer, Quelle: Komptech GmbH.

Nach dem Heften des Maschinenrahmens wird dieser mit einem Hallenkran auf die nächste Arbeitsstation gehoben und auf einer Drehvorrichtung, wie in Abb. 4.9 dargestellt, aufgespannt, wo dieser in weiterer Folge laut Vorgaben verschweißt wird.

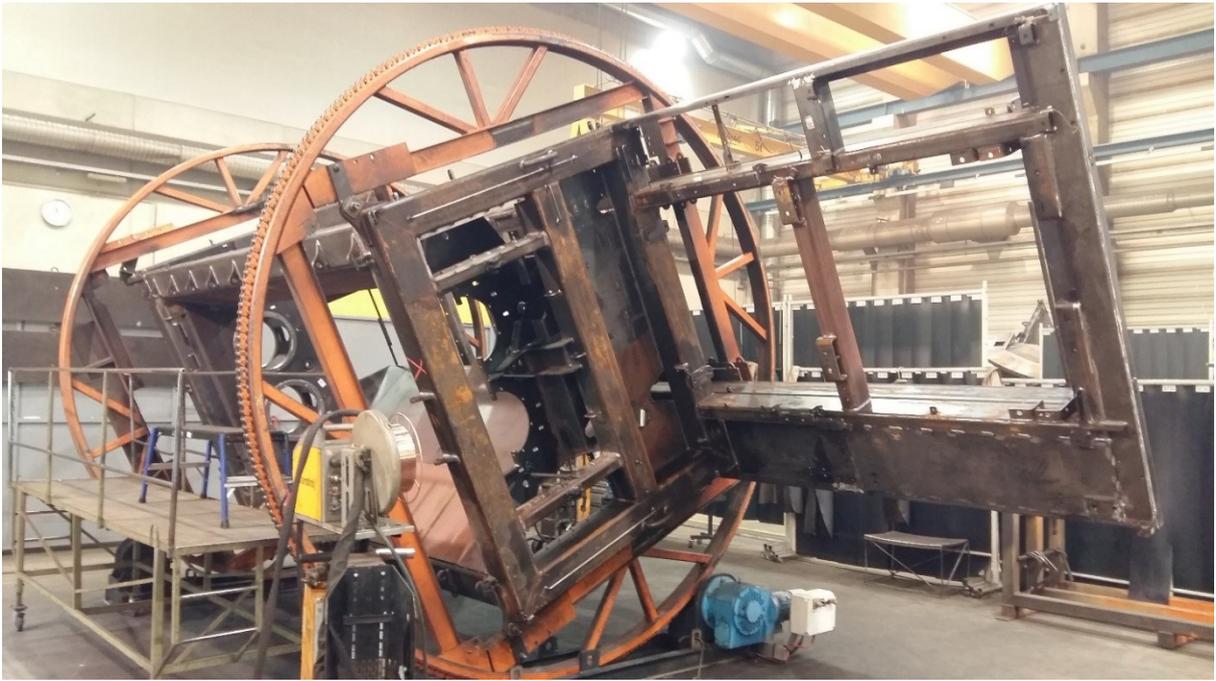


Abb. 4.9: Drehvorrichtung Rahmenschweißen CRAMBO Werk 2 Ljutomer, Quelle: Komptech GmbH.

Die gesamten Schweißarbeiten inklusive dem Arbeitsschritt Heften und der abschließenden Vormontage von diversen Anbaukomponenten dauern hierbei, je nach Maschinentyp, fünf bis sechs Werktagen und haben als nachfolgenden Schritt die Lackierung des Maschinenrahmens angereicht. Die gesamte Lackierung des Maschinenrahmens, sowie der Montageteile, dauert in Abhängigkeit des Maschinentyps, zwei bis drei Werktagen.

Den letzten Schritt am Standort in Slowenien stellt die Vormontage mit einer Dauer von zwei Werktagen dar, wo z.B. die Zerkleinerungseinheit, der Befülltrichter, sowie diverse Anbauteile an der Maschine vormontiert werden. Die Montagearbeitsplätze, an denen diese Tätigkeiten durchgeführt werden, sind in Abb.4.10 ersichtlich.



Abb. 4.10: Maschinenvormontage CRAMBO - Werk 2 Ljutomer, Quelle: Komptech GmbH.

Nach Abschluss dieses Arbeitsganges und nach einer abschließenden Qualitätsprüfung und Checklisten-erstellung wird die Maschine mit den Montagekomponenten nach Österreich geliefert, wo die Montage am Standort Frohnleiten an einem der acht ordentlich ausgewiesenen Montageplätze fortgesetzt und abgeschlossen wird. Die Montage hat hier, in Abhängigkeit dessen, ob es sich um eine Mobil- oder eine Stationärmaschine handelt, eine Durchlaufzeit von zehn bzw. 15 Werktagen. Sie beinhaltet die Montage der Antriebseinheit an der Maschine, wobei die unterschiedlichen Antriebseinheiten gesondert an einem Nebenarbeitsplatz, wie in Abb. 4.11 gezeigt, vormontiert werden. Dieser Vorgang wird von zwei bis drei Mitarbeitern durchgeführt und dauert je nach Maschinentyp ca. zwei Werktage. Die Motorbaugruppen werden auf den Montagewagen vormontiert und aus der Nebenhalle in die Haupthalle geschoben, wo die Motoreinheit mit einem Hallenkran zu der jeweiligen Maschine gehoben und montiert wird. Das vormontierte Motormodul entspricht hierbei z.B. zu einem großen Teil dem Umfang des modularen F-Artikels FMC13T4FG2 (Motormodul) und FMH50 (Hydraulischer Antrieb 5000), welche in der Maschinenstückliste in Abb. 4.5 strukturell dem unter Position 0010 angeführten SET-Artikel untergeordnet sind. Auf einer separaten Vorrichtung wird der Kombikühler der Antriebseinheit vormontiert und zur Maschine gebracht. Einzelne Komponenten der Ansaug- und Abgasluftführung, der Abgasnachbehandlung, sowie Hydraulikleitungen, werden direkt an der Maschine auf dem jeweiligen Montageplatz montiert.



Abb. 4.11: Motorvormontage Werk 3 Frohnleiten, Quelle: Komptech GmbH.

Weitere Arbeitsschritte am Standort Frohnleiten, die unter dem Begriff Endmontage gesammelt werden, sind die Hydraulikmontage, die Elektromontage, Montage-Fördertechnik und Metallabscheidung, Montage der Maschinenverkleidungen (Abb.4.12) und, in aller Regel abschließend, die Montage der Maschine auf einer der drei Mobilitätsvarianten Trailerfahrwerk, Raupenlaufwerk oder Wechselladersystem.



Abb. 4.12: Maschinenendmontage CRAMBO Werk 3 Frohnleiten, Quelle: Komptech GmbH.

Als letzter Produktionsschritt wird jede Maschine einem Endkontrollprozess unterzogen, der anhand von Checklisten dokumentiert wird. Hierbei werden eine mechanische Endkontrolle, sowie, separat von einem anderen Mitarbeiter, eine elektrische Endkontrolle der Maschine durchgeführt. Werden im Zuge dieses

Endkontrollprozesses Mängel festgestellt, werden diese beim letzten Arbeitsschritt, der Nacharbeit, behoben und die Maschine für die Auslieferung freigegeben.

Nach Abschluss der Tätigkeiten an der Maschine werden die Fertigungsaufträge abgeschlossen und die Maschine auf Bestand gebucht. Sie wird anschließend vom Vertriebsinnendienst mit der Materialnummer M447130 vom Lagerort 1200 ausgeliefert und an den Kunden fakturiert.

Aktuelle Durchlaufzeit Fertigung

Auf Basis der unter Abschnitt 3.3.4 angeführten Formel 3.2 für die Berechnung der Durchlaufzeit, ergibt sich für eine Maschine der Produktlinie CRAMBO im momentanen Produktionssystem folgende Auftragsdurchlaufzeit: Unter Bearbeitungsanfang des Auftrages wird hierbei das Auslösen der IC-Bestellung gesehen, sowie, in weiterer Folge, die Fertigungsauftragsanlage in den Werken. Als Bearbeitungsende wird jenes Datum gesehen, an dem die Produktion der Maschine in Frohnleiten planmäßig abgeschlossen werden soll. Dieses Datum entspricht nicht zwangsweise dem Endliefertermin an den Kunden.

$$\begin{array}{ll} ZDA = TAE - TAB & ZDA/d \text{ Auftragsdurchlaufzeit} \\ ZDA = 30.11.2018 - 28.09.2018 & (4.1) \quad TAE/d \text{ Bearbeitungsende Auftrag} \\ ZDA = 63 & TAB/d \text{ Bearbeitungsanfang Auftrag} \end{array}$$

Die 63 Tage der Auftragsdurchlaufzeit entsprechen neun Kalenderwochen und dem momentan festgelegten Ablauf hinsichtlich Maschinendefinition und möglichen Produktionsfertigstellungstermin. Die Durchlaufzeit bildet die Basis und den größten Anteil an der Lieferzeit des Produktes. Die werkfreien Tage werden in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt, die Zeiten werden in Kalendertagen angegeben.

Aktuelle Lieferzeit

Für die Berechnung der Lieferzeit wird die unter Abschnitt 3.3.3 angeführte Formel 3.1 herangezogen, wobei für die Beschaffungszeit und die Belastungsverschiebung der Wert null eingesetzt wird. Für die Durchlaufzeit wird der zuvor errechnete Wert von 63 Tagen herangezogen. Als Lieferzeitpuffer wird ein Wert von sieben Tagen angenommen, der auch in den aktuellen Planungen verwendet wird. Als Versandzeit wird ein Tag definiert, die Administrationszeit wird mit drei Tagen festgelegt. Unter Versandzeit versteht man die Zeit, die für die Vorbereitung der Maschinen auf die Auslieferung und die Verladung benötigt wird. Aufgrund der Größe und des Gewichts der Maschinen ist der Aufwand hierfür dementsprechend hoch. Die Administrationszeit soll die Zeit widerspiegeln, die für die Einplanung der Maschine für die Produktion, die Anlage der Maschinenstückliste, die Kundenauftragsanlage, sowie die Fertigungsauftragsanlage, benötigt wird.

$$ZL = ZDL + ZB + ZLP + ZV + BV + ZAD$$

$$ZL = 63 + 0 + 7 + 1 + 0 + 3 \quad (4.2)$$

$$ZL = 74$$

ZL/d Lieferzeit

ZDL/d Durchlaufzeit

ZB/d Beschaffungszeit

ZLP/d Lieferzeitpuffer

ZV/d Versandzeit

BV/d Belastungsverschiebung

ZAD/d Administrationszeit

Es ergibt sich eine Lieferzeit von 74 Tagen vom Kundenauftragseingang bis zur Auslieferung der Maschine. Wenn die Beschaffungszeit für alle Komponenten berücksichtigt werden würde, würde sich diese Zeit signifikant verlängern. Diesem Umstand wird mit Hilfe der Produktionsforecastplanung entgegengewirkt. Da einige Langläufer Lieferzeiten von mehreren Wochen bzw. Monaten haben, werden diese auf Basis der Vorplanung geordert bzw. besichert.

Die Belastungsverschiebung auf Basis verfügbarer Kapazitäten hat vor allem in Zeiten eines erhöhten Auftragseinganges eine starke Auswirkung auf die Lieferzeit der Maschinen. Neben dem möglichen Fertigungstakt der Rahmenschweißerei und den Fertigungskapazitäten für die Einzelteilerfertigung muss hier auch die Verfügbarkeit von Montagekapazitäten im Werk 3 in Frohnleiten berücksichtigt werden. So ist es in der Praxis häufig der Fall, dass aufgrund der Auslastung der Werke die errechnete theoretische Lieferzeit um mehr als das Doppelte länger sein kann. Da dieser Wert jedoch stark schwankend ist, wird dieser hier nicht berücksichtigt.

In Abb. 4.12 wird der aktuelle Produktionsprozess schematisch dargestellt, wobei der rote Pfeil als Markierung für den Zeitpunkt innerhalb des Prozesses dient, an dem aktuell die Maschinenseriennummer definiert wird und so eine teilweise anonyme Einzelteilerfertigung in eine Kundenauftragsfertigung bzw. maschinentypenspezifische Fertigung übergeht. Die Festlegung der Materialnummer M447130 sollte jedoch so spät wie möglich im Produktionsprozess erfolgen, um die Fertigung so lange wie möglich anonym und flexibel gestalten zu können.

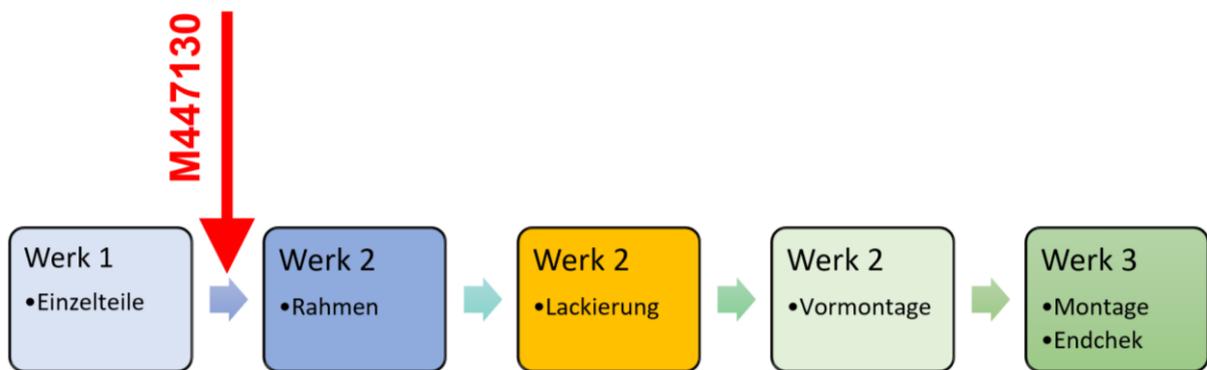


Abb. 4.13: Produktionsprozess für Zerkleinerungsmaschinen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Maschinenseriennummer hat im derzeitigen Produktionssystem eine hohe Bedeutung hinsichtlich der Fertigungsauftragsverfolgung und Orientierung innerhalb der Fertigung. Dies betrifft vor allem den Bereich der Fehlteilurgenzen der Eigenfertigungs- bzw. Zukaufkomponenten, der Logistik und der Fertigungssteuerung. Diese Orientierung an der Maschinenseriennummer ist historisch gewachsen und somit dementsprechend im Unternehmen über alle Abteilungen hinweg verankert.

4.1.6 Kundenauftragsunabhängige Produktion von Baugruppen bzw. Modulen

Aktuell werden ausgewählte Module bzw. Baugruppen der Zerkleinerungsmaschinen anonym, auf Basis eines Sicherheitsbestandes bzw. einer Materialdisposition, in Losgrößen vormontiert und gelagert.

Module bzw. F-Artikel, welche kundenauftragsunabhängig montiert und gelagert werden, sind die Auszugsförderbänder der Zerkleinerungsmaschinen, die Abwurfförderbänder, sowie Magnetabscheidebänder. Voraussetzung hierfür ist die Modularität dieser F-Artikel und hier im Speziellen, die im Theorieteil beschriebenen, Eigenschaften der Entkoppelung, sowie der kommunalen Verwendung der F-Artikel bei den beiden wichtigsten Produktlinien von Komptech, CRAMBO und TERMINATOR.

In Abb. 4.13 wird das Modul *Magnetabscheideband FMZ3120G2* rot eingefärbt dargestellt. Die mechanische Anbindung erfolgt über zwei Flanschplatten, welche am Maschinenrahmen der Grundmaschine verschweißt sind, sowie hydraulisch über einen Steuerblock und Ventile.

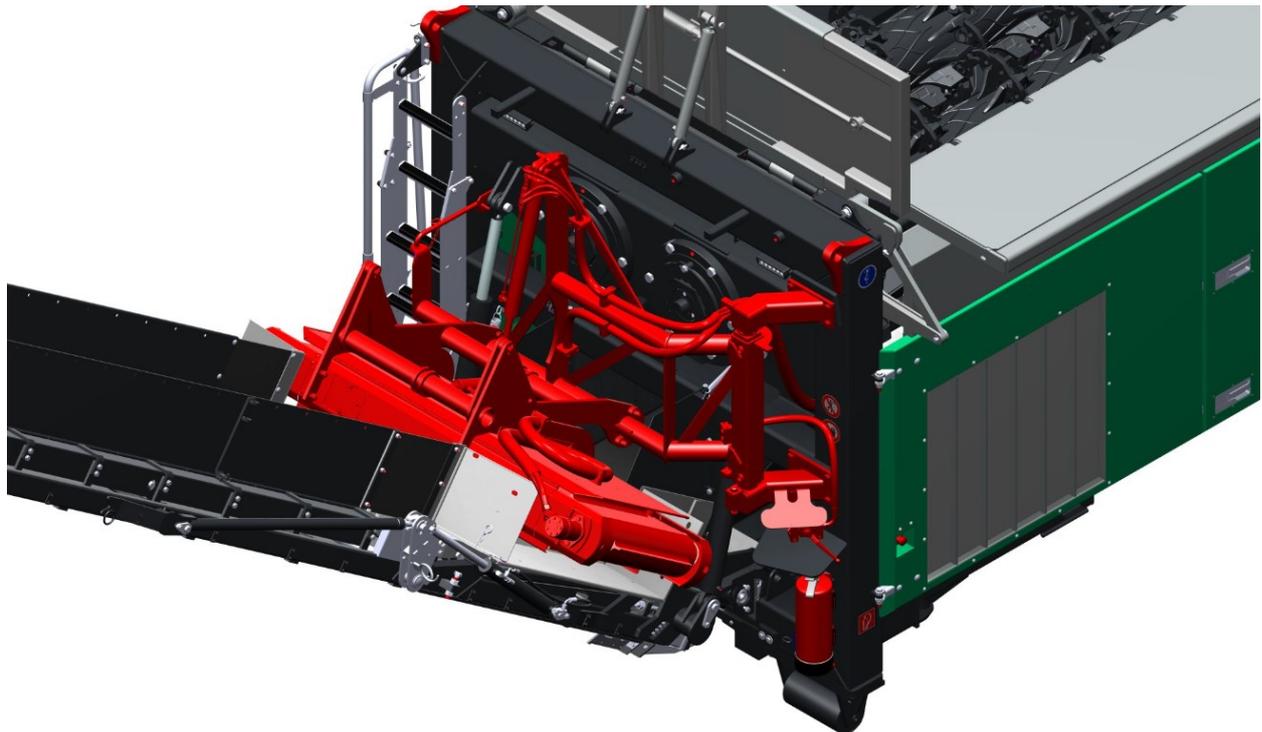


Abb. 4.14: Magnetabscheideband der Produktlinien CRAMBO und TERMINATOR, Quelle: Komptech GmbH.

Für die Umsetzung dessen im ERP-System ist im Materialstamm des gewählten F-Artikels ein Disponent definiert, damit der Artikel in der Materialdisposition für den zuständigen Disponenten in der Planung ersichtlich ist.

Des Weiteren ist auch die Planungsstrategie für den Artikel mit der Selektion *Lagerfertigung* definiert. Diese Einstellung legt im ERP-System fest, dass diese Artikel nicht mehr vorgeplant werden und keine Verrechnung gegen einen Vorplanbedarf stattfindet. Die unterschiedlichen Planungsstrategien sind in Kapitel 3.2.3 beschrieben. Die Fertigung bzw. Teilebeschaffung wird also nicht auf Basis einer Bedarfsplanung angestoßen, sondern anonym auf Basis der Sicherheitsbestände und Maschinenreservierungen, die Planaufträge im ERP-System generieren und anschließend in Fertigungsaufträge umgewandelt werden. Dies steht im Gegensatz zu den Einstellungen bei Standard F-Artikel, welche mit der Selektion *Vorplanung mit Montage* definiert sind. Um die Lagerung des Artikels zu ermöglichen, muss für diesen in den Stammdaten auch ein Lageplatz definiert werden.

Der zuständige Disponent löst auf Basis des Bedarfs im System die Fertigungsaufträge für das Modul bzw. den F-Artikel Magnetabscheideband aus. Die Disponenten in den untergeordneten Produktstrukturhierarchien lösen im nächsten Schritt, wenn notwendig, Bestellungen für Zukaufkomponenten, wie z.B. Hydraulikzylinder, aus. Der für die Montage notwendige Stahlbau, welcher als Eigenfertigungskomponente definiert ist, wird per IC-Bestellung beim Schwesterwerk in Slowenien bestellt.

Der Disponent des F-Artikels überwacht in weiterer Folge die Materialverfügbarkeit für den Auftrag und gibt diesen zur Kommissionierung für die Montage frei, wenn alle Komponenten verfügbar sind. Nach der Kommissionierung wird z.B. das 3er-Los Magnetabscheidebänder in der Montage montiert und, nach Abschluss, der komplette F-Artikel im ERP-System auf Bestand gebucht. Wird nun ein Magnetabscheideband für einen konkreten Kundenauftrag benötigt, wird dieses, wie eine Einzelkomponente zu einer Baugruppe, zur Maschine kommissioniert und verbaut.

4.2 Erarbeitung der Maßnahmen für flexiblere Maschinenproduktion

In diesem Kapitel werden die Maßnahmen beschrieben, die auf Basis, der bisher in der Arbeit erläuterten Abläufe und Produktionsrahmenbedingungen notwendig sind, um die Produktion von Zerkleinerungsmaschinen am Standort in Frohnleiten flexibler zu gestalten und den Konfigurationszeitpunkt der Maschinen ans Ende des Produktentstehungsprozesses zu verschieben. Der angestrebte Konfigurationszeitpunkt wird in Abb. 4.15 schematisch dargestellt und stellt im direkten Vergleich mit dem in Abb. 4.13 visualisierten Schema des aktuellen Produktionssystems die Verschiebung des Punktes zur exakten Maschinendefinition vor den letzten Arbeitsschritt am Standort in Frohnleiten deutlich dar.

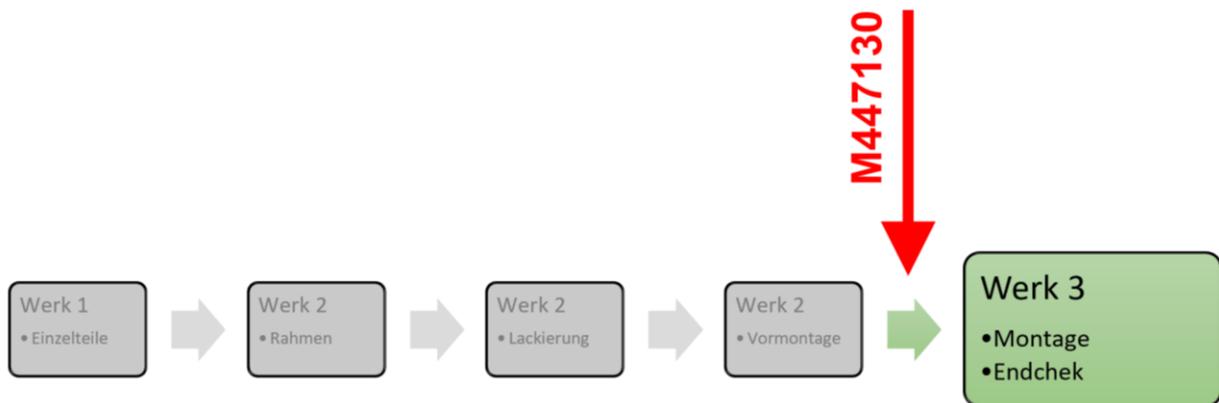


Abb. 4.15: Verschiebung Konfigurationszeitpunkt im Produktionssystem, Quelle: Eigene Darstellung.

Die ausgegrauten Vorgänge stellen im Vergleich zum aktuellen System jene Produktionsschritte dar, die anonym durchlaufen werden sollen. Ziel wäre ein *Configure-To-Order*-System wo im Zuge der Endmontage festgelegt wird, welche Maschinentypenvariante und in welcher Konfiguration gebaut wird.

4.2.1 Nutzung von Modularitäten

Zur Umsetzung einer flexibleren Produktion von Zerkleinerungsmaschinen und einer Reduktion der Kundendurchlaufzeit können die vorhandenen Modularitäten innerhalb der Produktlinien CRAMBO und TERMINATOR genutzt werden.

So kommt z.B. das Grundmaschinenmodul CRAMBO der F-Artikel FCRG2 (Abb. 4.16), bei allen Maschinentypenvarianten der Produktfamilie CRAMBO zum Einsatz und ist strukturell Teil aller zwölf SET-Artikel dieser Maschinentype. Hauptbestandteil dieses Moduls sind der Maschinenrahmen sowie die Maschinenverkleidungen.

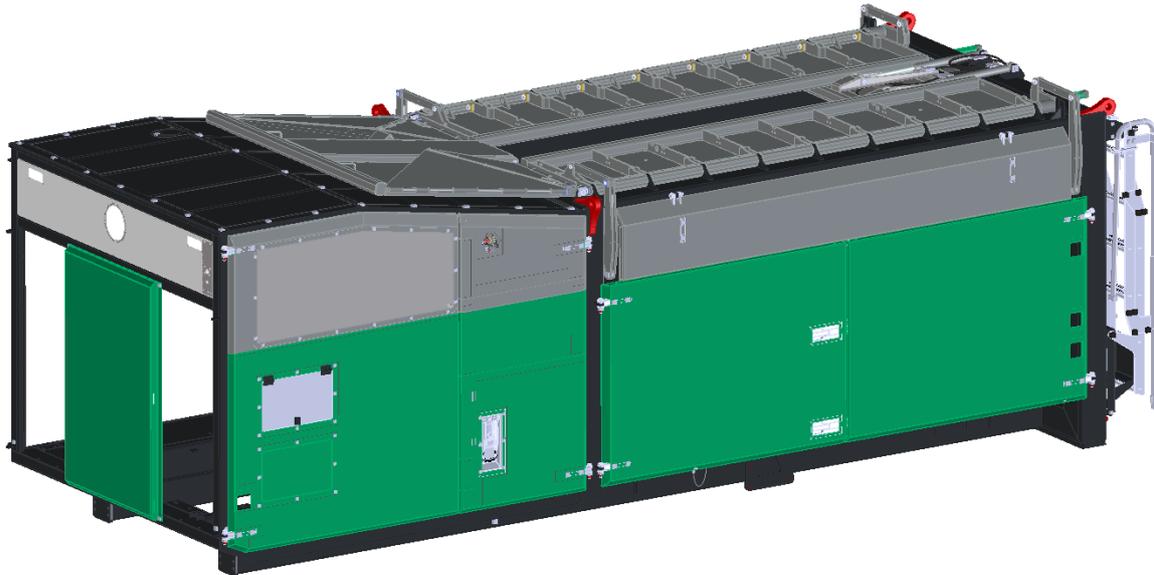


Abb. 4.16: CAD Modell FCRG2 CRAMBO, Quelle: Eigene Darstellung.

Diese Mehrfachverwendung des F-Artikels FCRG2 bei unterschiedlichen CRAMBO Maschinentypenvarianten ist im Stücklistenvergleich zwischen einem **CRAMBO 4200 direct T4f** (FCRS42M4FG2) und einem **CRAMBO 6000 hydraulisch T4f** (FCRS60H4FG2) in Abb. 4.17 ersichtlich.

Material	FCRS42M4FG2	Crambo 4200 D direct T4f/StufeIV		
Werk	1200	KOMPTECH GmbH (KT)		
Alternative	1			
Material Dokument Allgemein				
Pos.	P...	Komponente	Komponentenbezeichnung	Menge
0010	L	FCRG2	Crambo	1
0020	L	FCR1G2	Crambo Diesel spezifisch	1
0030	L	FCRM	Mechanischer Antrieb	1
0040	L	FCRM42	Mechanischer Antrieb Crambo 4200	1
0050	L	FMC9T4FG2	Motormodul C9 T4f	1
0060	L	FCRZ0805	Riemenschutz Crambo 4200 direct T4f	1

Material	FCRS60H4FG2	Crambo 6000 D hydraulisch T4f/StufeIV		
Werk	1200	KOMPTECH GmbH (KT)		
Alternative	1			
Material Dokument Allgemein				
Pos.	P...	Komponente	Komponentenbezeichnung	Menge
0010	L	FCRG2	Crambo	1
0020	L	FCR1G2	Crambo Diesel spezifisch	1
0030	L	FCRHG2	Hydraulischer Antrieb	1
0040	L	FMH60T4FG2	Hydraulischer Antrieb 6000 T4f	1
0050	L	FMC18T4FG2	Motormodul C18 T4f	1

Abb. 4.17: Produktstrukturvergleich Produktlinie CRAMBO, Quelle: Komptech GmbH.

Die beiden Maschinen stehen sich innerhalb der Produktfamilie konträr gegenüber. Während der **FCRS42M4FG2** eine mechanische direkt (FCRM & FCRM42) angetriebene Maschine mit der kleinsten möglichen Antriebsleistung (FMC9T4FG2) in der Produktstruktur abbildet, ist der **FCRS60H4FG2** eine hydraulisch angetriebene (FCRHG2 & FMH60T4FG2) Maschine mit der größten möglichen Antriebsleistung (FMC18T4FG2) innerhalb der Produktfamilie.

Derselbe Umstand der Mehrfachverwendung gilt auch für das Grundmaschinenmodul bei der Produktfamilie TERMINATOR sowie für die Motormodule, die in beiden Produktfamilien zum Einsatz kommen.

Diese modularen F-Artikel ermöglichen grundsätzlich eine kundenauftragsunabhängige Baugruppenmontage und spätere Verwendung in unterschiedlichen Maschinentypenvarianten.

4.2.2 Anpassungen ERP-Systemstrukturen

Derzeit besteht die Produktstruktur aus F-Artikeln mit untergeordneten Baugruppen, die unterschiedliche Fertigungsrelevanzen aufweisen, so hat die bereits beschriebene Materialnummer FCRG2 Komponenten, die am Standort in Ljutomer montiert werden, wie auch Komponenten, die am Standort in Frohnleiten an der Maschine verbaut werden. Für die anonyme Produktion wäre im Unterschied zum aktuellen Ablauf notwendig, die Fertigungsrelevanzen der F-Artikel komplett, entweder auf 1200 (Werk 3) oder 3200 (Werk 2), einzustellen. Eine Mischrelevanz wäre nicht mehr möglich, da die Verknüpfung zwischen dem Montageanteil des Werkes 2 in Ljutomer in Slowenien, der Maschinenseriennummer, und damit der M447130-Materialnummer, und dem Montageanteil des Werkes 3 in Frohnleiten aufgehoben werden muss, um anonym produzieren zu können.

Variante 1

Auf Baugruppenebene wäre eine Änderung der Stammdaten notwendig, um die Fertigungsrelevanz in zwei Werken auf eine Relevanz der Baugruppe in einem definierten Werk zu korrigieren.

Diese Stammdatenänderung muss über die komplette Produktstruktur der Produktfamilie CRAMBO und TERMINATOR hinweg durchgeführt werden und würde für einen Planungsmitarbeiter einen Arbeitsaufwand von ca. 80 Arbeitsstunden bedeuten. Eine Änderung für beide Produktfamilien ist notwendig, weil durch den modularen Baugruppenaufbau und die modulare F-Artikelhierarchie, Baugruppen und F-Artikel in beiden Produktfamilien Verwendung finden und daher nicht gesondert betrachtet werden können. Dieser Umstand ist der starken funktionellen Orientierung bei der Zusammenstellung von Maschinenmodulen und Baugruppen im Zuge der Konstruktion geschuldet und einer erst danach folgenden Betrachtung in Bezug auf die angewendeten Produktionsprozesse.

Variante 2

Beispielsweise wird unter dem F-Artikel FCRG2 eine Baugruppenzwischenebene (Abb. 4.18) eingeführt, derer jene Baugruppen zugeordnet werden, die vormontiert vom Standort in Slowenien ausgeliefert werden sollen. Diese Zwischenebenen könnten durch die Planungsmitarbeiter in einem Viertel der Zeit im ERP-System umgesetzt werden und würden die aktuellen Produktstrukturen, sowie die Konstruktionsabteilung, nicht betreffen.

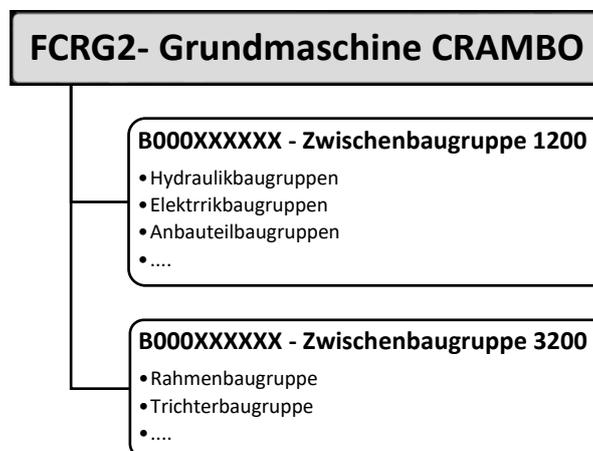


Abb. 4.18: Artikelstruktur mit Zwischenbaugruppenebene, Quelle: Eigene Darstellung.

Für Baugruppen, deren Montage aktuell im Werk 2 in Ljutomer durchgeführt wird, und die keine Bedeutung für die Maschinenkonfiguration oder Einfluss auf den Konfigurationszeitpunkt der Maschine haben, ist diese Vorgehensweise sehr gut geeignet, da die bisherige Festlegung in Bezug auf die Montage belassen werden kann. Als Beispiel kann hier der Befülltrichter herangezogen werden. Dieser ist nicht konfigurationsrelevant und kann somit bereits zu einem früheren Zeitpunkt am jeweiligen Maschinenrahmen montiert (Abb. 4.19) werden.

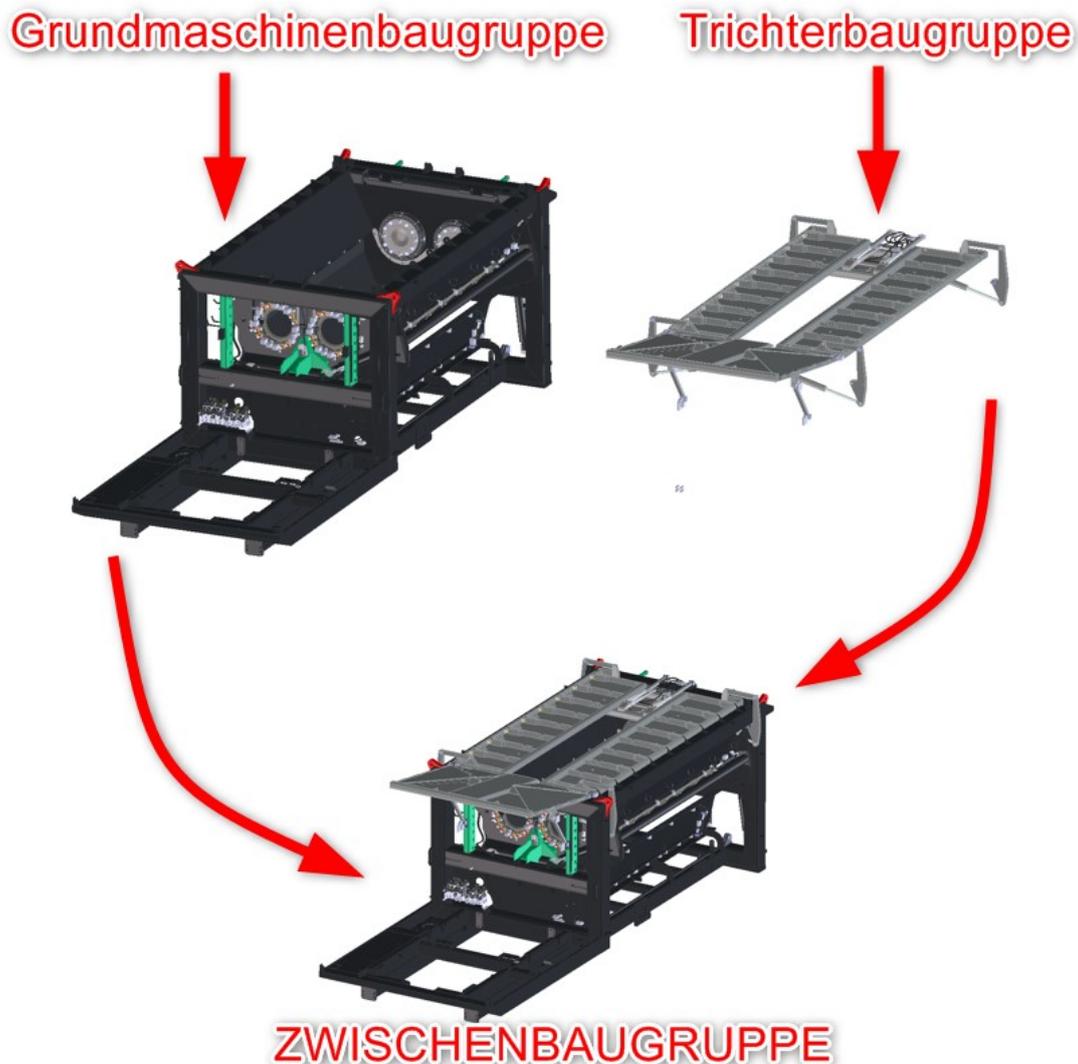


Abb. 4.19: CAD-Modell Umfang Zwischenbaugruppe, Quelle: Eigene Darstellung.

Die F-Artikel werden aktuell mit der Planungsstrategie *Vorplanung mit Montage* im ERP-System definiert. Im Gegensatz zu den aktuell anonym produzierten und vormontierten F-Artikeln, wie in 4.1.6 beschrieben, könnte diese Planungsstrategie im ERP-System beibehalten werden, da die Vorplanung der Artikel grundsätzlich beibehalten wird, bzw. beibehalten werden muss, um die Bedarfe für Langläufer, wie Hydraulikkomponenten, Kühler, Getriebe usw., über eine Planprimärbedarfsplanung abzusichern.

Die F-Artikel würden unabhängig von Maschinenseriennummern und Maschinenstücklisten auf Basis einer zu treffenden Dispositionseinstellung von einem Fertigungsdisponenten im Werk 3 disponiert und die dazugehörigen Fertigungsaufträge auslösen.

In Abstimmung mit den Planern und Vorarbeitern der Rahmenschweißerei im Werk 2 in Ljutomer im Zuge dieser Arbeit, ist es beim aktuellen Konstruktionsstand der Maschinenrahmen für die Produktlinie CRAMBO nicht mehr nötig, Einrichtarbeiten von Trichterelementen am betreffenden Maschinerahmen durchzuführen, an dem dieser Trichter im Anschluss aufgebaut wird. Diese Tätigkeiten sind durch intensive konstruktive Überarbeitungen des Produktes CRAMBO in Bezug auf fertigungsgerechte Konstruktion, die bei Komptech unter dem Projektüberbegriff „Design to Cost“ durchgeführt werden, weggefallen. Relevante Einzelkomponenten für die Vormontage an der Maschine, die es nach wie vor gibt, würden sich unterhalb der Zwischenbaugruppe, welche komplett bei Farmtech geordert wird, befinden. Im Zuge eines „Design to Cost“-Projektes wird Anfang des Jahres 2019 die Produktlinie TERMINATOR ebenfalls auf das Maschinendesign der CRAMBO-Produktlinie angepasst und würde somit ein solches Vorgehen über beide Produktfamilien hinweg ermöglichen.

Der Warenwert für die Lagerung eines Grundmaschinenmodules der Produktlinie CRAMBO beträgt ca. 40 TEUR und benötigt eine Lagerfläche von ca. 35 m², die nicht überdacht sein muss.

Innerhalb der Produktlinien gibt es maschinentypenspezifische F-Artikel bzw. Montagetätigkeiten, wie z.B. den Walzengetriebeeinbau (Abb. 4.20), welcher aktuell am Standort in Slowenien durchgeführt wird, der in Abhängigkeit des Antriebskonzeptes der Maschine (hydraulisch oder mechanisch direkt) spezifisch ist.

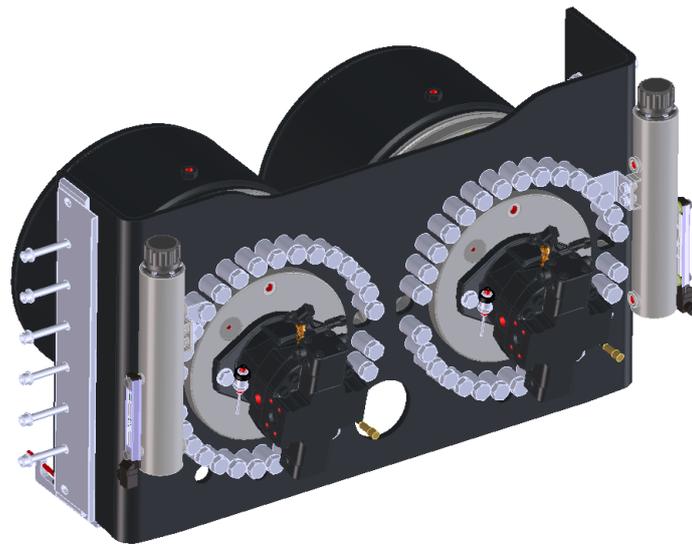


Abb. 4.20: Hydraulischer Antrieb FCRHG2, Quelle: Eigene Darstellung.

Diese spezifischen Tätigkeiten müssten künftig ebenfalls verlagert werden und im Rahmen der Maschinenmontage in Frohnleiten durchgeführt werden, um eine anonyme Vormontage zu ermöglichen. Diverse Baugruppen, wie z.B. der hydraulische Antrieb, könnten vormontiert und auf Baugruppenebene gelagert werden, um kurzfristig für die Montage verfügbar zu sein.

Variante 1 bringt den Vorteil, dass keine zusätzlichen Änderungen in der Produktstruktur umzusetzen sind, jedoch ist der Aufwand für die Anpassung aller Fertigungsrelevanzen, bezogen auf den Arbeitsaufwand, hoch. Bei Variante 2 ist zwar eine Änderung der Produktstruktur notwendig, jedoch wären die Änderungen relativ schnell umzusetzen und auch wieder rückgängig zu machen bzw. anzupassen, wenn der Bedarf hierzu besteht. Aus diesem Grund ist Variante 2 für eine mögliche Umsetzung zu empfehlen.

4.2.3 Anpassungen Materialstücklistenanlage

Für eine künftig anonyme Maschinenproduktion bis zur Endmontage in Frohnleiten ist es möglich und auch notwendig, dass der bisherige M-SLO-Ablauf abgeschafft wird. Die Materialnummer, wie z.B. M447130, wird erhalten bleiben, hat jedoch erst für die Endmontage am Standort in Frohnleiten Relevanz. Durch die eindeutig zugeordnete Fertigungsrelevanz der F-Artikel bzw. der Neustrukturierung mit einer Baugruppen-zwischenebene ist es möglich, die Herstellkostenkalkulation korrekt abzubilden, da die Montageumfänge des Schwesterwerkes in Ljutomer in der Zwischenbaugruppe enthalten wären und mit dieser mitverrechnet und wertmäßig auf Bestand gebucht werden.

Die Anlage der Materialnummer, der Maschinenstückliste und auch des Kundenauftrages kann im Bedarfsfall auch nach wie vor Monate vor der Produktion der Maschine erfolgen, wenn dies erforderlich ist. Der Kundenauftrag verrechnet sich zum Zeitpunkt des Bedarfes mit den F-Artikeln, welche auf Bestand und systemisch verfügbar sind. Die einzelnen Fertigungsaufträge für F-Artikel, welche weit in der Zukunft liegen, werden gleich wie jene, die anonym beauftragt werden, vom zuständigen Disponenten im Werk 3 ausgelöst.

4.2.4 Angepasste Modulmontage der Zerkleinerungseinheiten

Da die Konfiguration der Maschinen nun grundsätzlich erst im Zuge der Endmontage für die Produktion relevant ist, muss der Ablauf hinsichtlich F-Artikeln der Maschinenausstattungen, die bisher am Standort in Ljutomer montiert wurden, angepasst werden.

Bisher wurden z.B. die Zerkleinerungswalzen (Abb. 4.22) und die Siebkorbkassette (Abb. 4.21), welche beide durch eigene F-Artikel definiert sind, am Standort in Ljutomer in die Maschine verbaut. Diese sind aktuell Inhalt der unter 4.1.3 beschriebenen M-SLO und werden in Abhängigkeit der Kundenaufträge bzw. Maschinenstückliste definiert.

Für eine künftig anonyme Maschinenproduktion bis zur Endmontage in Frohnleiten müsste der bisherige M-SLO-Ablauf abgeschafft werden. Die F-Artikel der Zerkleinerungseinheiten würden in ihrer Relevanz in der Stückliste von Werk 3200 auf Werk 1200 gedreht werden und in ihren Stammdaten als Fremdbeschaffungsteil gepflegt werden. Diese F-Artikel würden komplett, wie eine Einzelkomponente, vom Schwesterwerk geliefert werden, wie z.B. die Siebkorbkassette. Der Artikel wird dann im ERP-System auf Bestand gebucht und wie eine Einzelkomponente oder ein in Frohnleiten anonym vormontierter F-Artikel zur Maschine kommissioniert und vom Bestand abgefasst.

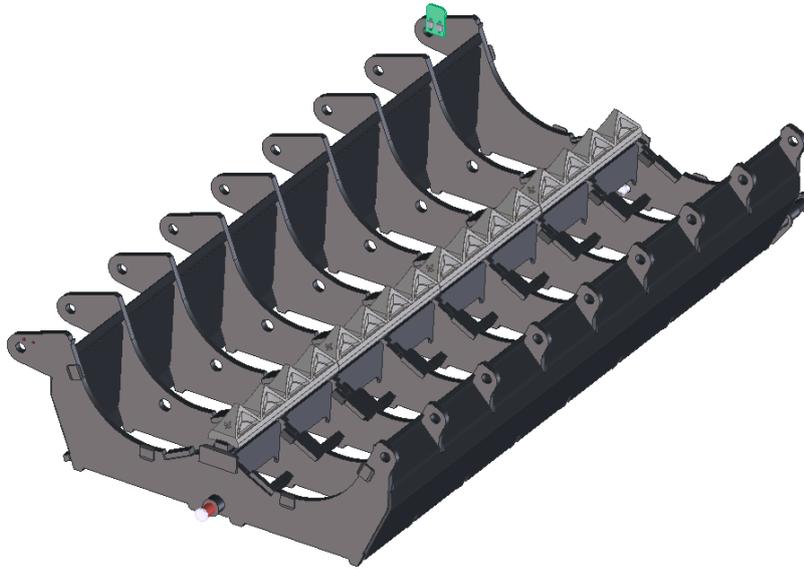


Abb. 4.21: CAD-Modell F-Artikel Siebkorbkassette CRAMBO, Quelle: Eigene Darstellung.

Die F-Artikel für die Zerkleinerungseinheiten könnten dann, sowohl in Ljutomer als auch in Frohnleiten, im Vorfeld der Verbauung zwischengelagert werden, die Fertigung dieser wird dann mit einem Kanban-System gesteuert.

Hierbei könnte ein Mitarbeiter der Materiallogistik, der die Kassette mit einem Flurförderfahrzeug zum jeweiligen Montageplatz bringt, mit einer Meldung an die Planungsabteilung oder mit einem Barcodescanner selbst, welcher direkt mit dem ERP-System verbunden ist, die IC-Bestellung für eine Kassette auslösen, wenn ein F-Artikel zu einer Maschine kommissioniert wird und damit die Produktion bzw. Lieferung der nächsten Siebkorbkassette steuern.

Bis dieser Prozess korrekt arbeitet, können die notwendigen Bedarfe mit Sicherheitsbeständen abgedeckt werden.

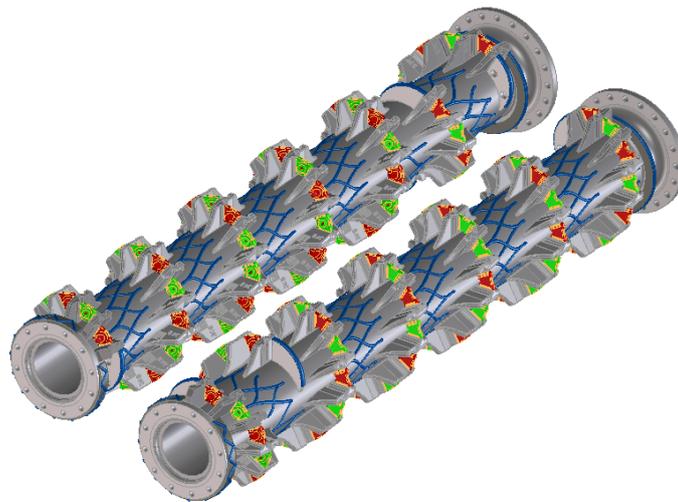


Abb. 4.22: CAD-Modell F-Artikel Zerkleinerungswalzen CRAMBO, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Montage der Zerkleinerungseinheiten am Standort in Frohnleiten hätte eine Verschiebung der Montagetätigkeit von Werk 2 in Ljutomer in das Werk 3 nach Frohnleiten zur Folge. Dies muss bei den Kapazitätsbetrachtungen für das Werk 3 und für die anschließende Simulation der Montageabläufe mitberücksichtigt werden. Auch die Montage der Zerkleinerungswerkzeuge ist dann im Werk 3 durchzuführen. Diese Arbeitsaufwände bzw. Montagezeiten, die aktuell in der M-SLO-Maschine enthalten sind, müssten dann künftig in der Maschinenmontage für Frohnleiten abgebildet werden. Hierbei wäre, z.B. für die M447130, ein Arbeitsplan mit den Montagezeiten für Walzen-, Kassetten- und Zerkleinerungswerkzeugmontage zu erstellen.

Die Montagezeit für die komplette Zerkleinerungseinheit einer Maschine der Produktlinie CRAMBO inklusive Walzenantrieb beträgt ca. zehn Stunden. Der Arbeitsaufwand für die Montage der Zerkleinerungseinheit einer Maschine der Produktlinie TERMINATOR beträgt ca. zwölf Stunden. Zu diesen beiden Zeiten muss noch die Zeit für die Werkzeugbestückung hinzugerechnet werden, welche sich bei beiden Produktlinien auf ca. drei Stunden beläuft. Dies ergibt in Summe einen Montageaufwand von 13 Stunden bei der Produktlinie CRAMBO und 15 Stunden bei der TERMINATOR-Produktlinie.

Nachteile dieser Verlagerung

Bei diesem Vorgehen ist zu beachten, dass durch eine solche Umstellung ein relativ hoher Aufwand entsteht und der Gewinn an Durchlaufzeit relativ gering ist, da die Zerkleinerungseinheiten erst zwei Werkzeuge vor der Lieferung der M-SLO nach Frohnleiten im Werk 2 in Ljutomer in die Maschine eingebaut werden. In weiterer Folge geht mit der Verschiebung der Montagetätigkeiten auch eine Erhöhung der Montagekosten einher, da der Montagesundensatz am Standort in Frohnleiten zweimal so hoch ist als jener am Standort in Slowenien.

4.2.5 Vormontage der Motormodule mit Zwischenlagerung

Wichtiger Teilaspekt der Definition der Maschinentypenvariante ist die Definition der Antriebseinheit der Maschine. Das Motormodul ist in untergeordneter Produktstrukturebene Teil des SET-Artikels, der eine Maschinentypenvariante beschreibt. Im Wesentlichen wird bei Komptech bei den Produktlinien CRAMBO und TERMINATOR zwischen drei Antriebsleistungen, welche zwei unterschiedliche Abgasnormen erfüllen, unterschieden. Dies ergibt in Summe sechs Motormodule, die in allen Maschinentypenvarianten von CRAMBO und TERMINATOR eingebaut werden können. Mit der Definition des Moduls spezifiziert sich auch die Maschinenseriennummer der Maschine.

Um die Maschinenproduktion flexibler zu gestalten, könnten diese Module in Zukunft ebenfalls unabhängig vormontiert und zwischengelagert werden. Hierzu werden die F-Artikel über die Artikelstammdaten einem Disponenten zugeordnet, um für die Fertigungsdisponenten im Werk 3 disponierbar zu sein, damit diese die Fertigungsaufträge für diese Antriebsmodule im ERP-System auslösen können. Bei den F-Artikeln der Motormodule besteht aktuell der Vorteil, dass hier keinerlei Relevanzen in der Produktstruktur anzupassen sind, da diese Module komplett für die Montage in Frohnleiten relevant sind. Aktuell werden die notwendigen Eigenfertigungsteile für die Montage dieser Module per IC-Bestellung, z.B. mit M447130SLO, mitbestellt und die Fertigungsaufträge für die Antriebsmodule mit dem Maschinenauftrag im Zuge der IC-Bestellung der M-SLO-Maschine miteröffnet. Künftig könnte man diese Teile auch per IC-Bestellung beim Schwesterwerk Farmtech auslösen, jedoch unabhängig und anonym von einem Maschinenauftrag.

Wird eine Maschine im Zuge eines Kundenauftrages endgültig definiert, würde für die Montage der Maschine ein vormontiertes Motormodul herangezogen und mit einem geeigneten Flurförderfahrzeug zur Maschine befördert werden. Für dieses Vorgehen müssten Vorrichtungen angeschafft werden, die eine Montage, Manipulation und Lagerung der Motormodule ermöglichen. Aktuell gibt es solche Vorrichtungen für die Montage bereits, jedoch werden diese nicht für die Manipulation mittels Flurförderfahrzeug genutzt.

Die bestehenden Vorrichtungen, die in Abb. 4.23 für Dieselmotor und Kombikühler dunkelblau dargestellt werden, erfüllen grundsätzlich alle Anforderungen für das vorgeschlagene Vorgehen.

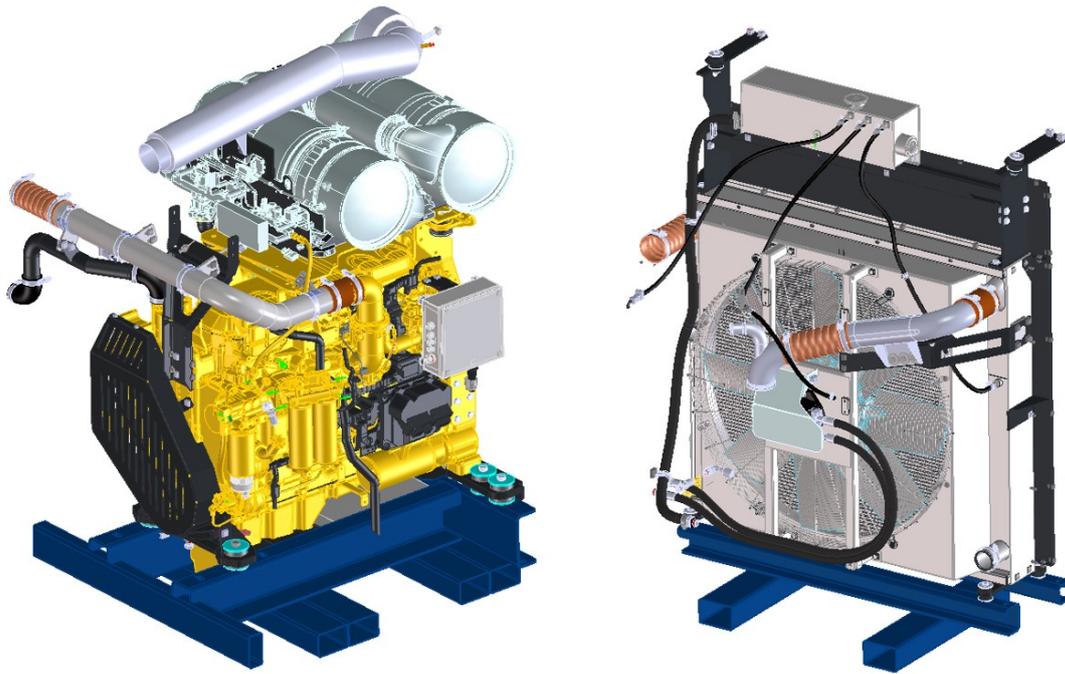


Abb. 4.23: Vorrichtungen für Motorvormontage und Vormontage Kombikühler, Quelle: Eigene Darstellung.

Sie müssten leicht adaptiert und in höheren Stückzahlen angeschafft werden, sowie eine Lagerungsmöglichkeit für die Verbindungsteile zwischen Motormodul und Zerkleinerungsmaschine geschaffen werden.

Im ersten Schritt wäre der Vorschlag, in Summe sechs Motormodule vorzumontieren und zwischenzulagern, jeweils zwei Module einer Leistungsstufe in unterschiedlicher Abgasnorm. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Abgasnorm keinerlei Einfluss auf die Seriennummer der Maschine hat, im Gegensatz zur Leistungsstufe. Die Steuerung der Aufträge würde, gleich wie bei den F-Artikeln, für die Zerkleinerungseinheiten mit einer Kanban-Logik konzipiert werden.

In Gesprächen mit Mitarbeitern in der Motorvormontage, die im Rahmen dieser Arbeit geführt wurden, wurde diese Variante grob besprochen und als geeignet für die Umstände der Montage bei Komptech in Frohnleiten empfunden. Vorschläge in Bezug auf die Vormontage wurden in der Vergangenheit auch bereits selbst von den Mitarbeitern vorgebracht. Mit der Vormontage der Motormodule wäre es möglich, die Montageauslastung zu glätten und z.B. in Zeiten, in denen akut keine Module benötigt werden, diese vorzumontieren und im Falle eines erhöhten Auftragseinganges von diesem Flexibilitätspuffer für die Maschinenmontage heranzuziehen.

Die Kosten für die Lagerung dieser Module wird sich im Wesentlichen durch den Wareneinsatz der Montageteile, der Montagezeit, der Kosten für die Vorrichtungen und dem Lagerplatz definieren. Für die Lagerung wäre ein überdachter, abgeschlossener und beheizter Lagerplatz optimal. Dieser müsste sich generell an den Vorgaben für die Lagerung von Dieselmotoren orientieren. Diesen Kosten müssen den aktuellen Kosten für die Lagerung von Dieselmotoren im Anlieferzustand (Abb. 4.24), sowie der weiteren Komponenten für die Motormodulmontage, gegenübergestellt werden, beispielsweise von Kühlern, die aktuell auch bereits im Vorfeld einer Maschinenmontage am Standort in Frohnleiten gelagert werden. Dies gilt vor allem für den Warenwert dieser Komponenten.



Abb. 4.24: Aktuelle Lagerung Dieselmotoren am Standort Frohnleiten, Quelle: Komptech GmbH.

Die Montagekosten der Motormodule machen grundsätzlich nur ca. 5% der Herstellkosten der Motormodule aus. Die restlichen Kosten werden durch die Montagekomponenten verursacht, hiervon mehr als 50% vom Dieselmotor selbst. Die Dieselmotoren werden aktuell ca. eine Woche vor Montagestart der jeweiligen Maschinen nach Frohnleiten geliefert. Im Zuge dieses Abrufes erfolgt die Verrechnung dieser Motoren vom Lieferanten an Komptech. Dieselmotoren werden aufgrund der bis zu fünfmonatigen Lieferzeit auf Basis des Produktionsforecasts und der darin definierten Motorisierungen vom Einkauf besichert. Werden diese beim Lieferanten bestellt und nicht für die Montage abgerufen, werden diese nach einer Frist von sechs Monaten ab Bestelldatum an Komptech verrechnet und gehen in deren Eigentum über.

Durch die grundsätzlich hohe Lagerumschlagshäufigkeit der Motoren würde sich das gebundene Kapital durch die Lagerung der kompletten Module im Vergleich zum bisherigen Vorgehen auf die Differenzkosten zu der Lagerung der Einzelkomponenten beschränken.

Die Kosten für alle sechs möglichen Motormodulvarianten für die Produktlinie CRAMBO und TERMINATOR würden sich auf ca. 260 TEUR belaufen. Die Kosten für die notwendigen Vorrichtungen für die Lagerung und Montage belaufen sich auf ca. 12 TEUR. Für die Lagerung der sechs Dieselmotormodule wäre eine überdachte Lagerfläche von ca. 40 m² notwendig. Hierfür würde sich ein Bereich in unmittelbarer Nähe zur Maschinenmontage anbieten.

4.2.6 Theoretische Auftragsdurchlaufzeit und Lieferzeit

Wird auf Basis der unter diesem Kapitel erläuterten Maßnahmen eine Berechnung der Auftragsdurchlaufzeit laut Formel 3.2 durchgeführt, ergibt sich folgende Auftragsdurchlaufzeit:

$$\begin{aligned}
 ZDA &= TAE - TAB & ZDA/d & \text{Auftragsdurchlaufzeit} \\
 ZDA &= 30.11.2018 - 05.11.2018 & (4.3) & \\
 ZDA &= 25 & TAE/d & \text{Bearbeitungsende Auftrag} \\
 & & TAB/d & \text{Bearbeitungsanfang Auftrag}
 \end{aligned}$$

Setzt man diese Auftragsdurchlaufzeit nun in die Formel 3.1 für die Lieferzeitberechnung ein, ergibt sich folgende Lieferzeit:

$$\begin{aligned} ZL &= ZDL + ZB + ZLP + ZV + BV + ZAD \\ ZL &= 25 + 0 + 7 + 1 + 0 + 3 \\ ZL &= 36 \end{aligned} \quad (4.4)$$

ZL/d	Lieferzeit
ZDL/d	Durchlaufzeit
ZB/d	Beschaffungszeit
ZLP/d	Lieferzeitpuffer
ZV/d	Versandzeit
BV/d	Belastungsverschiebung
ZAD/d	Administrationszeit

Eine Lieferzeit von 36 Kalendertagen würde eine Lieferzeitreduktion im Vergleich zu den aktuellen Standardlieferzeiten aus Kapitel 4.1.5 von 38 Kalendertagen bedeuten und kann defacto mit einer Halbierung der Lieferzeit gleichgesetzt werden.

4.2.7 Vorgehensweise hinsichtlich Implementierung der Maßnahmen

Im ersten Schritt ist für eine Implementierung der Maßnahmen zur Steigerung der Flexibilität eine Erprobung im ERP-Testsystem notwendig bzw. auch sinnvoll. Das ERP-Testsystem stellt eine in unregelmäßigen Abständen durchgeführte Kopie des ERP-Echt-systems dar, in dem es möglich ist, ERP-Prozesse ohne Auswirkungen auf das reale Produktionssystem zu erproben.

Im Zuge der Erprobung wird ein Produktstrukturbeispiel anhand der in diesem Kapitel dargelegten Maßnahmen angepasst. Hierzu würde sich z.B. das Produkt TOPTURN, welches komplett im Werk 3200 relevant ist, anbieten. Nach der Bearbeitung der Stammdaten der F-Artikel und Baugruppen im Testsystem werden Vorplanungsdaten generiert und im Anschluss ein Maschinenauftrag vom Kundenauftrag bis zur Buchung der fertigen Maschine simuliert.

Ziel der Erprobung ist die Verrechnung der Bedarfe mit den Vorplanbedarfen zu kontrollieren und festzustellen, ob die Zuordnung der anonym produzierten F-Artikel zu der Maschinenmaterialnummer und der daraus abgeleiteten Maschinenstückliste korrekt im System abgebildet wird.

Im Anschluss dieser Erprobung und der bewussten Entscheidung für die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt die Umstellung im ERP-Echt-system.

4.2.8 Risiken der Maßnahmen

Als Risiko im Zusammenhang mit den möglichen Maßnahmen zur Flexibilisierung der Produktion von Zerkleinerungsmaschinen muss die **Erhöhung des Lagerstands** für lagernde F-Artikel-Module gesehen werden. Dieses Risiko muss dem Unternehmensnutzen bzw. dem Kundennutzen im Zusammenhang mit einer geringeren Kundenauftragsdurchlaufzeit gegenübergestellt werden und erfordert in diesem Kontext eine strategische Entscheidung, welche Lieferzeiten für Kunden künftig akzeptabel sein werden.

Die **spezifische Lagerung** von vormontierten Maschinenmodulen erfordert eine Anpassung des Logistikkonzeptes am Standort Frohnleiten, auch was die Vormontage von Modulen und deren Zwischenlagerung betrifft. Mit den bereits vorhandenen Vorrichtungen für die Motorvormontage ist hier schon ein wichtiger Part erledigt, jedoch muss der logistische Ablauf dahinter (Kanban-System) genau ausgearbeitet werden, um den gewünschten Erfolg zu erzielen.

Neben der teilweisen Verschiebung von Montagekapazitäten durch die Maßnahmen zur Flexibilisierung verschiebt sich auch ein großer Teil an **Dispositionstätigkeit** im ERP-System vom Schwesterwerk in Slowenien nach Frohnleiten. Der verantwortliche Fertigungsdisponent muss auf Basis der Kundenbedarfe eine höhere Anzahl an F-Artikeln für die Montage am Standort in Frohnleiten disponieren. In diesem Kontext muss auch die Kostensituation hinsichtlich Stundensätzen für Planungstätigkeit an den beiden Standorten betrachtet werden.

Die Einführung von Zwischenbaugruppen bedeutet auch einen **Eingriff in die Produktstruktur**, die den Wartungsaufwand für eben diese Produktstruktur erhöhen wird und die Sichtweise innerhalb des Unternehmens auf das Thema Modularität von technisch- und funktionsorientierter Modularität hin zu einer Prozess- und Organisationsicht verschieben wird. Dies wird in künftigen Betrachtungen eine noch wesentlichere Rolle spielen.

Abschließend würde eine anonyme Produktion von F-Artikelmodulen ohne weitere ERP-System-Maßnahmen hinsichtlich Chargenführung und spezifischer Kennzeichnung dieser Module (ähnlich einer Seriennummer), die Nachverfolgbarkeit von Komponentenänderungen über das **Änderungsmanagement** innerhalb der Produktstruktur verschwimmen lassen. Es besteht zwar die Möglichkeit, eine Änderung oder eine geänderte Komponente einem Fertigungsauftrag und somit einem F-Artikel exakt zuzuordnen, jedoch kann unter gewissen Umständen nicht mehr exakt bestimmt werden, welches F-Artikel-Modul in welcher Maschine verbaut ist.

4.2.9 Abgewandelte Formen der Umsetzung der Maßnahmen

Früherer Definitionszeitpunkt der Zerkleinerungsmaschine

Um eine Verschiebung der Montagetätigkeit der Zerkleinerungseinheiten von Ljutomer nach Frohnleiten zu vermeiden, wäre es grundsätzlich möglich, den bisherigen M-SLO-Ablauf zu belassen, jedoch den Definitionszeitpunkt der Maschine und die Anlage der M-SLO-Materialnummer auf den Zeitpunkt unmittelbar vor der Montage der Zerkleinerungseinheiten an den Maschinen im Werk 2 zu verlegen, wie in Abb. 4.25 schematisch dargestellt. Dieser Arbeitsvorgang findet, wie bereits beschrieben, ca. zwei bis drei Werktage vor der Anlieferung der Maschine in Frohnleiten statt.

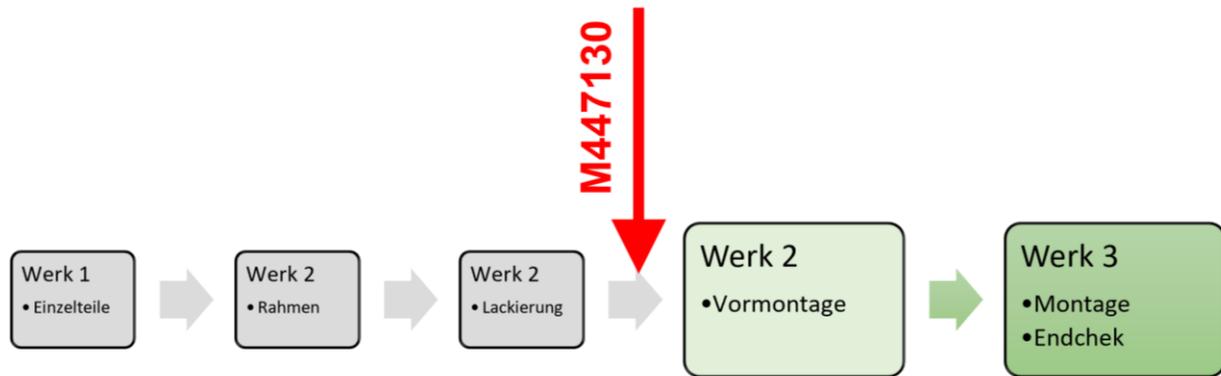


Abb. 4.25: Konfigurationszeitpunkt vor Montage der Zerkleinerungseinheit, Quelle: Eigene Darstellung.

Hierbei würde bei einigen F-Artikeln die Mischrelevanz zwischen den Werken 1200 und 3200 erhalten bleiben. Die Gefahr bei dieser Vorgehensweise besteht jedoch darin, dass die Auslösung der Fertigungsaufträge in Verbindung mit dem aktuellen Vorgehen der Maschinendefinition erst relativ spät erfolgt. Dies macht es erforderlich, dass einerseits die anonyme Fertigung und Beschaffung auf Basis der Vorplanung funktionieren muss und es andererseits trotzdem notwendig ist, die Zwischenbaugruppen anonym an den unterschiedlichen Standorten zu beauftragen, um mit der Beauftragung und Kommissionierung der Module in einen Vorlauf zu kommen. Die Dispositionstätigkeit würde sich mit diesem abgewandelten Vorgehen stärker zwischen den beiden Werken 1200 und 3200 aufteilen, da die F-Artikel-Module der Zerkleinerungseinheiten im Werk 2 in Ljutomer von der Planung disponiert werden müssen. Ein Nachteil an diesem Vorgehen wäre, dass der M-SLO-Prozess erhalten bleibt. Vorteil dieser Form der Maschinendefinition ist, dass die Montageumfänge zwischen den beiden Werken verteilt sind, so könnten die Kostenvorteile des aktuellen Vorgehens weiter genutzt werden.

Anonyme Produktion und Lagerung von Antriebsmodulen

Bei diesem Vorgehen wird der bisherige Prozess belassen und die Motormodule werden anonym vom zuständigen Fertigungsdisponenten beauftragt und unabhängig in der Motorvormontage vormontiert. Die sich daraus ergebende Flexibilisierung beschränkt sich darauf, dass die Leistungsstufe des Motors für eine bereits definierte Maschine belassen werden muss, jedoch die Abgasstufe im Zuge des Starts der Endmontage am Standort in Frohnleiten ausgewählt werden kann.

4.2.10 Vorteile der Maßnahmen zur Flexibilisierung

Als Hauptvorteil einer anonymisierten Maschinenproduktion der Zerkleinerungsmaschinen bei Komptech GmbH kann die **Verringerung der Kundenauftragsdurchlaufzeit und der Lieferzeit** der Maschinen bezeichnet werden.

Die **Verschiebung des Konfigurationszeitpunktes** der Maschinen hat in weiterer Folge auch Vorteile betreffend der Fertigungssteuerung in Zeiten eines niedrigeren Auftragseinganges. Die Umsetzung der Maßnahmen würde es daher möglich machen, dass die Maschinendefinition von Lagermaschinen, welche intern als Forecastmaschinen bezeichnet werden, erst spät im Produktionsprozess erfolgen muss. Dies würde die Gefahr von Fehldefinitionen und anschließenden Maschinenumbauten erheblich verringern und

eine kurzfristige Reaktion auf eintreffende Kundenaufträge ermöglichen. Maschinenumbauten stellen eine Verschwendung von Kapazitätsressourcen dar und widersprechen dem Grundsatz von Lean Production.

Die Umsetzung der Modulmontage in Verbindung mit einem Kanban-Prinzip sorgt für eine **kontinuierliche Materialverfügbarkeit** für die Maschinenmontage und macht diese unabhängiger von Fehlteilen, die aktuell noch immer einen großen Störfaktor darstellen. Die Umsetzung einer Kanban-Steuerung für die Module würde auch die Fertigungssteuerung vereinfachen und gezielt nur jene Komponenten nachproduzieren lassen, die auch unmittelbar benötigt werden.

Diese Umstellungen im Produktionssystem würden auch dazu führen, dass die Einzelteilerfertigung am Standort in Ljutomer beruhigt wird, was dem Lean-Prinzip der **Produktionsnivellierung** oder **Heijunka** entspricht. Hiermit in Verbindung steht auch die Bildung von Puffern über das Kanban-System, um Nachfrageschwankungen besser ausgleichen zu können und die Effekte dieser Schwankungen in der Einzelteilerfertigung so gering wie möglich zu halten.

Aus der Sicht der **Handhabung des ERP-Systems** ergibt sich der Vorteil, dass Aufwände für die Pflege der Fertigungsrelevanzen innerhalb der Baugruppenstruktur entfallen würden, da die F-Artikel eine fixe Relevanzzuordnung haben. Die Kalkulation der Herstellkosten wird ebenfalls übersichtlicher, da die Aufwände für die Kalkulation der M-SLO entfallen.

5 SIMULATIONSMODELLERSTELLUNG FÜR DIE ENDMONTAGE AM STANDORT FROHNLEITEN

5.1 Aktuelles Vorgehen bei der Produktionsplanung

Nachgelagert der Produktionsprogrammplanung, welche auf Monatsbasis im Operationsforecast im SAP BW durchgeführt wird, erfolgt die Produktionsplanung der Maschinen im Produktionsplan. Hierbei handelt es sich um eine Reihenfolgenplanung, welche in Form eines Gantt-Diagrammes die Arbeitsschritte der Montage in einem Plan darstellt. Die Planung findet in diesem Zusammenhang auf Wochen- bzw. Tagesbasis statt.

Im Zuge dieser Feinplanung werden die Maschinen auf Basis ihrer Durchlaufzeit, ihres geplanten Liefertermins und ihrer technischen Beschaffenheit den acht Montageplätzen zugeordnet und eingeplant. Diese Planung bildet somit die Basis für die Montageplatzbelegung. Die Maschinen können als reiner Platzhalter ohne Maschinentypenspezifikation, aber auch bereits mit der direkt zugeordneten Seriennummer, in den Produktionsplan eingeplant werden. Seit August 2018 wird ein übergreifendes Produktionsplanungswerkzeug bei Komptech eingesetzt, welches zur beispielhaften Ansicht in Abb. 4.2 dargestellt wird. In diesem übergreifenden Produktionsplan werden zusätzlich zu den Montageschritten im Werk 3 auch die Arbeitsschritte Rahmenschweißen, Lackieren und Montage in Werk 2 im Gantt-Diagramm dargestellt und die dazugehörigen Datensätze errechnet bzw. eingetragen.

Mit dem aktuellen Werkzeug ist eine Reihenfolgenplanung der Maschinen auf den jeweiligen Montageplätzen möglich. Es ist jedoch nicht oder nur sehr umständlich möglich, Aussagen über Auswirkungen von Änderungen am Montageablauf auf die Maschinenstückzahl zu treffen und das Zusammenwirken der einzelnen Montagestationen zu beschreiben.

Stückzahlprognosen werden aktuell auf Basis von vorhandener Montagekapazität pro Montageplatz in Wochen und der, laut Arbeitsplänen festgelegten, Planzeiten in Wochen erstellt. Diese sind jedoch ungenau, da sie lediglich auf Wochenbasis durchgeführt werden und weder zusammenhängende Montageabläufe, wie z.B. die notwendige Anlieferhaltung des Schwesterwerkes 2 aus Slowenien, noch die Motorvormontage oder die Inbetriebnahme der Maschinen berücksichtigen können. Die Prognoserechnung wird in weiterer Folge auch noch durch eine zeitaufwendige Anordnung der Gantt-Diagramme pro Montageplatz über ein ganzes Kalenderjahr abgesichert, um die Ergebnisse der Rechnung zu bestätigen. Muss dies mehrere Male durchgeführt werden und dabei Parameter wie Durchlaufzeit, Anzahl der Montageplätze und Maschinenverteilung angepasst werden, vervielfacht sich der Aufwand, da immer von Beginn an gestartet werden muss.

Aufgrund dieser Aufwände und um Alternativen für die Maschinenstückzahlberechnung zu ermitteln und zu validieren, wird für diese Arbeit ein Simulationsmodell der Montageabläufe im Werk 3 von Komptech am Standort in Frohnleiten erstellt. Dieses Modell wird auch dazu herangezogen, um die möglichen positiven aber auch negativen Auswirkungen von Maßnahmen zur Flexibilisierung des Produktionssystems, wie in Kapitel 4.2 erarbeitet, auf die Produktionsstückzahl zu ermitteln und zu verifizieren. Ziel der Modellerstellung ist eine Ablaufmodellierung der Montageabläufe auf Montageplatzbasis am Standort in Frohnleiten. Die Randbedingungen des Modells sind die Anlieferung der Grundmaschinen aus Slowenien, sowie die

Auslieferung der Maschinen von Frohnleiten. Die Ablaufsimulation soll dabei unter veränderlichen Parametern Aussagen über die Produktionsstückzahlen des Standortes ermöglichen.

5.2 Modellerstellung

Das Simulationsmodell wird mit der Software *Siemens Tecnomatix Plant Simulation V14* (Abb. 5.1) erstellt.

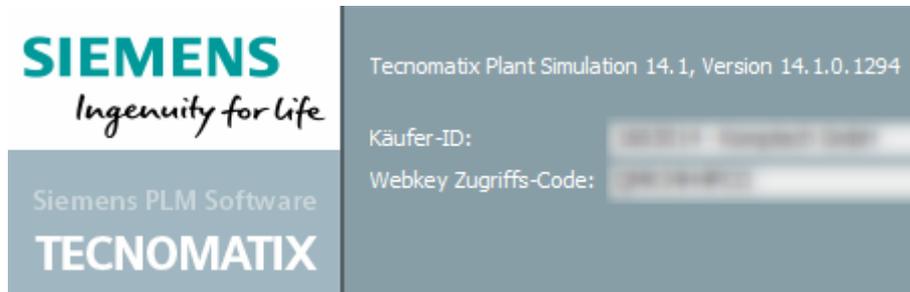


Abb. 5.1: Siemens Versions Information, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Erstellung des Simulationsmodells im 2D-Layout wird der Grundrissplan der Montagehalle Frohnleiten als Basis im Bildformat JPEG herangezogen. Auf Basis der Fensterlichten, die im Layout verzeichnet sind, wird die Skalierung innerhalb des Modells an die realen Gegebenheiten angepasst. Der Abstand zwischen den einzelnen Rasterpunkten beträgt jeweils 1 m. Dies dient dazu, um die Möglichkeit offen zu halten, Transportwege und daraus abgeleitet Transportzeiten realistisch simulieren zu können.

In Abb. 5.2 wird das Layout mit farblicher Markierung der einzelnen Montagebereiche dargestellt. Im rotmarkierten Bereich ist die Motorvormontage angesiedelt. Der grüne, blaue und orange gekennzeichnete Bereich der Halle steht für die Montageplätze 1 bis 3, 4 bis 6 sowie 7 und 8. Im dunkelgrün-markierten Bereich befindet sich die Inbetriebnahmehalle für die Maschinen, wo der Endcheck durchgeführt wird.

Die Verwendung des 2D-Layouts dient in diesem Modell zur schnellen Orientierung am Simulationsmodell und zum vereinfachten Verständnis für Personen, denen die Simulationssoftware und deren Oberfläche nicht vertraut sind.

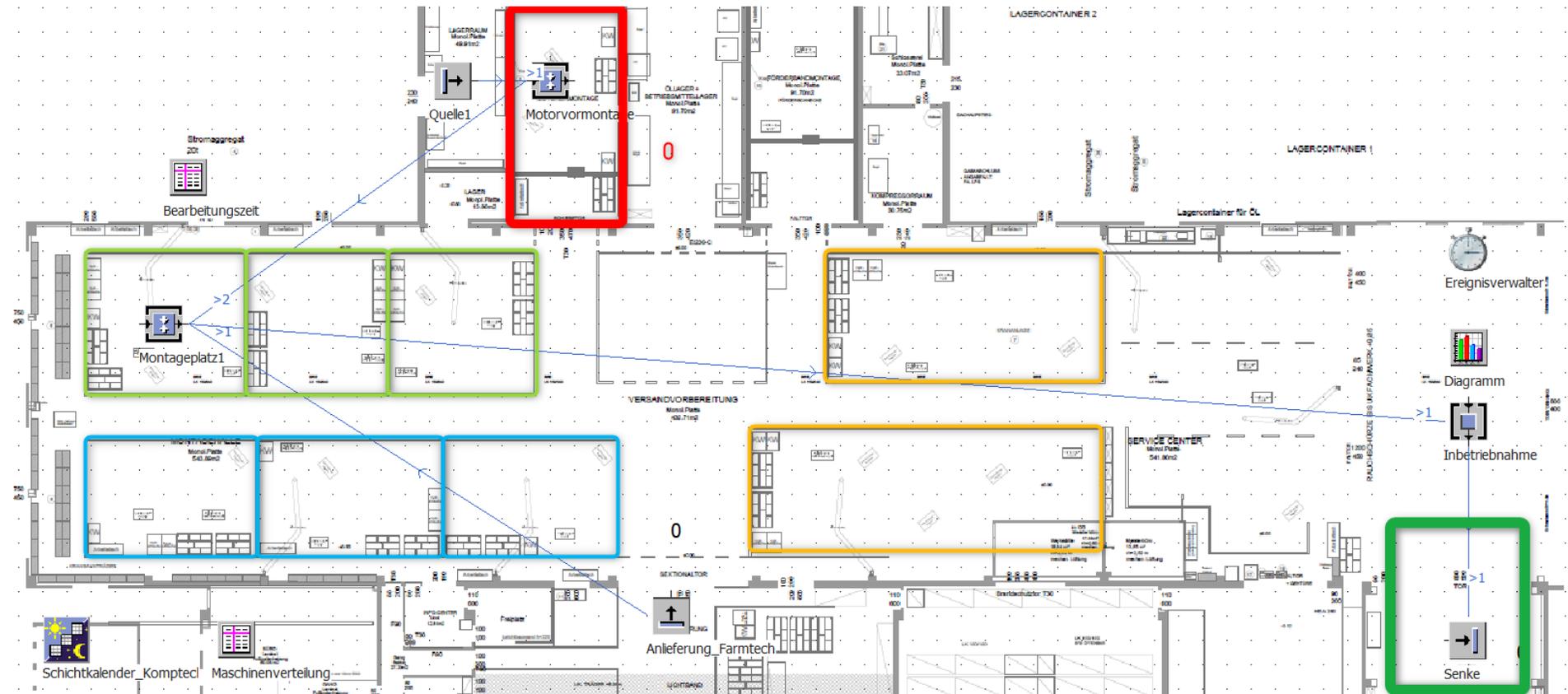


Abb. 5.2: Layoutintegration Montage Frohnleiten in Simulationssoftware, Quelle: Eigene Darstellung.

Ein Montageplatz, welcher in Abb. 4.11 abgebildet ist, wird im Modell der Montage von einem Materialflusobjekt des Typs *Montagestation* beschrieben. In diesem Objekt, welches in Abb. 5.3 bildlich dargestellt wird, werden die Attribute der jeweiligen Montagestation, wie z.B. die Bearbeitungszeit, die für die Montage benötigten Komponenten und die Ein- und Ausgangsteuerung von Teilen, definiert. Die Verbindungslinien zwischen den Stationen, in Plant Simulation *Kante* genannt, bilden die Verknüpfungen der einzelnen Stationen betreffend Logik und Reihenfolge der Abläufe ab.

Mit der definierten Bearbeitungszeit der Montagestation wird die Hydraulikmontage, die Elektromontage, Montage Fördertechnik und Metallabscheidung, Montage der Maschinenverkleidungen und Montage der Mobilität der Maschine repräsentiert.

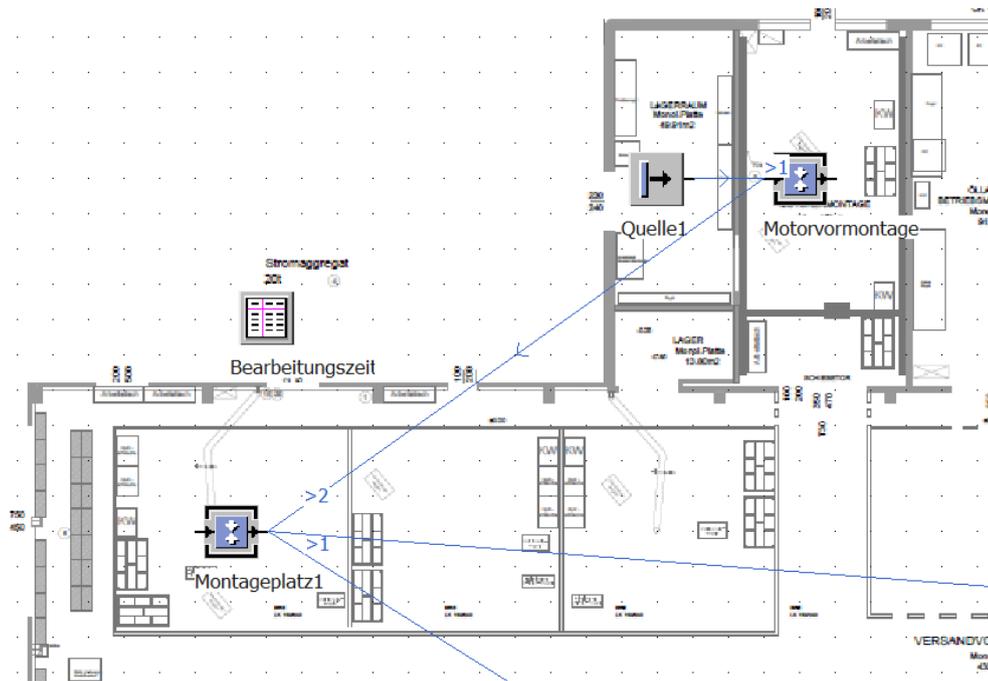


Abb. 5.3: Montagestation Endmontage Werk 3, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Definition der Bearbeitungszeiten innerhalb des Modells werden die Daten aus den Arbeitsplänen des ERP-Systems für Mobilmaschinen verwendet. Diese Daten wurden durch eine REFA-Zeiterfassung auf Stundenbasis ermittelt und anschließend in das ERP-System eingepflegt.

Für die Festlegung der Bearbeitungszeit pro Montagestation werden die Daten einer Standardmobilmaschine in Vollausrüstung verwendet und diese durch die Anzahl der verfügbaren Montagestunden pro Werktag dividiert, was eine Bearbeitungszeit in Werktagen ergibt, welche in die Tabelle „Bearbeitungszeit“ (Abb. 5.4) eingetragen wird.

	string 1	time 2
string	BE-Typ	Zeit
1	Mobil	15:00:00:00.0000
2	Stationär	10:00:00:00.0000

Abb. 5.4: Liste Bearbeitungszeiten, Quelle: Eigene Darstellung.

Diese Art der Festlegung der Bearbeitungszeit wird im Objekt *Montagestation* definiert. Sie ist in diesem Fall zweckmäßig, da eine Unterscheidung zwischen Mobil- und Stationärmaschinen für das Modell notwendig ist, da hier die größten Unterschiede in den Montagezeiten vorhanden sind. Die Unterschiede bei Mobilmaschinen sind gering und können daher für das Modell vernachlässigt werden. Sollte eine detailliertere Unterscheidung notwendig sein, kann diese ohne Weiteres spezifiziert werden. Die Motorvormontage wird durch die separate Montagestation Motorvormontage, wie in Abb. 5.3 dargestellt, modelliert. Die Bearbeitungszeit wird hier vorerst mit zwei Werktagen festgelegt, da die Motorvormontage laut Arbeitsplan 32 Stunden dauert und zwei Mitarbeiter an diesem Arbeitsplatz beschäftigt sind.

Materialquelle für die Endmontage in Frohnleiten ist ein Materialflussobjekt des Typs *Quelle*, welches die Maschinenanlieferung von Farmtech abbildet. Der Anlieferakt wird zu Beginn mit eineinhalb Werktagen definiert und als standardnormalverteilt angenommen. Die Maschinenverteilung wird, wie in Abb. 5.5 gezeigt, wieder mit einer Liste definiert, welche die prozentuale Unterscheidung zwischen Mobil- und Stationärmaschinen auf Basis von Forecastdaten für das laufende Geschäftsjahr mit der Variable „Häufigkeit“ definiert.

	object 1	real 2	integer 3	string 4	table 5
string	BE	Häufigkeit	Anzahl	Name	Attribute
1	.BEs.Förderhilfsmittel	75.00		Mobil	
2	.BEs.Förderhilfsmittel1	25.00		Stationär	

Abb. 5.5: Liste Maschinenverteilung, Quelle: Eigene Darstellung.

Im Nachgang der Maschinenmontage erfolgt, wie in Kapitel 4.1.5 beschrieben, der Endcheck der Maschine in der Inbetriebnahmehalle. Dieser Vorgang wird im Plant Simulation-Modell mit einer Einzelstation mit einer definierten Bearbeitungszeit modelliert.

Mit dem Objekt *Schichtkalender* werden die Arbeitszeiten festgelegt und der Betriebsurlaub definiert. Werktage sind von Montag bis Freitag im Einschichtbetrieb. Als werkfreie Zeit werden eine Woche im Jänner, welche die Inventur repräsentiert, und zwei Wochen im August, die den Betriebsurlaub darstellen, definiert.

Von einer detaillierten Modellierung der Montagekapazitäten auf Werker- bzw. Montagemitarbeiterbasis wird bei dieser Modellierung abgesehen, da die Zuordnung von mehreren Werkern auf einer Montagestation mit Standardobjekten in Plant Simulation nicht abgebildet werden kann und in einem ersten Schritt auch nicht notwendig ist. Zudem ist eine dynamische Anpassung der Bearbeitungszeiten in Abhängigkeit der Anzahl der pro Montagestation tätigen Werker laut Aussage der Anwendungstechniker von ACAM nur mit relativ hohem Programmieraufwand möglich und wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht umgesetzt. Anpassungen an den Montagezeiten der Maschinen werden daher in der Liste Bearbeitungszeiten (Abb.5.4) vorgenommen.

Dieser Ablauf wird zunächst für Montageplatz 1 definiert und mit einer Simulationszeit von einem Jahr simuliert. Die Ergebnisse werden mit Erfahrungswerten betreffend der Produktionsstückzahlen pro Montageplatz und Jahr verglichen und bei Bedarf angepasst. Sind die Stückzahlen valide, wird der Modellaufbau auf die übrigen sieben Montageplätze und das Gesamtmodell der Produktion übertragen, wie in Abb. 5.6 abgebildet.

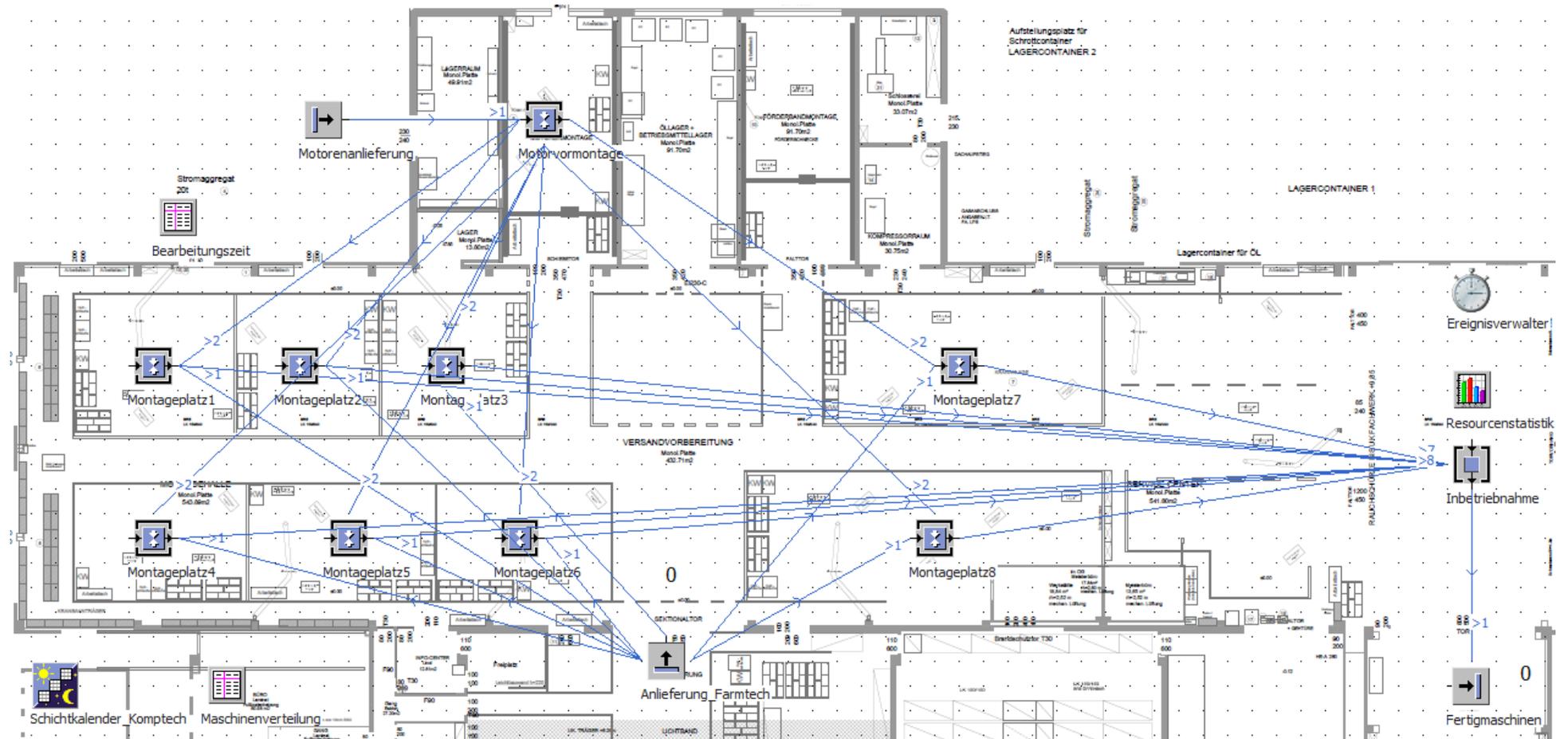


Abb. 5.6: Ablaufsimulationsmodell Maschinenendmontage Komptech GmbH Werk 3 Frohnleiten, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3 Erstsimulation und Modellvalidierung

5.3.1 Simulation

In Abb. 5.6 ist das Simulationsmodell der Maschinenendmontage für Zerkleinerungsmaschinen für den Standort Frohnleiten ersichtlich, welches sich durch die Skalierung der Abläufe von Montageplatz 1 auf alle Maschinenmontageplätze in Frohnleiten ergibt. Mit sieben weiteren Montagestationen mit denselben Attributen und Parametern wie Montagestation 1, laut Abb. 5.3, kann die komplette Montage abgebildet und simuliert werden. Die Simulation wird mit einer definierten Simulationszeit von 365 Tagen im Ereignisverwalter von Plant Simulation ausgeführt. Als Ergebnis ergibt sich eine Anzahl an Fertigmaschinen von **114 Stück** (Abb. 5.7) und eine Aufteilung auf **84 Mobil-** und **30 Stationärmaschinen** (Abb. 5.8).

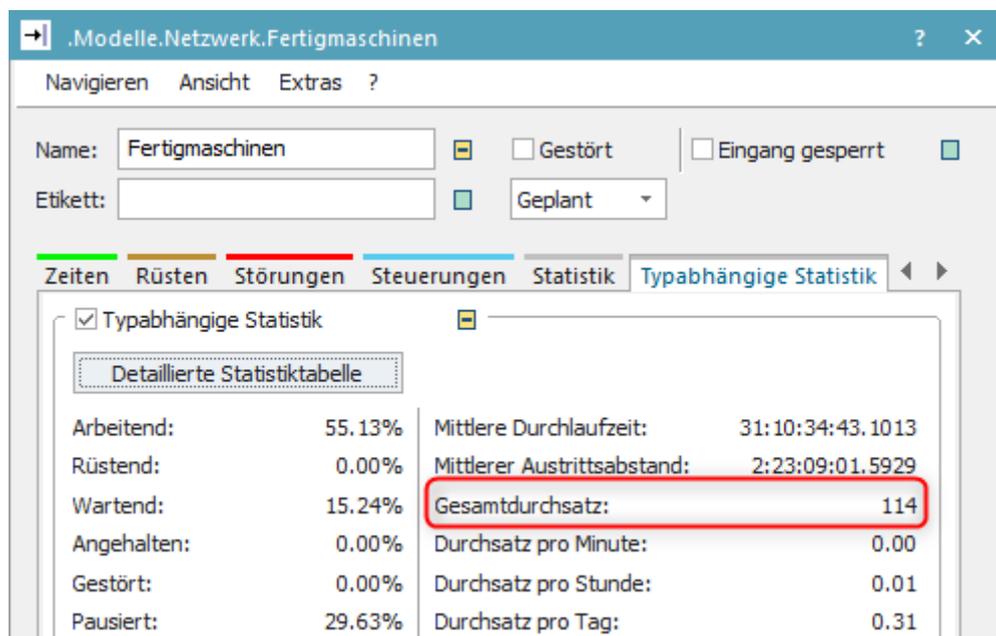


Abb. 5.7: Ergebnisauswertung Senke Fertigmaschinen, Quelle: Eigene Darstellung.

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:00:00...	84	73.68	33:05:12:49...	5:05:40:51...	25:00:00:00...	49:00:00:00...
2	Stationär	360:00:00...	30	26.32	26:11:12:00...	5:07:25:22...	22:00:00:00...	42:00:00:00...

Abb. 5.8: Ergebnisauswertung nach Typen, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit der Diagrammfunktion ist es möglich, in Plant Simulation Daten grafisch anzuzeigen. Mit dieser Funktion ist es somit möglich, die Ergebnisse von Plant Simulation schnell auszuwerten und darzustellen. Mit der in Abb. 5.9 dargestellten Ressourcenstatistik ist es möglich, die Zustände von Objekten darzustellen. Die Legende der unterschiedlichen Zustände ist in Abb. 5.9 ersichtlich. Die für diese Simulation relevanten Zustände sind: *Arbeitend*, *Wartend*, *Blockiert*, *Gestört* und *Ungeplant*.

Unter *Arbeitend* wird beim Objekt Montagestation die Bearbeitung von mindestens einer Bewegungseinheit verstanden. Eine Bewegungseinheit kann ein Teil bzw. eine Komponente sein. Im Falle der Montagesimu-

lation in dieser Arbeit ist eine Zerkleinerungsmaschine bzw. ein Antriebsaggregat gemeint. Wenn die Montagestation als *Wartend* angezeigt wird, so ist diese frei und bereit für die Bearbeitung einer Bewegungseinheit. Unter *Blockiert* versteht man, dass das Materialflussobjekt voll ist, jedoch nicht arbeitet und die fertige Bewegungseinheit nicht von der Station weg befördert werden kann. Der Status *Gestört* repräsentiert einen Zustand der Montagestation, in dem diese nicht arbeiten kann. Störungen werden im ersten Schritt der Simulation nicht berücksichtigt, um eine unverfälschte Referenz für den Ablauf zu bekommen. Der Zustand *Ungeplant* stellt jenen Zeitraum dar, in dem die Materialflussobjekte bzw. Montageplätze nicht verplant sind und keine Bearbeitungstätigkeiten ausführen. Im Fall dieser Simulation sind dies die im Schichtkalender festgelegten freien Tage und betriebsfreien Wochen für Inventur und Betriebsurlaub.

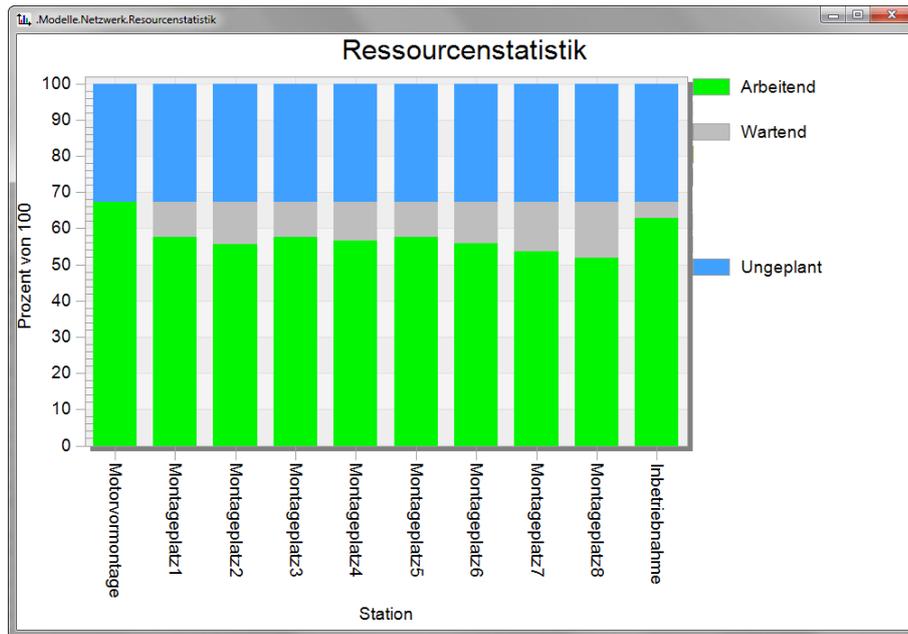


Abb. 5.9: Ressourcenstatistik Plant Simulation, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3.2 Validierung

Die Validierung dieser Ergebnisse wird anhand der Produktionsstückzahlen des Geschäftsjahres 2017 durchgeführt, so wurden im Jahr 2017 eine Stückzahl von **109 Stück** am Standort in Frohnleiten produziert. Dies entspricht grundsätzlich einer prozentuellen Abweichung zwischen Modell und Realität von 4,6 %. Bei der Erstsimulation wird in Plant Simulation keine Störung der Arbeitsstation, wie Wartungen, Defekte oder Montagebehinderungen, mitberücksichtigt, sondern von einem optimalen Stationsbetrieb ausgegangen.

Im nächsten Schritt werden allen Stationen Störungen zugewiesen, die die in der Realität auftretenden Ereignisse, die die Maschinenmontage behindern, simulieren sollen. Hierzu zählen z.B. der Ausfall von personellen Ressourcen, Reklamationen bei wichtigen Montagekomponenten, Montagebehinderungen durch Fehlteile in der Montage, sowie Schäden an Maschinenkomponenten durch unsachgemäße Handhabung. Hierzu wird jeder Station eine Störung mit einer Stationsverfügbarkeit von 95 % zugewiesen und einer Mean Time To Repair (MTTR) von einem Werktag. Die Störung bezieht sich hierbei auf die Arbeitszeit der Station und es wird in diesem Fall angenommen, dass diese durch eine negative Exponentialverteilung beschrieben wird.

Die Exponentialverteilung wird häufig zur Modellierung von Lebensdauern oder Zeitdauern eingesetzt, wie z.B. der Dauer von Telefongesprächen, Reparaturzeiten von Maschinen, der Zeit zwischen dem Eintreffen von zwei Kunden an einem Schalter und zwar immer dann, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls das nächste Ereignis eintritt, unabhängig von der bereits verstrichenen Zeit ist. Hiermit ist die Gedächtnislosigkeit der Exponentialverteilung gemeint. Objekte mit exponentialverteilten Lebensdauern altern nicht. Die Verteilung darf bei verschleißbedingten Lebensdauern, wo die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalles mit der Lebensdauer zunimmt, hingegen nicht angenommen werden.⁹³ Das Störungsverhalten an einem Montageplatz entspricht genau dieser Definition, da die Lebensdauer hier keinen relevanten Einfluss hat. Dem entgegen würde z.B. eine Werkzeugmaschine stehen, bei der die Lebensdauer der Maschine sehr wohl einen Einfluss auf die Störanfälligkeit und Maschinenverfügbarkeit hat.

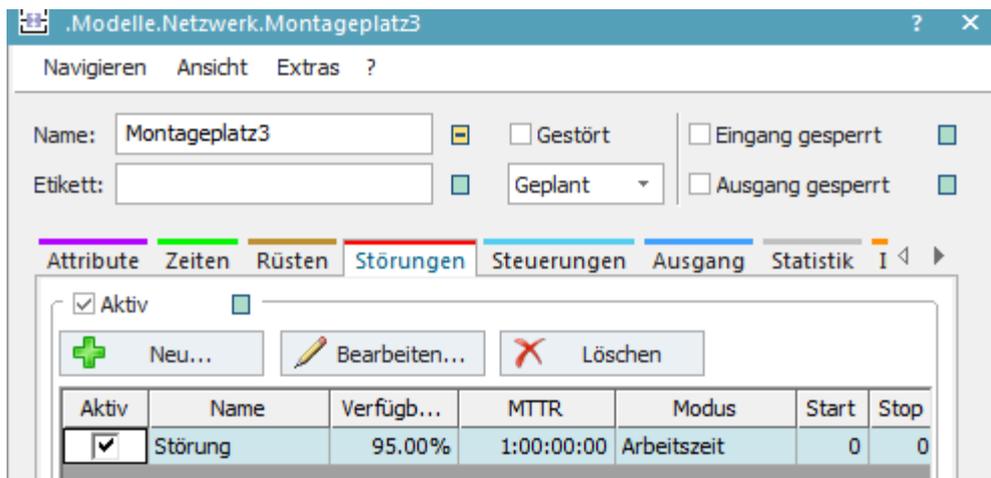


Abb. 5.10: Störungsdefinition bei Montagestation, Quelle: Eigene Darstellung.

Wird die Simulation nun erneut mit der gleichen Simulationszeit ausgeführt, ergibt sich eine Anzahl von **108 Stück** an Fertigungsmaschinen, was einer prozentuellen Abweichung von 0,9 % der im Jahr 2017 produzierten Stückzahl entspricht.

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:08:36...	81	75.00	35:07:31:2...	5:06:34:4...	25:12:38:4...	49:16:56:...
2	Stationär	360:08:36...	27	25.00	28:09:05:1...	5:04:23:0...	18:18:47:0...	43:12:22:...

Abb. 5.11: Ergebnisauswertung nach Typen „Simulation mit Störungen“, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ressourcenstatistik des Modells inklusive der Störungen stellt sich wie in Abb. 5.12 dar. Die Störungen sind als rot-markierte Bereiche im Balkendiagramm erkennbar.

⁹³ Vgl. Bartsch (2014), S. 695 f.

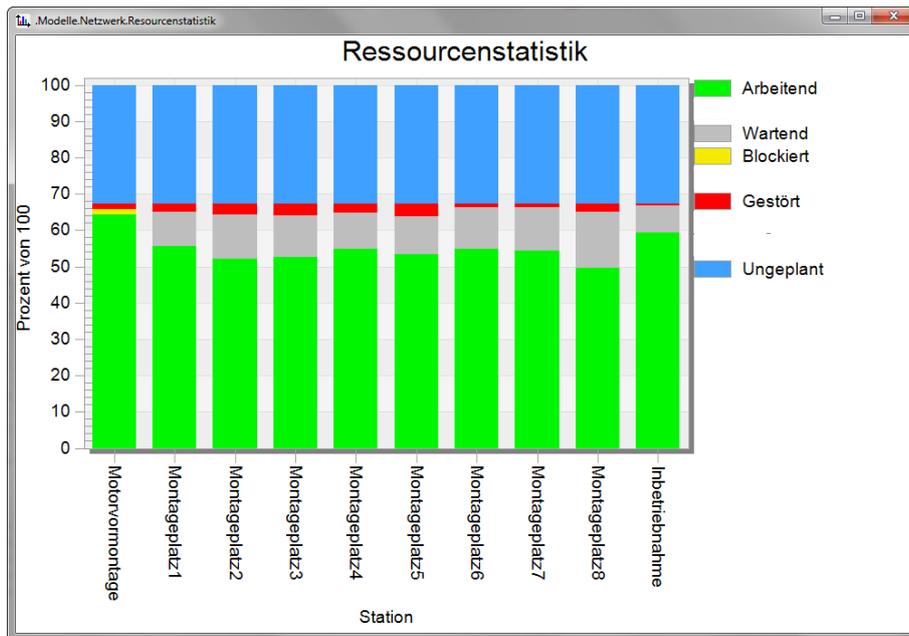


Abb. 5.12: Ressourcenstatistik Simulation validiertes Modell mit Störungen, Quelle: Eigene Darstellung.

Auf Basis dieser Simulationsergebnisse kann das Modell als valide bezeichnet werden. Mit dieser Modellkonfiguration werden die folgenden Simulationen durchgeführt.

5.4 Analyse der Simulationsergebnisse und Simulationsversuche

Eine Analyse des Simulationsergebnisses aus dem validierten Modell ergibt, dass der Arbeitsanteil der Montagestationen noch optimiert werden kann. Hier hat jede Station einen hohen Anteil an Zeit, die wartend auf Komponenten der Vorgängerstation Motorvormontage verbracht wird, wohingegen die Motorvormontage voll ausgelastet ist. Ebenso ist die Auslastung im Bereich der Inbetriebnahmestation relativ hoch. Außerdem handelt es sich bei beiden Stationen um mögliche bzw. tatsächliche Engpässe im Rahmen der Montage von Zerkleinerungsmaschinen am Standort in Frohnleiten.

5.4.1 Simulationsversuch: Reduktion von Bearbeitungszeiten an Ein- und Ausgangsstation

In einem ersten Schritt wird die Zeit für die Motorvormontage und die Inbetriebnahme um 25% auf eineinhalb Werkzeuge verringert und das Modell anhand dieser Parameter erneut simuliert.

In der Ressourcenstatistik in Abb. 5.13 ist deutlich ersichtlich, dass an allen Montagestationen die Produktivität gesteigert werden kann. Die Inbetriebnahmestation wird entlastet und hat einen erhöhten Anteil nicht produktiver Zeit. Die Station Motorvormontage ist nun ebenfalls voll ausgelastet. Sie weist jedoch einen erhöhten Anteil an blockierter Zeit auf. In dieser Zeit können fertig montierte Motoreinheiten nicht an die nachfolgenden Montagestationen respektive Montageplätze befördert werden. Diese Blockadezeit lässt es sinnvoll erscheinen, zwischen Motorvormontage und Montageplätzen einen Zwischenpuffer einzurichten.

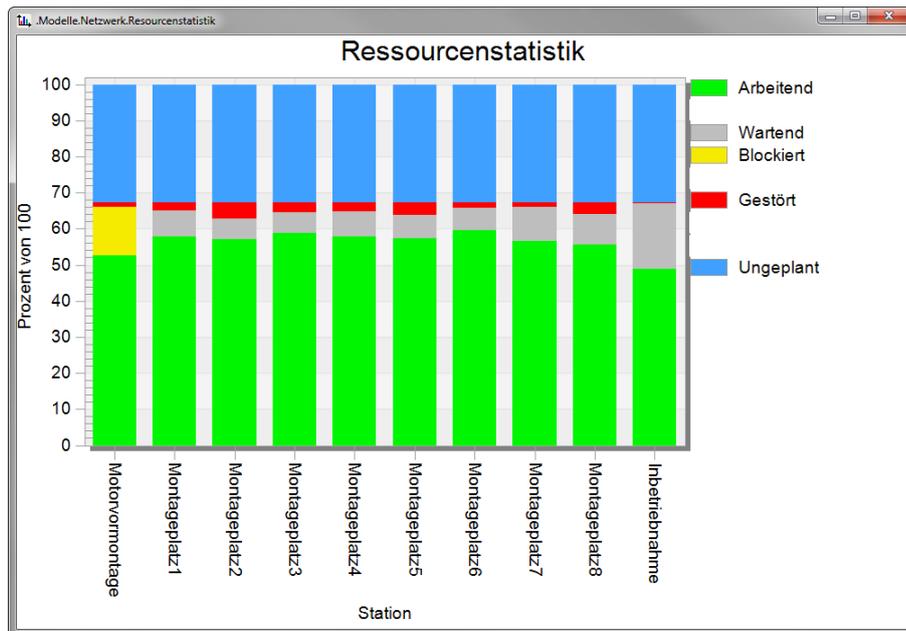


Abb. 5.13: Ressourcenstatistik Simulation mit reduzierter Checkzeit und Motorvormontagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Gesamtstückzahl an produzierten Maschinen, welche in Abb. 5.14 dokumentiert ist, ist im Vergleich zum Ursprungsmodell auf **119** angestiegen. Dies entspricht einer Erhöhung der Stückzahlausbringung von **10,2 %** im Vergleich zum validierten Modell.

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:17:40:09...	87	73.11	52:04:53:54.6387	8:10:46:27.5969	29:22:48:...	73:22:19:...
2	Stationär	358:05:40:09...	32	26.89	45:03:29:58.4685	7:15:49:00.0211	17:18:47:...	63:06:12:...

Abb. 5.14: Ergebnisauswertung nach Typen Simulation mit reduzierter Checkzeit und Motorvormontagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Diese Stückzahlerhöhung würde eine Erhöhung der Umsatzerlöse von ca. 2,75 MEUR einbringen, wenn man diese mit einem durchschnittlichen Verkaufswert der Maschinen berechnet. Dem gegenüber würde eine Kostenerhöhung von ca. 120 TEUR jährlich für die Personalkosten zur Erhöhung der Montagekapazität in diesen beiden Bereichen stehen.

5.4.2 Simulationsversuch: Stückzahlsteigerung für das Geschäftsjahr 2018

Für das Geschäftsjahr 2018 ist eine Produktionsstückzahl von **157** Zerkleinerungsmaschinen geplant. Hierzu wird mit einer Erhöhung der Montagekapazität durch eine Erhöhung der Personalressourcen die geplante Montagezeit der Maschinen um jeweils drei Werktage (Abb. 5.15) reduziert. Weiters muss hierfür auch die Bearbeitungszeit im Bereich der Motorvormontage, sowie der Inbetriebnahme der Maschine, auf einen Werktag reduziert werden.

	string 1	time 2
string	BE-Typ	Zeit
1	Mobil	12:00:00:00.0000
2	Stationär	7:00:00:00.0000

Abb. 5.15: Bearbeitungszeiten 2018, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Simulation des Modells mit diesen Parametern ergibt eine **Produktionsstückzahl** von **158 Stück** und entspricht somit den, laut Forecast zu erreichenden, Stückzahlen. Dies ist eine weitere Bestätigung hinsichtlich der Validität des Modells. Die Ergebnisauswertung ist in Abb. 5.16 ersichtlich.

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:02:31...	117	74.05	25:21:04:...	4:11:30:0...	21:00:00:...	41:00:00:...
2	Stationär	345:02:52...	41	25.95	17:21:28:...	3:14:07:3...	11:18:47:...	31:17:48:...

Abb. 5.16: Ergebnisauswertung nach Typen Simulation mit reduzierter Montagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Auswertung der Ressourcenstatistik dieser Simulation, welche in Abb. 5.17 grafisch dargestellt wird, fällt der relativ hohe Anteil des Status *Blockiert* bei der Motorvormontage auf. Dies ist ein Hinweis, dass hier die Auslastung bzw. der Abruf von Teilen aus dieser Montagestation nicht optimal getaktet ist und hier Verbesserungspotenzial vorhanden ist.

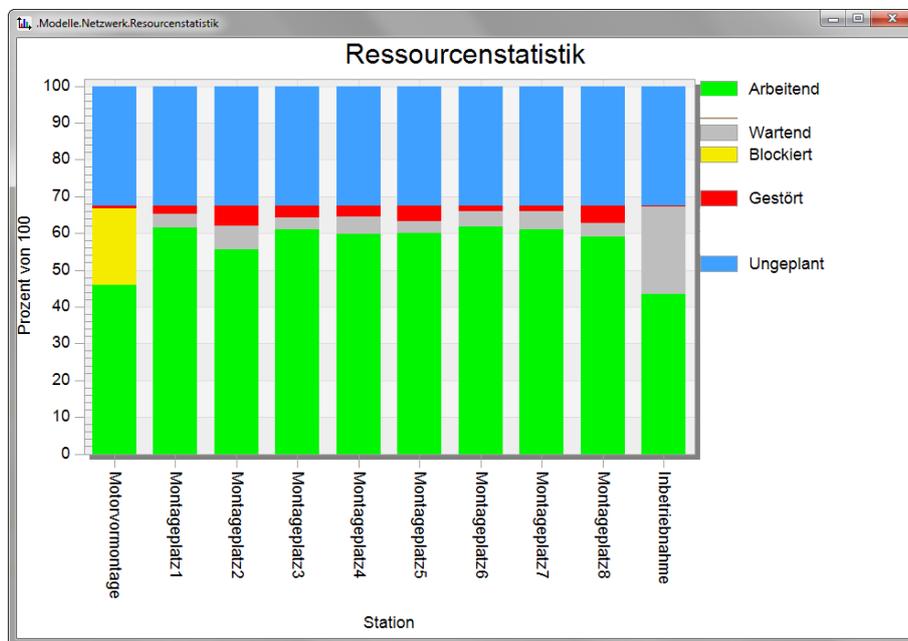


Abb. 5.17: Ressourcenstatistik Simulation mit reduzierter Montagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.

5.4.3 Simulationsversuch: Maßnahmen zur Flexibilisierung aus Unterkapitel 4.2

Bei diesem Simulationsversuch werden die Maßnahmen hinsichtlich Flexibilisierung, welche unter Kapitel 4.2 erarbeitet wurden, im Modell anhand von Pufferbereichen für die Motormodule und die Grundmaschinen mitberücksichtigt. Die Objekte, die diese Puffer im Modell beschreiben, sind im Modellauszug in Abb. 5.18 rot eingrahmt.

Für den Motormodulpuffer wird eine Pufferkapazität von sechs Modulen eingestellt. Für die Kapazität des Puffers für die Grundmaschinen wird ein Wert von drei gewählt.

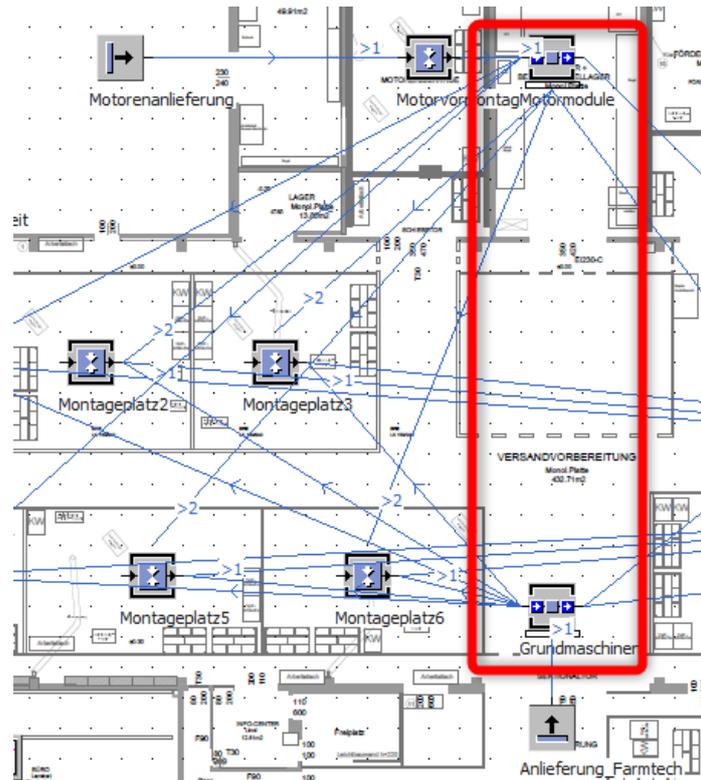


Abb. 5.18: Modellauszug mit Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Simulation dieser Modellkonfiguration ergibt eine Ressourcenauswertung laut Abb. 5.19. In dieser ist deutlich ersichtlich, dass der Status *Blockiert* des Objektes Motorvormontage zwar weiterhin hoch ist, jedoch hat sich die Produktivität der einzelnen Montageplätze massiv verbessert.

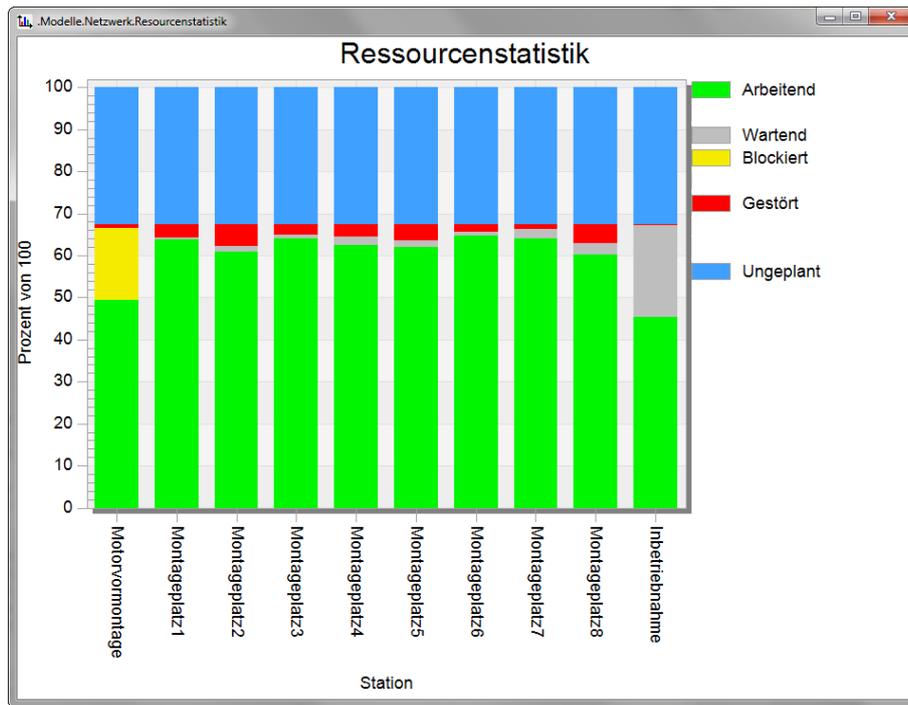


Abb. 5.19: Ressourcenstatistik Simulation mit Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Verbesserung der Produktivität auf den Montageplätzen wirkt sich auch auf die Produktionsstückzahlen positiv aus. Wie in Abb. 5.20 dargestellt, erhöht sich die Stückzahlausbringung auf **165 Maschinen** pro Jahr.

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:09:01...	124	75.15	29:05:31:...	5:06:05:3...	21:02:15:...	45:17:05:...
2	Stationär	329:10:42...	41	24.85	20:19:56:...	5:12:05:1...	13:03:21:...	39:09:37:...

Abb. 5.20: Ergebnisauswertung Simulation mit Pufferobjekten, Quelle Eigene Darstellung.,

5.4.4 Simulationsversuch: 10 Montageplätze und gleicher Konfiguration wie in Abschnitt 5.4.2

Aufgrund des starken Wachstums des Unternehmens und den daraus resultierenden, jährlich steigenden, Produktionsstückzahlen an Zerkleinerungsmaschinen, wird über eine Erweiterung der Montagekapazität am Standort in Frohnleiten diskutiert. Diese Erweiterung würde so gestaltet werden, dass das bisherige Servicecenter, welches in Abb. 5.22 grün markiert ist, für die Bildung von zwei weiteren Montageplätzen für die Produktion von Neumaschinen herangezogen wird.

Diese mögliche Weiterentwicklung des Standortes Frohnleiten wird im Simulationsmodell (Abb. 5.22) durch zwei weitere Montagestationsobjekte abgebildet und mit denselben Parametern konfiguriert, wie die zuvor definierten Objekte. Die Montagestationen sind in Abb. 5.22 rot markiert. Die Simulation wird ansonsten mit der gleichen Modellkonfiguration ausgeführt, wie unter 5.4.2 beschrieben.

In der Ressourcenstatistik der Simulation in Abb. 5.21 ist erneut das Potenzial hinsichtlich Produktivitätssteigerung auf allen Montageplätzen ersichtlich.

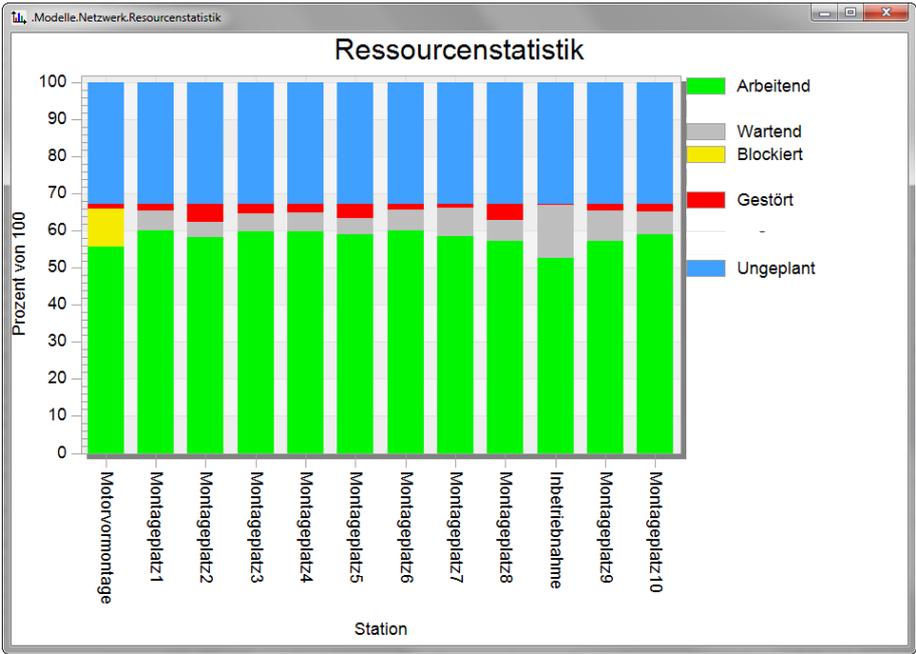


Abb. 5.21: Ressourcenstatistik Simulation mit 10 Montageplätzen, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Simulation liefert ein Produktionsergebnis von **192 Stück** mit einer Typenaufteilung wie in Abb. 5.22 rot markiert. Dies stellt eine Steigerung der Produktionsstückzahlen im Vergleich zur Simulation mit acht Montageplätzen von **21,5 %** dar.

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:19:35...	149	77.60	25:15:21:...	4:06:10:1...	21:00:00:...	41:03:15:...
2	Stationär	360:02:36...	43	22.40	17:13:54:...	3:23:43:1...	11:18:47:...	32:00:00:...

Abb. 5.23: Ergebnisauswertung mit 10 Montageplätzen, Quelle: Eigene Darstellung.

5.4.5 Simulationsversuch: 10 Montageplätze mit Puffer

Wird diese Simulation mit zehn Montageplätzen mit der Modellkonfiguration inklusive Puffer wie in der Simulation in Abschnitt 5.4.3 ausgeführt, ergibt sich ein Ergebnis von **204 Stück** (Abb. 5.24).

Typabhängige Statistik								
	Typ	Zeit	Teilezahl	%Teile	LZ_Mittel	LZ_StdAbw	LZ_Min	LZ_Max
1	Mobil	364:09:39...	156	76.47	27:19:48:...	4:14:57:0...	21:07:51:...	43:09:37:...
2	Stationär	358:11:45...	48	23.53	20:20:19:...	4:21:42:5...	14:08:50:...	36:00:37:...

Abb. 5.24: Ergebnisauswertung mit 10 Montageplätzen & Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung.

In der Ressourcenstatistik ist auch bei dieser Modellkonfiguration die Erhöhung der Produktivität der einzelnen Montagestation respektive Montageplätze im Vergleich zur Simulation ohne Puffer, wie in Abb. 5.25 visualisiert, deutlich erkennbar. Die Vorteile der Puffer der vormontierten Baugruppen liegen hier klar darin, dass der Teilabruf der einzelnen Montagestationen unmittelbar bei auftretendem Bedarf erfolgen kann und keine Wartezeiten auf den vorhergehenden Arbeitsschritt vorhanden sind.

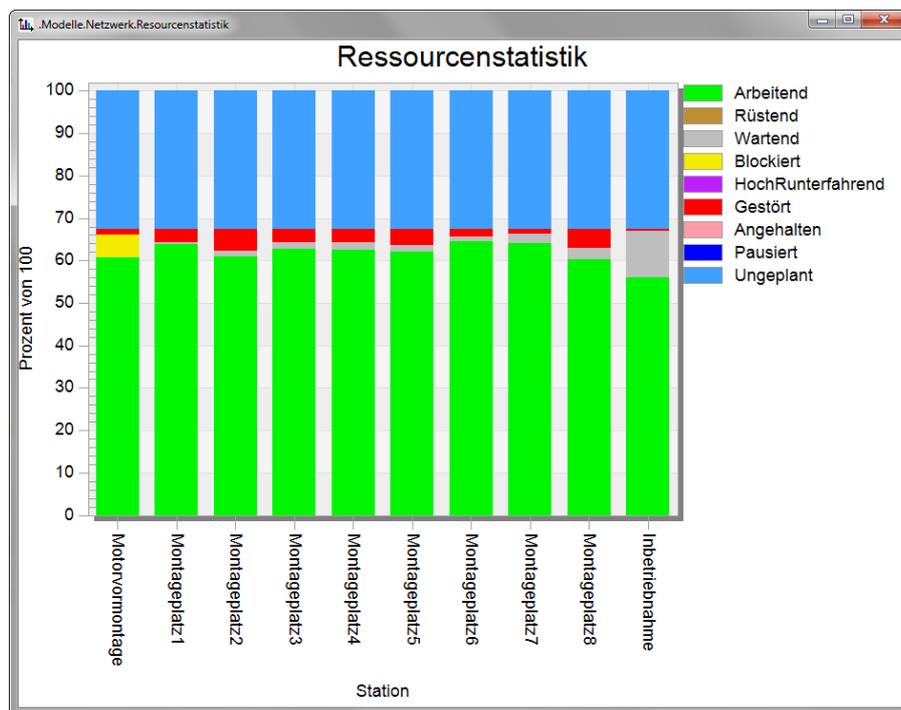


Abb. 5.25: Ressourcenstatistik mit 10 Montageplätzen & Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung.

6 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK

6.1 Ergebnisse Simulationsmodell Endmontage

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Ziel dieser Arbeit, ein Simulationsmodell für die Endmontage am Standort Frohnleiten zu schaffen, realisiert und das Modell anhand vergangener und aktueller Produktionsstückzahlen validiert werden konnte. Es ergibt sich, bezogen auf die Produktionsstückzahlen, eine Abweichung von 0,9 % zwischen dem Modell und der realen Endmontage.

Die Ergebnisse der Simulationen des Montagewerkes für Zerkleinerungsmaschinen zeigen als erste Erkenntnis, dass die Kapazitäten in Bezug auf den Maschinenendcheck, sowie die Motorvormontage im Zuge der geplanten Produktionsstückzahlerhöhung, angepasst werden müssen, um Engpässe in diesen Bereichen zu vermeiden. Die Engpässe in der Montagekette, welche sich in den Simulationsergebnissen darstellen, sind bereits aktuell am Standort in Frohnleiten, z.B. im Bereich des Maschinenendchecks, feststellbar. In diesem Kontext wird auch bereits aktiv an der Auflösung dieses Engpasses gearbeitet - zum einen durch eine Erhöhung der Personalkapazität im Bereich der Maschineninbetriebnahme und zum anderen durch die Schaffung von zusätzlichem Raum für die Durchführung der Maschinenendchecks.

Im zweiten Schritt wird anhand der Simulationen verdeutlicht, dass eine Erhöhung der Maschinenstückzahl ohne zusätzliche Montagekapazitäten nicht realisierbar ist. Diese Montagekapazität kann entweder durch eine weitere Verringerung der Montagedurchlaufzeit oder durch die Schaffung von zusätzlichen Montageplätzen realisiert werden. In beiden Fällen ist ein Aufbau an personellen Ressourcen notwendig.

Abschließend kann mit Hilfe der Simulation dokumentiert werden, dass die in Unterkapitel 4.2 erarbeitenden Maßnahmen hinsichtlich Flexibilisierung und Anonymisierung der Maschinenproduktion, unter gewissen Voraussetzungen eine Steigerung der Produktivität der Montagestationen realisierbar ist.

6.2 Ergebnisse Flexibilisierung der Maschinenproduktion

Die Ausführungen in Unterkapitel 4.2 machen deutlich, dass durch die Nutzung der Potenziale im Bereich der Modularisierung, der Konfigurationszeitpunkt der Zerkleinerungsmaschinen grundsätzlich vor der Endmontage am Standort in Frohnleiten festgesetzt werden kann. Die hierfür notwendigen ERP-Systemanpassungen wurden im Grundsatz erarbeitet und auf deren Umsetzbarkeit hin theoretisch überprüft.

Auf Basis dieser Verschiebung der Maschinenkonfiguration ergibt sich im Vergleich zum aktuellen Ablauf eine Halbierung der Kundenauftragsdurchlaufzeit, respektive eine Verkürzung der Lieferzeit, bezogen auf den Konfigurationszeitpunkt. Die Risiken und Vorteile dieser Methoden wurden präzisiert und abgewandelte Vorgehensweisen können abgegrenzt voneinander umgesetzt werden.

Eine unternehmensinterne Umstellung des Produktionssystems wäre grundsätzlich mit der Einführung der „Design to Cost“-Überarbeitung der Produktlinie TERMINATOR sinnvoll, da ab diesem Zeitpunkt die Motormodule der beiden Produktfamilien wieder äquivalent sind und somit modular für beide Produkte verwendbar sind. Die Wirkung der Maßnahmen hinsichtlich Produktivität kann mit dem, im Zuge dieser Arbeit erstellten, Simulationsmodell verifiziert werden. Die unabhängige Vormontage der Motormodule führt zu

einer Entkoppelung der Motorvormontage von der Maschinenendmontage und schafft einen Flexibilitäts-puffer, der die Produktivität der Maschinenendmontage steigert.

6.3 Ausblick

6.3.1 Flexibilisierung der Maschinenproduktion

In diversen Abstimmungen mit Planungsmitarbeitern, Produktionsleitung, Konstruktion, SAP Inhouse-Beratung, sowie Produktionsmitarbeitern der Komptech-Werke 2 und 3 im Rahmen der Erstellung dieser Masterarbeit wurde bestätigt, dass ein solches Vorgehen hinsichtlich Verschiebung des Definitionszeitpunktes der Zerkleinerungsmaschinen grundsätzlich machbar ist und sowohl technisch, als auch systemseitig umsetzbar ist.

Diesbezüglich wurde auch mit den Schnittstellenfunktionen im Vertrieb Rücksprache gehalten, was die Möglichkeiten hinsichtlich einer künftig von Maschinenseriennummern unabhängigen Vertriebsplanung betrifft. Aktuell werden bereits Maßnahmen umgesetzt, die eine anonyme Erfassung von Kundenaufträgen für z.B. Lagermaschinen von Händlern ermöglicht. Die Rückverschiebung des Definitionszeitpunktes der Maschine bringt für die Vertriebsabteilung Vorteile in Bezug auf mögliche Definitionslücken bei Maschinen-ausstattungen und verschafft durch die Verringerung der Maschinendurchlaufzeit einen Zeitgewinn für die Übermittlung der endgültigen Maschinenausstattung. Außerdem würde sich in Zeiten eines geringeren Auf-tragseinganges der Ablauf hinsichtlich der Definition von Lagermaschinen und deren Montage effizienter gestalten, da hier das Zeitfenster, in dem die Maschinenkonfiguration endgültig bekannt gegeben werden muss, ebenfalls erweitert wird. Dies kann Umbauten, die im Rahmen von Lean Production eine Verschwen-dung von Ressourcen darstellen, vermeiden und die Effizienz in diesem Ablauf steigern.

Die Anonymisierung der Montage der Motormodule macht es grundsätzlich möglich, dass dieser Montage-bereich, der auch die Förderbandmontage miteinschließt, unabhängig organisiert und gesteuert werden kann und dem zuständigen Montageteam eine selbstständige Einteilung der Tätigkeiten ermöglicht.

6.3.2 Simulationsmodell der Endmontage

Die Perspektive in puncto Nutzung des erstellten Simulationsmodells besteht darin, neben der Simulation der Endmontage am Standort in Frohnleiten vorgelagerte Produktionsschritte, wie z.B. Montage, Lackie-rung und die Rahmenschweißerei, am Standort in Ljutomer in das Modell zu integrieren. Generell kann ein solches Modell, in Abhängigkeit von Aufwand zu Nutzen, beliebig erweitert und detailliert werden. Ein kon-kretes Beispiel für die Anwendung eines solchen detaillierten Modelles wären Top Down-Planungen von künftigen Produktionsstückzahlen. Hierbei können allgemeine Aussagen bezüglich der benötigten Ferti-gungskapazitäten und z.B. dem Fertigungsablauf auf den unterschiedlichen Ebenen der Fertigung gemacht werden. Zudem besteht die Möglichkeit, Daten aus dem ERP-System, wie z.B. von Einzelteilen oder Bau-gruppen und die dazugehörigen Daten, in das Simulationsmodell zu integrieren und abgeleitet daraus, Auftragssimulationen durchzuführen, die exakte Aussagen hinsichtlich Durchlauf- und Lieferzeiten ermög-lichen.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (15)

Bartsch, Hans-Jochen (2014): *Taschenbuch mathematischer Formeln für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, 23 Auflage Auflage, Carl Hanser Verlag, München

Bauer, Jürgen (2014): *Produktionslogistik/Produktionssteuerung kompakt*, Springer Vieweg, Wiesbaden

Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Sigrid (2018): *Digitale Fabrik; Methoden und Praxisbeispiele*, 2. Auflage Auflage, Springer Vieweg, Berlin

Dickersbach, Jörg; Keller, Gerhard (2014): *Produktionsplanung und -steuerung mit SAP ERP*, Galileo Press, Bonn

Dickmann, Philipp (Hrsg.) (2015): *Schlanker Materialfluss; mit Lean Produktion, Kanban und Innovationen*, 3 Auflage Auflage, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg

Eigner, Martin; Roubanov, Daniil; Zafirov, Radoslav (Hrsg.) (2014): *Modellbasierte Virtuelle Produktentwicklung*, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg

Grote, Karl-Heinrich; Feldhusen, Jörg (Hrsg.) (2011): *Dubbel*, 23 Auflage Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

Krause, Dieter; Gebhardt, Nicolas (2018): *Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien*, Springer Vieweg, Berlin

Lödding, Hermann (2016): *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration (VDI-Buch)*, 3. Auflage Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

Osterhage, Wolfgang (2014): *ERP-Kompendium*, Springer Vieweg, Wachtberg-Niederbachem

Pawellek, Günther (2007): *Produktionslogistik*, Carl Hanser, München

Phal, Gerhard; u.a. (2007): *Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendung*, 7 Auflage Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

VDI (Hrsg.) (2008): *VDI 4499 Blatt 1 2008-02: Digitale Fabrik - Grundlagen*, Beuth, Berlin

VDI (Hrsg.) (2014): *VDI 3633 Blatt 1 2014-12: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen*, Beuth, Berlin

Westkämper, Engelbert (2006): *Einführung in die Organisation der Produktion*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg

Online-Quellen (1)

Feldhusen, Jörg (2015): *ikt.rwth-aachen.de*

http://ikt.rwth-aachen.de/Download/KL2/V02_-_Produktstruktur_Produktarchitektur.pdf [Stand: 05.08.2018]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.1: CRAMBO 5200 ec direct der Komptech-Produktlinie CRAMBO, Quelle: Komptech GmbH.....	2
Abb. 2.1: Module des SAP R/3®, Quelle: Bauer (2014), S. 9.....	5
Abb. 2.2: Einordnung von ERP in die IT-Landschaft eines Unternehmens, Quelle: Osterhage (2014), S. 311.....	6
Abb. 2.3: Prinzipielle Einteilung einer Produktstruktur, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 79.	7
Abb. 2.4: FMZ1012 – Track-Fahrgestell, Quelle: Eigene Darstellung.	8
Abb. 2.5: Beispiel SET-Artikel FCRS50H4FG2, Quelle: Eigene Darstellung.....	9
Abb. 2.6: Sichtweise der Konfiguration von Produktvarianten auf die Modularität, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 96.	13
Abb. 2.7: Eigenschaften modularer Produkte, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 100.	15
Abb. 2.8: Übersicht der Produktlebensphasen, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 106.....	16
Abb. 2.9: Zielkonflikt zwischen Standardisierung Differenzierung, Quelle: Krause/Gebhardt (2018), S. 116.....	19
Abb. 3.1: Grundprinzip des Kanban-Verfahrens, Quelle: Dickersbach/Keller (2014), S. 78.....	25
Abb. 3.2: Kanban-Impuls, Quelle: Dickersbach/Keller (2014), S. 80.	26
Abb. 3.3: Stellung der Montage zwischen Markt, Entwicklung, Konstruktion und Fertigung, Quelle: Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011) S. S99.....	28
Abb. 3.4: Organisationsformen der Montage, Quelle: Grote/Feldhusen (Hrsg.) (2011) S. S101 (leicht modifiziert).	29
Abb. 3.5: Unterscheidung der Fertigungsarten, Quelle: Lödding (2016), S. 125.	30
Abb. 3.6: Wirtschaftliches Potenzial der Fertigungsdurchlaufzeit, Quelle: Dickmann (Hrsg.) (2015), S. 31.	37
Abb. 3.7: Anwendungsfelder der Digitalen Fabrik, Quelle: Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 26.	39
Abb. 3.8: Einordnung von Ereignissen in Abhängigkeit der Simulationszeit, Quelle: Bracht/Geckler/Wenzel (2018), S. 129.....	41
Abb. 4.1: Operations-Planung mit SAP BW, Quelle: Eigene Darstellung.	43
Abb. 4.2: Übergreifender Produktionsplan für Umwelttechnikmaschinen, Quelle: Komptech GmbH.....	44
Abb. 4.3: Auszug Seriennummernschlüssel Komptech GmbH, Quelle: Komptech GmbH.	45
Abb. 4.4: Maschinenstückliste im ERP-System, Quelle: Komptech GmbH.	47
Abb. 4.5: Materialstückliste M447130SLO, Quelle: Komptech GmbH.....	47

Abb. 4.6: Auszug IC-Bestellung ERP-System, Quelle: Komptech GmbH.	49
Abb. 4.7: Bedarfsübersicht Werk Ljutomer für M447130SLO, Quelle: Komptech GmbH.....	49
Abb. 4.8: Heftarbeitsplatz CRAMBO-Rahmen Werk 2 Ljutomer, Quelle: Komptech GmbH.	50
Abb. 4.9: Drehvorrichtung Rahmenschweißen CRAMBO Werk 2 Ljutomer, Quelle: Komptech GmbH....	51
Abb. 4.10: Maschinenvormontage CRAMBO - Werk 2 Ljutomer, Quelle: Komptech GmbH.....	52
Abb. 4.11: Motorvormontage Werk 3 Frohnleiten, Quelle: Komptech GmbH.	53
Abb. 4.12: Maschinenendmontage CRAMBO Werk 3 Frohnleiten, Quelle: Komptech GmbH.....	53
Abb. 4.13: Produktionsprozess für Zerkleinerungsmaschinen, Quelle: Eigene Darstellung.	55
Abb. 4.14: Magnetabscheideband der Produktlinien CRAMBO und TERMINATOR, Quelle: Komptech GmbH.	56
Abb. 4.15: Verschiebung Konfigurationszeitpunkt im Produktionssystem, Quelle: Eigene Darstellung. ...	58
Abb. 4.16: CAD Modell FCRG2 CRAMBO, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abb. 4.17: Produktstrukturvergleich Produktlinie CRAMBO, Quelle: Komptech GmbH.	59
Abb. 4.18: Artikelstruktur mit Zwischenbaugruppenebene, Quelle: Eigene Darstellung.	60
Abb. 4.19: CAD-Modell Umfang Zwischenbaugruppe, Quelle: Eigene Darstellung.	61
Abb. 4.20: Hydraulischer Antrieb FCRHG2, Quelle: Eigene Darstellung.....	62
Abb. 4.21: CAD-Modell F-Artikel Siebkorbkassette CRAMBO, Quelle: Eigene Darstellung.	64
Abb. 4.22: CAD-Modell F-Artikel Zerkleinerungswalzen CRAMBO, Quelle: Eigene Darstellung.	65
Abb. 4.23: Vorrichtungen für Motorvormontage und Vormontage Kombikühler, Quelle: Eigene Darstellung.	67
Abb. 4.24: Aktuelle Lagerung Dieselmotoren am Standort Frohnleiten, Quelle: Komptech GmbH.....	68
Abb. 4.25: Konfigurationszeitpunkt vor Montage der Zerkleinerungseinheit, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Abb. 5.1: Siemens Versions Information, Quelle: Eigene Darstellung.....	74
Abb. 5.2: Layoutintegration Montage Frohnleiten in Simulationssoftware, Quelle: Eigene Darstellung. ...	75
Abb. 5.3: Montagestation Endmontage Werk 3, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Abb. 5.4: Liste Bearbeitungszeiten, Quelle: Eigene Darstellung.....	76
Abb. 5.5: Liste Maschinenverteilung, Quelle: Eigene Darstellung.	77
Abb. 5.6: Ablaufsimulationsmodell Maschinenendmontage Komptech GmbH Werk 3 Frohnleiten, Quelle: Eigene Darstellung.	78
Abb. 5.7: Ergebnisauswertung Senke Fertigungsmaschinen, Quelle: Eigene Darstellung.	79
Abb. 5.8: Ergebnisauswertung nach Typen, Quelle: Eigene Darstellung.	79

Abb. 5.9: Ressourcenstatistik Plant Simulation, Quelle: Eigene Darstellung.....	80
Abb. 5.10: Störungsdefinition bei Montagestation, Quelle: Eigene Darstellung.....	81
Abb. 5.11: Ergebnisauswertung nach Typen „Simulation mit Störungen“, Quelle: Eigene Darstellung. ...	81
Abb. 5.12: Ressourcenstatistik Simulation validiertes Modell mit Störungen, Quelle: Eigene Darstellung.	82
Abb. 5.13: Ressourcenstatistik Simulation mit reduzierter Checkzeit und Motorvormontagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.	83
Abb. 5.14: Ergebnisauswertung nach Typen Simulation mit reduzierter Checkzeit und Motorvormontagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.....	83
Abb. 5.15: Bearbeitungszeiten 2018, Quelle: Eigene Darstellung.	83
Abb. 5.16: Ergebnisauswertung nach Typen Simulation mit reduzierter Montagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.	84
Abb. 5.17: Ressourcenstatistik Simulation mit reduzierter Montagezeit, Quelle: Eigene Darstellung.	84
Abb. 5.18: Modellauszug mit Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung.....	85
Abb. 5.19: Ressourcenstatistik Simulation mit Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung.....	86
Abb. 5.20: Ergebnisauswertung Simulation mit Pufferobjekten, Quelle Eigene Darstellung.,	86
Abb. 5.21: Ressourcenstatistik Simulation mit 10 Montageplätzen, Quelle: Eigene Darstellung.	87
Abb. 5.22: Ablaufsimulationsmodell Maschinenendmontage mit 10 Montageplätzen, Quelle: Eigene Darstellung.	88
Abb. 5.23: Ergebnisauswertung mit 10 Montageplätzen, Quelle: Eigene Darstellung.	89
Abb. 5.24: Ergebnisauswertung mit 10 Montageplätzen & Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung...	89
Abb. 5.25: Ressourcenstatistik mit 10 Montageplätzen & Pufferobjekten, Quelle: Eigene Darstellung. ...	89