



Daniel Stöffler, BSc

**Konzeption eines Milkrun - Versorgungskonzeptes  
für die Endmontagelinie der Produktion eines  
Elektrofahrzeuges**

**MASTERARBEIT**

Zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Maschinenbau

Eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Institut für Innovation und Industrie Management

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer

Graz, 2017

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle zunächst bei allen Personen bedanken, die mich während meiner Studienzeit und im Besonderen während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Besonders gilt dieser Dank Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer und dem Team des Institutes für Innovation und Industrie Management, für die Möglichkeit, diese interessante und herausfordernde Arbeit in Angriff nehmen zu dürfen. Mein Dank gilt dabei auch Herrn Dipl.-Ing. Mario Kleindienst für die Betreuung meiner Diplomarbeit und für die gute Zusammenarbeit im Rahmen des Projektes.

Gleichfalls möchte ich mich beim Institut für Fertigungstechnik und besonders bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas bedanken, der mir erst die Chance gegeben hat, bei dem Projekt mitzuwirken und mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist.

Daneben gilt mein Dank dem Projektteam der TU Graz und SFL technologies.

Nicht zuletzt gebührt mein Dank meiner Familie und Freunden, die mein Studium erst ermöglicht haben und mein emotionaler Rückhalt während all der Zeit waren.



## Kurzfassung

Die Firma SFL technologies, im steirischen Stallhofen, ist Spezialist bei Auslegung, Entwurf, Herstellung und Montage hochwertiger Fassadenelemente und Stahlbauten. Zusätzlich betreibt das Unternehmen Forschung im Bereich der Elektromobilität und hat in den letzten Jahren ein elektrisch betriebenes Kommunalfahrzeug nach neuestem Automobilstandard entwickelt und mehrere Prototypen davon gebaut. Diese Arbeit ist Teil eines Forschungsprojekts bei dem die Werkstattmontage des Fahrzeugs in eine Serienmontage nach Lean Gesichtspunkten übergeleitet wurde und beschäftigt sich im Speziellen mit der Auslegung und Simulation der innerbetrieblichen Materialflüsse durch ein Milkrun Versorgungssystem.

Milkrun Systeme oder Routenzugsysteme ermöglichen eine produktionssynchrone und möglichst effiziente Versorgung der einzelnen Arbeitsplätze in einem Industriebetrieb. Die großen Vorteile eines solchen Systems sind die erhöhte Flexibilität durch die leichte Änderbarkeit der Versorgungswege bzw. der zu beschickenden Teile, die Dezentralisierung und Nachverfolgbarkeit der Materialversorgung durch die Reduktion der für den Materialtransport verantwortlichen Personen, sowie die geringere Prozesszeit bei der Materialversorgung im Vergleich zu anderen Systemen.

Diese Arbeit diskutiert alternative Konzepte zum Routenzugsystem und leitet die Vorteilhaftigkeit eines solchen Systems für den speziellen Anwendungsfall in dieser Arbeit her. Die grundlegende Literatur aus den Bereichen der Betriebsstätten- und Materialflussplanung wird aufgearbeitet, aktuelle Herausforderungen in modernen Produktionssystemen werden diskutiert und unterschiedliche Methoden der Produktionsprozesssteuerung werden erläutert. Im Anschluss wird für den speziellen Fall der Fahrzeugfertigung am Standort in Stallhofen, die Materialversorgung mittels Milkrun System geplant, die notwendige Fahrzeuggröße bestimmt und die Routenzugversorgung in einer Simulationssoftware abgebildet und simuliert.

Anhand der Materialflusssimulation werden unterschiedliche Szenarien abgebildet und die Feinplanung der Routenzüge durchgeführt. Dabei werden unterschiedliche Strategien der Materialversorgung erarbeitet, welche sich je nach Auslastung der Montagelinie stark unterscheiden.

Als Ergebnis ist eine eindeutige Handlungsempfehlung hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung des Milkrun Zuges und speziell dessen Anhänger zu sehen. Des Weiteren wird die optimale Route des Milkrun Zuges auf Basis der Materialflusssimulation abgeleitet und Empfehlungen hinsichtlich der Strukturierung des Supermarkts (Lager) gegeben. Die optimale und effiziente Anordnung der Materialversorgungsregale ist ebenfalls ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit.

## **Abstract**

The Austrian company SFL technologies, located in Stallhofen, Styria is a company which focuses on designing, manufacturing and assembling high-quality facade elements and steel constructions. Furthermore, the company has been conducting research in the field of electric mobility and has developed an electrically operated municipal vehicle, according to the latest standards in the automotive industry, and has built several prototypes. This work is part of a research project in which the workshop assembly of the vehicle is converted into a series assembly according to Lean aspects. In particular it deals with the design and simulation of the internal material flow, realized through an in-plant milk-run supply system.

Milk-run systems enable a production-synchronous and very efficient supply of individual workstations inside a factory. The advantages of such a system lie in the increased flexibility due to the easy changeability of the supply paths, the decentralization of the production process control and the reduction of the workers responsible for material transport. It also has a lower process time compared to other systems.

This work discusses alternative approaches to the milk-run system and shows why such a system is used in this particular case. Literature from the fields of factory planning and material flow planning is reviewed, current challenges in modern production systems are discussed and different methods of production process control are explained. Subsequently, the necessary vehicle size for the milk-run is defined by simulating the material supply.

As a result, a recommendation for action is developed regarding the design of the milk-run vehicle - especially its trailers. Furthermore, the optimal route of the milk-run vehicle is designed on the basis of the material flow simulation and recommendations are made regarding the structuring of the supermarket (warehouse) and the arrangement of the flow racks within the workstations.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Die Unternehmung SFL technologies.....	2
1.1.1	Chronik .....	2
1.1.2	Standorte .....	3
1.1.3	Unternehmensbereiche.....	3
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung .....	7
2	Theorie / Literaturrecherche .....	9
2.1	Produktionsprozesse.....	9
2.1.1	Fertigungsprinzipien.....	10
2.1.2	Teilefluss.....	13
2.1.3	Grundformen von Montage- und Transfersystemen .....	14
2.1.4	Teilebereitstellung.....	19
2.2	Logistik.....	23
2.2.1	Hauptprozesse der Logistik .....	23
2.2.2	Bedeutung der Logistik .....	24
2.2.3	Zielgrößen der Logistik .....	24
2.2.4	Supply Chain Management.....	26
2.2.5	Produktionslogistik.....	26
2.3	Produktionssysteme .....	28
2.3.1	Toyota Production System, Lean-Production.....	28
2.3.2	QRM .....	38
2.3.3	Six Sigma.....	38
2.3.4	Lean Six Sigma.....	40
2.4	Methoden der Produktionsprozesssteuerung.....	41
2.4.1	Auftragsabwicklung.....	41
2.4.2	Produktionssteuerungsverfahren .....	46
2.5	Routenzüge.....	59
2.5.1	Routenzüge zur Produktionsversorgung.....	59
2.5.2	Eignung von Routenzugsystemen .....	60

2.5.3	Routenzugplanung.....	61
2.6	Simulation .....	64
2.6.1	Definitionen.....	64
2.6.2	Systeme.....	65
2.6.3	Digitale Fabrik.....	66
2.6.4	Materialflusssimulation.....	67
2.6.5	Simulationssoftware.....	69
3	Praxisbetrachtung .....	72
3.1	Produktionsbedingungen.....	72
3.1.1	Produktionsart und Produktionstyp .....	72
3.1.2	Fertigungstiefe .....	73
3.2	Grobplanung .....	74
3.2.1	Ergebnisse der Ist-Stand-Analyse.....	74
3.2.2	Erstellung des Groblayouts .....	75
3.2.3	Erstellung des innerbetrieblichen Logistikkonzepts.....	77
3.2.4	Materialfluss innerhalb der Montagelinien.....	79
3.2.5	Materialfluss Vormontage-Arbeitsplätze zu Hauptlinie.....	81
3.2.6	Materialfluss Lager – Montagelinie .....	82
3.3	Detailplanung .....	90
3.3.1	Übersicht Produktionslayout .....	90
3.4	Simulation .....	93
3.4.2	Modellierung der Arbeitsplätze.....	94
3.4.3	Modellierung des Lagers.....	113
3.4.4	Hauptnetzwerk.....	116
3.4.5	Milkrunroute .....	119
3.4.6	Finales Layout des Simulationsmodells mit Milkrunroute.....	124
3.5	Materialflüsse im finalen Produktionslayout .....	127
3.5.1	Materialflüsse Fahrzeuglinie .....	127
3.5.2	Materialflüsse Vormontage Elektrik.....	129
3.5.3	Materialflüsse Kabelbaummontage.....	130
3.5.4	Gesamtübersicht.....	132
3.5.5	Milkrunauslastung .....	136



3.5.6	Milkrunroute .....	147
3.5.7	Milkrunzug .....	152
3.5.8	Anhängerkapazitäten .....	154
3.5.9	Logistikmitarbeiter .....	156
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	155
5	Literaturverzeichnis .....	155
6	Internetquellenverzeichnis.....	158
7	Tabellenverzeichnis.....	160
8	Abbildungsverzeichnis.....	161



# 1 Einleitung

Im ersten Kapitel wird auf das Unternehmen SFL technologies GmbH eingegangen. Die Standorte, die Geschichte und das Portrait der Firma, sowie relevante Eckpunkte und die Fachbereiche der Unternehmung werden aufgezeigt. Es wird insbesondere auf die E-Mobility Sparte eingegangen und der Energietransporter ELI vorgestellt. Außerdem werden die Aufgabenstellung und Ziele der Diplomarbeit definiert und die Vorgehensweise innerhalb des Projekts beschrieben.

Kapitel 2 beschreibt die theoretischen Grundlagen der Diplomarbeit. Ausgehend von der allgemeinen Beschreibung von Produktionsprozessen wird die Bedeutung der Logistik – insbesondere der Produktionslogistik – in modernen Produktionsunternehmen aufgezeigt. Abhängig von den strategischen und operativen Zielen der Unternehmung können verschiedene Methoden und Werkzeuge zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit eingesetzt werden. Diese Methoden und Werkzeuge kommen innerhalb von Produktionssystemen zum Einsatz, die ebenfalls in Kapitel 2 beschrieben werden.

Ein weiterer Bestandteil der theoretischen Betrachtung ist die Modellbildung und Simulation des Materialflusses innerhalb der Produktion. Dafür werden verschiedene in Frage kommende kommerzielle Simulationsprogramme aufgelistet und die Grundprinzipien der Simulation vorgestellt.

Abgeschlossen wird das zweite Kapitel durch die Erläuterung von Routenzugsystemen zur Umsetzung von Pull-Steuerungen innerhalb der Produktion.

In Kapitel 3 werden die theoretischen Überlegungen aus Kapitel 2 umgesetzt, um die Produktion ausgehend von einer bestehenden, ortsfesten Prototypenfertigung in eine Serienfertigung zu überführen, wobei sich die Arbeit auf die Gestaltung der Materialflussbeziehungen innerhalb der Produktion konzentriert.

Kapitel 4 fasst die Arbeit zusammen und bietet einen Ausblick auf eine mögliche Optimierung der Produktion – besonders in Anbetracht auf eine Steigerung der Produktionsmenge und den Einsatz von Industrie 4.0 innerhalb der Produktion.

## 1.1 Die Unternehmung SFL technologies

Die Firma SFL technologies (SFL) ist ein österreichisches Unternehmen mit Sitz in Stallhofen in der Steiermark. Das Technologieunternehmen hat sich auf die Bereiche Energie- und Umwelttechnologie spezialisiert und beschäftigt in mehreren europäischen Ländern insgesamt über 800 Mitarbeitern, bei einem jährlichen Umsatz von ca. 70 Millionen Euro, wie in Tabelle 1.1 ersichtlich.

Tabelle 1.1: Unternehmenszahlen SFL technologies<sup>1</sup>

SFL technologies GmbH	
Gegründet	1993
Eigentümer	Hans Höllwart
Zentrale	Stallhofen (AUT)
Umsatz	Ca. 70 Mio. €
Mitarbeiter	800

### 1.1.1 Chronik

Die Firma SFL technologies GmbH wurde im Jahr 1993 von Hans Höllwart gegründet. Anfangs ein Schlossereibetrieb, entwickelte sich die Firma SFL innerhalb von zwei Jahrzehnten zu einem Technologieunternehmen mit den Schwerpunkten Energie- und Umwelttechnik. Bis zum heutigen Tag ist die Firma zu 100% im Besitz von Hans Höllwart. 800 Mitarbeiter in mehreren Standorten in Österreich, Ungarn und Rumänien sorgen für eine weltweite Realisierung von Projekten aus allen Bereichen, mit dem Hauptmarkt Europa und einer Exportquote von 20%.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> SFL technologies GmbH 2013, Chronik

<sup>2</sup> SFL technologies GmbH 2013, Chronik

### 1.1.2 Standorte

Die Firma SFL technologies unterhält 8 Standorte in Österreich, Ungarn und Rumänien. Abbildung 1.1 zeigt die Verteilung der Standorte mit der Zentrale in Stallhofen/Steiermark. In Stallhofen wird auch die Montage des Elektrofahrzeuges ELI durchgeführt, dessen Produktion einen neuen Unternehmensbereich der Unternehmung SFL begründet.

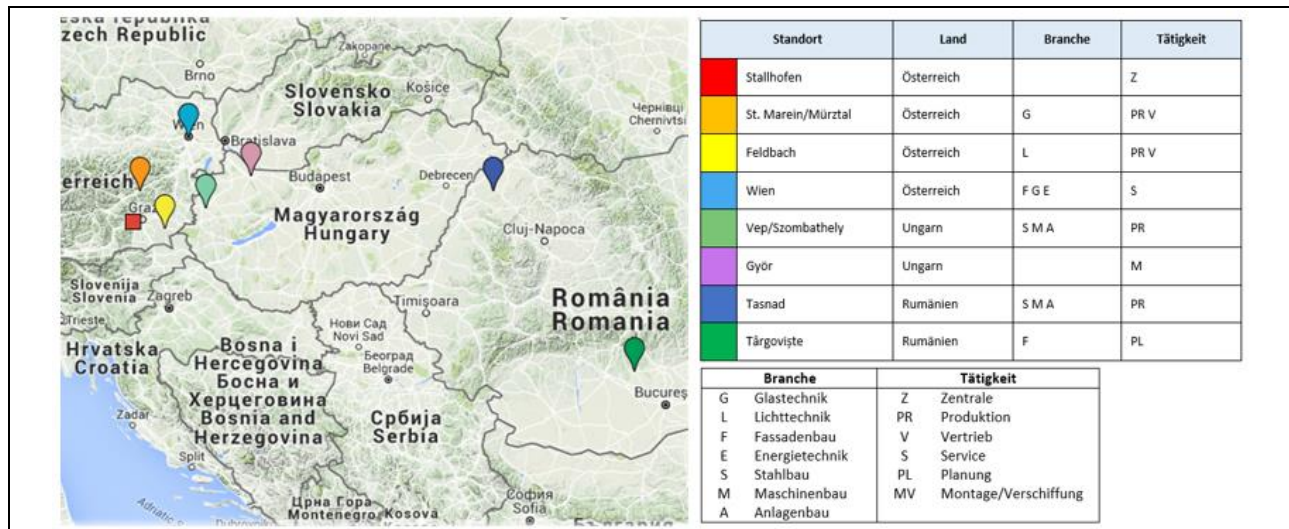


Abbildung 1.1: Standorte SFL technologies<sup>3</sup>

### 1.1.3 Unternehmensbereiche

Das Unternehmen teilt sich in verschiedene Bereiche (siehe Abbildung 1.2) auf. SFL technologies befasst sich mit der Planung, Entwicklung und Inbetriebsetzung von Projekten und Fertigung von Produkten in den jeweiligen Bereichen.

<sup>3</sup> Quelle: Google Maps (2016) online – ergänzt durch Autor



Abbildung 1.2: Unternehmensbereiche SFL technologies<sup>4</sup>

### Das Produktangebot umfasst unter anderem:<sup>5</sup>

- Konstruktiven und architektonischen Fassadenbau
- Fassadenunterkonstruktionen
- Klassische Metallbautechniken
- Industrielle Rauchgasreinigungsanlagen
- Anlagen zur Abwasser- und Prozesswasseraufbereitung
- Komponenten für Biogasanlagen
- Architektonisch anspruchsvolle Glasprodukte mit Lichtlösungen auf LED-Basis
- Photovoltaikprodukte
- Windenergiekonverter
- Energietransporter „ELI“

### Stahlbau:

Das Spektrum der Firma reicht vom klassischen Stahlbau – von Planung über Projektleitung bis hin zur Produktion der benötigten Komponenten, Lieferung und Montage. Zu den Projekten zählen Stahlbauten, Edelstahlverarbeitungen und Konstruktionen wie Treppen und Geländer.<sup>6</sup>

### Fassadenbau:

Der Fassadenbau stellt eine der Kernkompetenzen der Firma SFL technologies GmbH dar. Er umfasst die Forschung und Entwicklung, Planung, Produktion und Montage von konstruktivem und architektonischem Fassadenbau. Dabei werden vor allem

<sup>4</sup> Quelle: SFL technologies GmbH 2013, Portrait

<sup>5</sup> Vgl. HEROLD Business Data GmbH 2017

<sup>6</sup> Vgl. SFL technologies GmbH 2013, Stahlbau

Glasprodukte mit gekrümmter Oberfläche und LED-Lichtelemente eingesetzt, sowie Energiekonzepte um die Fassaden energietechnisch zu nutzen.<sup>7</sup>

#### Anlagenbau:

Für den Bereich Verfahrenstechnik konstruiert und fertigt die Firma SFL Baugruppen und Systeme für die Wasseraufbereitung und Komponenten für Biogasanlagen. An den Standorten in Ungarn und Rumänien werden Stahl- und Schweißkonstruktionen als Komponenten und Komplettanlagen gefertigt.<sup>8</sup>

#### Lichttechnik:

Bei der Beleuchtungstechnik setzt SFL vornehmlich auf energiesparende LED Technik. Zur Belichtung von Räumen wird Tageslicht genutzt, welches auf die Fassade scheint. Die abc-Technologien (active base concept) von SFL nutzen nachhaltige Lichttechnik als wichtigen Bestandteil.<sup>9</sup>

#### Energietechnik:

2008 wurde die Sparte Energietechnik gegründet. Im Sinne des abc-Konzeptes werden Energielösungen unter Integration von Photovoltaik, Windkraft und anderen erneuerbaren Energien angeboten. Dabei ist die Integration der energieproduzierenden Bauteile direkt in die Fassade der Gebäude ein wesentlicher Punkt.<sup>10</sup>

#### Glastechnik:

Das Produktprogramm umfasst Glassysteme für die Anwendung im Innen- und Außenbereich. Besonders verfestigte und hochwertig verformte Glasprodukte bilden das Herzstück der Glastechnik.<sup>11</sup>

---

<sup>7</sup> SFL technologies GmbH 2013, Fassadenbau

<sup>8</sup> SFL technologies GmbH 2013, Anlagenbau

<sup>9</sup> SFL technologies GmbH 2013, Lichttechnik

<sup>10</sup> SFL technologies GmbH 2013, Energietechnik

<sup>11</sup> SFL technologies GmbH 2013, Glastechnik

## E-Mobility:

Der neueste Fachbereich ist die Sparte E-Mobility. Dafür wurde der elektrische Kommunaltransporter „ELI“ entwickelt, der emissionsfrei Güter bis zu einer Zuladung von 800kg transportieren kann. Es wurden hochwertige Technologien eingesetzt und durch den individuellen Aufbau auf das Fahrzeug, kann für viele verschiedene Einsätze verwendet werden. <sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> SFL technologies GmbH 2013, E-Mobility



## 1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Ein Projekt von SFL technologies ist die Entwicklung eines modernen, elektrisch betriebenen Transportfahrzeugs, welches am Standort in Stallhofen produziert werden soll.

Innerhalb eines Teilprojekts in der Zusammenarbeit mit SFL technologies soll die gesamte Produktions- und Betriebsstätten- Planung für die Serienproduktion des Elektrofahrzeugs ELI durchgeführt werden.

Die gesamte Produktion soll auf eine Tagesproduktionsmenge von 4 Fahrzeugen ausgelegt werden. Im Zuge der Planung soll eine mögliche Erweiterung der Ausstoßmenge berücksichtigt, und damit eine gewisse Flexibilität in den Prozess integriert werden.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, im Zuge der Planung der Serienfertigung ein internes Materialflusssystem auf Basis eines modernen ganzheitlichen Produktionssystems zu entwickeln.

Abbildung 1.3 zeigt den Grundriss der Fabrik in Stallhofen, in der die Produktion des Elektrofahrzeuges stattfinden soll.



Abbildung 1.3: Produktionshalle ELI<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Quelle: Google Maps (2016) online

Die Funktionen der einzelnen Gebäude innerhalb der Grundstücksgrenze werden in Abbildung 1.4 dargestellt. Der Gebäudekomplex besteht aus einer Lagerhalle, einem Batterielager, das einerseits als Energielager, sowie als Pufferlager für die Batteriezellen dient, sowie der Halle in der sich das Eingangswarenlager befindet und die Produktion stattfinden soll.

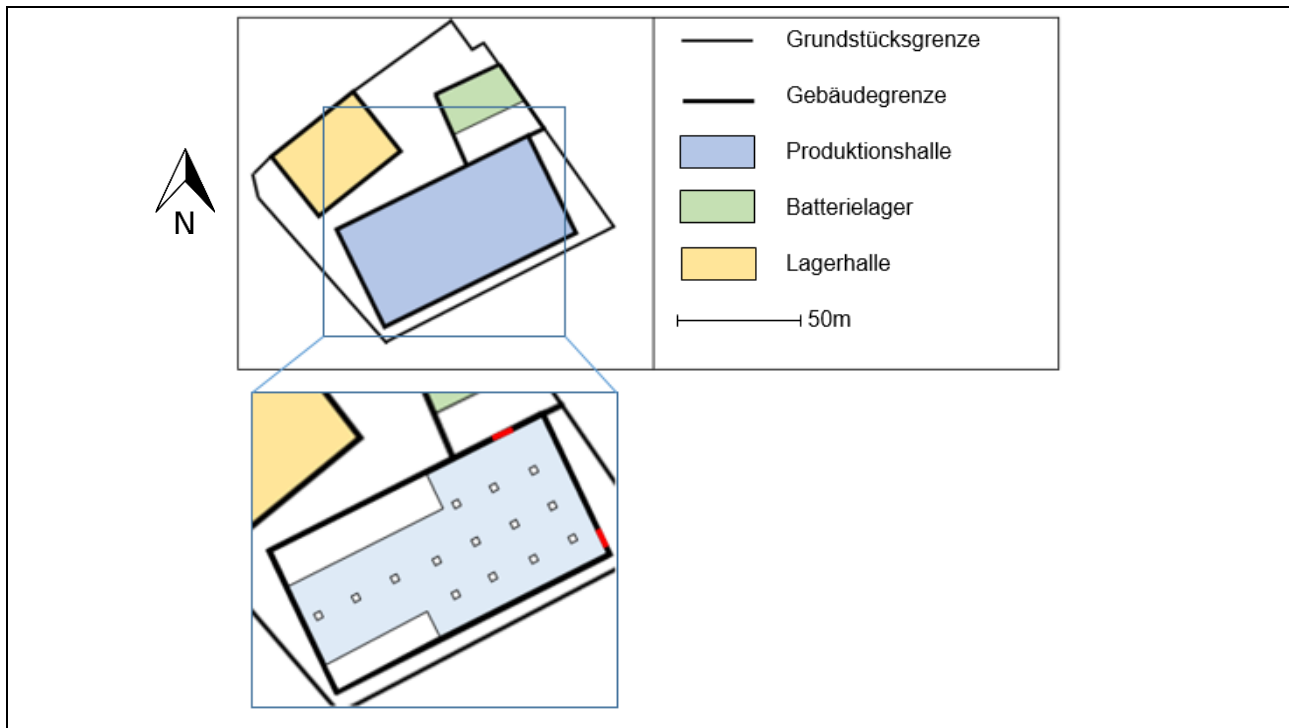


Abbildung 1.4: Produktionshalle<sup>14</sup>

Innerhalb der Fabrik befinden sich neben dem eigentlichen Produktionsbereich, der in Abbildung 1.4 im unteren Fenster hellblau dargestellt ist, weitere Arbeitsbereiche, die sich mit dem Einkauf, Planung, Konstruktion, Reparatur der Fahrzeuge, etc. beschäftigen.

Der Außenbereich der Halle verfügt nordwestlich über eine Laderampe, die über ein Rolltor mit dem Wareneingangslager verbunden ist. Nordöstlich befindet sich ein zweites Rolltor, das ebenerdig aus der Halle auf das Fabrikgelände führt.

In Abbildung 1.4 sind des Weiteren die Positionen der Stützpfeiler angedeutet, die bei der Planung des Produktionslayouts und des Materialflusses berücksichtigt werden müssen.

<sup>14</sup> Eigene Darstellung

## 2 Theorie / Literaturrecherche

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zur Produktion von Gütern, ausgehend von allgemeinen Produktionsprozessen erläutert. In jedem Produktionsunternehmen nimmt die Logistik einen entscheidenden Faktor ein. Insbesondere die Produktionslogistik, als wesentlicher Teil des Supply Chain Managements, ist ein Kernprozess jeder Unternehmung. In diesem Kapitel werden einige moderne Produktionssysteme und zugehörige Prinzipien erklärt, mit denen unter anderem die Produktionslogistik optimiert werden soll. Ein wesentliches Hilfsmittel ist dabei die Modellbildung und die Simulation der Logistikabläufe.

Für die Teilebereitstellung innerhalb der Produktion bieten sich verschiedene Strategien und Belieferungssysteme an, die im Verlauf des Kapitels beschrieben werden, wobei der innerbetriebliche Materialtransport mittels Routenzugsystemen am ausführlichsten beschrieben wird.

### 2.1 Produktionsprozesse

Die Aufgaben der industriellen Produktion haben sich in Zeiten der Globalisierung sehr stark gewandelt. Um wettbewerbsfähig produzieren zu können, wird der Anteil an Eigenfertigungen häufig reduziert und die Produktion auf die Endmontage von zugekauften Komponenten konzentriert.<sup>15</sup>

Der Wertschöpfungsprozess innerhalb der industriellen Produktion ist die Transformation von Materialien, Informationen, etc. die am Beschaffungsmarkt erworben und zu höherwertigen Outputfaktoren gewandelt werden. Die wesentlichen Transformationsprozesse gliedern sich grob in die Fertigung von Einzelteilen und die Montage der gefertigten Einzelteile zu Baugruppen.

Die Fertigung charakterisiert sich dadurch, dass die Wertschöpfungsvorgänge oftmals zu einem Großteil automatisiert werden können und ein Fertigungsmitarbeiter auch die Beschickung und Überwachung mehrerer Bearbeitungsstationen übernehmen kann.

Montagearbeiten werden heute und in naher Zukunft noch häufig von Mitarbeitern händisch durchgeführt und sind somit auch sehr kostenintensiv.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 88

<sup>16</sup> Vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. V

## 2.1.1 Fertigungsprinzipien

Die schrittweise Bearbeitung von Teilen in industriellen Produktionsprozessen kann bezüglich der Anordnung der Arbeitsplätze und deren Materialfluss untereinander kategorisiert werden.

Die Auswahl der Fertigungsprinzipien ist das Ergebnis von Materialflussanalysen, die ausgehend von den im vorherigen Punkt beschriebenen Fertigungsarten bereits in der Grobplanung der Produktion einen großen Einfluss auf das Layout der Produktion nimmt.

### 2.1.1.1 Baustellenfertigung

Bei der Baustellen- oder Punktfertigung ist das Produkt ortsgebunden und der Materialfluss geschieht ausschließlich zwischen Materiallager und dem Ort der Bearbeitungsstation. Die Fertigungsarten reduzieren sich auf Einmalfertigungen, Einzel-, und Kleinserienfertigungen.<sup>17</sup>

### 2.1.1.2 Werkstättenfertigung

Arbeitsplätze werden verfahrensorientiert zu Gruppen zusammengefasst. Die Anordnung der Arbeitsplätze in der Produktionshalle ist unabhängig vom Materialfluss der zu produzierenden Artikel. Die Werkstättenfertigung wird vor allem bei Einzel- und Kleinserienfertigung angewendet, bei der die Produktsortimente häufig wechseln. Dieses Prinzip weist eine sehr hohe Flexibilität gegenüber Produktionswechseln auf.<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 134

<sup>18</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 134

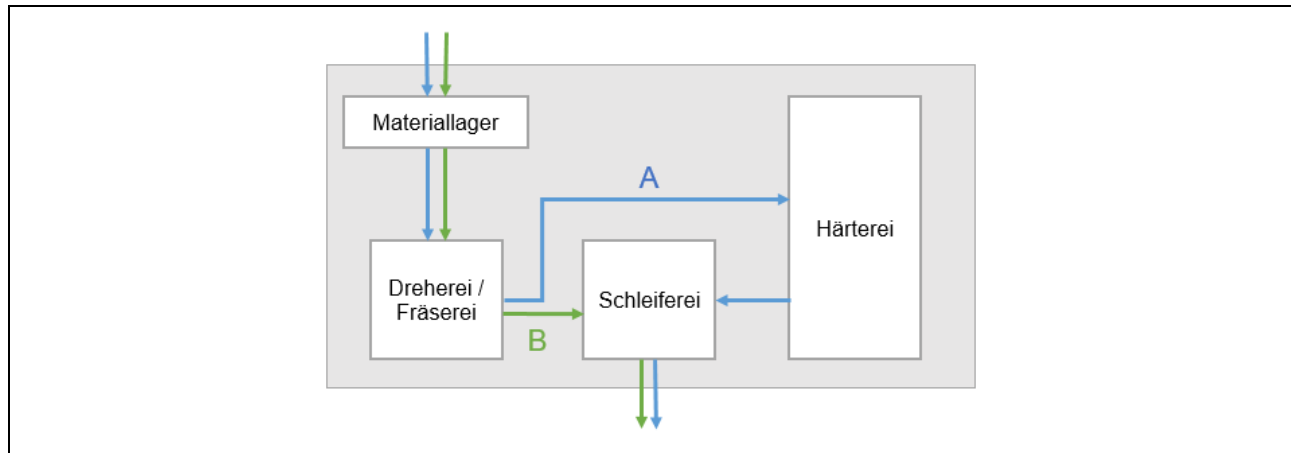


Abbildung 2.1: Werkstättenfertigung<sup>19</sup>

In Abbildung 2.1 durchlaufen 2 verschiedene Produkttypen A und B die einzelnen Werkstätten in denen sie bearbeitet werden.

### 2.1.1.3 Reihenfertigung

Bei diesem Fertigungsprinzip werden die zur Erstellung einer Produktgruppe notwendigen Bearbeitungsstationen räumlich der Reihe nach angeordnet. Im Gegensatz zur Werkstättenfertigung, können größere Serien mit wiederkehrenden Arbeitsvorgängen ökonomischer miteinander verknüpft werden. Der interne Materialfluss kann dabei so gestaltet werden, dass teil- und vollautomatische Fördereinrichtungen eingesetzt werden können.<sup>20</sup>

Bei der Reihenfertigung besteht im Gegensatz zur Fließfertigung keine zeitliche Gebundenheit des Produktionsablaufs. Die Arbeiter können in einem gewissen Ausmaß das Bearbeitungstempo variieren.<sup>21</sup>

### 2.1.1.4 Fließfertigung

Eine Serienfertigung mit zeitlicher Gebundenheit des Produktionsablaufes wird als Fließfertigung bezeichnet und kommt bei hohen Stückzahlen der Produktgruppen zum

<sup>19</sup> Eigene Darstellung

<sup>20</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 137

<sup>21</sup> Vgl. Jan-Hendrik Stanetzki (Stand: November 2016)

Einsatz. Die Durchlaufzeitzeiten können durch den Einsatz von automatisierten Fördersystem minimiert werden.<sup>22</sup>

### Ausführungsformen der Fließfertigung:<sup>23</sup>

- Starre Verkettung der Produktionsstationen

Bei einer starren Verkettung der einzelnen Stationen werden die Produkte kontinuierlich durch Förderbänder oder diskret innerhalb einer sogenannten „Taktstraße“ durch die Produktion transportiert. Voraussetzung für die starre Verkettung ist die Austaktung der Arbeitsschritte innerhalb der Fließfertigung.<sup>24</sup>

- Lose Verkettung der Produktionsstationen

Starre Verkettungen sind sehr störungsanfällig. Um die Arbeitsplätze zeitlich flexibler zu koppeln, werden bei einer losen Verkettung Pufferstrecken zwischen den Arbeitsplätzen eingeführt.

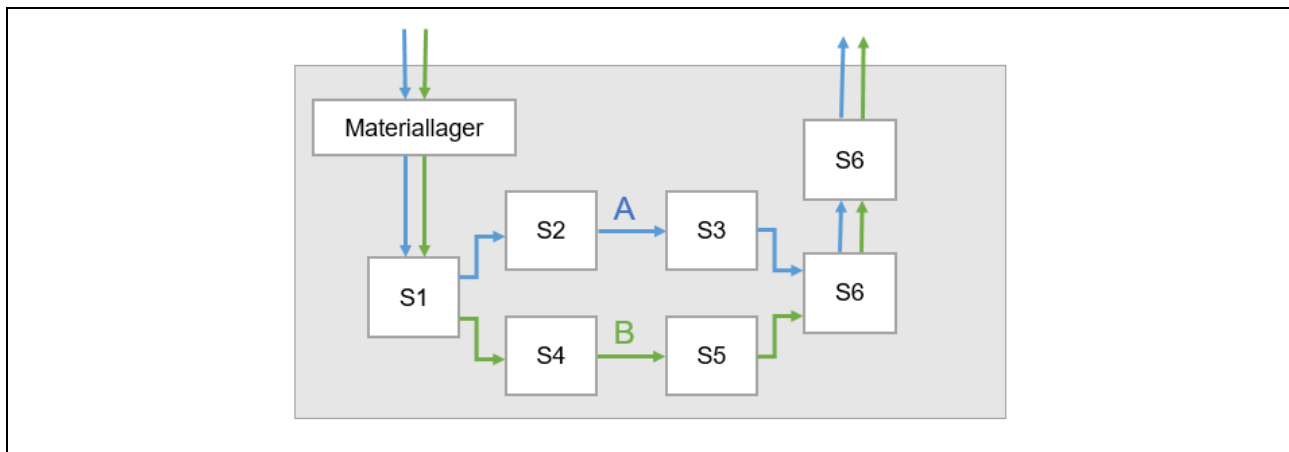


Abbildung 2.2: Reihen-, Fließfertigung<sup>25</sup>

Die Produkte A und B in Abbildung 2.2 durchlaufen eine Reihen- bzw. Fließfertigung, wobei die einzelnen Produktgruppen einen unterschiedlichen Weg durch die Produktion nehmen.

<sup>22</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 35

<sup>23</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 277

<sup>24</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 277

<sup>25</sup> Eigene Darstellung

### 2.1.1.5 Inselfertigung

Die Inselfertigung ist ein Mischsystem, indem der Materialfluss wie bei Reihen- und Fließfertigung räumlich optimiert wird, es wird aber pro Fertigungsinsel räumlich konzentriert gefertigt und/oder montiert. Die Produktionsinsel bildet einen eigenständigen Produktionsbereich mit mehr Autonomie als beispielsweise Arbeitsstationen in Reihen- oder Fließfertigung.<sup>26</sup>

#### Merkmale von Inselfertigung:<sup>27</sup>

- Definition von Teilefamilien
- Komplettbearbeitung der Teile in der Insel
- Selbstorganisation von Planung und Ausführung der Tätigkeiten
- Integrierte Elemente wie Arbeitsvorbereitung, Qualitätsmanagement, etc.

#### Ziele:<sup>28</sup>

- Kostenreduktion
- Erhöhung der Flexibilität
- Erhöhung der Qualität
- Steigerung der Arbeitszufriedenheit

### 2.1.2 Teilefluss

In weiterer Folge wird die Weitergabe der Teile zwischen den Arbeitsplätzen innerhalb der Serienfertigung betrachtet. Dies kann automatisiert oder manuell erfolgen. Abhängig von der Produktionsstrategie werden die Teile in einer bestimmten Losgröße oder als Einzelteile transportiert. Dieser Materialfluss hat großen Einfluss auf die internen Ziele der Logistik, vor allem auf die Durchlaufzeit.

---

<sup>26</sup> Vgl. Schenk et al. 2014, S. 372

<sup>27</sup> Vgl. S. 131

<sup>28</sup> Vgl. S. 131

### 2.1.2.1 Losweiser Transport

Bei Lagerfertigung von Produkten oder Fertigung von Halbfabrikaten, die in Zwischenpuffern gelagert werden, kann zur Optimierung der Auslastung von Produktionsmaschinen eine losweise Fertigung mit losweiser Weitergabe erfolgen. Beim losweisen Transport werden alle Bauteile gemeinsam, nach Beendigung der Bearbeitung des letzten Teils, weiter transportiert.<sup>29</sup>

### 2.1.2.2 One-Piece-Flow

Eine Reduktion der Losgröße führt zu einer geringeren Durchlaufzeit. Im Idealfall wird jedes Bauteil nach der Bearbeitung direkt zum nächsten Arbeitsplatz transportiert. Der One-Piece-Flow, oder auch Fließprinzip genannt, bildet eines der Grundprinzipien in der Lean-Production. Es wird das Transportlos vom Fertigungslos entkoppelt und kann bei allen Fertigungsprinzipien von der Werkstättenfertigung bis zur Serienfertigung eingesetzt werden.<sup>30</sup>

Oftmals wird bei Fertigung innerhalb von One-Piece-Flow-Strecken eine Mehrmaschinenbedienung eingeführt. Ein Arbeiter bedient dabei mehrere Fertigungsmaschinen, was zu einer hohen Personalauslastung führt, aber eine höhere Qualifikation der Mitarbeiter voraussetzt.<sup>31</sup>

## 2.1.3 Grundformen von Montage- und Transfersystemen

Montagesysteme bestehen aus mehreren Montagestationen. Die Stationen können je nach Strategie mit oder ohne Zwischenpuffer ausgeführt werden. Die einzelnen Bearbeitungsstationen können zueinander in verschiedenen geometrischen Systemen angeordnet und mit Transfersystemen verbunden werden.<sup>32</sup>

Grundsätzlich unterscheidet man manuelle und automatische Montagesysteme. Eine Mischform ist ein hybrides Montagesystem. Im Vergleich zu reinen Montageautomaten

---

<sup>29</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 99

<sup>30</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 99

<sup>31</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 101

<sup>32</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 157



verbessern Hybridsysteme die Effektivität und Produktivität beim Einsatz linearer Strukturen mit loser Verkettung zwischen den Strukturen.<sup>33</sup>

Mit Hybridsystemen kann ausgehend von der erforderlichen Stückzahl der Automatisierungsgrad angepasst werden. Die Teilebereitstellung, die Montage und Teileabführung kann von reinen manuellen Tätigkeiten bis zu einer vollständigen Automatisierung des Arbeitsplatzes variieren. Ausgangspunkt der Planung eines hybriden Systems ist stets ein manuelles Montagesystem, das je nach Bedarf automatisiert werden kann.<sup>34</sup>

Die folgenden Systeme können von reinen manuellen Montagesystem zu automatisierten Einheiten erweitert werden, wobei für manuelle Transportsysteme nicht zwingend Werkstückträger benötigt werden und automatisierte Werkstücktransporte in der Regel über Werkstückträger verfügen, auf denen die Teile von Arbeitsstation zu Arbeitsstation transportiert werden.<sup>35</sup>

### 2.1.3.1 Karree-Form

#### Manueller Werkstück-Umlauf:

Die Karree-Grundform besitzt eine geometrische Viereckform und ist vor allem für Gruppenarbeiten mit oder ohne Platzwechsel geeignet. Das Werkstück wird ohne Werkstückträger von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz manuell weiter befördert. Der Aufbau kann aus Standardelementen erfolgen und ist damit verhältnismäßig günstig. Es befinden sich im Allgemeinen keine Zwischenpuffer zwischen den Einzelarbeitsplätzen.<sup>36</sup>

Die Teilebereitstellung kann über alle Seiten erfolgen. Die fertigen Bauteile können in Pufferlager zwischengelagert werden.

#### Automatisierter Werkstück-Umlauf:

Die automatisierten Stationen und Handarbeitsplätze sind im Hauptschluss beiderseits des Umlaufsystems angeordnet. Die Karreeform hat einen kleinen Flächenbedarf und die

---

<sup>33</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 158

<sup>34</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 158

<sup>35</sup> Vgl. Konold und Reger 2003, S. 217

<sup>36</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 192

Teile können direkt am Arbeitsplatz bereitgestellt werden. Im Karree-System kann eine Trennung von Automatik- und manuellen Arbeitsstationen gut realisiert werden.<sup>37</sup>

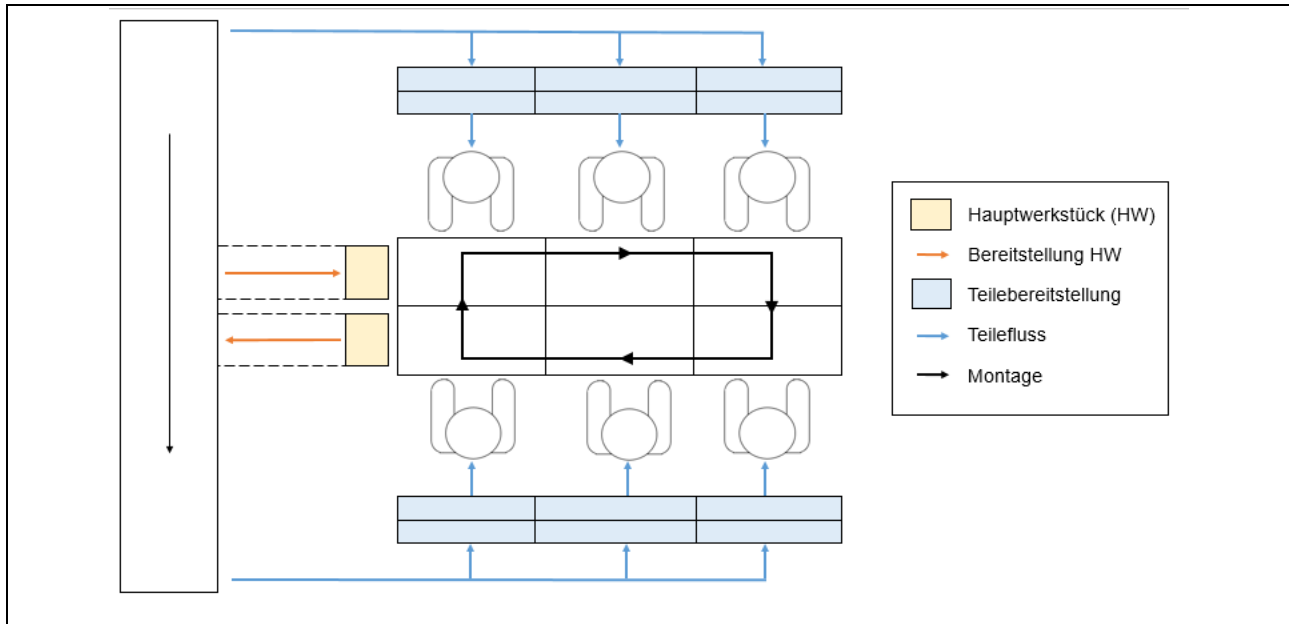


Abbildung 2.3: Karreeform<sup>38</sup>

Abbildung 2.3 zeigt die Produktion eines Artikels in Karreeform mit stirnseitiger Bereitstellung und Abholung des Hauptwerkstückes. Dieses wird von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz weiter gereicht. Die zu montierenden Teile und Bauteile werden über Regale direkt an den Arbeitsplätzen durch Logistiker bereitgestellt.

### 2.1.3.2 U-Form

#### Manueller Werkstück-Umlauf:

Bei der U-Form befinden sich die Arbeiter im Innenraum des Montagesystems. Es können mehr Arbeiter als Arbeitsplätze vorhanden sein, was einen Arbeitsplatzwechsel erforderlich macht und den Einsatz von Sitzarbeitsplätzen schwer realisierbar macht. Die Teile werden mit oder ohne Zwischenpuffer zwischen den Einzelarbeitsplätzen von Hand durch die Arbeiter weitergegeben.

<sup>37</sup> Vgl. Konold und Reger 2003, S. 80

<sup>38</sup> Quelle: modifiziert nach Konold und Reger 2003, S. 80

Die Grundform ist variabel bezüglich der Stückzahlausbringung. Aufgrund der U-Form ergeben sich kurze Wege zwischen den Arbeitsplätzen, was kurze Transport- und Reaktionszeiten nach sich zieht. Die Teilebereitstellung erfolgt von außerhalb der U-Form.<sup>39</sup>

#### Automatisierter Werkstück-Umlauf:

Durch die U-Form der Arbeitsplatzanordnung kann die An- und Ablieferung der Werkstückträger an der Stirnseite erfolgen. Die Werkstückträger-Rückführung kann in oder oberhalb der Arbeitsebene durchgeführt werden. Letztere Ausführung erfordert höhere Investitionen, da zusätzlich eine Werkzeugträger-Lifanlage benötigt wird.<sup>40</sup>

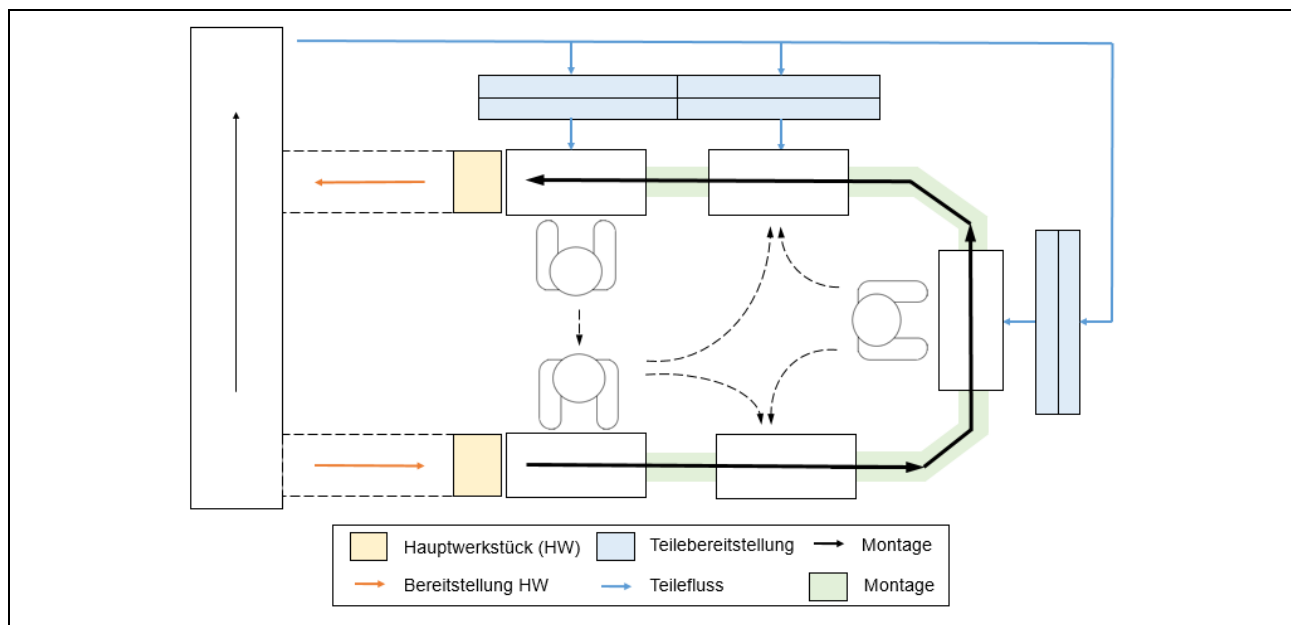


Abbildung 2.4: U-Form<sup>41</sup>

Abbildung 2.4 zeigt den Montageablauf einer Produktgruppe in einem U-förmigen Montagesystem. Die An- und Ablieferung von Großteilen erfolgt in diesem Beispiel stirnseitig. Die fünf notwendigen Arbeitsschritte können je nach Arbeitsinhalt von weniger als fünf Mitarbeitern durchgeführt werden, welche die Arbeitsplätze zwangsläufig wechseln müssen. Die Kleinteilebereitstellung erfolgt direkt an die Arbeitsplätze.<sup>42</sup>

<sup>39</sup> Vgl. Becker 2008, S. 91–92

<sup>40</sup> Vgl. Konold und Reger 2003, S. 82

<sup>41</sup> Quelle: modifiziert nach Konold und Reger 2003, S. 82

<sup>42</sup> Konold und Reger 2003, S. 82

### 2.1.3.3 Linienform

#### Manueller Werkstückumlauf:

Eine Bauform mit relativ geringem Flächenbedarf ist die Linienform. Die Teilebereitstellung kann sehr gut entlang einer Seite der Linienarbeitsplätze erfolgen. Für allfällige Arbeitsplatzwechsel und Gruppenarbeiten ist diese Grundform im Gegensatz zur U-Form wenig geeignet.<sup>43</sup>

#### Automatisierter Werkstückumlauf:

Die Linien-Form ist die am öftesten eingesetzte Grundform bei arbeitsteiliger Montage. Wenn Werkstückträger verwendet werden, können sie auf Arbeitsebene, sowie ober- oder unterhalb bereitgestellt und rückgeführt werden. Vorteilhaft ist die gute Teilebereitstellung an die Arbeitsplätze.

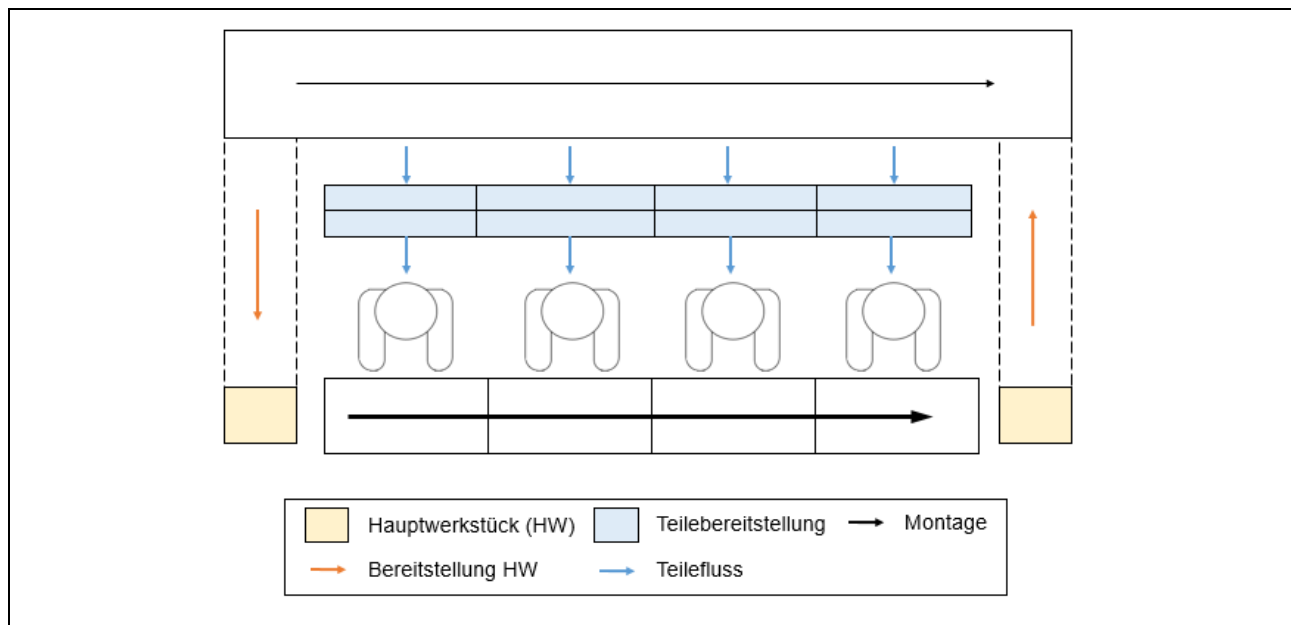


Abbildung 2.5: Linienform<sup>44</sup>

In Abbildung 2.5 ist eine Montage mittels Linienform dargestellt. Die Arbeitsplätze befinden sich in einer Linie angeordnet und bestehen aus Standardelementen. Die Weitergabe der Teile erfolgt direkt und sie werden mit oder ohne Werkstückträger von einer Arbeitsstation zur nächsten weitergeschoben. Die Linienform ermöglicht eine leichte

<sup>43</sup> Lotter und Wiendahl 2006, S. 102

<sup>44</sup> Quelle: modifiziert nach Konold und Reger 2003, S. 83

Teilebereitstellung. Kleine Teile werden seitlich, in Regalen, direkt an den Arbeitsplätzen zugeführt. Große Teile werden stirnseitig an- und abtransportiert.<sup>45</sup>

#### **2.1.4 Teilebereitstellung**

Bei der Planung von Montagesystemen ist die Planung des Logistiksystems und damit die Teilebereitstellung an die Montage ein wesentlicher Faktor. Die Bereitstellung der Teile an den Arbeitsplätzen kann mit Hilfe verschiedener Transporthilfsmittel geschehen.

##### Zielsetzung der Teilebereitstellung:

- Richtige Position
- Zur richtigen Zeit
- In der richtigen Stückzahl
- In der richtigen Qualität
- Am richtigen Ort

##### Optimale Zielerfüllung:

- Kurze Durchlaufzeiten
- Kleine Bestände
- Geringe Kapitalbindung
- Kurze Reaktionszeiten

##### Transporthilfsmittel:

- Gitterboxen und Flachpaletten für Großteile
- Behälter für Kleinteile

Die Größe, Menge und Anlieferungsart der Transporthilfsmittel haben einen wesentlichen Einfluss auf den Flächenbedarf und damit die Layoutgestaltung der Produktionshalle. Deshalb müssen diese Überlegungen bereits sehr früh in der Grobplanung des Montagesystems miteinbezogen werden.

---

<sup>45</sup> Vgl. Konold und Reger 2003, S. 82

#### 2.1.4.1 Transportmittel

Es existieren verschiedene Grundsysteme, mit denen der interne Materialtransport durchgeführt werden kann. Die meisten verfügen über flurgebundene Transportmittel. Für nicht-stetige innerbetriebliche Förderaufgaben sind, je nach Anforderungen, folgende Transportmittel häufig anzutreffen:

##### Zu Fuß ohne Wagen:

Kleingebinde oder einzelne Baugruppen können zu Fuß ohne Handwagen aus dem Eingangswarenlager zu den Arbeitsplätzen transportiert werden.<sup>46</sup>

Traglast	ca. 1kg
Gangbreite	1,0 bis 1,5m
Hubhöhe	-

##### Zu Fuß mit Handwagen:

Kleinteile oder einzelne Baugruppen können zu Fuß mit Handwagen aus dem Eingangswarenlager zu den Arbeitsplätzen transportiert werden.<sup>47</sup>

Traglast	bis ca. 40kg
Gangbreite	1,5 bis 2,5m
Hubhöhe	-

##### Elektro-Handhubwagen:

Zum Transport von größeren Gebinden können Handhubwagen eingesetzt werden, um Teile in Gitterboxen, Kisten oder auf Paletten an den Arbeitsplätzen bereitzustellen. Vorteilhaft sind eine gute Zugänglichkeit zu den Arbeitsplätzen aufgrund eines kleinen Wendekreises und geringeren Abmessungen sowie eine geringere Unfallgefahr im Vergleich zum Einsatz von Gabelstaplern. Allerdings ist die Beschleunigung,

---

<sup>46</sup> Vgl. Gudehus 2012, S. 733

<sup>47</sup> Vgl. Gudehus 2012, S. 733

Endgeschwindigkeit, Traglast und Hubhöhe von Handhubwägen geringer als die von Gabelstaplern.<sup>48</sup>

Traglast	bis ca. 1200kg bzw. 1 EU-Palette
Gangbreite	1,5 bis 2,5m
Hubhöhe	bis 4,0m

### Gabelstapler:

Gabelstapler können für Push- und Pull-Versorgungen verwendet werden. Sie können sehr flexibel eingesetzt und die Planung der Materialversorgung schnell umgesetzt werden. Nachteilig zu erwähnen ist die erhöhte Unfallgefahr, besonders wenn Arbeiter dieselben Transportwege wie die Gabelstapler benutzen. Im Gegensatz zu einer Routenzugversorgung existieren keine festgelegten Routen und die Transportkosten sind aufgrund von Leerfahrten höher als beim Einsatz von Routenzügen.<sup>49</sup>

Traglast	ca. 1000 bis 2000kg
Gangbreite	min. 2m
Hubhöhe	ca. 6,5 bis 7,5m

### Routenzüge:

Hierbei handelt es sich um einen Sammelguttransport mit Routenzügen. Im Gegensatz zu Staplertransporten existieren keine Leerfahrten, da pro Route mehrere Senken von einer Quelle aus versorgt werden und die leeren Gebinde zu den Lagern transportiert werden, wo sie wieder aufgefüllt werden. Vorteilhaft sind die hohe Auslastung der Routenzugkapazitäten, sowie die hohe Versorgungssicherheit der Produktion. Routenzüge werden bei Pull-Versorgungen eingesetzt und über Kanban gesteuert. Die Planung der Materialversorgung mit Routenzügen ist aufwendiger als die Versorgung mit Gabelstaplern.<sup>50</sup>

---

<sup>48</sup> Vgl. Ebd., S. 851

<sup>49</sup> Vgl. Götzer 2016

<sup>50</sup> Vgl. Götzer 2016

Traglast	ca. 1000 bis 2000kg
Gangbreite	min. 2m
Hubhöhe	ca. 6,5 bis 7,5m

Die Auswahl der Fördermittel wird durch viele Kriterien beeinflusst. Beispielsweise durch:<sup>51</sup>

- die Förderaufgabe

Das Mengengerüst, die Art, das Volumen und Gewicht der Güter und Lagereinheiten haben einen Einfluss auf die Wahl des Fördermittels.

- die Materialflussbeziehungen

Die Länge und die Art der Förderstrecken, sowie der Vernetzungscharakter sind zu berücksichtigen.

- Die Produktionssteuerung

Verschiedene Produktionssteuerungssysteme werden bevorzugt bestimmten Fördermitteln realisiert.

---

<sup>51</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 188



## 2.2 Logistik

Mit der Einführung der industriellen Massenfertigung mit Hilfe elektrischer Energie und den Arbeiten von Frederick W. Taylor und Henry Ford am Anfang des 20. Jahrhunderts wandelten sich Produktionsunternehmen von Manufakturen hin zu industriellen Produktionsbetrieben. Die Aufgaben der einzelnen Arbeiter innerhalb des Unternehmens wurden aufgeteilt um die notwendigen Qualifikationen der Arbeiter immer weiter zu senken.<sup>52</sup> Die Ausführungszeiten der Aufgaben wurde durch Standardisierung der Arbeitsumfänge stark reduziert und durch die Einführung der Fließbandarbeit eine erhebliche Erhöhung der Produktivität erreicht.

Mit zunehmender Sättigung der Märkte stiegen die Wünsche nach Individualisierung der Produkte und höherer Qualität der Produkte. Verkäufermärkte wandelten sich zunehmend zu Käufermärkten, bei denen die Nachfrage der Kunden die Preise bestimmen - aus der Massenproduktion wurde eine variantenreiche Serienproduktion.<sup>53</sup>

Durch Steigerung der Produktion und zunehmender Komplexität der Produktionsabläufe wurde es notwendig mehr Augenmerk auf die Beschaffung, die Fertigungssteuerung und den Absatz zu legen, um die Wirtschaftlichkeit der Produktion aufrecht zu erhalten und die erzeugten Produkte rechtzeitig ausliefern zu können. Die sinkenden Produktlebenszyklen, die hohe Variantenvielfalt bei gleichzeitig hohem Innovationsdruck, führte zu steigenden Herausforderungen für logistische Systeme und Prozesse, weshalb in diesem Kapitel das Thema Logistik betrachtet wird.<sup>54</sup> Neben der Bedeutung der Logistik für Produktionsunternehmen und die Formulierung der wichtigsten Ziele, wird besonders auf die Produktionslogistik eingegangen, die wesentlichen Einfluss auf den Erfolg des Unternehmens hat.

### 2.2.1 Hauptprozesse der Logistik

Logistik ist Teil der Unternehmensstrategie, welche als Beschaffungslogistik, Produktionslogistik und Distributionslogistik von der Bestellung bis zur Auslieferung alle Fertigungsebenen durchzieht und der eine große strategische Bedeutung zukommt. Die Hauptprozesse der Logistik sind:

---

<sup>52</sup> Vgl. Becker 2008, S. 28

<sup>53</sup> Vgl. Bauernhansl 2014, S. 4–8

<sup>54</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 34

### Beschaffungslogistik:

Die Beschaffungslogistik hat die Aufgabe, alle benötigten Materialien auf dem Beschaffungsmarkt zum richtigen Zeitpunkt, der richtigen Menge, der richtigen Qualität und zu günstigen Konditionen einzukaufen.<sup>55</sup>

### Produktionslogistik:

Die Produktionslogistik plant, steuert und überwacht den Einsatz von Betriebsmitteln, Mitarbeitern und Materialien innerhalb der Produktion und ist entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Produktionsprozesse und der Materialwirtschaft.<sup>56</sup>

### Distributionslogistik:

Analog zur Beschaffungslogistik gehört es zur Aufgabe der Distributionslogistik die fertig produzierten Waren fristgerecht an die Kunden zu transportieren.<sup>57</sup>

Besonderes Augenmerk wird auf die Prozesse innerhalb der Produktionslogistik gelegt, da sie einen zentralen Einfluss auf den Unternehmenserfolg hat. Die Produktionslogistik wird in Kapitel 2.2.5 als Teil der Supply-Chain ausführlicher erklärt. Diese ist mit den anderen Hauptprozessen Beschaffungs- und Distributionslogistik stark gekoppelt.

## **2.2.2 Bedeutung der Logistik**

Unternehmen mit Produkten mit hohem Kundennutzen und einer guten Logistik sind besonders erfolgreich, da sie eine kurze Reaktions- und Lieferzeit aufweisen, schnell wachsen und neue Märkte erschließen können. Sie werden für neue Kunden interessant, wenn sie neue Anforderungen erfüllen und können damit relativ hohe Gewinne erwirtschaften.<sup>58</sup>

## **2.2.3 Zielgrößen der Logistik**

Bewertungskriterien für die Logistikleistung eines Unternehmens sind aus Sicht des Kunden Eigenschaften wie der Preis und Lieferzeit. Weitere Kriterien sind die Liefertreue

---

<sup>55</sup> Vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 331

<sup>56</sup> Vgl. Bauer 2014, S. 1

<sup>57</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 102

<sup>58</sup> Vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 1

und Lieferterminüberwachung. Abbildung 2.6 zeigt die Zielgrößen innerhalb der Logistik und unterteilt diese in interne und externe Logistikgrößen. Die vom Kunden wahrgenommenen externen Zielgrößen können durch in der Fertigung messbare interne Logistikgrößen Durchlaufzeit, Terminabweichung und Termintreue erreicht werden.

	Logistikleistung	Logistikkosten
Extern	<i>Auftragsfertigung</i> Lieferzeit Lieferterminüberwachung Liefertreue	Preis
	Lagerfertigung Servicegrad	
Intern	Durchlaufzeit Terminabweichung Termintreue	Bestand Auslastung Verzugskosten

Abbildung 2.6: Zielgrößen in der Logistik<sup>59</sup>

Die Lieferzeit ist die Zeitspanne die zwischen Bestellzeitpunkt und Auslieferung der Ware vergeht. Sie hat eine große strategische Bedeutung für das Unternehmen, denn die Lieferzeit wird bei der Kaufentscheidung berücksichtigt und bei passender Qualität und Kosten entscheidet die Lieferzeit über den Kauf – besonders bei Märkten mit unsicherer Nachfrage. Dies kann sogar so weit gehen, dass Kunden nach abwägen von Kosten, Qualität und Lieferzeit bewusst Artikel minderer Qualität, Artikel mit hoher Qualität vorziehen, wenn diese nicht rechtzeitig lieferbar sind („Quick-and-dirty“-Lösungen).<sup>60</sup>

Hohe Lieferzeiten sind neben den Gründen, die gegen einen Kauf sprechen, Ursache für eine große Anzahl weiterer Kosten. Es entstehen Folgekosten, falls Produktionsausfälle beim Kunden aufgrund eines Lieferausfalles entstehen und Bestandskosten, die aufgrund langer Produktionszeiten und hoher Lagerbestände anfallen.<sup>61</sup>

Diese Kosten waren Auslöser für umfassende wissenschaftliche Untersuchungen der gesamten Lieferkette um die internen und in weiterer Folge externen Liefergrößen zu

<sup>59</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 19

<sup>60</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 20–22

<sup>61</sup> Vgl. Lödding 2008, S. 22–24

optimieren um die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu erhöhen. Als Ansätze ergaben sich Modelle wie das Supply Chain Management.

## **2.2.4 Supply Chain Management**

Die gesamte Wertschöpfungskette vom Rohstofflieferanten bis zum Endkunden wird als Supply-Chain bezeichnet. Die Prozessoptimierung der Supply-Chain ist eine der Kernprozesse von Produktionsunternehmen und bildet einen wesentlichen Angriffspunkt, um alle Vorgänge so transparent wie möglich zu gestalten und die internen und externen Logistikziele zu erreichen.

Das Grundprinzip des Supply Chain Managements ist die Optimierung aller Prozesse vom Rohteillieferanten bis zum Kunden und nicht die Optimierung einzelner Teilprozesse. Bei der Optimierung der Prozesse steht als wichtigstes Prinzip immer die Kundenanforderung im Vordergrund.<sup>62</sup>

Ziel von Supply Chain Management-Ansätzen ist die Sicherstellung von Wettbewerbsvorteilen gegenüber Mitbewerbern aus der Supply-Chain-Leistung durch die Gestaltung und Optimierung des Gesamtsystems.<sup>63</sup>

Wie bereits erwähnt, nimmt die Produktionslogistik als Teil der Supply-Chain eine wesentliche Rolle ein.

## **2.2.5 Produktionslogistik**

Eingebettet in die Supply Chain befasst sich die Produktionslogistik mit den Warenflüssen innerhalb des Unternehmens.

### Aufgaben der Produktionslogistik:<sup>64</sup>

- Programmplanung

In der Produktionsprogrammplanung wird als zentraler Punkt festgelegt, zu welchem Zeitpunkt welche Mengen eines Artikels lieferbar sein sollen. Teil der Programmplanung sind neben der Absatzplanung die Bestandsplanung, bei der hohe Bestände vermieden werden sollen und die Primärbedarfsplanung aus der ein vorläufiger Produktionsplan

---

<sup>62</sup> Vgl. Becker 2008, S. 45

<sup>63</sup> Vgl. Becker 2008, S. 42–43

<sup>64</sup> Vgl. Bauer 2014, S. 3

erstellt wird. Die Produktionsplanung geht aus der Absatzplanung hervor und ist Grundlage für die Ressourcenplanung.<sup>65</sup>

- Materialplanung

Sie ist verantwortlich für die Planung und Überwachung der Lagerbestände.<sup>66</sup>

- Logistikcontrolling

Stabstelle innerhalb der Produktion, die die Abläufe innerhalb der Produktion plant und überwacht um sie hinsichtlich der Produktionsziele zu optimieren.<sup>67</sup>

- Termin- und Kapazitätsplanung

Die Aufgabe der Kapazitätsplanung ist die Optimierung der Auslastung der Betriebsmittel. Die Kapazitätsplanung ist eng mit der Terminplanung innerhalb der Produktion verknüpft. Die Zeit- und Terminplanung konzentriert sich auf die Ermittlung der Dauer von Vorgängen von Arbeitspaketen, die Ermittlung von Eckterminen und Pufferzeiten.<sup>68</sup>

Durch die Erfindung des Computers und ERP bzw. APS-Systemen wurden neue Methoden für die Planung und Analyse von Produktionssystemen möglich. Allerdings erwies sich die totale Überwachung der einzelnen Schritte durch diese Systeme nicht als zielführend. Die erhofften Ergebnisse stellten sich nicht ein und neue Regelwerke wurden notwendig, um die komplexen Abläufe, gerade bei variantenreicher Produktion zu bewältigen.<sup>69</sup>

---

<sup>65</sup> Vgl. Schenk et al. 2014, S. 393

<sup>66</sup> Vgl. Bauer 2014, S. 18

<sup>67</sup> Vgl. Bauer 2014, S. 51

<sup>68</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 219

<sup>69</sup> Vgl. Bauernhansl et al. 2014, S. 77–78

## 2.3 Produktionssysteme

In dieser Arbeit wird der interne Materialfluss für fertigungsorientierte und vor allem für montageorientierte Unternehmen betrachtet und für verschiedene Produktionssysteme und Fertigungssteuerungen untersucht.

Produktionssysteme liefern Methoden, Vorgehensweisen, Optimierungsstrategien und Best-Practice-Methoden für wesentliche Problemstellungen des Produktionsunternehmens und sollen zum Erreichen der formulierten Ziele hinsichtlich Kosten, Qualität und Zeit beitragen.<sup>70</sup>

„Ein ganzheitliches Produktionssystem (GPS) ist ein unternehmensspezifisches, methodisches Regelwerk zur umfassenden und durchgängigen Gestaltung der Unternehmensprozesse.“<sup>71</sup>

Es haben sich parallel verschiedene Produktions- und Managementsysteme entwickelt. Einige sind qualitätsorientiert und setzen vor allem statistische Methoden und Werkzeuge ein, um die Fehlerrate in der Produktion zu reduzieren. Andere Produktionssysteme konzentrieren sich auf die Verkürzung der Durchlaufzeiten und auf eine effizientere Produktion. Ein solches durchlaufzeitorientiertes Produktionssystem ist das Toyota Production System.<sup>72</sup>

### 2.3.1 Toyota Production System, Lean-Production

Toyota war in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts Branchenführer in der Automobilindustrie und hat sich besonders durch hervorragende Qualität ausgezeichnet. Eine Vergleichsstudie des MIT hat Toyota zu dieser Zeit als weltweit überlegen bewertet. Die Beschreibung der Prinzipien des Toyota Produktionssystems (TPS) im Zuge der Studie ist als „Lean-Production-Konzept“ bekannt und gilt als erstes ganzheitliches Produktionssystem.<sup>73</sup>

#### Anwendungsgebiet der Lean Production:

- Hohe Stückzahlen
- Geringe Produktvariation

---

<sup>70</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 71

<sup>71</sup> VDI Richtlinie 2870-1

<sup>72</sup> Vgl. Waurick 2014, S. 1

<sup>73</sup> Vgl. Tegel 2012, S. 10

Eingesetzt wird Lean Production bei Serien- sowie Massenproduktion in den Bereichen Automobilbau, Biochemie, Medizintechnik, sowie in vielen anderen Bereichen.<sup>74</sup>

### 2.3.1.1 Prinzipien von Lean Production

Es finden sich in der Literatur verschiedene Aufzählungen von Prinzipien, deren konsequente Anwendung zu einer „Lean Production“ führen soll. Die Auswahl von Prinzipien in dieser Arbeit orientiert sich an der in der VDI Richtlinie 2870 - Ganzheitliche Produktionssysteme.

Prinzipien:<sup>75</sup>

- Fließprinzip
- Vermeidung von Verschwendung
- Pull-Prinzip
- Null-Fehler-Prinzip
- Standardisierung
- Kontinuierliche Verbesserung
- Mitarbeiterorientierung und zielorientierte Führung
- Visuelles Management

Werkzeuge und Methoden die zur Realisierung dieser Prinzipien führen, werden im Anschluss im Kapitel 2.4 zusammengefasst. Neben dem Einsatz innerhalb des Produktionssystems Lean Production, können sie auch bei anderen Produktionssystemen Anwendung finden.

### 2.3.1.2 Fließprinzip

Das Fließprinzip zielt auf eine Minimierung der Durchlaufzeit ab. Jedes Objekt soll nach einem Bearbeitungsschritt direkt zur nächstfolgenden Bearbeitungsstation transportiert werden. So sollen keine Lose, sondern einzelne Objekte transportiert werden. Das minimiert die Durchlaufzeit einzelner Objekte und erhöht die Flexibilität, da schneller auf Kundenwünsche reagiert werden kann. Das Fließprinzip zielt auf eine Reduzierung von Puffern zwischen Bearbeitungsstationen ab. Dadurch reduziert sich das gebundene

---

<sup>74</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 5

<sup>75</sup> Vgl. VDI-Richtlinie 2870-1

Kapital innerhalb der Produktion und es entstehen transparentere Arbeitsabfolgen, da Qualitätsprobleme gleich erkannt und behoben werden können.<sup>76</sup>

Das Fließprinzip stellt jedoch erhöhte Ansprüche an die Prozesssicherheit, da die Produktion aufgrund fehlender Pufferbestände sensibel auf Produktionsstillstände von einzelnen Prozessen reagiert. Es hat unmittelbaren Einfluss auf vor- und nachgelagerte Prozesse.<sup>77</sup>

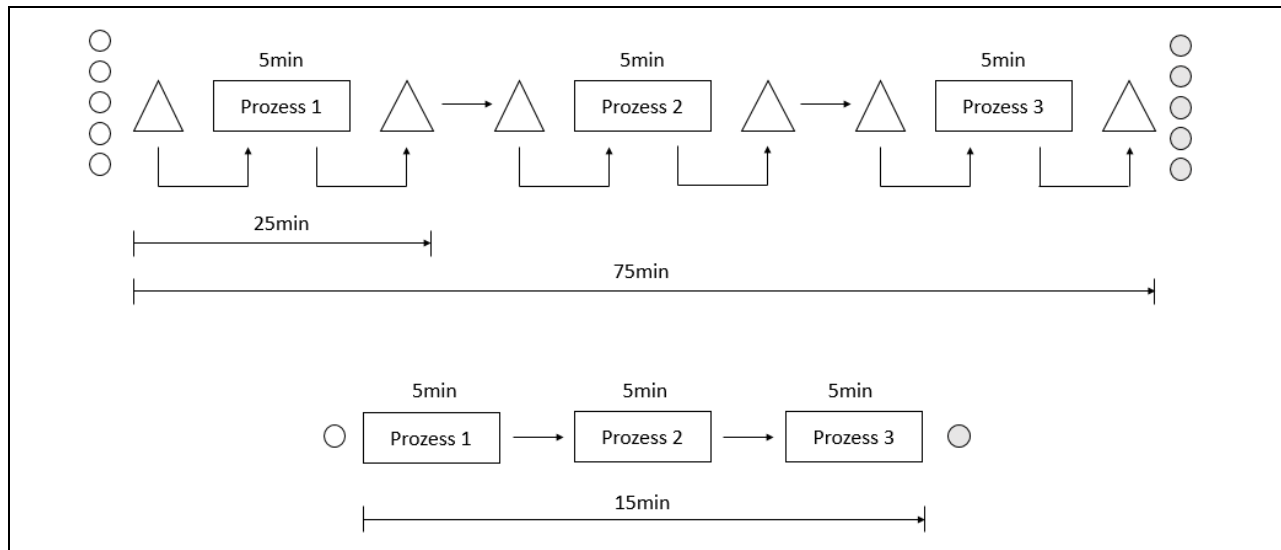


Abbildung 2.7: Durchlaufzeit Losfertigung vs. One Piece Flow<sup>78</sup>

Abbildung 2.7 zeigt die Durchlaufzeitreduktion eines Objektes bei Anwendung des Fließprinzips („One Piece Flow“) im Vergleich zu einer Losfertigung. Das Rohteil durchläuft 3 Fertigungsprozesse, wobei jede Station eine Bearbeitungszeit von 5 Minuten aufweist. Die Durchlaufzeit eines einzelnen Objektes durch die Fertigung reduziert sich von 75 auf 15 Minuten.

Wichtig für das Fließprinzip ist die Minimierung von Wegen zwischen den einzelnen Prozessen. Instrumente bei der Planung und Analyse von Produktionssystemen sind die Wertstromanalyse und das Wertstromdesign. Diese Instrumente sollen die Prozesse so miteinander verknüpfen, so dass ein kontinuierlicher Fluss entsteht.<sup>79</sup>

<sup>76</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 81

<sup>77</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 97

<sup>78</sup> Quelle: modifiziert nach Dombrowski 2015, S. 97

<sup>79</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 48



Wertstromanalyse:

- Analyse der IST-Situation

Wertstromdesign:

- Erstellung von Material- und Informationsflüssen, Planung der SOLL-Situation

Bei der Planung der SOLL-Situation zeigt Dombrowski nach Anlehnung an die Werke von Rother und Shook<sup>80</sup> und Erlach<sup>81</sup> folgende 7 Leitlinien auf, die bei der Planung des Wertstromdesigns berücksichtigt werden sollen:

1. Gliederung in Produktfamilien
2. Produktion im Kundentakt
3. Entwicklung eines kontinuierlichen Flusses
4. Entwicklung verbrauchsbasierter Regelkreise (Kanban)
5. Zentrale Produktionsplanung
6. Nivellierung

2.3.1.3 Minimierung von Verschwendung

Einer der wesentlichsten Ansätze bei Lean Production, ist die Vermeidung jeglicher Verschwendungen um die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Innerhalb des Gestaltungsprinzips der Vermeidung von Verschwendung wird zwischen wertschöpfenden Tätigkeiten, nicht wertschöpfender Tätigkeiten und Verschwendung unterschieden.

Wertschöpfende Tätigkeiten:

Notwendige Tätigkeiten, die zu einer Werterhöhung aus Sicht des Kunden führen. Beispiele sind Bearbeitungsverfahren, Montagevorgänge, etc.<sup>82</sup>

Nicht-wertschöpfende Tätigkeiten:

Diese führen nicht unmittelbar zu einer Werterhöhung. Die Tätigkeiten sind aber unbedingt notwendig. Beispiele: Rüstprozesse, Messvorgänge, Materialzuführung, etc.<sup>83</sup>

---

<sup>80</sup> Vgl. Rother et al. 2015

<sup>81</sup> Vgl. Erlach 2007, S. 31–229

<sup>82</sup> Vgl. Becker 2008, S. 27

<sup>83</sup> Vgl. Becker 2008, S. 142

## Verschwendung:

Alle weiteren nicht notwendigen Tätigkeiten werden als Verschwendung angesehen. Taiichi Ohno, Erfinder des Toyota Production Systems definiert 7 Verschwendungsarten, die in Abbildung 2.8 gezeigt werden. Als „Mutter“ der Verschwendung gilt die Überproduktion, die zu allen weiteren Verschwendungsarten führt oder diese überdeckt.<sup>84</sup>

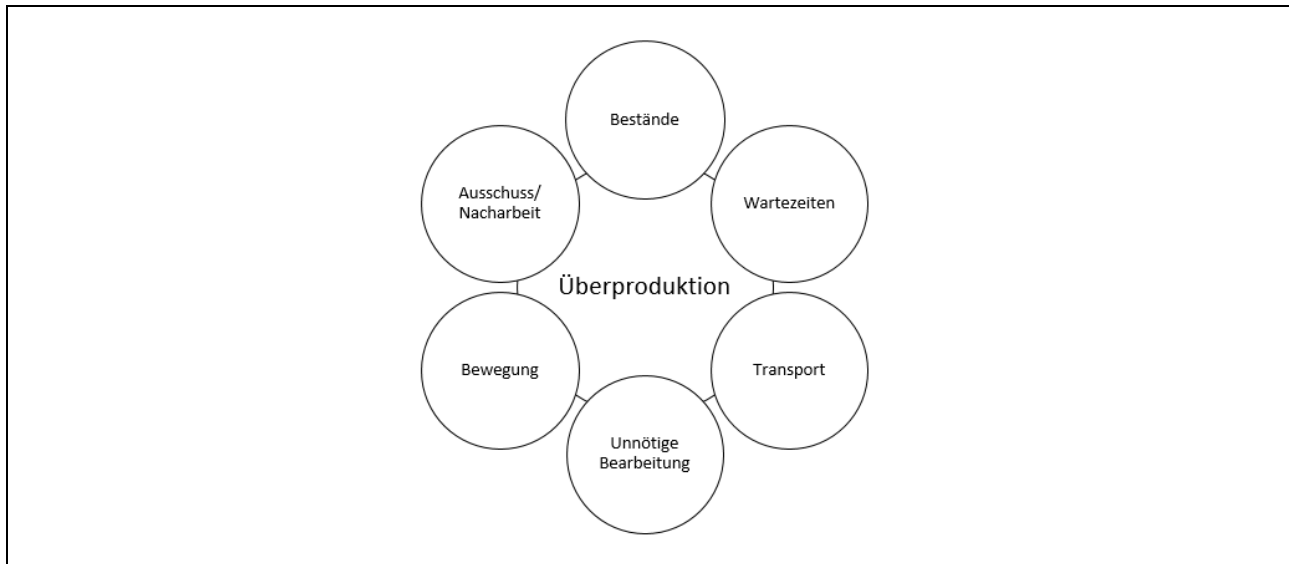


Abbildung 2.8: Verschwendungsarten nach Ohno<sup>85</sup>

### 1. Überproduktion

Die mengenmäßige Überproduktion und die frühzeitige Produktion sind Arten von Überproduktion. Ursache der Überproduktion können Kapazitätsplanung, Losplanung oder geänderte Kundenanforderungen sein.<sup>86</sup>

### 2. Bestände

Bestände können sich an allen Position der Wertschöpfungskette befinden. Typische Positionen und dazugehörige Bestände sind:

---

<sup>84</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 94

<sup>85</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 33

<sup>86</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 32

### Eingangswarenlager:

Rohmaterialien oder Zulieferteile um Unsicherheiten beim Wareneingang abzufedern.

### Zwischenpuffer:

Innerhalb der Produktion befinden bei einer Losgröße von größer als 1 Objekte in Zwischenpuffern gelagert und bilden bis zum nächsten Bearbeitungsschritt Zwischenbestände („work-in-process“).<sup>87</sup>

### Fertigwarenlager:

Hohe Bestände verlängern die Durchlaufzeit, erhöhen die Lagerhaltungskosten und es besteht das Risiko, dass Waren an Wert verlieren, während sie sich im Lager befinden.<sup>88</sup>

## 3. Wartezeiten

Wartezeiten treten auf, wenn bei Fließarbeit Taktzeiten nicht richtig abgestimmt sind, bei Losfertigung oder bei Störungen im Prozess.<sup>89</sup>

## 4. Transport

Transporte sind notwendig um den Fluss des Materials durch die Produktion zu gewährleisten. Allerdings sind Transporte, die durch nicht optimierte Layouts nicht minimal sind, Verschwendung. Weitere Verschwendung stellen unnötige Transporte dar.<sup>90</sup>

## 5. Unnötige Bearbeitungsschritte

Unnötige Bearbeitungsschritte sind Bearbeitungsschritte die vom Kunden nicht gefordert sind. Ursachen sind Overengineering oder unzureichende Prozessplanung.<sup>91</sup>

---

<sup>87</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 34

<sup>88</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 33–34

<sup>89</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 35

<sup>90</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 36

<sup>91</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 36

## 6. Bewegung

Das unnötige Bewegen, zum Beispiel zum Erreichen von Bauteilen oder Werkzeugen ist eine weitere Art von Verschwendung, weshalb alle für die Produktion notwendigen Gegenstände ergonomisch um den Arbeitsplatz angeordnet werden sollen.<sup>92</sup>

## 7. Ausschuss/Nacharbeiten

Ausschuss und Nacharbeit treten auf, wenn Arbeit entweder vollständig oder teilweise verschwendet wird. Je später der Fehler entdeckt wird, desto höher werden die anfallenden Kosten für das Unternehmen.<sup>93</sup>

Interner Fehler: Der Fehler wird innerhalb der Produktion entdeckt

Externer Fehler: Der Fehler wird beim Kunden entdeckt.

Ein externer Fehler ist gravierender als ein interner Fehler und kann zu Vertrauensverlust des Kunden und Verringerung des Marktanteils zur Folge haben.<sup>94</sup>

### 2.3.1.4 Pull-Prinzip

Statt einem plangesteuerten Push-System wird bei Lean-Production auf das Pull-Prinzip zurückgegriffen. Bei dieser bedarfsgesteuerten Produktion wird nur bei Kundenauftrag produziert. Es wird bei jeder Bearbeitungsstation nur produziert, was aufgrund von Nachfrage abgeflossen ist. Bei Nachfragestopp wird auch die Produktion stillgelegt. Das verhindert Überproduktion und somit auch andere Verschwendungsarten und erhöht die Qualität der Produktion.<sup>95</sup>

Unterscheidung von Push- und Pull-System:

In einem Push-System werden ausgehend von einer detaillierten Produktionsplanung, die Start- und Endzeitpunkte aller Bearbeitungsschritte bestimmt. Ein zentrales Steuerungssystem informiert dabei alle Bearbeitungsstationen nachdem ein Kundenauftrag eingegangen ist. Der Informations- und Materialfluss sind richtungsgleich.<sup>96</sup>

---

<sup>92</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 37

<sup>93</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 38

<sup>94</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 38

<sup>95</sup> Vgl. Becker 2008, S. 41

<sup>96</sup> Vgl. Tegel 2012, S. 25

Ein Pull-System führt zu einer dezentralen Steuerung mit kurzen Regelkreisen. Es wird nicht wie in einem Push-System nach einem Produktionsplan produziert, sondern nur wenn Bedarf besteht. Der Informationsfluss beginnt beim Kunden und zieht sich flussaufwärts durch die gesamte Produktion, bis zum Wareneingangslager.<sup>97</sup>

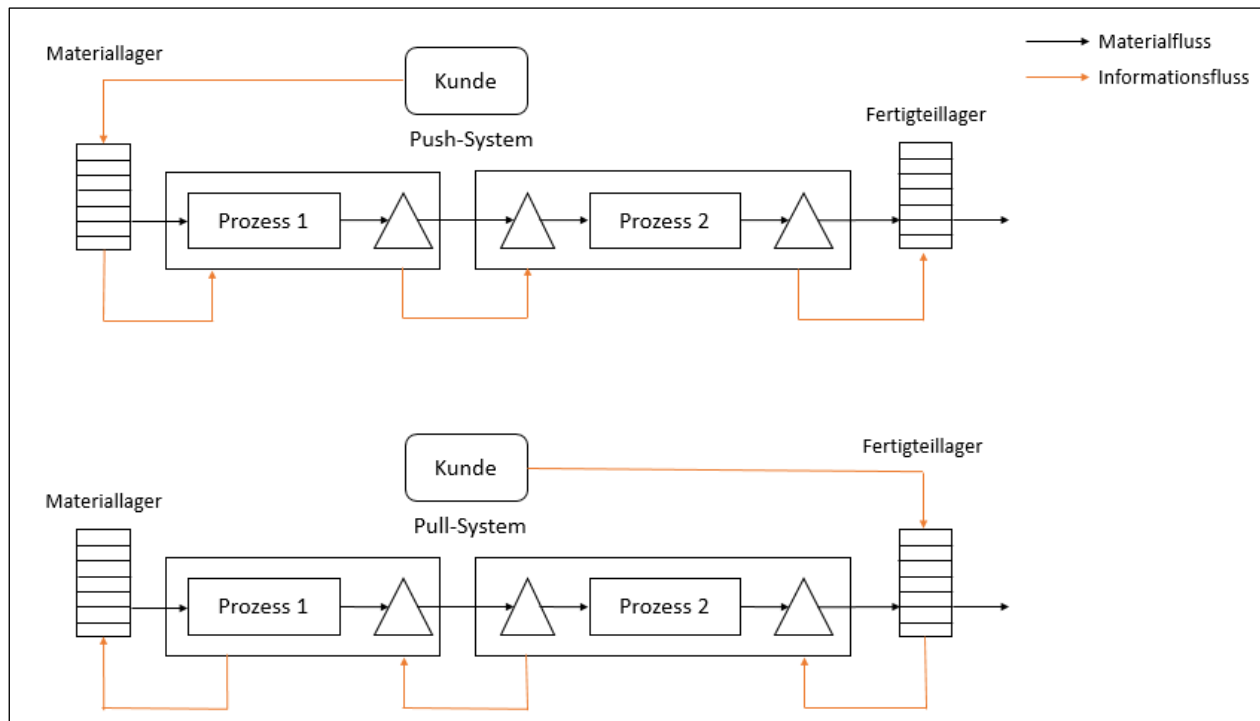


Abbildung 2.9: Material- und Informationsfluss, Push- und Pull-Systeme<sup>98</sup>

Abbildung 2.9 zeigt die Material- und Informationsflüsse innerhalb der verschiedenen Systeme. Ein Werkzeug, um ein verbrauchergesteuertes Materialflusssystem zu erreichen, ist das von Toyota entwickelte Kanban-Konzept, das innerhalb von Lean-Production verwendet wird (siehe Kapitel 2.4.2.1). Push-Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie den „Work-in-Process“ (WIP), den Umlaufbestand, begrenzen.<sup>99</sup>

Pull- und Push-Systeme sind auch sehr eng mit den Prinzipien Make-to-Stock und Make-to-Order und mit dem Begriff des Kundenentkopplungspunktes verknüpft (siehe Kapitel 2.4).

<sup>97</sup> Vgl. Becker 2008, S. 40

<sup>98</sup> Quelle: modifiziert nach Becker 2008, S. 41

<sup>99</sup> Vgl. Hopp und Spearman, S. 133

### 2.3.1.5 Null-Fehler-Prinzip

Ziel des Null-Fehler-Prinzips soll sein, dass kein fehlerhaftes Stück beim Kunden ankommt. Neben den Maßnahmen des Kontrollierens und des Auswechslens von fehlerhaften Teilen, müssen alle Prozesse in der Produktion solange verbessert werden, bis keine fehlerhaften Teile mehr produziert werden. Das Null-Fehler-Prinzip steht in enger Verknüpfung mit den restlichen Gestaltungsprinzipien, denn nur das konsequente Umsetzen aller Prinzipien führt in weiterer Folge dazu, dass keine fehlerhaften Produkte ausgeliefert werden.<sup>100</sup>

„Qualität wird erzeugt, nicht erprüft.“<sup>101</sup>

Es werden verschiedene Methoden eingesetzt, um das Null-Fehler-Prinzip nach Möglichkeit zu erfüllen.

#### Methoden:<sup>102</sup>

- Ishikawa – Diagramm
- 5W
- A3-Methode
- Poka Yoke

### 2.3.1.6 Standardisierung

Durch eine Standardisierung werden sich wiederholende Abläufe im Unternehmen definiert. Die Anwendung von Standardisierungen verringert während der Planungsphase den Aufwand und erhöht die Qualität der Planung. Während der Produktion sorgt eine Standardisierung der Ausführung der Arbeit z.B. im Zuge einer 5S-Arbeitsgestaltung, für eine Qualitätssteigerung und eine höhere Produktivität bei gleichzeitiger Verschwendungsvermeidung.<sup>103</sup>

---

<sup>100</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 81

<sup>101</sup> VDI-Richtlinie 2870-1

<sup>102</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 31

<sup>103</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 453

### 2.3.1.7 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Ein weiteres Schlüsselprinzip des Lean-Gedankens ist die Entwicklung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP). Der japanische Begriff, durch das TPS geprägt, lautet „Kaizen“ (ungefähr: „Veränderung zum Besseren“). Die Umsetzung des KVP ist die Angelegenheit aller Mitarbeiter eines Unternehmens - von der Führungsebene bis zu den Mitarbeitern, die am „Ort des Geschehens“ die Produktionsarbeiten durchführen. Von diesen Mitarbeitern wird Eigeninitiative gefordert und die Kreativität angeregt, indem sie in den Problemlösungsprozess miteinbezogen werden.<sup>104</sup>

Der Gedanke des Kaizen ist langfristig ausgelegt und besteht aus vielen kleinen Verbesserungen und ist ein ständiger Treiber um die Ziele des Null-Fehler-Prinzips zu erreichen.<sup>105</sup>

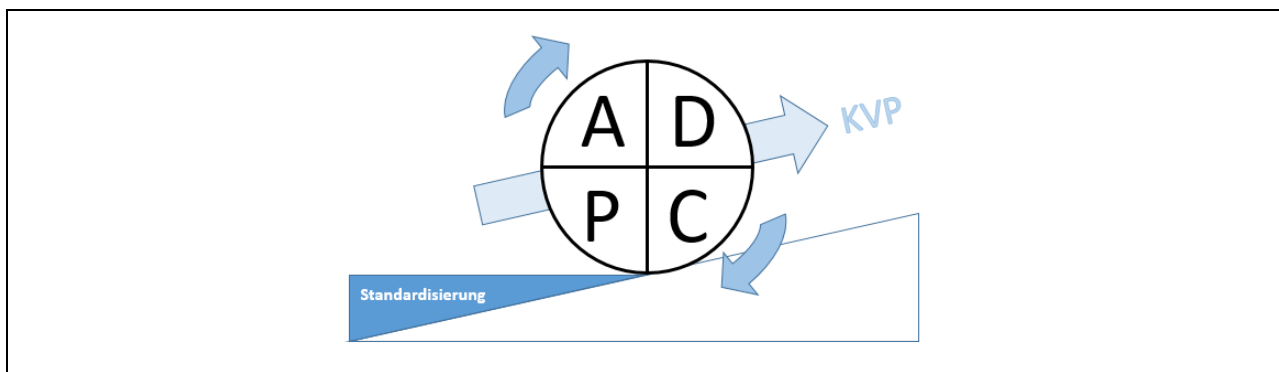


Abbildung 2.10: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess<sup>106</sup>

Abbildung 2.10 zeigt den schematischen Ablauf eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Die wesentlichen Prinzipien, die den Verbesserungsprozess vorantreiben sind:<sup>107</sup>

- Plan (P): Verbesserungspotenzial erkennen
- Do (D): Umsetzen der geplanten Maßnahmen
- Check (C): Überprüfen der Maßnahmen
- Act (A): Überführen der Maßnahmen in einen Standard und Überprüfung der Einhaltung des Standards

<sup>104</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 21

<sup>105</sup> Vgl. Tegel 2012, S. 17

<sup>106</sup> Quelle: modifiziert nach Dombrowski 2015, S. 53

<sup>107</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 55

## 2.3.2 QRM

Ein weiteres Produktionssystem ist „Quick Response Manufacturing“ (QRM). Es verfolgt die Strategie, schnellstmöglich auf Veränderungen am Markt reagieren zu können. Es handelt sich um einen unternehmensweiten Ansatz, der nicht wie Lean Production auf eine Minimierung der Verschwendung, sondern auf eine Minimierung der Durchlaufzeit als Managementstrategie setzt.<sup>108</sup>

Die Fertigungssteuerung im QRM geschieht nach einem hybriden Pull- und Push-Ansatz, der durch POLCA-Karten gesteuert wird.

### 2.3.2.1 Einsatz von QRM

Bei sehr variantenreicher Serienproduktion, bei der eine reine PULL-Steuerung, bei der ein hoher Durchlaufbestand in der Produktion folgen würde (da alle Teile für alle möglichen Varianten an den Arbeitsplätzen vorrätig gehalten werden müssen), kann QRM eingesetzt werden um die Umlaufbestände gering zu halten. Ferner wird das Produktionssystem bei Produkten mit stark schwankender Nachfrage verwendet.<sup>109</sup>

### 2.3.2.2 Herausforderungen

Es muss zur erfolgreichen Umsetzen ein unternehmensweites Verständnis der Methodik vorhanden sein, da der QRM-Ansatz über die Ebene des Shop-Floors hinaus bis in alle Bereiche der Unternehmung wirkt. Deshalb wird QRM auch nicht zeitgleich für alle Produkte, sondern nach und nach für einzelne Produktgruppen implementiert.<sup>110</sup>

## 2.3.3 Six Sigma

Ein weiteres Managementsystem stellt Six Sigma dar. Es wurde von Motorola entwickelt und von GE in den USA in Richtung Prozessverbesserung weiterentwickelt.<sup>111</sup>

Six Sigma konzentriert sich auf die Qualität der produzierten Bauteile.

---

<sup>108</sup> Vgl. Suri 2003, S. 1

<sup>109</sup> Vgl. Manufacturing & Service Operations Management, S. 40

<sup>110</sup> Vgl. Suri 2015, S. 5–6

<sup>111</sup> Vgl. Becker 2008, S. 58



Das namensgebende Sigma bezeichnet die Standardabweichung bei Normalverteilung. Je kleiner Sigma wird, desto kleiner wird die Abweichung der Werte vom Mittelwert. Wenn man es nun schafft, die Prozesse so zu beherrschen, dass der Wert Sigma sechsmal in die zulässige Toleranzbreite fällt, befindet sich statistisch nur 3,4 von einer Million Werte außerhalb der Toleranz, siehe Abbildung 2.11.

Das Ziel von Six Sigma ist es, die Qualität aller Prozesse so weit zu steigern, dass die Prozesse fähig und beherrscht sind. Es lassen sich mit der Größe Sigma unterschiedliche Prozesse beurteilen.

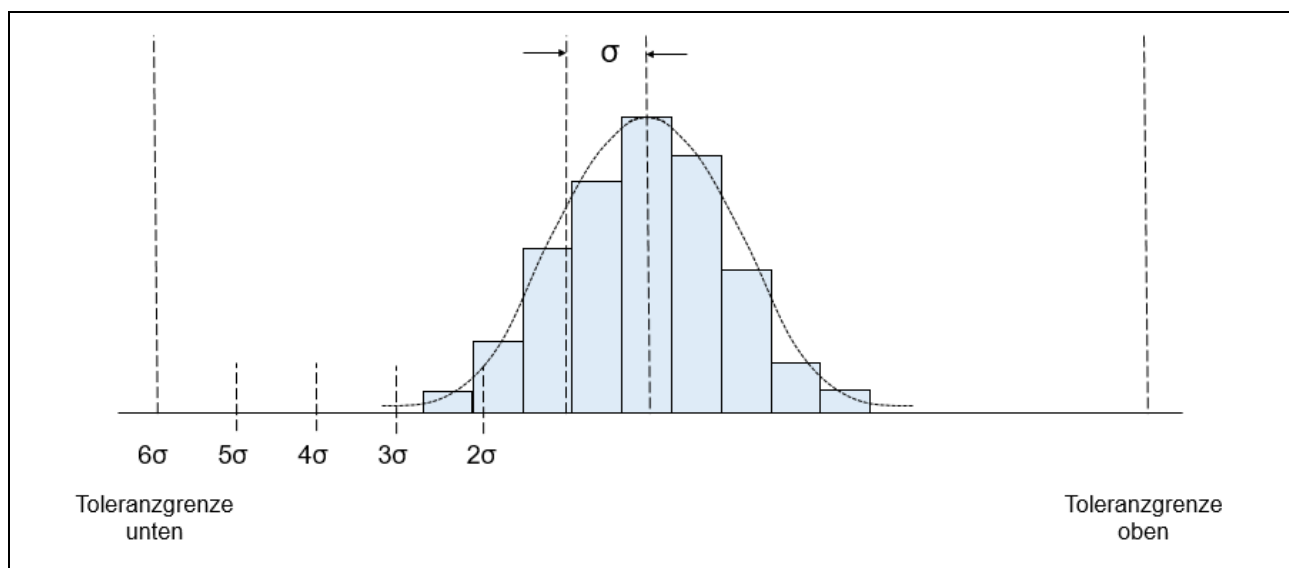


Abbildung 2.11: Prozesssteuerung bei Six Sigma<sup>112</sup>

### 2.3.3.1 Kennzeichen von Six Sigma

Während sich Lean Production auf die Vermeidung von Verschwendung und QRM auf die Reduktion der Durchlaufzeit konzentriert, stehen bei Six Sigma ausführende Prozesse im Fokus, Planung und Steuerung sind zweitrangig.<sup>113</sup>

Six Sigma toleriert im Gegensatz zu Systemen mit Nullfehlerprinzipien das Auftreten von Fehlern, reduziert sie allerdings auf ein Minimum.

<sup>112</sup> Quelle: modifiziert nach Becker 2008, S. 59

<sup>113</sup> Vgl. Becker 2008, S. 60

### 2.3.3.2 Vorgehensweise

Um das Ziel der Prozessbeherrschung zu erreichen, werden Werkzeuge zur Prozessverbesserung angeboten:<sup>114</sup>

- DMAIC für Qualitätsverbesserung
- DMADV für Prozessverbesserung

### 2.3.4 Lean Six Sigma

Die Verbindung von Lean Production mit dem Grundgedanken der Verschwendungsminimierung und Six Sigma mit dem Prinzip der Qualitätsmaximierung, ergibt das Produktionssystem Lean Six Sigma.

Bei Six-Sigma werden einzelne Schritte innerhalb von Prozessen sehr eng betrachtet, was eine gewisse Schwachstelle des Produktionssystems darstellt, da die Betrachtung des gesamten Prozesses nicht möglich ist. Die Erweiterung um den Blickwinkel der Lean-Production soll helfen, einzelne Prozesse zu optimieren, den Blick auf das große Ganze trotzdem nicht zu verlieren.<sup>115</sup>

---

<sup>114</sup> Vgl. Becker 2008, S. 61

<sup>115</sup> Vgl. Waurick 2014, S. 5

## 2.4 Methoden der Produktionsprozesssteuerung

Welches Produktionssystem, bzw. welche damit verbundene Produktionsprozesssteuerung am geeignetsten ist, kann im Wesentlichen durch vier Kriterien bestimmt werden.

Kriterien zur Steuerungsproblemdiagnose:<sup>116</sup>

- Lager- oder Auftragsfertigung (Make-to-Stock oder Make-to-Order)
- Lage des Kundenauftragsentkopplungspunktes
- Prozessroute
- Variationen in der Nachfrage

Kartensteuerungssysteme wie Kanban oder ConWIP kommen in erster Linie bei verbrauchsorientierten Produktionssteuerungen zum Einsatz, während bei deterministischer Produktionsplanung zentrale Produktionssteuerungen verwendet werden.<sup>117</sup>

### 2.4.1 Auftragsabwicklung

#### 2.4.1.1 Make-to-Stock (M-t-S)

Bei dieser Strategie wird nicht in Folge von expliziten Kundenaufträgen, sondern auf Grundlagen von Prognosen in Fertigwarenlager produziert, von denen aus der Kunde beliefert wird. Beispiele für M-t-S-Strategien sind die Produktion von Standardprodukten, deren Bedarf relativ genau vorhersehbar ist.<sup>118</sup>

Mit dieser Strategie sind kurze Lieferzeiten erreichbar, da bei Auftragseingang die fertig produzierten Artikel direkt aus dem Lager entnommen werden können. Diesem Vorteil stehen relativ hohe Lagerbestände gegenüber. Der einzige kundenspezifische Vorgang ist der Versand der Artikel.<sup>119</sup>

Der Versand eignet sich hierbei nicht als Schrittmacher-Prozess, da er in der Regel andere Arbeitszeiten als in der Produktion benötigt. Die Arbeitszeiten hängen von Einflüssen wie Zeitplänen von Speditionsunternehmen, Abholzeiten und weiteren

---

<sup>116</sup> Vgl. Thüerer et al. 2016, S. 60

<sup>117</sup> Vgl. Thüerer et al. 2016, S. 59

<sup>118</sup> Vgl. Syska 2006, S. 94

<sup>119</sup> Vgl. Syska 2006, S. 94

Faktoren ab. Der Versand ist dann Schrittmacher, wenn ein Kunde Just-in-Time beliefert wird (für die Definition eines Schrittmacher-Prozesses, siehe Kapitel 2.4.1.3).

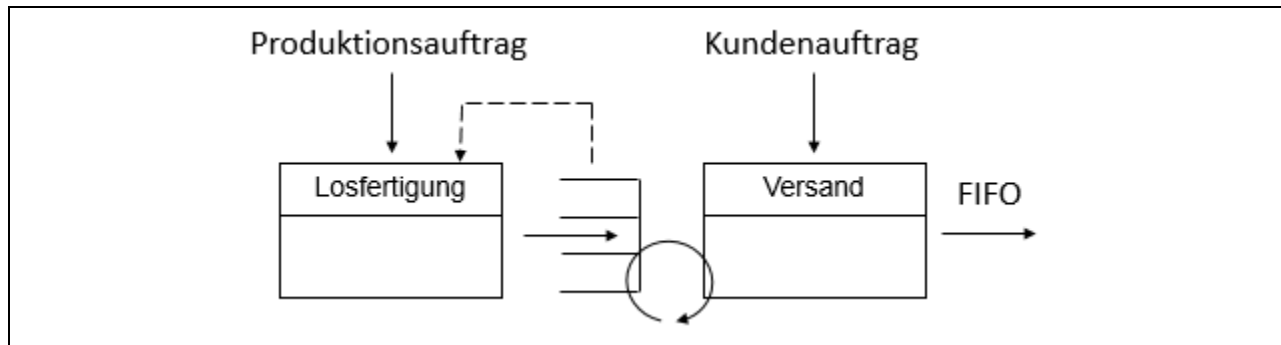


Abbildung 2.12: Versand bei M-t-S<sup>120</sup>

In Abbildung 2.12 wird die Abwicklung eines Kundenauftrages skizziert. Der eingehende Kundenauftrag wird in einen Kommissionsauftrag umgewandelt und dem Fertigwarenlager entnommen.

#### 2.4.1.2 Make-to-Order

Die Alternative zu Make-to-Stock ist die Produktionsabwicklungsart Make-to-Order (M-t-O). Hierbei wird in der Fertigung bzw. Montage auf vorgefertigte Standardbauteile zurückgegriffen und daraus in nachgelagerten Produktionsstationen kundenspezifische Produkte erzeugt. Die Grenze zwischen auftragsneutraler und auftragsbezogener Produktion ist der Kundenauftragsentkopplungspunkt (KEP). Bis zum KEP kann die Produktion wie bei M-t-S über Kanban-Regelung gesteuert werden, vom KEP flussabwärts wird eine FIFO-Koppelung der Logistik angestrebt.<sup>121</sup>

M-t-O ist die vorherrschende Auftragsabwicklung bei hochwertigen Produkten, die in vielen verschiedenen Varianten angeboten werden, um das gebundene Kapital im Fertigwarenlager so gering wie möglich zu halten, oder bei der Produktion von Artikeln mit sehr kundenspezifischen Eigenschaften, die nicht vor Eingang des Auftrages geplant werden können.<sup>122</sup>

<sup>120</sup> Quelle: modifiziert nach Erlach 2007, S. 201

<sup>121</sup> Vgl. Erlach 2007, S. 199

<sup>122</sup> Vgl. Syska 2006, S. 94

Beispiele für typische M-t-O-Produkte sind auch Artikel mit personalisierten Angaben, wie Stempel, Türschilder, etc.

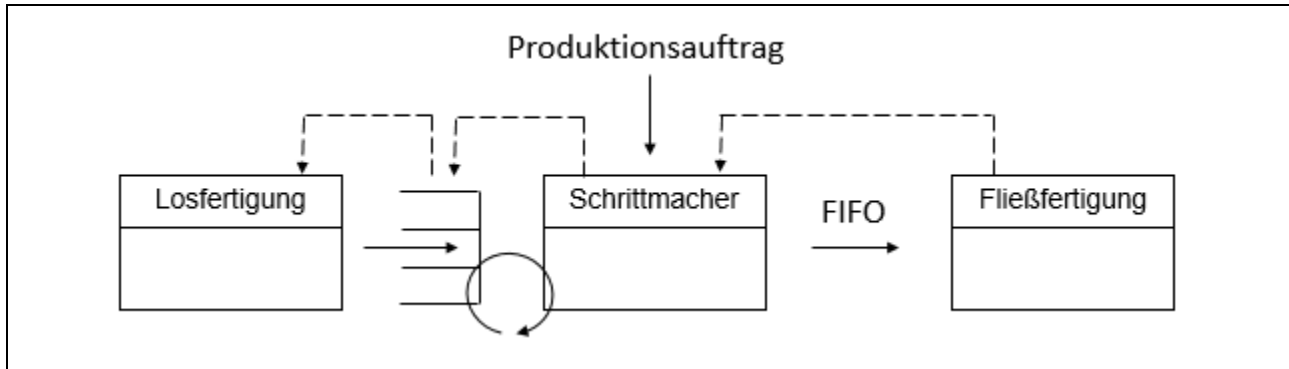


Abbildung 2.13: Wertstrom bei M-t-O und Kanban-Regelung<sup>123</sup>

Der Produktionsauftrag wird am Schrittmacherprozess eingesteuert. Dieser entnimmt einem Pufferlager oder Supermarkt die vorgefertigten auftragsneutralen Bauteile, die per Losfertigung und Kanbanregelung erzeugt und im Kundenrhythmus mittels Fließfertigung und FIFO-Prinzip bis zum Versand geschleust werden.

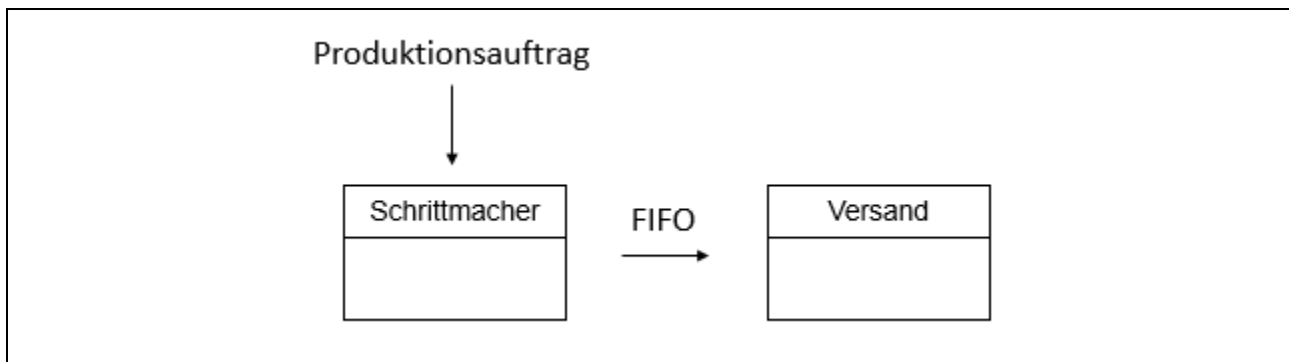


Abbildung 2.14: Direkter Versand bei M-t-O<sup>124</sup>

Abbildung 2.14 zeigt die Steuerung der Produkte bei M-t-O vom Schrittmacher bis zum Versand der Artikel. Zwischen Schrittmacherprozess und dem Versenden werden die Produkte im FIFO-Verfahren durch die Produktion geschleust und direkt versendet.

<sup>123</sup> Quelle: modifiziert nach Erlach 2007, S. 199

<sup>124</sup> Quelle: modifiziert nach Erlach 2007, S. 201

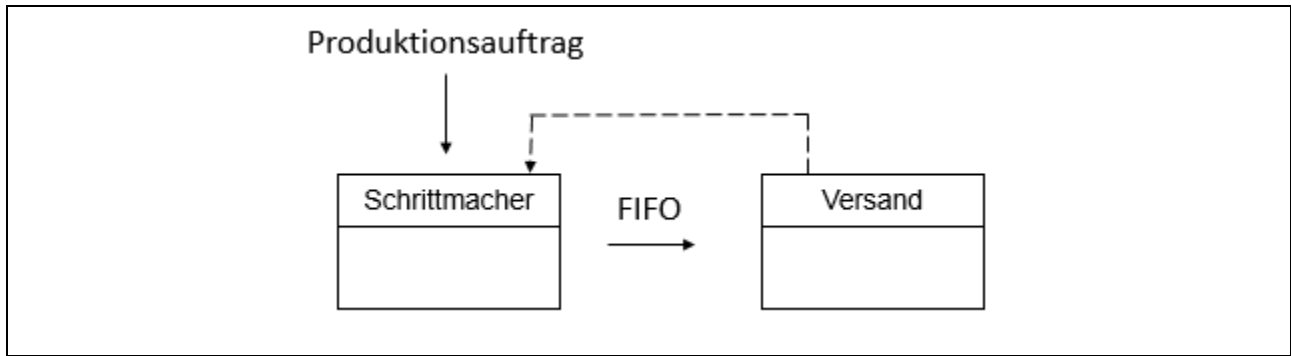


Abbildung 2.15: Versand bei M-t-O<sup>125</sup>

Die Begriffe M-t-S und M-t-O beziehen sich nicht ausschließlich auf Endprodukte. Unter Berücksichtigung des KEP können auch Pufferlager mit diesem Prinzip geregelt werden.

#### 2.4.1.3 Kundenauftragsentkopplungspunkt (KEP)

Der Kundenauftragsentkopplungspunkt hat großen Einfluss auf die Logistik innerhalb der Produktion. Dieser Punkt trennt die anonyme Vorproduktion von Halbfabrikaten oder Baugruppen, von der nachgelagerten, auftragsbezogenen Produktion. Ab dem KEP werden Artikel aus den auftragsneutralen Teilen nach entsprechendem Kundenwunsch gefertigt, oder aus Standardbaugruppen montiert.<sup>126</sup>

Je nach der Position des Kundenentwicklungspunktes lassen sich unterschiedliche Produktionsstrategien definieren. In der Serienproduktion sind besonders die bereits beschriebenen Abwicklungsarten Make-to-Stock (M-t-S) und Make-to-Order (M-t-O) verbreitet.

<sup>125</sup> Quelle: modifiziert nach Erlach 2007, S. 201

<sup>126</sup> Vgl. Dombrowski 2015, S. 100

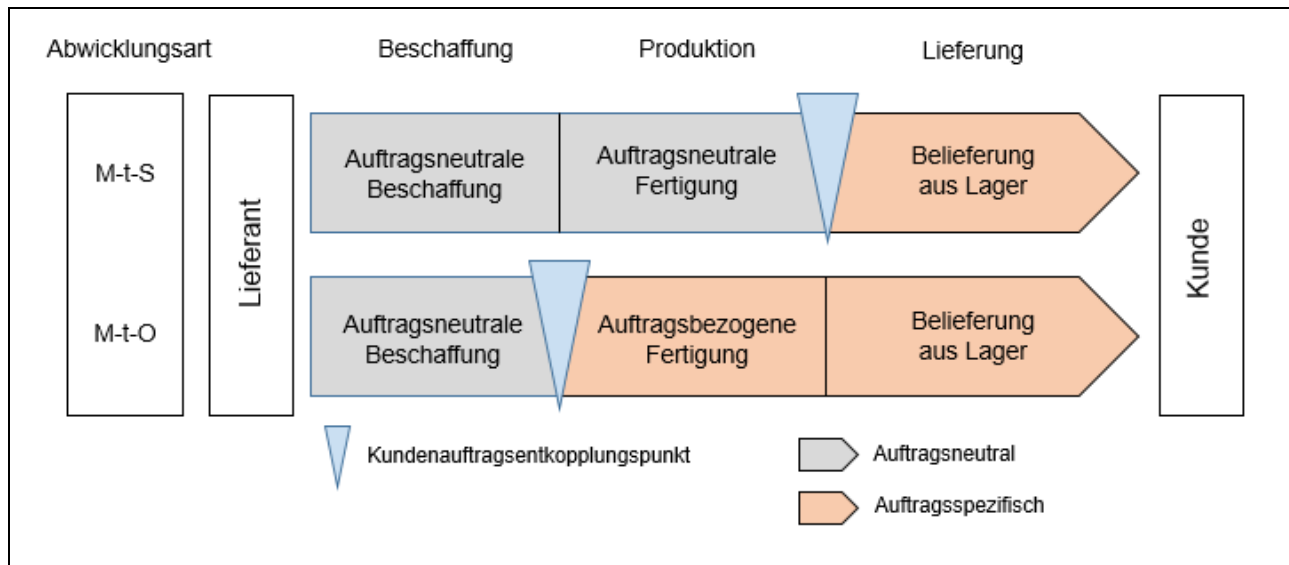


Abbildung 2.16: Auftragsabwicklungsarten<sup>127</sup>

Abbildung 2.16 zeigt die beiden Abwicklungsarten Make-to-Stock und Make-to-Order, mit den jeweiligen Kundenauftragsentkopplungspunkten. In dieser Abbildung werden die Schritte Fertigung und Montage zum Prozess „Produktion“ zusammengefasst. Bei M-t-S stellt das Fertigwarenlager den KEP dar. Bei mehr kundenspezifischem Einfluss auf das Produkt, wie bei M-t-O, verschiebt sich der KEP weiter stromaufwärts in das Wareneingangslager. Wenn auch die Beschaffung auftragsbezogen erfolgen muss, spricht man von der Abwicklungsart „Engineering-to-Order (E-t-O)“, die keinen KEP mehr besitzt.

### Arbeitsbereichsgestaltung:

Arbeitsbereiche fassen Fertigungsbereiche organisatorisch zusammen und verknüpfen sie logistisch, mit dem Ziel auf die Einflussgrößen der Fabrik zu reagieren. Die Gestaltungsfelder zur Optimierung der Fabrik hinsichtlich der Wettbewerbsstrategie und den Anforderungen der Kunden sind die Prozesse Beschaffung, Produktion und Distribution, wobei die Produktion das wichtigste Betätigungsfeld darstellt.<sup>128</sup>

In der Arbeitsbereichsgestaltung bestehen viele Möglichkeiten um auf die Einflussgrößen der Unternehmung einzugehen. Die Forderungen des Kunden nach bestimmten Lieferbedingungen, wie JIT oder JIS beeinflussen die Ausführung der Produktion und die dazugehörigen logistischen Prozesse sehr stark. Die Produktion kann nicht unabhängig von den Beschaffungs- und Distributionsprozessen geplant werden. In Tabelle 2.1 werden

<sup>127</sup> Quelle: modifiziert nach Grundig 2009, S. 270

<sup>128</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 267

die Gestaltungsfelder einer Fabrik aufgelistet, deren funktionales Design Möglichkeiten bietet, um auf die Einflussgrößen zu reagieren.

Tabelle 2.1: Aspekte der Arbeitsbereichsgestaltung<sup>129</sup>

Beschaffung	Produktion	Lieferung
Auftragsauslösung	Kundenauftragsentkopplungspunkt	Auftragsauslösung
Lagerhaltung	Arten der Auftragsabwicklung	Lagerhaltung
Form der Anlieferung	Produktionsplanung	Form der Lieferung
	Produktionssteuerung	

### Schrittmacher-Prozess:

Der Schrittmacher-Prozess ist der Prozess, an den der Produktionsauftrag erteilt wird. Er ist stromabwärts der erste Produktionsprozess, in dem eine Spezifikation stattfindet und Produkte nicht in größeren Losen hergestellt werden können (siehe Kundenauftragsentkopplungspunkt). Der Schrittmacher-Prozess gibt den Produktionsrhythmus vor. Kundenaufträge müssen im Rhythmus des Schrittmacher-Prozesses eingesteuert werden um Abweichungen in der Produktion zu unterbinden.<sup>130</sup>

## 2.4.2 Produktionssteuerungsverfahren

Es können bedarfsorientierte, bestandsorientierte, prognoseorientierte und belastungsorientierte Steuerungsverfahren unterschieden werden. In der Praxis werden selten nur einzelne Steuerungsverfahren verwendet, sondern aufgrund der komplexen Abläufe ein Mix aus verschiedenen Steuerungsverfahren auf unterschiedlichen Ebenen.<sup>131</sup>

Innerhalb dieser Arbeit wird besonderes Augenmerk auf die Produktionssteuerung mittels Kanban gelegt, das ein Grundprinzip der Lean Production darstellt. Es ist ein Materialflussgestaltungs- und -organisationskonzept mit dem eine bedarfsorientierte JIT-Versorgung (Pull-Prinzip) sichergestellt wird. Kanban (jap.: Karte, Schild) wurde von

<sup>129</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 267

<sup>130</sup> Vgl. Erlach 2007, S. 197–198

<sup>131</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 158



Toyota im Zuge des TPS eingeführt und ist mittlerweile eines der weltweit verbreitetsten Steuerungsverfahren, da der Trend in der Produktionslogistik zu Dezentralisierung und Reduzierung der Komplexität geht, und durch das Kanban-Prinzip sehr einfach umzusetzen ist.<sup>132</sup>

Es werden in diesem Kapitel außerdem 3 weitere kartenbasierte Steuerungssysteme beschrieben, nämlich POLCA, ConWIP und ein hybrides Kanban-ConWIP-System.

### 2.4.2.1 Kanban

Kanban-Regelkreise können zwischen allen Prozessen in Beschaffung, Fertigung, Montage, bis hin zum Fertigwarenlager eingeführt werden. Innerhalb der Fertigung gestaltet sich ein Kanban-Regelkreis wie folgt:

Eine vor- und eine nachgelagerte Bearbeitungsstation bilden einen selbstregelnden Steuerkreis. Die Regelung der Produktion ist dezentral, es sind jedoch zentrale, langfristige Planungen notwendig. Beide Arbeitsplätze verfügen über Pufferlager. Die nachgelagerte Fertigungsstation verbraucht Teile aus dem Eingangspuffer. Sobald der Bestand im Eingangspuffer unter einen festgelegten Wert fällt, wird ein Impuls zum Nachfüllen des Eingangspuffers in Form eines Kanbans abgegeben. Der vorgelagerte Arbeitsplatz erhält mit Eintreffen des Kanbans einen Produktionsauftrag. Er produziert im Anschluss die benötigten Teile in für die Behälter sinnvolle Losgrößen, die in den Eingangspuffer der nachgelagerten Bearbeitungsstation geliefert werden.

### 2.4.2.2 Kanban-Konzepte

Es können ein- und mehrstufige Kanbans unterschieden werden.

#### Zwei-Stufen-Kanban

Bei zweistufigen Kanban-Systemen wird die Funktion der einstufigen Kanbankarte auf eine Entnahmekanbankarte und eine Produktionskanbankarte aufgeteilt. Das ist dann der Fall, wenn die zu produzierenden Mengen viel größer sind als die abzurufenden Mengen oder die Distanz zwischen zwei Bearbeitungsstationen sehr groß ist. Falls die Mengendifferenz ausschlaggebend für die Trennung ist, werden kleine Mengen an Teilen über den ersten Kanbankreislauf an den Konsumenten weitergeleitet und mittels zweitem

---

<sup>132</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 163

Kanbankreislauf größere Mengen von Teilen zwischen Produzenten und Puffer ausgetauscht, sobald der Pufferbestand einen definierten Wert unterschreitet.<sup>133</sup>

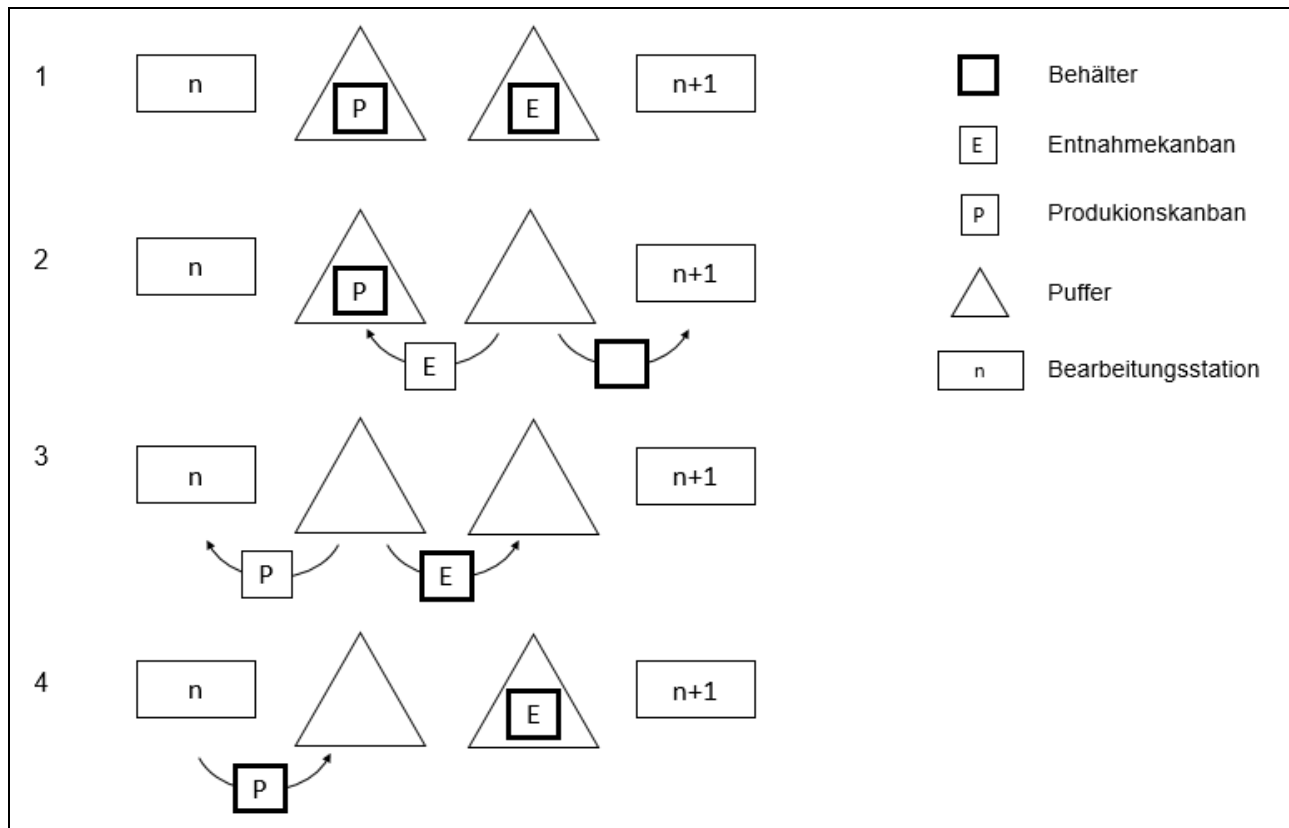
Abbildung 2.17 zeigt die Umsetzung eines Zwei-Karten-Systems zwischen zwei benachbarten Bearbeitungsstationen. Jede Bearbeitungsstation besteht aus einer Fertigungs- oder Montagezelle mit Ein- und Ausgangspuffer. In der Ausgangssituation 1 werden zwei Bearbeitungsstationen  $n$  und  $n+1$  betrachtet. Im Eingangspuffer der Station  $n+1$  befindet sich noch ein Behälter mit Teilen und einem angehefteten Entnahmekanban. Weiters befinden sich Behälter mit Teilen im vollen Ausgangspuffer der Station  $n$ . Bei Schritt 2 wird der Behälter im Eingangspuffer  $n+1$  durch den Kommissionierer entnommen und der Entnahmekanban abgelöst. Der Behälter mit den weiter zu bearbeitenden Teilen wird zur Bearbeitungsstation transportiert und das Entnahmekanban zum Ausgangspuffer  $n$  transportiert.

Das Entnahmekanban trifft in Schritt 3 beim Ausgangspuffer von  $n$  ein. Dort wird das Produktionskanban vom dort vorhandenen Behälter durch das transportierte Entnahmekanban ersetzt. Dieses Produktionskanban wird zur Bearbeitungsstation  $n$  transportiert und löst dort einen Produktionsauftrag aus. Der Behälter mit dem Entnahmekanban wird zurück zum Eingangslager von  $n+1$  transportiert und füllt dort den Puffer wieder auf.

Im letzten, vierten Schritt, wird der Behälter mit dem fertig produzierten Los zusammen mit dem Produktionskanban an den Ausgangspuffer transportiert.

---

<sup>133</sup> Vgl. Becker 2008, S. 84

Abbildung 2.17: Zwei-Karten-Kanban<sup>134</sup>Ein-Karten-Kanban:

Bei Ein-Karten-Systemen werden der Ausgangspuffer von n und der Eingangspuffer n+1 zusammengelegt, wenn die zwei Bearbeitungsstationen räumlich nah sind. Die „production order card“ erfüllt beide Funktionen der Kanbankarten bei Zwei-Karten-Kanban. In der Ausgangssituation befindet sich ein Behälter mit Teilen im Pufferlager. Die Bearbeitungsstation n+1 entnimmt den Behälter und gibt die Kanbankarte an die Bearbeitungsstation n, wo dadurch ein Produktionsauftrag ausgelöst wird.

Ist das Los fertig produziert, wird es in einem Behälter zusammen mit der Kanbankarte zurück in das Pufferlager transportiert.

<sup>134</sup> Quelle: modifiziert nach Tegel 2012, S. 23

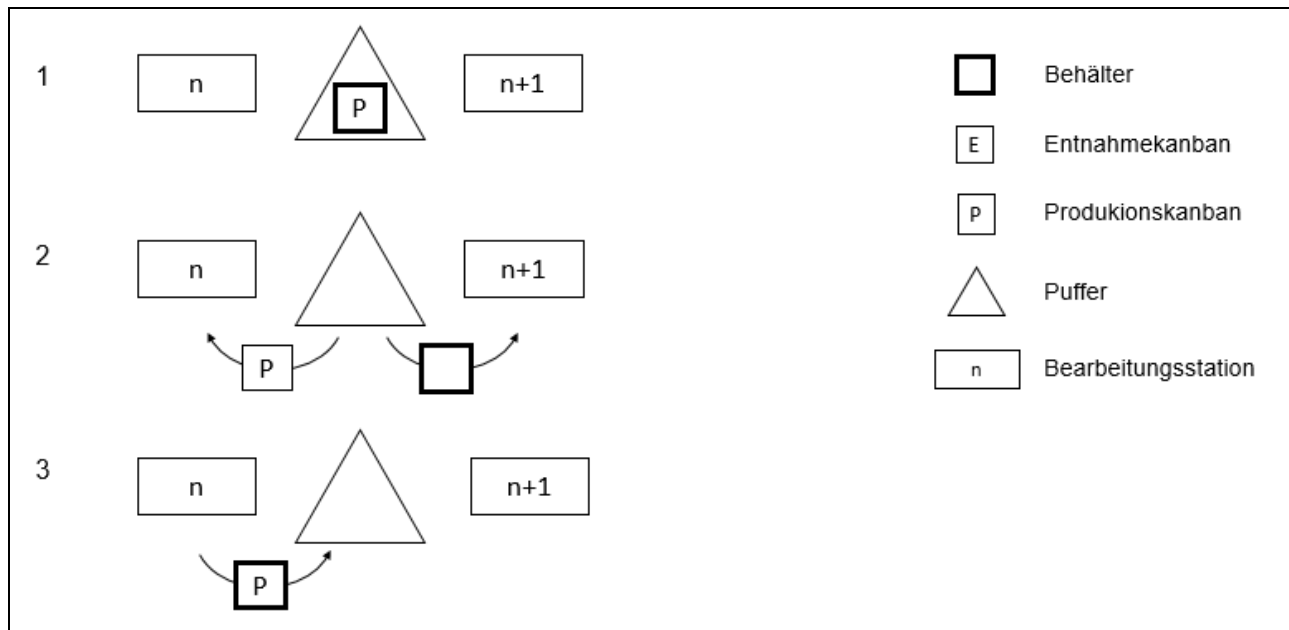


Abbildung 2.18: Ein-Karten-Kanban<sup>135</sup>

### Leergutstrategien:

Falls der Transport des Nachschubs wie in Abbildung 2.17 und Abbildung 2.18 in Behältern oder Paletten flussabwärts erfolgt, die Kanbankarten jedoch ohne Behälter flussaufwärts transportiert werden, muss auch die Logistik des Leerguts an den Arbeitsstationen geplant werden, da es notwendig ist, die leeren Behälter von den Arbeitsplätzen zu entsorgen und den Nachschub an den Ort der Versorgung zu liefern. Die Ladungsträger können über verschiedene Strategien vom Arbeitsplatz entsorgt werden.<sup>136</sup>

### Leergutentsorgung:<sup>137</sup>

- Leergutentsorgung durch Kommissionierer

Der Kommissionierer bzw. Arbeiter an den jeweiligen Arbeitsplätzen entnehmen die Behälter aus den Puffern entsorgen diese auch selbst in weiterer Folge.

<sup>135</sup> Quelle: modifiziert nach Tegel 2012, S. 25

<sup>136</sup> Vgl. Gudehus 2012, S. 763

<sup>137</sup> Vgl. Gudehus 2012, S. 763–764

- Leergutentsorgung durch Logistikmitarbeiter

Logistikmitarbeiter, die die Puffer befüllen, entnehmen die leere Behälter und nehmen sie auf ihrem Nachschubgerät mit zur Materialquelle. Bei innerbetrieblicher Milkrunversorgung kann diese Entsorgungsart verwendet werden.

- Leergutentsorgung durch Fördertechnik

Bei automatisierter Produktionslogistik kann das Leergut durch ein Abfördersystem erfolgen.

- Gesonderte Leergutentsorgung

Die Behälter werden durch den Kommissionierer entnommen, am Bereitstellort oder innerhalb der Bearbeitungsstation gesammelt und durch einen Leergutlogistiker entsorgt.

### Leergutnachschiebung:<sup>138</sup>

- Stapelweise

Die für die Kommissionierung notwendigen Behälter werden am Ort der Kommissionierung oder der Basis in großer Stückzahl bereitgestellt. Die Anzahl an vorhandenen Behältern wird durch den Kommissionierer überwacht.

- Auftragsweise

Die für einen bestimmten Auftrag notwendigen Leerbehälter werden von zentraler Stelle ermittelt, kodiert und per Fördersystem bereitgestellt.

### 2.4.2.3 Materialflusssysteme bei Kanban-Steuerung

Die logistische Versorgung der Leerbehälter und die Bereitstellung der notwendigen Teile an den einzelnen Arbeitsstationen ist ein wesentlicher Teil der Intralogistik. Bei der Kanban-Steuerung werden allen Artikeln eigene Behälter zugewiesen. Der Vorteil liegt in einem sehr geringen Steueraufwand und einer hohen Transparenz bei der Bereitstellung der Teile. Es müssen für jedes Produkt und jede Variante Teile im Lager vorrätig sein, was zu einem hohen Materialbedarf führen kann.<sup>139</sup>

---

<sup>138</sup> Vgl. Gudehus 2012, S. 764

<sup>139</sup> Vgl. Becker 2008, S. 104

In den meisten Fällen werden zum Transport von Bauteilen flurgebundene, ungeführte Transportmittel eingesetzt, wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben. Die Versorgung der Puffer der Arbeitsstationen kann bei Produktionssteuerung per Kanban ökonomisch mittels Routenzügen realisiert werden um am Kundenbedarf orientierte und synchronorientierte Materialflüsse zu realisieren.<sup>140</sup>

Die Art der Bereitstellung kann dabei, wie in Abbildung 2.19 erwähnt in bedarfsorientierte und verbrauchsorientierte Bereitstellung eingeteilt werden.

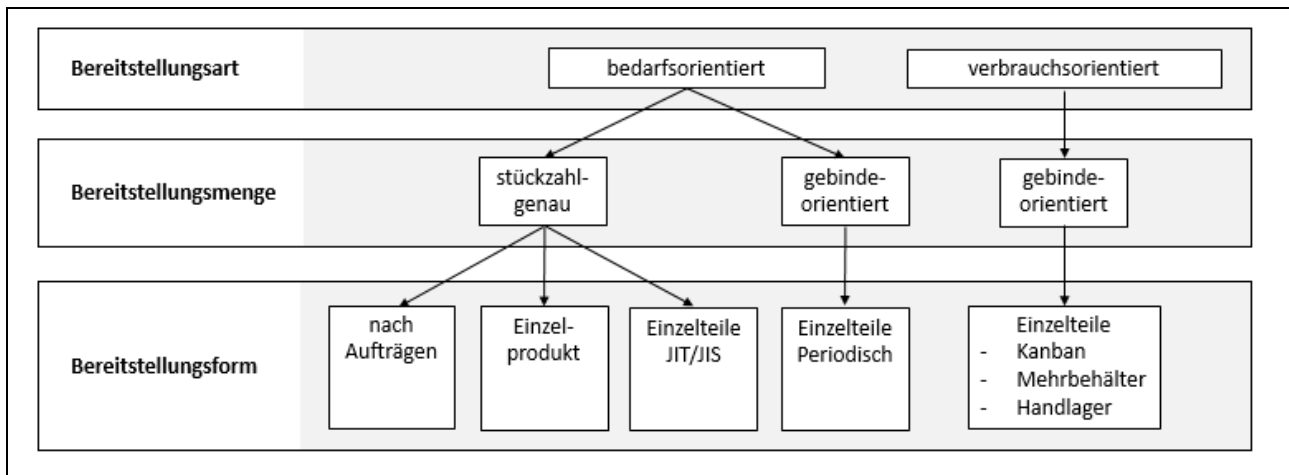


Abbildung 2.19: Bereitstellungsstrategien<sup>141</sup>

Verbrauchsgesteuerte Bereitstellung:

Die oben erwähnte Kanbansteuerung zählt zu den verbrauchsorientierten Bereitstellstrategien und wird primär bei hochwertigeren A- und B-Teilen eingesetzt. Weitere gebündelorientierte, verbrauchsgesteuerte Bereitstellungsformen sind die Bereitstellung in Handlagern und die Bereitstellung durch Mehrbehälter.<sup>142</sup>

Mehrbehältersystem:

Das Prinzip der Mehrbehälter ist dem Kanbansystem sehr ähnlich. Mehrbehältersysteme arbeiten gleich wie Kanban-Systeme, da ein Materialtransport nur bei leerem Behälter erfolgen darf. Es befinden sich mindestens zwei Behälter am Bereitstellungsort, von denen maximal ein Behälter in Gebrauch ist. Sobald der Behälter leer ist, wird er zur Wiederbefüllung an den vorhergehenden Arbeitsplatz oder das Materiallager geschickt.

<sup>140</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 1

<sup>141</sup> Quelle: modifiziert nach Lotter und Wiendahl 2006, S. 341

<sup>142</sup> Vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 342

Während der Behälter aufgefüllt und zurück an den Arbeitsplatz transportiert wird, wird der Inhalt der anderen Behälter verbraucht.<sup>143</sup>

Wie bei einer Kanbanregelung sind keinerlei zentrale Steuerungsvorgänge notwendig. Der Einsatz bietet sich vor allem bei Montagearbeiten an, bei denen die notwendigen Teile aus einem Lager bezogen werden, da kein Produktionsauftrag per Kanbankarte an die vorgelagerte Station weitergegeben wird, sondern lediglich Teile aus dem Puffer entnommen werden. Einsatz findet das Mehrbehältersystem bei A-, B- und C-Teilen, sowie bei Montagearbeiten.<sup>144</sup>

### Handlager:

Handlager werden vor allem bei Kleinteilen und C-Teilen verwendet. Die Bereitstellung erfolgt auftragsneutral in Standardbehältern und die Überwachung des Bestandes erfolgt durch Produktions- oder Lagerpersonal. Es wird periodisch durch die Materialbereitstellungssteuerung (Push-Prinzip) oder bei Bedarf (Pull-Prinzip) aus dem Lager aufgefüllt. Eingesetzt wird das Handlager primär für C-Teile.<sup>145</sup>

#### 2.4.2.4 Vorgehensweise bei Einführung von Kanban

Nach (Becker 2008) hat sich folgende Reihenfolge bei der Kanbanplanung bewährt:

1. Auswahl geeigneter Teile

Für Kanban sind nicht alle Teile geeignet. Die Teile sollten einen gleichmäßigen Verbrauch haben.

2. Definition der Kanban-Regelkreise

Es ist für jedes Teil ein Plan zu erstellen, wie es durch die Produktion gesteuert werden soll. Ziel ist die Ermittlung der Anzahl und Position der Produktionsstufen.

3. Bestimmung der Kanban-Mengen

Festlegung der Behältergröße, Behälterart und Behältermengen für die einzelnen Artikel.

4. Kanban-Anzahl festlegen

---

<sup>143</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 330

<sup>144</sup> Vgl. Dickmann 2009, S. 330

<sup>145</sup> Vgl. Lotter und Wiendahl 2006, S. 346

Um die ökonomische und gesicherte Versorgung sicher zu stellen, muss die optimale Anzahl von Kanbans pro Kreislauf gefunden werden.

5. Signalisierungsart festlegen
6. Regale planen

Planung der Lagerflächen für Bereitstellungs- und Pufferorte. Regalflächen müssen unter Umständen optimiert werden.

7. Mitarbeiter schulen und Prozesse einführen

Umsetzung der Kanban-Kreisläufe und Kanbansteuerung implementieren. Die Abläufe müssen den Mitarbeitern verständlich gemacht werden.

#### 2.4.2.5 ConWIP

Die Fertigungssteuerung mittels ConWIP ist ein Pull-System, da es den Umlaufbestand mittels Karten – ähnlich der Kanbankarten, limitiert.

Die ConWIP-Steuerung gibt erst dann einen neuen Auftrag frei, wenn ein anderer Auftrag abgearbeitet wurde. Dadurch werden die Anzahl der Aufträge und der Bestand innerhalb der Fertigung konstant gehalten.<sup>146</sup>

#### Regeln zur Steuerung mittels ConWIP:<sup>147</sup>

1. ConWIP-Regel: Nachdem ein Produkt fertig gestellt ist, signalisiert die letzte Produktionsstufe der ersten, dass ein Auftrag abgearbeitet wurde.
2. ConWIP-Regel: Eine neue Produktionsfreigabe durch die erste Produktionsstufe geschieht nur, wenn die Anzahl der Aufträge innerhalb einer definierten Grenze liegt.

#### Einsatz von ConWIP:

Diese Steuerungsmethode lässt sich nur sinnvoll in einer reinen Fließfertigung anwenden, denn die gesteuerte Fertigung sollte zwischen dem Start- und dem Endpunkt möglichst keine Abzweigungen enthalten. Der Grund liegt in der Verwendung von auftragsneutralen

---

<sup>146</sup> Vgl. Schenk et al. 2014, S. 399

<sup>147</sup> Vgl. Thürer et al. 2016, S. 112



Signalen. Sie vermitteln nur, dass ein Auftrag fertig gestellt wurde, aber geben keine Auskunft darüber, welcher.<sup>148</sup>

Die gesamte Produktionslinie wird oftmals in mehrere ConWIP-Schleifen aufgeteilt, das bewirkt eine Annäherung an das Kanban-Prinzip.<sup>149</sup>

Die Kanban-Steuerung *erzeugt* Aufträge, während die ConWIP-Steuerung Aufträge *freigibt*.<sup>150</sup>

### 2.4.2.6 Hybride Kanban-ConWIP-Steuerung

Idee ist es die zentrale Steuerung der ConWIP-Steuerung mit der dezentralen Steuerung der Kanban-Steuerung zu kombinieren.

Untersuchungen von Bonvik, Couch und Gershwin haben ergeben, dass dieses Verfahren bei ähnlichen Beständen eine wesentliche Leistungsverbesserung als eine reine Kanban-Steuerung und eine etwas bessere Leistung als die ConWIP-Steuerung liefert.<sup>151</sup>

#### Verfahren:

Es handelt sich um eine Variante der Kanban-Steuerung, wobei die Kanbans der Fertigwarenlager zurück an die erste Produktionsstation gegeben werden, womit ein neuer Auftrag ausgelöst wird. Der Fertigwarekanban bleibt dabei bis zum Eingang ins Endwarenlager bei dem jeweiligen Artikel. Die Bearbeitung der Teile an den Bearbeitungsstationen darf nur erfolgen, wenn sowohl ein konventioneller Kanban, als auch der Fertigwarekanban vorliegt. Sobald die beiden Kanbans und Material verfügbar sind, wählt der Mitarbeiter den Auftrag mit höchster Priorität und beginnt mit der Bearbeitung. Eine Methode der Prioritätsordnung ist die FIFO-Regelung der Fertigwarekanbans.<sup>152</sup>

---

<sup>148</sup> Vgl. Thüerer et al. 2016, S. 112–115

<sup>149</sup> Vgl. Thüerer et al. 2016, S. 115

<sup>150</sup> Vgl. Lödning 2008, S. 233

<sup>151</sup> Vgl. Lödning 2008, S. 237

<sup>152</sup> Vgl. Lödning 2008, S. 238

#### 2.4.2.7 POLCA

Als Teil der QRM-Strategie wird das POLCA-System (Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) als Bestandsregelsystem zwischen Bearbeitungszellen eingesetzt. Innerhalb einer Zelle haben die Arbeiter freie Gestaltungsfreiheit. Deshalb eignet sich POLCA besonders für die Organisationsform der Fertigungsinseln.<sup>153</sup>

POLCA verbindet Push- und Pull-Systeme und versucht die Nachteile der jeweiligen Systeme zu umgehen. Anfangs wird jedem eingehenden Auftrag für jede Bearbeitungsstation eine Freigabezeit zugeordnet. Im Gegensatz zu reinen Push-Systemen werden die Aufträge nicht zu diesen Zeiten abgearbeitet, sondern werden autorisiert. Wenn für die jeweiligen Aufträge freie Kapazitäten in Form von POLCA-Karten vorliegen, so können die Aufträge abgearbeitet werden. Der Unterschied zwischen POLCA- und Kanbankarten besteht darin, dass POLCA-Karten nicht auf das Inventar, sondern auf die Kapazitäten bezogen werden.<sup>154</sup>

#### Beispiel einer POLCA-Steuerung:

Abbildung 2.20 zeigt schematisch den Ablauf einer Produktion von Türschildern. Die Produkte können sehr variabel gestaltet werden und durchlaufen je nach Konfiguration unterschiedliche Bearbeitungszellen, wobei alle Produkte zuerst eine von 2 Druckstationen, anschließend eine von drei möglichen Fertigungsstationen, eine von vier Montagestationen und zuletzt die Verpackungsstation passieren.

Ein Produkt passiert auf seinem Weg durch die Produktion beispielsweise die Bearbeitungszellen D1, F1, M2 und V1.

---

<sup>153</sup> Vgl. Lödging 2008, S. 539

<sup>154</sup> Vgl. Suri 2003, S. 24

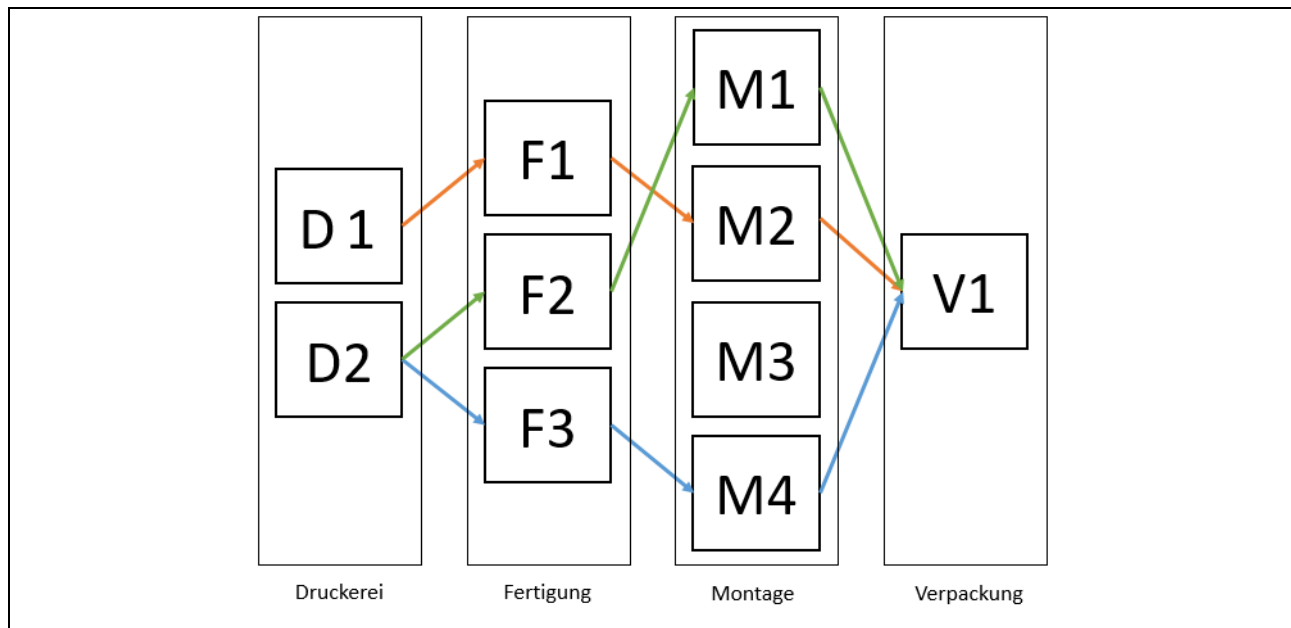


Abbildung 2.20: Bearbeitungsstellen einer Produktion<sup>155</sup>

Dafür wird diesem speziellen Produkt an jeder Bearbeitungsstelle vom ERP eine Priorität zugewiesen.

Abbildung 2.21 zeigt den Fluss der POLCA-Karten bei der Produktion von Artikel 1 nach Abbildung 2.20.

<sup>155</sup> Quelle: modifiziert nach: Suri 2003, S. 23

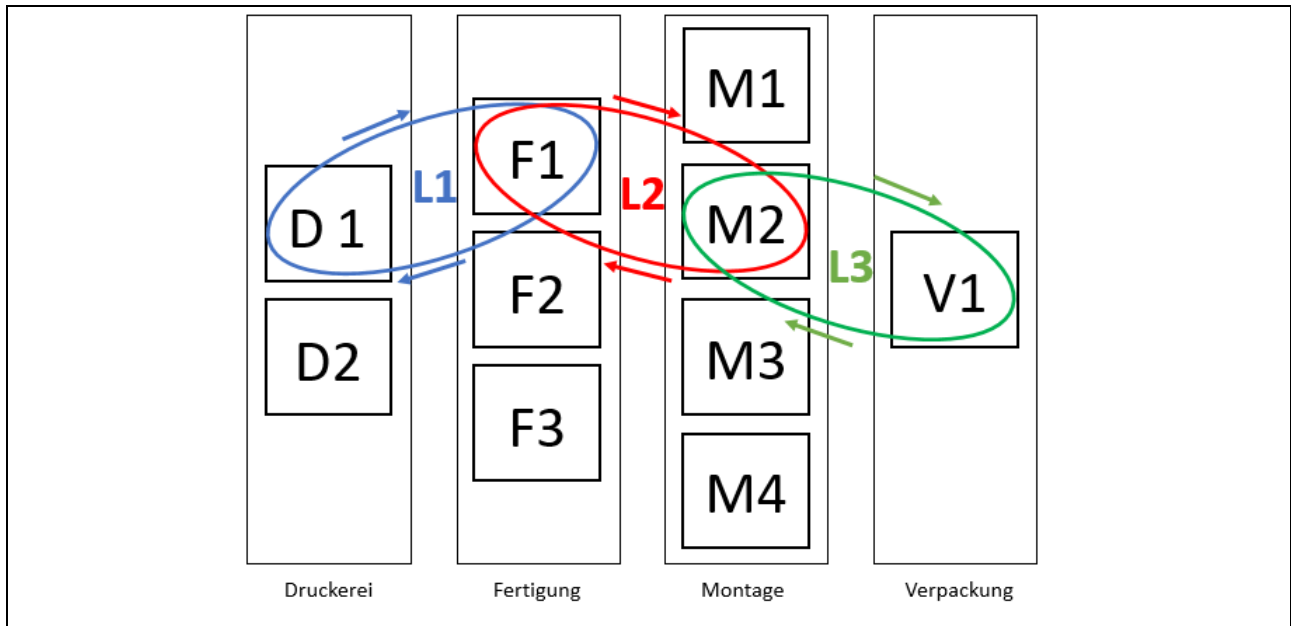


Abbildung 2.21: Fluss von POLCA-Karten für eine bestimmte Bestellung<sup>156</sup>

Die Reihenfolge der Fertigungsstationen, die für die Herstellung des Produktes notwendig sind, lautet:

D1 → F1 → M2 → V1

Die 3 Loops, die den Bestand zwischen den Bearbeitungszellen regeln, sind:

- Loop L1: D1/F1
- Loop L2: F1/M2
- Loop L3: M2/V1

<sup>156</sup> Quelle: modifiziert nach: Suri 2003, S. 25

## 2.5 Routenzüge

In ganzheitlichen Produktionssystemen wie „Lean Production“ richten sich die Materialflüsse am Kunden aus. Innerhalb dieser Pull-Versorgung können verschiedenste Transportmittel zur Materialversorgung eingesetzt werden. Ein mögliches Transportmittel, im Sinne einer schlanken Logistik, ist der Routenzug.<sup>157</sup>

### 2.5.1 Routenzüge zur Produktionsversorgung

Es kann ein zunehmender Einsatz von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialfluss beobachtet werden, da sich Routenzüge sehr effizient bei JIT-Versorgung von Arbeitsplätzen mit hohen Frequenzen und kleinen Losgrößen einsetzen lassen.<sup>158</sup>

Ein innerbetrieblicher Routenverkehr („Milkrun“) ist ein Konzept, das mehrere Senken aus einer Quelle mit unterschiedlichen Teilen bedient.

#### Route:

Eine Route ist dabei ein vorgeschriebener Weg, der eine Senke mit der Quelle verbindet.<sup>159</sup>

#### Tour:

Eine Tour wird in gleichbleibenden Abständen auf den Routen gestartet. Der Abstand zwischen den Tour-Starts wird als Taktzeit bezeichnet.<sup>160</sup>

Die Tour wird durch ein Flurförderfahrzeug, den Routenzug (=“Milkrunwagen“), durchgeführt.

#### Ablauf einer Tour:<sup>161</sup>

1. Beladung des Milkrunwagens an der Quelle
2. Durchfahren der Route
3. Bereitstellung der Teile gegen Aufnahme von Leergut an den Senken
4. Retourfahrt zur Quelle und Abladen des Leerguts
5. Zuweisung einer neuen Tour, die nicht wieder dieselbe sein muss

---

<sup>157</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 88

<sup>158</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 167

<sup>159</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 168


<sup>160</sup> Vgl. Dewitz et al. 2014, S. 2

<sup>161</sup> Vgl. Dewitz et al. 2014, S. 2

## 2.5.2 Eignung von Routenzugsystemen

Einsatzgebiete eines innerbetrieblichen Milkruns sind Pull-Systeme, wie beispielsweise Kanban-Systeme. Tabelle 2.2 zeigt einige Einflussgrößen, die bestimmen, ob der Einsatz eines Routenzugsystems sinnvoll sein könnte, oder nicht.

Tabelle 2.2: Eignung von Routenzugsystemen<sup>162</sup>

zunehmende Eignung von Routenzugsystemen 			
Anzahl Bereitstellorte	gering	mittel	hoch
Entfernung zwischen Bereitstellungsstellen	klein	mittel	groß
Schwankung des Durchsatzes je Route	hoch	mittel	gering
Transportmenge je Bereitstellungsstelle	groß	mittel	klein
Ladungsträgergröße	groß	mittel	klein
Ladungsträgergewichte	hoch	mittel	gering

<sup>162</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 88

### 2.5.3 Routenzugplanung

Die Planung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz und die ökonomische Nachhaltigkeit der Routenzüge. Am Anfang der Routenzugplanung steht die Identifizierung der Randbedingungen. Anschließend folgen die Schritte der Planung, Gestaltung, Dimensionierung und Auswertung (siehe Abbildung 2.22). Die Reihenfolge der Planungsschritte muss nicht zwingend eingehalten werden, da aufgrund der Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten keine allgemeine Aussage über die Details der Planung getroffen werden kann.<sup>163</sup>

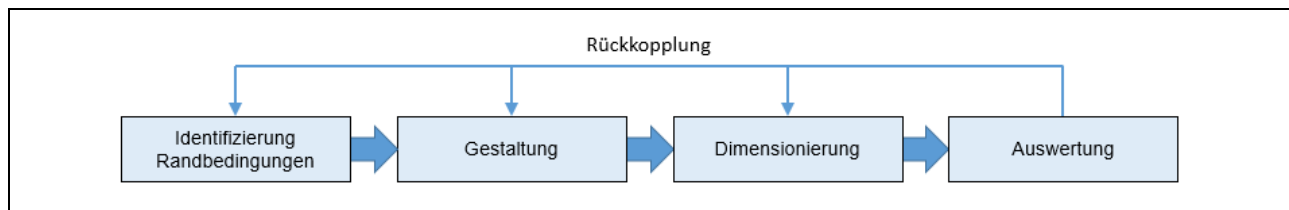


Abbildung 2.22: Phasen der Routenzugplanung<sup>164</sup>

Es müssen unter Umständen bestimmte unternehmensspezifische Vorgaben berücksichtigt werden, beispielsweise Fahrgeschwindigkeitsbegrenzungen oder begrenzte Massen der Ladungsträger, wenn die Routenzüge manuell entladen werden.<sup>165</sup>

#### 2.5.3.1 Gestaltung

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen wird die Art des Schleppers und der Anhänger ausgewählt. Eine Auswahl an Gestaltungsmerkmalen von Schleppern und Anhängern ist in Tabelle 2.3 und Tabelle 2.4 dargestellt.

<sup>163</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 88

<sup>164</sup> Quelle: modifiziert nach Martini und Stache, S. 88

<sup>165</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 88

Tabelle 2.3: Gestaltungsalternativen Schlepper<sup>166</sup>

Antriebsart			
Elektromotor	Verbrennungsmotor	Treibgas	Brennstoffzellen
Bauweise			
Dreiradschlepper		Vierradschlepper	
Bedienung			
Manuell		Automatisch	
Sitzausführung	Stehausführung		

Tabelle 2.4: Gestaltungsalternativen Anhänger<sup>167</sup>

Geeignet für Transport für				
Kein LT	Standard-KLT	Standard-GLT	Spezial-KLT	Spezial-GLT
Benötigt Trolley/Gestell				
Ja		Nein		
Benötigt weitere technische Hilfsmittel bei der Bereitstellung				
Ja		Nein		
Belade- und Entladeseite				
Einseitig		Zweiseitig		
Handhabung				
Manuell		Mechanisiert	Automatisch	
Lenksystem				
Ungelenkt	Drehschemellenkung		Achsschenkellenkung	
	1 Achse	2 Achsen	1 Achse	2 Achsen

<sup>166</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 91

<sup>167</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 91



### 2.5.3.2 Dimensionierung

Die Anzahl der Routenzüge, Mitarbeiter, Puffergrößen an den Senken auf Basis der Eingangsdaten werden in der Phase der Dimensionierung rechnerisch festgelegt.

### 2.5.3.3 Auswertung

Während der Phase der Auswertung erfolgt die Beurteilung des geplanten Milkrunsystems. Kennzahlen sind die kapazitive und zeitliche Auslastung des Routenzuges, die Anzahl der Fahrten, die Länge des Fahrweges, usw. Falls die Ergebnisse der Auswertung nicht zufriedenstellend sind, müssen die anderen Planungsphasen wieder aufgegriffen und iterativ verändert werden.<sup>168</sup>

### 2.5.3.4 Herausforderungen

Aufgrund der großen Anzahl von Einflussfaktoren und Gestaltungsmöglichkeiten bei der Routenzugplanung gibt es derzeit keine standardisierte Vorgangsweise bei der Planung. Viele Unternehmen haben eigene Vorgehensweisen bei der Planung und der Betrieb von Routenzugsystemen entwickelt.<sup>169</sup>

Ein Hilfsmittel zur einheitlichen Planung stellt die VDI 5586-Routenzugsysteme dar. Sie fasst die bisherigen Erfahrungen aus industrieller und wissenschaftlicher Sicht zusammen - mit dem Ziel eine Dimensionierungsgrundlage zu entwickeln.

---

<sup>168</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 88

<sup>169</sup> Vgl. Martini und Stache, S. 89

## 2.6 Simulation

Die Modellbildung und Simulation ist ein multidisziplinärer Ansatz, der je nach Anwendung Teilgebiete wie Mathematik, Physik, Maschinenbau, Informatik usw. verbindet. Der Einsatz von Simulationen zur Problembewältigung ist kein neuartiges Verfahren, sondern wurde besonders im Bereich der Kriegsführung seit jeher angewendet. Mit Erfindung von Computern verlagerte sich die Simulation von Rollenspielen hin zur rechnerunterstützten Simulation, bei der Software entwickelt wird und das System durch programmierte Algorithmen beschrieben wird.<sup>170</sup>

Die Terme „Modell“ und „Simulation“ werden oft als Synonyme verwendet, unterscheiden sich aber wesentlich voneinander.

### 2.6.1 Definitionen

System: ist die Abgrenzung von gewissen Objekten mitsamt ihren Wechselwirkungen von ihrer Umgebung.<sup>171</sup>

Modell: ist eine abstrahierte Abbildung eines Systems. Der Modellbildungsprozess ist die Reduktion aller wesentlichen Parameter des Systems.<sup>172</sup>

Simulation: Durchführen von Versuchen mit einem Modell eines Systems.<sup>173</sup>

---

<sup>170</sup> Vgl. Zirn und Weikert 2006, S. 2

<sup>171</sup> Vgl. Bangsow 2011, S. 3

<sup>172</sup> Vgl. Bangsow 2011, S. 4

<sup>173</sup> Vgl. Bangsow 2011, S. 2

## 2.6.2 Systeme

Die real vorliegenden Systeme können unter anderem anhand folgender Merkmale unterschieden werden:

Tabelle 2.5: Merkmale von Systemen<sup>174</sup>

<b>Offene Systeme</b>	<b>Geschlossene Systeme</b>
Mit Umwelt in Wechselwirkung	Keine Wechselwirkungen mit der Umwelt
<b>Dynamische Systeme</b>	<b>Statische Systeme</b>
Veränderliche Systemgrößen	Unveränderliche Systemgrößen
<b>Kontinuierliche Systeme</b>	<b>Diskrete Systeme</b>
Veränderungen der Systemgrößen bei beliebig kleinen Zeitdifferenzen	Sprunghafte Änderung der Systemgrößen
<b>Stabile Systeme</b>	<b>Instabile Systeme</b>
Kleine Änderungen der Systemgrößen führen zu kleinen Reaktionen im System	Kleine Änderungen von Systemgrößen führen zu nicht reproduzierbaren Ereignissen

Die unterschiedlichen Merkmalsausprägungen führen zu unterschiedlichen Modellierungs- und Simulationsmethoden, die in industriellen Produktionsprozessen Anwendung finden können, wie beispielsweise diskrete Modelle von Materialflusssystemen, oder kontinuierliche Simulationen von Temperaturberechnungen in Fertigungsprozessen.<sup>175</sup>

Die Einbindung sämtlicher Computermodelle und Simulationen zu einer digitalen Gesamtheit beschreibt das Gestaltungsprinzip der digitalen Fabrik.

<sup>174</sup> Vgl. Hartberger 1991, S. 9

<sup>175</sup> Vgl. Hartberger 1991, S. 11

### 2.6.3 Digitale Fabrik

Der Bereich der Fabrikplanung ist durch eine große Anzahl von globalisierungsbedingten Einflüssen geprägt. Der Kosten- und Zeitdruck, der auf die Unternehmungen herrscht, erfordert innovative Entwicklungstendenzen, um wettbewerbsfähig bleiben zu können. Ein Teil einer solchen innovativen Entwicklungstendenz stellt der Einsatz von digitalen Fabriken dar. Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein Netzwerk von vielen verschiedenen digitalen Modellen, Werkzeugen und Methoden.<sup>176</sup>

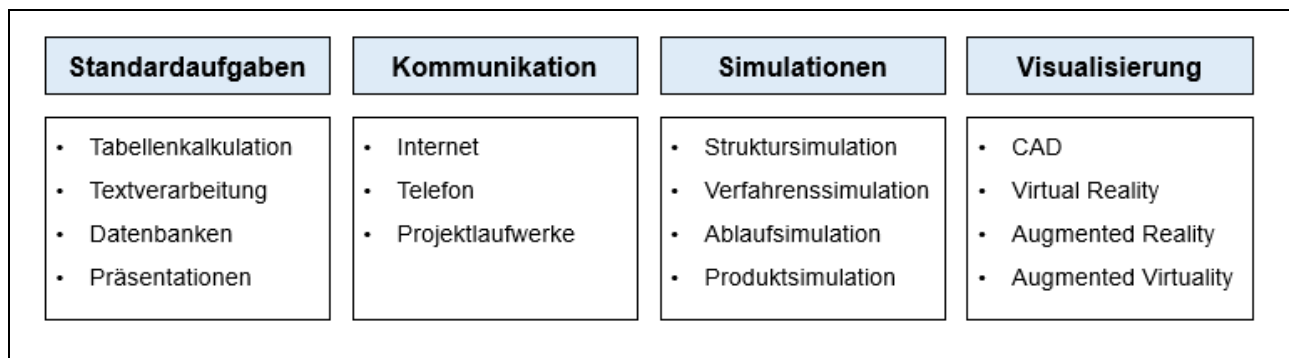


Abbildung 2.23: Planungswerkzeuge der digitalen Fabrik<sup>177</sup>

In der Praxis wird eine Vielzahl von digitalen Werkzeugen eingesetzt. Abbildung 2.23 zeigt die Bereiche, in denen diese Werkzeuge zum Einsatz kommen. Mit steigendem Integrationsgrad führt die Kombination von digitalen Werkzeugen zum ganzheitlichen Ansatz der digitalen Fabrik.<sup>178</sup>

Ziel ist die Erzeugung eines virtuellen Modelles der Fabrik, die mithilfe von realen Daten darstellbar und veränderbar wird, ohne dass die reale Fabrik dafür verändert werden muss. Es sollen alle Abläufe in einer Fabrik digital getestet und verifiziert werden können.<sup>179</sup>

Die digitale Fabrik stellt ein betreibbares Modell einer Fabrik mit allen Elementen und Prozessen dar, in der die Kette „Produkt – Prozess – Fertigungs – Fabrikssystem“ abgebildet wird.<sup>180</sup>

<sup>176</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 32

<sup>177</sup> Quelle: modifiziert nach Wiendahl et al. 2014, S. 561

<sup>178</sup> Vgl. Wiendahl et al. 2014, S. 561

<sup>179</sup> Vgl. Grundig 2009, S. 82

<sup>180</sup> Vgl. Schenk et al. 2014, S. 233

## 2.6.4 Materialflusssimulation

Die Materialflusssimulation als Teilprozess dieser Kette, hat ihre engsten Berührungspunkte mit der Prozessplanung und in einer höheren Ebene mit der Fabrikplanung.<sup>181</sup>

Die Beschreibung der Vorgänge in der Intralogistik können sehr häufig mit ereignisorientierten, diskreten Modellen beschrieben werden (Ablaufsimulation). Die Systemzustände werden dabei durch bestimmte Ereignisse verändert.

Die meisten Simulationssoftwarepakete in den Bereichen der Produktionstechnik nutzen ereignisorientierte Modelle um die Prozesse Fertigung, Montage, Transport, etc. abzubilden.

### 2.6.4.1 Visualisierung

Die Visualisierung der Materialflussmodelle erfolgt im Automobilbau größtenteils 2-dimensional, während andere Branchen 3-dimensionale Modelle verwenden. Entscheidend dafür, welche Visualisierung erfolgen soll, ist eine Aufwand/Nutzen Kalkulation. Ein 3D-Modell ist aufwändiger und zeitintensiver zu gestalten, kann aber zu einem besseren Verständnis des realen Problems führen und ist gegenüber einem 2D-Modells visuell ansprechender.<sup>182</sup>

### 2.6.4.2 Vorgehensmodell

Nachdem im ersten Schritt die Simulationswürdigkeit und die richtigen Werkzeuge zur Modellierung bestimmt werden, beginnt die eigentliche Simulation. Am Anfang jeder Studie zur Simulation müssen in der Aufgabendefinition die Randbedingungen festgelegt werden, um den Aufwand abschätzen zu können.<sup>183</sup>

---

<sup>181</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 12

<sup>182</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 13–14

<sup>183</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 15

### Aufgabendefinition:<sup>184</sup>

- Zieldefinition des Projekts
- Umfang der Simulation
- Projektzeitraum
- Schnittstellen zu anderen Modellen
- Detaillierung der Modellierung
- Parameterfestlegung

Ein mögliches Vorgehensmodell zur Optimierung von Simulationsstudien zeigt Abbildung 2.24. Das Simulationsprojekt lässt sich die Phasen Analyse, Modellierung, Experimentplanung, -durchführung und -bewertung und Lösung gliedern. Während jeder dieser Phasen findet begleitend eine Validierung statt.<sup>185</sup>

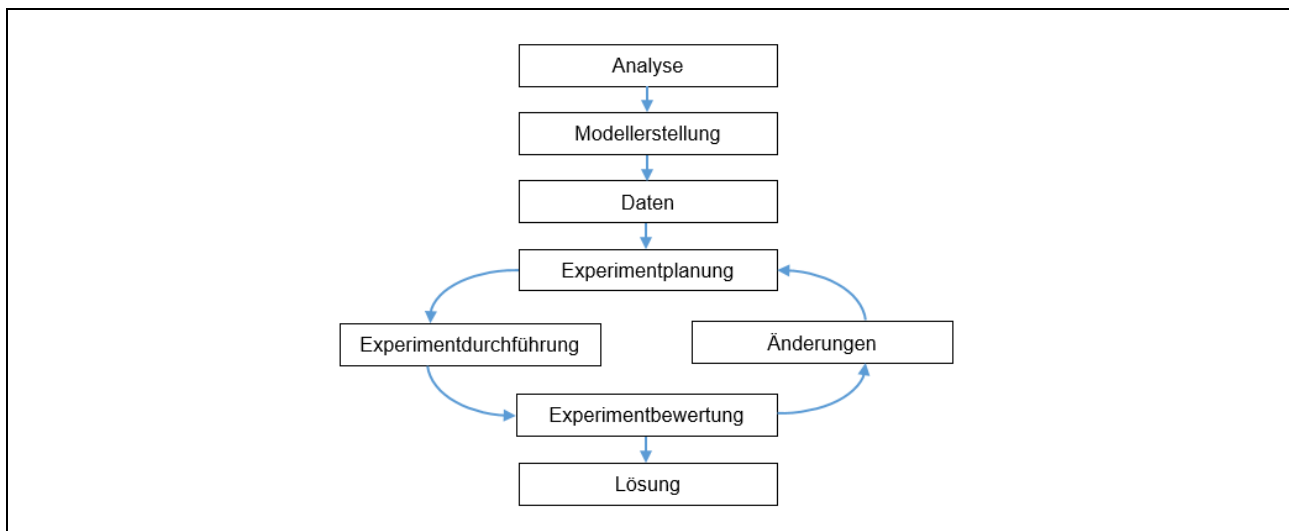


Abbildung 2.24: Vorgehensmodell Ablaufsimulation<sup>186</sup>

Nachdem alle Phasen durchlaufen sind, steht für den weiteren Verlauf des Projekts ein ausführbares Modell zur Verfügung.

<sup>184</sup> Vgl. Dangelmaier et al. 2013, S. 113

<sup>185</sup> Vgl. Empfehlung VDA 4811

<sup>186</sup> Quelle: modifiziert nach Dangelmaier et al. 2013, S. 15

## 2.6.5 Simulationssoftware

Der Markt bietet viele verschiedene Softwarepakete an um Probleme im Bereich der Ablaufsimulation zu behandeln. Neben einfachen Tabellenkalkulationen existiert aufwändigere Simulationssoftware, sowohl Open Source Software als auch kommerzielle Software. In diesem Abschnitt werden 3 Vertreter von diskreter, objektorientierter Software vorgestellt, die zur Modellierung und Simulation von Materialflussaufgaben verwendet werden können.

### 2.6.5.1 Plant Simulation

Entwickler: Siemens PLM Software

Plant Simulation ist eine Software zum Modellieren, Simulieren, Analysieren, Visualisieren und Optimieren von Produktionssystemen und Prozessen, Materialflüssen und logistischen Operationen. Plant Simulation ist ein ereignisorientiertes Simulationswerkzeug zum Erstellen von digitalen Modellen von logistischen Systemen, mit dem Ziel die Charakteristiken der Systeme zu erkunden und die Performance zu optimieren. Plant Simulation bietet dafür Analysewerkzeuge wie Bottleneck-Analysen, Statistiken und Diagramme, um verschiedene Produktionsszenarien zu evaluieren.<sup>187</sup>

Anwendungsgebiete:<sup>188</sup>

- Automobilindustrie
- Luftfahrttechnik
- Prozesstechnik
- Elektronikindustrie
- Logistikanwendungen

Eigenschaften von Plant Simulation sind die objektorientierte Programmierung mit Vererbungshierarchie und Objektbibliothek. Zusätzliche Funktionen bieten genetische Algorithmen und neurale Netzwerke, die die Zusammenhänge zwischen In- und Outputparameter darstellen und für Prognosezwecke eingesetzt werden können. Außerdem können Layout-Daten direkt von CAD-Programmen in die Simulation übernommen werden.<sup>189</sup>

---

<sup>187</sup> Vgl. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 2016

<sup>188</sup> Vgl. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 2016

<sup>189</sup> Vgl. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 2016

Die Objektparameter können vom Anwender mit Hilfe von der in Plant Simulation implementierte Programmiersprache „SimTalk“ bearbeitet werden, da das Grundverhalten der standardmäßig zu Verfügung stehenden Bausteine in der Praxis nicht ausreichend ist, um realistische Systeme zu modellieren.<sup>190</sup>

SimTalk lässt sich gliedern in:<sup>191</sup>

- Kontrollstrukturen (Schleifen, Bedingungen)
- Standardmethoden der Bausteine

#### 2.6.5.2 FlexSim

Entwickler: FlexSim Software Products, Inc.

FlexSim ist ein ereignisorientiertes, diskretes Simulationssoftwarepaket zum Entwickeln, Modellieren, Simulieren, Visualisieren und Überwachen von Prozessen und Systemen. Die FlexSim-Produktfamilie umfasst eine Simulationssoftware für den allgemeinen Gebrauch und „FlexSim Healthcare“ (FlexSim HC), eine Simulationssoftware die speziell auf die Anforderungen des Gesundheitswesens abgestimmt ist.<sup>192</sup>

Die 3 Stufen der FlexSim-Umgebung:<sup>193</sup>

- Compiler
- FlexSim Developer
- FlexSim Anwendungsprodukt

Die Modellerstellung durch den Anwender geschieht objektorientiert mittels „drag and drop“ von 3D-Bausteinen, die aus einer Bibliothek ausgewählt, in einer dreidimensionalen Umgebung miteinander verknüpft und mit Objektparametern versehen werden. Erfahrene Anwender haben die Möglichkeit die Objektparameter zu modifizieren. Die verwendeten Programmiersprachen sind „flexscript“ (eine präkompilierte C++ Bibliothek) oder C++.<sup>194</sup>

---

<sup>190</sup> Vgl. Bangsow 2011, S. 9

<sup>191</sup> Vgl. Bangsow 2011, S. 10

<sup>192</sup> Vgl. FlexSim Software Products

<sup>193</sup> Vgl. FlexSim Software Products

<sup>194</sup> Vgl. Nordgren 2003



Anwendungsgebiete:<sup>195</sup>

- Fertigung: Produktion, Montagelinien, Job-Shops
- Materialflüsse: Fördersysteme, Verpackungssysteme, Lagerverwaltung
- Logistik und Transport
- Sonstige Anwendungen wie Ölfeld- oder Bergbauprozesse

Ein Vorteil des Softwarepaketes ist die Verwendung von OpenGL, einer Grafikbibliothek, die auch in modernen Computerspielen zum Einsatz kommt und realistische räumliche Beziehungen, dynamische Lichteffekte, etc. ermöglicht. Es können Pfade durch das Modell gelegt werden und hochaufgelöste Videos erstellt werden. Die 3-dimensionale Ansicht der Modellierungsumgebung ermöglicht eine visuell hochwertige Darstellung, die ein gutes Gefühl für das reale Projekt vermittelt und sich optimal für Präsentationszwecke eignet.<sup>196</sup>

## 2.6.5.3 Simio Simulation Software

Entwickler: Simio LLC

Simio Simulation Software bietet eine 3-dimensionale objektorientierte Modellierungsumgebung, bei der die Objektbausteine der Modellierungsbibliothek entnommen werden können. Alle Simio Simulation Produkte sind mit „Google Warehouse“ verknüpft, wo frei verfügbare 3D Objekte entnommen und in die Simulation eingebaut werden können.<sup>197</sup>

Anwendungsgebiete:<sup>198</sup>

- Flughäfen
- Produktionstechnik
- Supply Chain
- Gesundheitswesen
- Militär
- Bergbau
- Häfen

---

<sup>195</sup> Vgl. Gelenbe und Guennouni 1991

<sup>196</sup> Vgl. FlexSim Software Products

<sup>197</sup> Vgl. Simio LLC

<sup>198</sup> Vgl. Simio LLC

## **3 Praxisbetrachtung**

In diesem Kapitel werden die theoretischen Überlegungen aus Kapitel 2 umgesetzt, um wie in der Einleitung beschrieben, die ortsfeste Prototypenfertigung des Elektrofahrzeuges in eine Serienfertigung zu überführen.

Diese Arbeit konzentriert sich dabei auf die Materialflussbeziehungen innerhalb der Serienproduktion. Den Ausgangspunkt bilden die von der TU Graz ermittelten Ergebnisse der IST-Stand-Analyse der Prototypenfertigung.

Zunächst werden die Randbedingungen der Produktionsplanung festgelegt, um dann anschließend den internen Materialfluss in einer Grobplanung zu definieren und in der Detailplanung mithilfe einer Ablaufsimulation zu optimieren.

### **3.1 Produktionsbedingungen**

Seitens SFL wurde eine Jahresproduktionsmenge an Fahrzeugen vorgegeben. Daraus wurden in einem Schritt in Kooperation mit der TU Graz die Randbedingungen der Produktion festgelegt.

#### **3.1.1 Produktionsart und Produktionstyp**

Durch die modulare Struktur des Fahrzeuges besitzen alle Fahrzeugvarianten denselben Grundaufbau. Durch individuelle Heckaufbauten, wie Pritschen oder Kastenaufbauten, kann das Fahrzeug beispielsweise zur Sammlung von Müll, Grünanlagenpflege oder dem Transport von Geräten verwendet werden. Zusätzlich kann das Fahrzeug um Frontaufbauten, wie Schneeschilder oder Kehrmaschinen ergänzt werden.

Im Zuge der Planung wurde die Produktion des Standardfahrzeuges ohne Aufbauten untersucht. Es handelt sich hierbei um eine variantenarme Produktion mittlerer Stückzahlen. Da sich dafür das Produktionssystem „Lean Production“ besonders gut für die Vorgaben eignet, soll die Planung unter Einsatz der Prinzipien einer schlanken Produktion erfolgen. Dabei stehen besonders die Vermeidung von Verschwendung, der Einsatz von Fließfertigung und die Steuerung der Produktion mittels Pull-Prinzip im Vordergrund.

Die Taktzeit wurde auf 2h festgelegt, um die geplante Produktionsmenge von 4 Fahrzeugen während eines Arbeitstages mit 8h zu ermöglichen.

### **3.1.2 Fertigungstiefe**

Alle verbauten Komponenten werden zugekauft oder an den Standorten in Ungarn und Rumänien vorgefertigt und angeliefert. Die Fertigungstiefe ist im Bereich der mechanischen Baugruppen sehr gering und die Produktion konzentriert sich in erster Linie auf die Montage der zugelieferten Baugruppen.

Im Bereich der Elektrik-Bauteile müssen noch spezifische Vorarbeiten geleistet werden, um sie im Fahrzeug verbauen zu können. Einen besonderen Punkt innerhalb der Produktion nehmen die Kabelbäume der Fahrzeuge ein. Jedes Fahrzeug besteht aus mehreren, mehr oder weniger komplexen Kabelbäumen.

SFL legt besonderen Wert darauf, dass die Kabelbäume nicht zugekauft werden, sondern vor Ort in Stallhofen gefertigt werden, was eine sehr arbeitsintensive Planung und Fertigung nach sich zieht.

## **3.2 Grobplanung**

Um die Arbeitspakete für die einzelnen Arbeitsplätze planen zu können, wurde im ersten Schritt jeder zur Herstellung eines Fahrzeuges notwendige Montageschritt untersucht und dokumentiert. Dies geschah im Rahmen einer mehrwöchigen Analysephase vor Ort. Das Fahrzeug wurde dazu von Grund auf von einem Mitarbeiter der Firma SFL aufgebaut. Ziel war einerseits die Erfassung aller Tätigkeiten, sowie eine erste Festlegung der Montagereihenfolge.

### **3.2.1 Ergebnisse der Ist-Stand-Analyse**

Die Ist-Stand-Analyse hat folgende Ergebnisse erbracht:

1. Ermittlung der notwendigen Arbeitsschritte
2. Erfassung aller notwendigen Bauteile
3. Erfassung aller notwendigen Werkzeuge
4. Erfassung von notwendigen Vorrichtungen
5. Erfassung der benötigten Montagezeiten

Nach der Aufnahme aller Arbeitsschritte und –zeiten innerhalb der Ist-Stand-Analyse, wurden die Arbeitsschritte zu einzelnen Produktionsmodulen zusammengefasst und inhaltlich voneinander abgegrenzt.

### 3.2.1.1 Produktionsmodule

Die jeweiligen Produktionsschritte wurden unter Berücksichtigung der Taktzeit innerhalb eines „workload balancings“ auf ein oder mehrere Arbeitsplätze aufgeteilt und in einer ersten Layoutplanung entsprechend dem Prinzip einer getakteten Fließmontage angeordnet.

#### Ermittelte Arbeitsmodule:

1. Modul Rahmen
2. Modul Batteriebox
3. Modul Kabine
4. Modul Ladebox
5. Modul Kabelbaum
6. Modul Endmontage
7. Modul Inbetriebnahme

Es erfolgte nicht nur eine zeitliche Aufteilung der Arbeitsschritte auf die Arbeitsplätze, sondern es wurde auch darauf Wert gelegt, dass die Arbeitsinhalte aller Arbeitsplätze in sich abgeschlossen sind und Montagearbeiten von Vormontagearbeiten getrennt wurden.

#### Ermittelte Arbeitsplätze während der Grobplanung:

- 8 Montagearbeitsplätze
- 3 Vormontagearbeitsplätze

Die Aufteilung der Arbeitsschritte der Montage der mechanischen Komponenten ergab 8 Montagearbeitsplätze und 3 mechanische Vormontagearbeitsplätze.

### **3.2.2 Erstellung des Groblayouts**

Nach der Austaktung der Montageschritte wurde ein Blocklayout erstellt (siehe Abbildung 3.1). Hierbei sind noch keine Abmaße der einzelnen Arbeitsplätze hinterlegt. Es dient lediglich der schematischen Darstellung der zukünftigen Anordnung der Arbeitsplätze. Mit Hilfe des Groblayouts können die innerbetrieblichen Materialflussverknüpfungen grob dargestellt werden. Es zeigt den Hauptmaterialfluss durch die Produktionshalle und den

Materialfluss von den Vormontagearbeitsplätzen zu den Hauptmontageplätzen. Die Position der Arbeitsplätze innerhalb der Halle entspricht nicht der realen Anordnung, die während der Detailplanungsphase festgelegt wurde.

In diesem Schritt wurden die Kabelbaumfertigung und die Vormontage der Elektrik-Baugruppen noch nicht im Detail berücksichtigt, sondern lediglich durch eine Black-Box im linken Teil der Produktionshalle angedeutet. Die 8 Montagearbeitsplätze werden innerhalb von 3 Montagelinien angeordnet.

### Montagelinien:

- Hauptmontagelinie mit den Arbeitsplätzen RA1, RA2, EM1 und INB1
- Batterieboxlinie mit den Arbeitsplätzen BB1 und BB2/LB
- Kabinenmontagelinie mit den Arbeitsplätzen KA1 und KA2

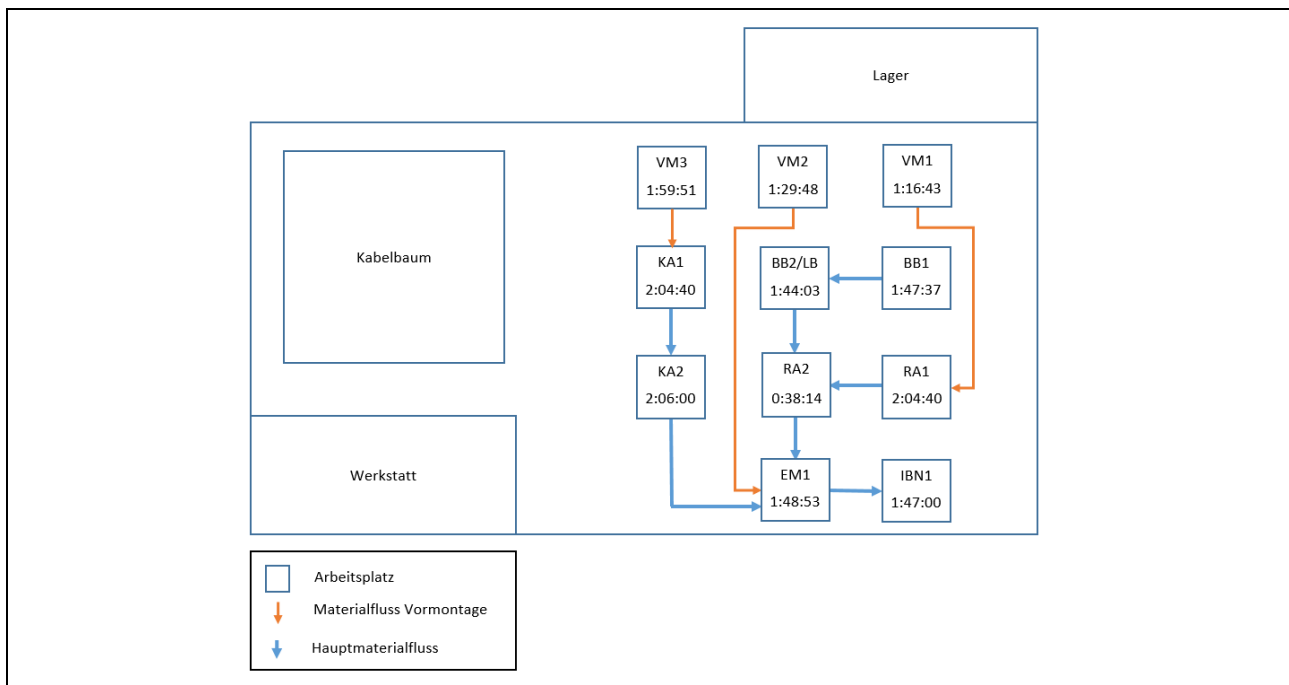


Abbildung 3.1: Erstes Blocklayout der Fahrzeuglinie<sup>199</sup>

<sup>199</sup> Eigene Darstellung

### 3.2.3 Erstellung des innerbetrieblichen Logistikkonzepts

Um die jeweiligen Arbeitsplätze, die in der Grobplanung definiert und in Abbildung 3.1 ersichtlich sind, zeitgerecht mit allen benötigten Bauteilen zu versorgen, wurde ein innerbetriebliches Logistikkonzept, basierend auf dem Produktionssystem Lean Production konzipiert.

Abhängig davon, ob die in der Linie benötigten Bauteile vom Lager oder von den Vormontagearbeitsplätzen kommen, unterscheidet sich die Bereitstellungsstrategie.

#### Innerbetriebliche Materialflüsse der Grobplanungsphase:

- Materialfluss innerhalb der Montagelinien
- Materialfluss vom Lager zu den Montagelinien- / Vorarbeitsplätzen
- Materialfluss von den Vorarbeitsplätzen zu den Montagelinien

#### 3.2.3.1 Transportmittel

In Kapitel 2.1.4.1 werden verschiedene Transportmittel aufgelistet, die für die Materialbereitstellung in Frage kommen. Für die Umsetzung des Transportes können prinzipiell unterschiedliche Strategien angewendet werden, bei denen der Materialtransport auch durch verschiedene Personen erfolgen kann.

#### 3.2.3.2 Materialbereitstellung durch Montagemitarbeiter

Bei dieser Strategie geschieht die Versorgung des Arbeitsplatzes mit dem benötigten Material direkt durch den entsprechenden Montagemitarbeiter. Die Materialversorgung kann bei dieser Strategie nicht produktionssynchron geschehen, sondern wird entweder vor Anfang oder nach Ende der Produktionsschicht durchgeführt.

Dabei kann das Material am Bereitstellungsort in Regalen oder direkt auf den Transportwägen gelagert werden.

Vorteilig bei dieser Variante ist der Wegfall eines Logistikmitarbeiters, teuren Transportmitteln wie Staplern oder Routenzügen und gegebenenfalls Eingangsregalen an den Arbeitsplätzen.

### 3.2.3.3 Materialbereitstellung durch Logistiker

Wenn die Materialbereitstellung durch einen Logistiker erfolgt, kann die Versorgung der Arbeitsplätze mit Materialien synchron zur Produktion erfolgen. Durch die produktionssynchrone Versorgung wird sichergestellt, dass immer ausreichend Material am Arbeitsplatz zur Verfügung steht.

Ein großer Vorteil ist hierbei die Flexibilität der Produktion gegenüber der Mengenausbringung. Sollte eine 2. Schicht eingeführt werden, so ist auch nach Beendigung der 1. Schicht ausreichend Material an den Arbeitsplätzen vorhanden, um die Produktion fortzuführen.

Die Arbeitsteilung zwischen Materialbereitstellung und Montage ist ein weiterer Vorteil bei dieser Strategie. Dadurch kann sichergestellt werden, dass nur der Logistiker Zutritt zum Lagerbereich hat und es können die Verantwortlichkeiten klar getrennt werden.

Der Teiletransport kann wie bei der Bereitstellung durch den Montagearbeiter mit Handhubgeräten, Staplern, zu Fuß oder mit Handwägen erfolgen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, ein Routenzugsystem einzusetzen.

Das Routenzugsystem, auch Milkrunwagen genannt, bewegt sich dabei auf vorgeschriebenen Routen durch die Produktion von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz und füllt leere Positionen mit Materialien auf (siehe Kapitel 3.2.6.1). Nachteilig ist der erhöhte Planungsaufwand bei Routenzugsystemen.

In weiterer Folge wird der innerbetriebliche Materialtransport vom Lager zu den Arbeitsplätzen mittels Routenzugsystem geplant. Durch einen Milkruntransport wird die Verschwendung bei der Materialbereitstellung reduziert, da es keine Leerfahrten gibt. Die Versorgung der Arbeitsplätze wird dezentral mittels Kanban gesteuert und ermöglicht eine Just-in-Time-Versorgung (JIT).

Verschwendungsminimierung, Kanban und JIT sind Grundprinzipien der Lean Production und deshalb wird der Materialfluss zwischen Lager und Arbeitsstationen mittels Milkrunprinzip umgesetzt.



### 3.2.4 Materialfluss innerhalb der Montagelinien

Innerhalb der Teillinien der Fahrzeuglinie werden die jeweiligen Baugruppen (Batteriebox, Kabine, Rahmen) schrittweise zu einem Hauptteil montiert, das innerhalb der Teillinien von den Montagemitarbeitern zu Taktende zum nächsten Arbeitsplatz weiter transportiert wird.

#### 3.2.4.1 Hauptmontagelinie

Innerhalb der Hauptlinie wird das Fahrzeug nach und nach auf dem Fahrzeugrahmen aufgebaut. Dieser wird außerhalb der Produktionshalle gelagert, am Wareneingang den Montagemitarbeitern zur Verfügung gestellt und bei Arbeitsplatz RA1 in die Produktion eingeschleust. Nach jeder Taktzeit wird die Baugruppe von den jeweiligen Mitarbeitern an der Hauptlinie zum nächsten Arbeitsplatz befördert.

Die Beförderung geschieht auf einem höhenverstellbaren Montagetisch, der aufgrund des relativ hohen Gewichts des Fahrzeuges schienengebunden ist. Am Ende der Inbetriebnahme wird das Fahrzeug auf den eigenen Rädern aus der Montagehalle gefahren und außerhalb der Montagehalle gelagert.

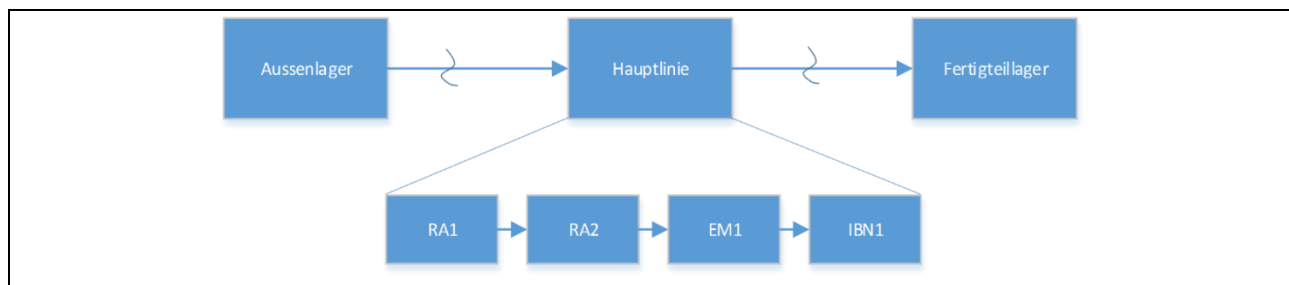


Abbildung 3.2: Grobplanung Hauptmontagelinie

Abbildung 3.2 zeigt die Quelle und Senke des Fahrzeugrahmens sowie die einzelnen Arbeitsplätze der Hauptlinie, auf denen der Fahrzeugrahmen auf dem Montagetisch transportiert wird. Die Linie zwischen Außenlager und Hauptlinie, sowie zwischen Hauptlinie und Fertigteillager stellt den Ein- und Ausgang der Produktionshalle dar.

Der Montagetisch selbst wird schienengebunden zwischen den Arbeitsplätzen bewegt. Am Arbeitsplatz IBN1 wird das Fahrzeug vom Montagetisch genommen und der Montagetisch wird zum Arbeitsplatz RA1 befördert, wo ein neuer Fahrzeugrahmen aufgesetzt wird.

### 3.2.4.2 Batterieboxlinie

Die Batteriebox wird aus dem Lager zur Batterieboxlinie geliefert, dort mit jedem Takt von den Montagearbeitern weiterbefördert und am Ende bei Arbeitsplatz RA2 in den Fahrzeugrahmen eingebaut.

Die Beförderung der Batteriebox soll auf einem höhenverstellbaren und verfahrbaren Montagetisch von den Montagearbeitern der Batterieboxlinie geschehen.

Im Gegensatz zu den Montagetischen der Hauptmontagelinie ist dieser Montagetisch nicht schienengebunden, sondern frei beweglich. Dadurch wird das Handling beim Einbau der Batteriebox in den Rahmen erleichtert.

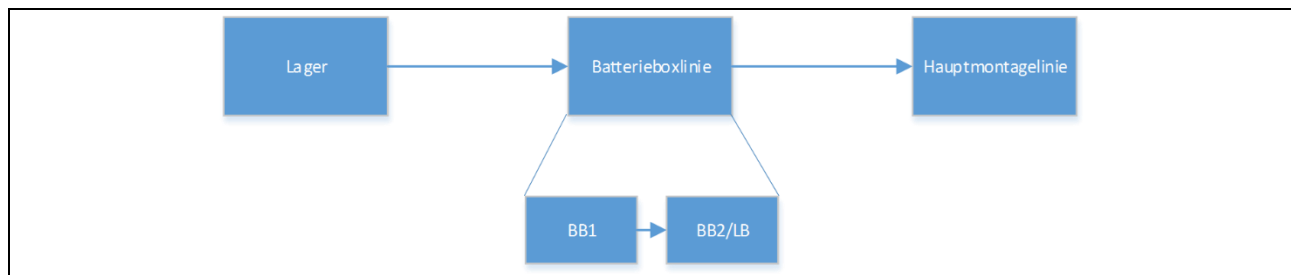


Abbildung 3.3: Grobplanung Batterieboxlinie

Wie in Abbildung 3.3 gezeigt, besteht die Batterieboxlinie in der Grobplanungsphase aus den Arbeitsplätzen BB1 und BB2.

Die Batteriebox wird bei Arbeitsplatz RA2 vom Montagetisch in den Rahmen eingebaut und er Montagetisch im Anschluss vom Arbeiter zu Arbeitsplatz BB1 transportiert.

### 3.2.4.3 Kabinenlinie

Der Rohbau der Kabine wird auf dem Transportgestell, mit dem er auch angeliefert und gelagert wird, den Montagemitarbeitern im Bereich des Wareneingangs zum Weitertransport zur Verfügung gestellt und bei Arbeitsplatz KA1 in die Kabinenlinie eingeschleust. Innerhalb der Fertigungslinie soll das Fahrzeug, das auf dem Rahmen aufgebaut wird, bis zur Inbetriebnahme schienengebunden innerhalb der Arbeitsplätze weiterbefördert werden.

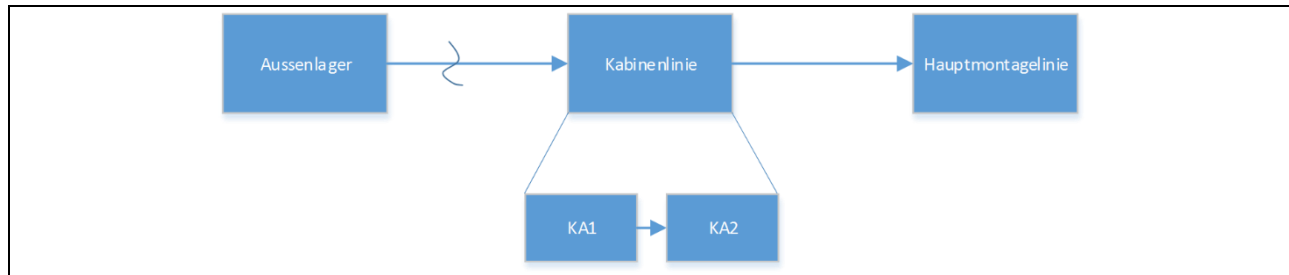


Abbildung 3.4: Grobplanung Kabinenlinie

Abbildung 3.4 zeigt die Arbeitsplätze der Kabinenlinie in der Grobplanungsphase. Sie besteht aus den Arbeitsplätzen KA1 und KA2. Die geschwungene Linie zwischen Außenlager und Kabinenlinie stellt wie bei Abbildung 3.2 den Eingang in die Produktionshalle dar.

### 3.2.5 Materialfluss Vormontage-Arbeitsplätze zu Hauptlinie

Die vormontierten Bauteile, die an der Hauptlinie benötigt werden, werden mittels speziellen Teilwägen von den Vormontageplätzen zur Montagelinie befördert. In der Grobplanung wurden zunächst 3 Teilwägen eingeplant. In der Detailplanungsphase haben sich nach Fixierung des End-Layouts noch Änderungen ergeben.

Auf den Teilwägen werden alle Baugruppen gelagert, die am Arbeitsplatz vormontiert und an der Montagelinie im Fahrzeug verbaut werden. Jeder Montagewagen ist einem Ursprungs- und Zielarbeitsplatz zugeordnet.

Tabelle 3.1: Benötigte Teilwägen laut Grobplanung

Vormontage-Arbeitsplatz	Montagelinien-Arbeitsplatz
VM1	RA1
VM2	EM2
VM3	KA1

Die leeren Teilwägen werden von den Arbeitern der Hauptmontagelinie bei Produktionsstart zu den Vormontage-Arbeitsplätzen geschoben und im Austausch ein voller Teilwagen zur Linie befördert, sodass immer nur ein Teilwagen eines Typs am

Montagearbeitsplatz vorhanden ist. Würde der Teilewagen vom Arbeiter des Vormontage-Arbeitsplatzes weiter befördert werden, so müsste die Fläche des Montagearbeitsplatzes vergrößert werden, da der erste Teilewagen möglicherweise noch nicht vollständig entladen ist und somit 2 Teilewägen am Montagearbeitsplatz gepuffert werden müssten.

### **3.2.6 Materialfluss Lager – Montagelinie**

Alle Komponenten der Vormontage und Linienarbeitsplätze, die nicht von anderen Linienarbeitsplätzen, Teilewägen oder von außerhalb der Produktionshalle von Montagearbeitern zu den Arbeitsplätzen transportiert werden, müssen vom Lager aus den Arbeitsplätzen zugeführt werden. Die Versorgung vom Lager aus wird mit einem sogenannten Milkrunkonzept realisiert.

#### **3.2.6.1 Milkrunkonzept**

Dieses Prinzip geht auf die Belieferungsstrategie von amerikanischen Milchmännern zurück, die ihre Kunden mit frischer Milch belieferten. Um sicherzustellen, dass immer nur so viel Milch geliefert wie auch benötigt wird, orientierte sich der Nachschub am Leergut, das dem Milchmann zurückgegeben wurde. Dieses wurde eingesammelt und wieder mit frischer Milch befüllt.

Bei der Umsetzung dieses Konzeptes innerhalb der Produktionshalle bei SFL soll ein Milkrunwagen, bestehend aus einem Schlepper und mehreren Anhängern auf einer festgelegten Route zyklisch alle Arbeitsplätze abfahren.

Dabei befüllt er, wie beim Vorbild des Milchmannes, die einzelnen Arbeitsplätze mit Bauteilen, die zur Montage benötigt werden.

Voraussetzung für eine Versorgung der Arbeitsplätze mit Bauteilen ist ein Versorgungsauftrag. Beim Milchmann ist dies eine leere Flasche, in der Produktionshalle dient ein leerer Behälter als Signal für den Logistikmitarbeiter neue Bauteile an den Arbeitsplatz zu bringen.

Der leere Behälter wird auf den Milkrunzug geladen und in weiterer Folge im Lager mit neuen Bauteilen befüllt. Im nächsten Milkrunzyklus wird der Behälter wieder am Arbeitsplatz abgeladen. Durch die Versorgung der Arbeitsplätze während der laufenden Produktion, kann sichergestellt werden, dass immer nur so viele Bauteile vorrätig sind, wie auch gebraucht werden, bzw. immer genügend Bauteile vorrätig sind.

Diese Strategie verlangt einen Reservebestand an Bauteilen am Arbeitsplatz, damit auch während der Wiederbefüllungszeit durch den Milkrunner Bauteile vorrätig sind. An den Arbeitsplätzen in der Montagelinie und den Vorarbeitsplätzen wurden deshalb Durchlaufregale eingeplant, die nach dem FIFO-Prinzip arbeiten und mehrere Behälter beinhalten. Die Durchlaufregale bilden die Schnittstelle zwischen Arbeitsplatz und Logistikmitarbeiter.

### 3.2.6.2 Durchlaufregale

An jedem Arbeitsplatz, der mit Bauteilen vom Milkrunner versorgt wird, steht ein Durchlaufregal. Das Durchlaufregal wird vom Logistiker auf der Eingangsseite mit Bauteilen beliefert, die der Arbeiter auf der gegenüberliegenden Seite des Regals entnimmt.

Im Durchlaufregal befinden sich Behälter, in denen die benötigten Teile gelagert sind, sowie auch die Behälter mit Reservebauteilen. Sobald ein Behälter leer ist, wird er vom Arbeiter über eine Rutsche zum anderen Ende des Regals befördert, wo der Milkrunner den Behälter entnehmen kann.

Wie viele Teile in einem Behälter gelagert sind, und wie viele Behälter sich im Durchlaufregal befinden, hängt von folgenden Überlegungen ab:

1. Kapitalbindung am Arbeitsplatz

Je mehr Bauteile direkt am Arbeitsplatz gepuffert werden, desto mehr nicht liquides Vermögen ist vorhanden.

2. Abmessungen der Bauteile

Die Abmessungen der Bauteile bestimmen die Größe der Behälter innerhalb der Durchlaufregale und somit auch die Größe der Regale und Arbeitsplätze selbst.

3. Durchlaufzeit Milkrunner

Umso länger die Durchlaufzeit des Milkrunwagens ist, desto mehr Teile müssen gepuffert werden, um sicherzustellen, dass es zu keinem Engpass an Bauteilen kommt.

Tabelle 3.2: Festgelegte Pufferbestände

Max. Pufferbestand an der Linie	1 Tagesbedarf an Bauteilen
Reservebehälter	1
Anzahl Bauteile pro Behälter	½ Tagesbedarf an Bauteilen

Es wurde festgelegt, dass maximal ein Tagesbedarf an Bauteilen an den jeweiligen Arbeitsplätzen vorrätig sein soll, um die Kapitalbindung an den Montagearbeitsplätzen möglichst gering zu halten. Im weiteren Verlauf der Planung wurden auch Logistik B/C-Teile definiert, bei denen ein Bestand von 1 Wochenproduktion im Regal gelagert werden soll.

Um die Durchlaufregale kompakt zu halten, soll der Reservebestand der Bauteile in einem Behälter gelagert werden. Bei Produktionsstart sind jeweils eine halbe Tagesproduktion an Bauteilen in den Behältern und den Reservebehältern.

Sobald die Produktion anläuft und der erste Behälter leer ist, wird er über die Rutsche zur Ausgangsseite des Durchlaufregals befördert und somit dem Milkrunner zur Wiederbefüllung übergeben. Währenddessen ist noch eine halbe Tagesproduktion an Bauteilen im verbliebenen Behälter (Reservebehälter) am Arbeitsplatz vorrätig. Die Wiederbefüllung muss erfolgen, bevor der Montagearbeiter keine zu verbauenden Komponenten mehr vorrätig hat.

Bei einer Taktzeit von 2h und einer Schüttenbefüllung mit einer halben Tagesproduktion ergibt das eine maximale Wiederbefüllungszeit von 4h.

### 3.2.6.3 Behälter

Als Behälter im Durchlaufregal, in denen die Bauteile gelagert werden und die dem Milkrunner als Signal zur Wiederbefüllung dienen, werden 5 verschiedene Sichtlagerkästen der Firma SSI Schäfer verwendet. Welcher Sichtlagerkasten verwendet wird, hängt von der Größe der darin zu lagernden Bauteile ab.

Berücksichtigt wurde dabei, dass bei einer Steigerung der Tagesproduktion auf 8 Fahrzeuge pro Tag die doppelte Menge an Teilen in den Behältern gelagert werden soll, um den Logistiker, der sich um die Befüllung der Behälter am Arbeitsplatz kümmert, zu

entlasten. Alle Behälter (und später auch Regalfächer für großvolumige Teile) wurden so ausgelegt, dass Bauteile für 8 zu montierende Fahrzeuge Platz finden.

Tabelle 3.3: Verwendete Kleinladungsträger (Schütten)

Sichtlagerkasten	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Volumen [l]
LF 211 ZW	160	100	75	0,12
LF 221 ZW	230	150	122	2,7
LF 421 G	380	185	154	7,8
LF 531 GZW	500	320	145	16,5
LF 533 GZW	500	320	300	38

Da es Bauteile gibt, die zu groß für die Behälter sind, wurden neben den Durchlaufregalen, die mit Sichtlagerkästen bestückt sind, auch herkömmliche Fachbodenregale verwendet, in denen die großvolumigen Bauteile ohne Lagerhilfsmittel gelagert werden.

Die Fachbodenregale haben wie die Durchlaufregale 2 Bereiche, in denen jeweils der halbe Tagesbedarf an Bauteilen gelagert werden soll.

#### 3.2.6.4 Kanban

Während der Produktion werden nach und nach Bauteile aus den Behältern im Durchlaufregal entnommen. Wenn eine Schütte leer ist, wird sie über die im Durchlaufregal vorhandene Rutsche auf die andere Seite des Regals befördert.

Die leeren Ladungsträger auf der Rutsche dienen als Signal für den Mitarbeiter, der den Milkrunwagen steuert, diese aufzunehmen, im Lager mit den entsprechenden Teilen aufzufüllen und im nächsten Umlauf wieder am Arbeitsplatz abzugeben.

Der leere Sichtlagerkasten dient hierbei als sogenannter „Behälterkanban“, womit in Kombination mit dem Milkrunprinzip die Belieferung der Arbeitsplätze gesteuert wird.

Ziel des Kanban-Prinzips ist es, die gesamte Wertschöpfungskette kostenoptimal zu steuern und den Planungsaufwand zu verringern. Die Funktionsweise ist so ausgerichtet, dass ausschließlich Materialien am Produktionsort vorliegen, die tatsächlich verbraucht werden.

In weiterer Folge wurden folgende Kanbantypen verwendet:

- Behälterkanban

Für Bauteile, die in Durchlaufregalen am Arbeitsplatz gelagert sind. Dabei dient der leere Sichtlagerkasten als Kanban.

- Kartenkanban

In den Fachbodenregalen der Arbeitsstationen lagern die Bauteile nicht in Schütten, sondern befinden sich auf definierten Regalplätzen. Um die Versorgung mit Bauteilen sicherzustellen, werden Kanbankarten eingeführt und den Regalbereichen zugewiesen.

Informationen auf Kanbankarten bzw. Behälter:

- Nummer der Kanbankarte bzw. Barcode
- Artikelnummer
- Bezeichnung des Artikels
- Füllmenge
- Arbeitsplatz
- Lagerort

Damit der Logistiker die Behälter und Kanbankarten besser einem Arbeitsplatz zuordnen kann, wird jedem Arbeitsplatz eine eindeutige Farbe zugewiesen. Die Kanbankarten der Regalteile, die Karten der Schütten und die einzelnen Bereiche im Lager sind in dieser Farbe gehalten. Der Farbcode für die Arbeitsplätze wurde in der Detailplanungsphase festgelegt. Abbildung 3.5 zeigt ein Beispiel einer Kanbankarte.

	<b>VAKUUMPUMPE</b>	<u>Behälter</u>
	<b>03-7101-0619-4-34</b>	1 / 2
<u>Lagerort</u> <b>01-01-03</b>	<u>Arbeitsplatz</u> <b>RA1</b>	<u>Menge</u> <b>1</b>

Abbildung 3.5: Kanbankarte



### 3.2.6.5 Unterteilung der Bauteile in Logistik A- und Logistik C-Teile

Um den Milkrunner zu entlasten und die Transportleistung zu erhöhen, sollen kleine Bauteile, von denen ein Vielfaches der halben Tagesproduktion in den Sichtlagerkästen in den Durchlaufregalen Platz finden, als „Logistik C-Teile“ definiert werden. Diese Behälter werden anstatt mit einem halben Tagesbedarf, mit je einem halben Wochenbedarf an Bauteilen gefüllt. Ob ein Bauteil weiterhin ein Logistik A- Teil bleibt, oder zu einem Logistik C-Teil, und damit mit mehreren Tagesproduktionen befüllt wird, hängt von folgenden Eigenschaften ab, wie auch in Abbildung 3.6 dargestellt:

#### 1. Wertigkeit des Bauteils

Grundlage der Einteilung ist eine von SFL übermittelte ABC-Analyse aller Bauteile aufgrund ihrer Wertigkeit. Um die Kapitalbindung am Arbeitsplatz gering zu halten, werden Bauteile, die in dieser Liste als A-Teile klassifiziert sind, auch als Logistik A-Teile eingeteilt. A-Teile laut ABC-Analyse werden zu Logistik A-Teilen.

#### 2. Volumen

In einem weiteren Schritt werden die verbliebenen Logistik C-Teile hinsichtlich ihres Volumens untersucht. Wenn eine Wochenproduktion des Betrachteten Bauteiles in eine LF 533 GZW Sichtlagerschütte (oder kleiner) passt, so kann das Bauteil als Logistik C-Teil betrachtet werden. Andernfalls bleibt es weiterhin ein Logistik A-Teil.

#### 3. Masse

Abschließend wird die Masse der Wochenproduktion kontrolliert. Als Grenze für die Masse eines Logistik C-Teiles werden 50kg festgelegt.

- Eine Wochenproduktion < 50kg → Logistik C-Teil
- Eine Wochenproduktion > 50kg → Logistik A-Teil

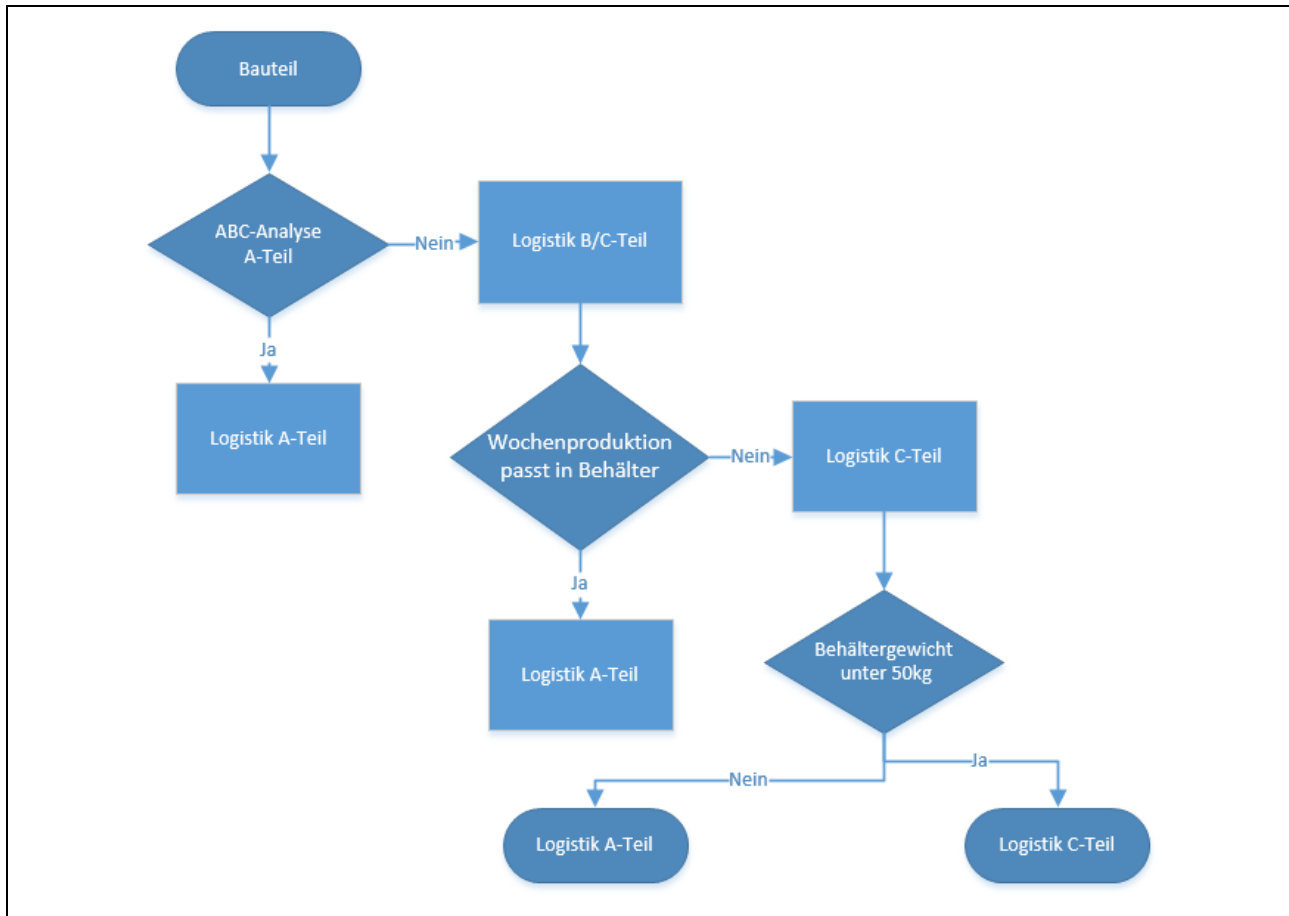


Abbildung 3.6: Flussdiagramm Unterteilung der Bauteile

Nicht alle Bauteile passen in die Sichtlagerkästen in den Durchlaufregalen. Für Bauteile mit größeren Volumina muss eine alternative Lagerung gewählt werden:

#### Durchlaufregale:

Bauteile welche in der geforderten Stückzahl in Kleinladungsträgern Platz finden, werden in einem Durchlaufregal bereitgestellt. Dieses funktioniert nach dem First in- First out Prinzip (FIFO) und stellt außerdem sicher, dass immer genügend Bauteile am Arbeitsplatz vorhanden sind. Des Weiteren ist durch das Behälter- Kanban-System eine bedarfsgesteuerte Belieferung der Arbeitsplätze durch einen Logistiker („Milkrunner“) gewährleistet.

#### Klassisches Fachbodenregal:

Bei den großvolumigen Bauteilen, bei denen eine Lagerung in einem Kleinladungsträger nicht möglich und auch nicht sinnvoll ist (zu hoher Platzbedarf wegen geringer Verdichtung), wurde eine Bereitstellung in individuellen Fachbodenregalen gewählt. Das

Belieferungsprinzip ist ähnlich wie bei den Durchlaufregalen, mit dem einen Unterschied, dass hier ein Karten- Kanban System zum Einsatz kommt. Das bedeutet, dass der Logistiker im Bedarfsfall eine Kanban- Karte des jeweiligen Bauteils entnimmt und dieses dann wieder am Arbeitsplatz bereitstellt.

### 3.3 Detailplanung

Im Anschluss an die Festlegung der einzelnen Arbeitsplätze und des Materialflusses innerhalb der Produktion erfolgte die Detailplanungsphase, in der eine Validierung der geplanten mechanischen Montagearbeitsplätze und Vormontagearbeitsplätze erfolgte, in der die Montagezeiten und –abfolgen überprüft wurden und den einzelnen Bauteilen am Bereitstellungsort die optimalen Behältergrößen zugeordnet wurden um die Regalgrößen zu optimieren.

Weiters wurden elektrische Vormontageplätze und Arbeitsplätze zur Kabelbaumfertigung geplant. Das Hinzufügen der elektrischen Arbeitsplätze und das Umstrukturieren der Montageabfolge in der Montage der mechanischen Bauteile, sowie der Änderung der Gesamtabmaße der Einzelarbeitsplätze, ergaben ein finales Produktionslayout als Ergebnis der Detailplanung.

#### 3.3.1 Übersicht Produktionslayout

Abbildung 3.7 zeigt die Lage der Montagefläche in der Halle sowie die benötigte Hallenfläche.

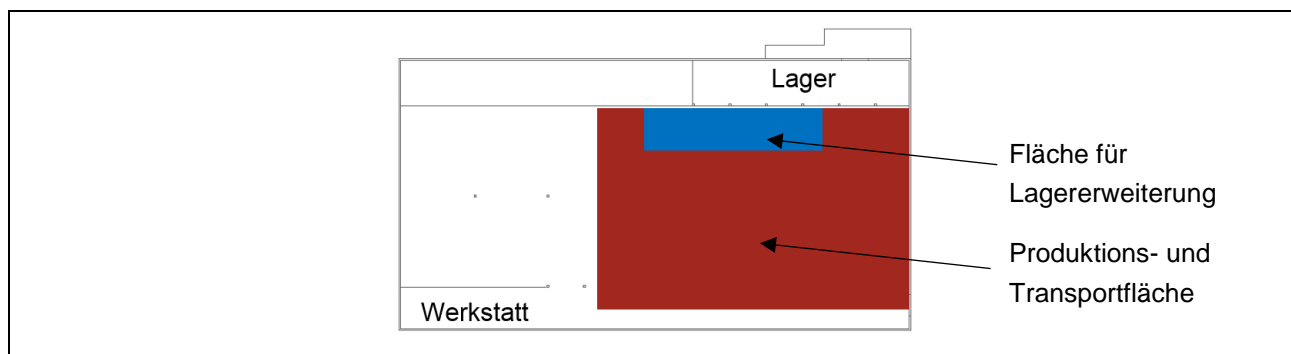


Abbildung 3.7: Benötigte Produktionsfläche in der Grobplanung <sup>200</sup>

Abbildung 3.8 zeigt das finale Produktionslayout. Im Folgenden werden die wichtigsten Bereiche bzw. Arbeitsplätze genauer beschrieben, bei denen es durch die Änderungen im Layout zu größeren Änderungen kam.

<sup>200</sup> Eigene Darstellung

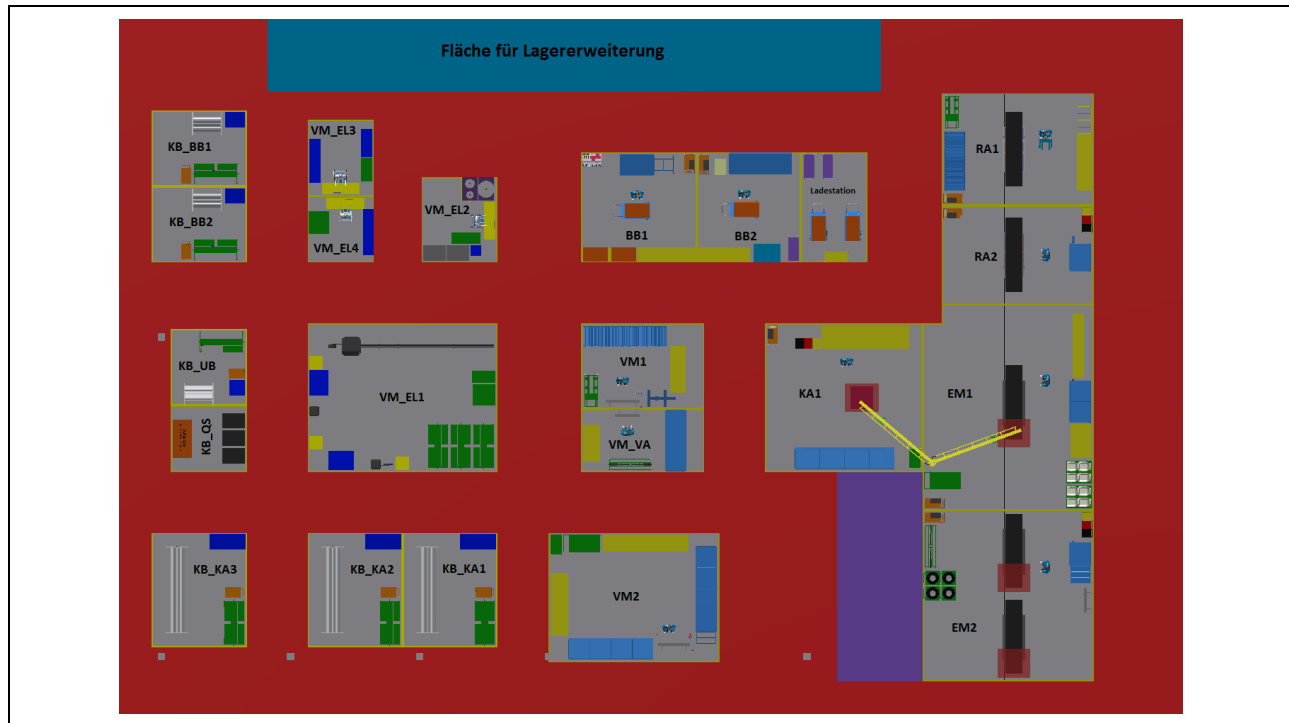


Abbildung 3.8: Finales Produktionslayout<sup>201</sup>

### 3.3.1.1 Bereich Hauptlinie (RA1, RA2, EM1, EM2)

Durch die Neuordnung wurde eine gerade Hauptlinie realisiert, bestehend aus den Arbeitsplätzen RA1, RA2, EM1 und EM2. Der Rahmen wird auf schienengebundenen Transporteinheiten zwischen den Stationen weitergeschoben. Senkrecht zur Hauptlinie sind die Nebenlinien für die Batteriebox und die Kabine angeordnet. Die Batteriebox wird beim Rahmenarbeitsplatz RA2 in den Rahmen eingesetzt. Die Montage der Kabine erfolgt am Arbeitsplatz EM1. Der violette Bereich neben EM2 wird vorerst frei gehalten. Durch den Schwenkbereich des Krans kann gewährleistet werden, dass im späteren Verlauf dort die unterschiedlichen Aufbauten zwischen gelagert und anschließend montiert werden.

### 3.3.1.2 Vormontage Elektrik und Kabelbaumfertigung

Im linken Bereich des Layouts sind die Arbeitsplätze für Vormontage Elektrik und die Kabelbaumfertigung angeordnet. Im Zentrum befindet sich der Arbeitsplatz VM\_EL1. Hier sind der Abläng- und die Crimp- Automaten positioniert. Mit diesen werden alle notwendigen Kabel für die Kabelbaumproduktion und die restlichen benötigten Kabel

<sup>201</sup> Eigene Darstellung

vorbereitet. Neben der Vorbereitung der Kabel werden außerdem alle Stecker für Elektrokomponenten wie z.B. Blinker, Lichter, etc. an diesem Arbeitsplatz montiert.

Für die Kabelbaummontage wurden folgende Arbeitsplätze eingeplant:

- Kabelbaum Kabine (KB\_KA):                      Arbeitsplatz KB\_KA1  
   Arbeitsplatz KB\_KA2  
   Arbeitsplatz KB\_KA3
  
- Kabelbaum Batteriebox (KB\_BB):              Arbeitsplatz KB\_BB1  
   Arbeitsplatz KB\_BB1
  
- Kabelbaum Unterbau (KB\_UB):                Arbeitsplatz KB\_UB1

### 3.3.1.3 Transportwege

Bei der ersten Grobplanung wurde die Breite der Transportwege laut Arbeitsstättenverordnung<sup>202</sup> auf 2200mm festgelegt. Bei der Validierung konnte festgestellt werden, dass diese Breite den Handling-Bereich stark einschränkt, was speziell in Bereichen, wo auf beiden Seiten des Transportweges Regale befüllt werden müssen, zu Problemen führt. Die Breite des Teilwagens, auf dem die Bauteile zu den Arbeitsplätzen transportiert werden, liegt bei ca. 1200mm. Dieser Wert würde zu einem Abstand von nur 500mm auf beiden Seiten des Wagens zu den Regalen führen, was eindeutig zu gering<sup>203</sup> ist. Darum wurde die Wegbreite auf mindestens 3200mm fixiert. Dieser Wert gilt für Bereiche, bei denen auf beiden Wagenseiten Regale befüllt werden müssen. Die Verbreiterung der Wege führt zu einem einfacheren Be- und Entladen der Regale und des Teilwagens sowie zu einem größeren Rangierbereich für den Milkrunwagen. In manchen Bereichen überschreitet die Breite der Transportwege den fixierten Wert. Die Ursache liegt in den Anpassungen, die aufgrund der bereits vorhandenen Hallenstützen getroffen werden mussten.

---

<sup>202</sup> <https://www.ris.bka.gv.at>, Zugriffsdatum: 03.12.2015

<sup>203</sup> Erkenntnis aus Versuchsaufbau; Überprüfung im Rahmen der Validierung

### 3.4 Simulation

Um den Materialfluss zwischen dem Lager und den Durchlaufregalen/Regalen an den Arbeitsplätzen darzustellen, einen Arbeitsablauf für den Milkrunner festzulegen und den Milkrunzug zu planen, wurde eine Simulation des gesamten Produktionsablaufes und des Materialflusses im Programm Tecnomatix Plant Simulation 12 erstellt.

Die Simulation wurde bereits ab der Grobplanung der Produktion simultan zur Arbeitsplatzgestaltung erstellt und synchron zur Feinplanungsphase der Layoutplanung detailliert. Als Grundlage dienen das Layout der Produktionshalle, die ermittelte Montageabfolge, die dazugehörigen A- und B/C-Teile sowie die Montagezeiten.

#### 3.4.1.1 Ziel der Simulation

- Festlegung der Arbeitsabläufe des Milkrunners

Es soll eine Arbeitsanweisung für den Logistikarbeiter definiert werden, der den Milkrunwagen bedient.

- Finden eines Milkrundesigns

Ein weiteres Ziel ist die Planung des Milkrunzuges. Dabei soll die Anzahl und der Aufbau der Anhänger festgelegt werden.

- Abschätzen der Anzahl der Mitarbeiter in der Intralogistik

Weiters sollen alle weiteren Aufgaben innerhalb des Logistikbereiches festgelegt werden, die nicht vom Milkrunner erledigt werden. Für diese Aufgaben werden weitere Logistikmitarbeiter benötigt.

#### 3.4.1.2 Detaillierungsgrad der Modellierung

Ein zentrales Problem jeder Simulation ist die Bestimmung der adäquaten Detaillierung des digitalen Modells. Die Modellierung soll so einfach wie möglich erfolgen und dennoch alle relevanten Parameter enthalten. Falls die Prozesse zu grob modelliert werden, ist es nicht möglich, die notwendigen Informationen für die Logistikprozesse aus der Simulation zu erhalten.

Für das vorliegende Problem wurde eine sehr detaillierte Modellierung der Produktion gewählt. Es wurden alle Arbeitsplätze mit den jeweiligen Montageabfolgen, den verbauten

Teilen, zugehörigen Ladungsträgern und den ermittelten Montagezeiten, zugewiesen. So kann sichergestellt werden, dass ermittelt werden kann, wann die Ladungsträger an den Arbeitsplätzen leer werden und vom Milkrunner aufgefüllt werden müssen.

Um die Auslastung des Milkrunwagens zu ermitteln, müssen auch die Route durch die Produktion und das Lager mit allen notwendigen Haltestellen modelliert werden.

Nur durch die Berücksichtigung all dieser Prozesse, konnte eine realitätsgetreue Simulation erstellt werden.

### **3.4.2 Modellierung der Arbeitsplätze**

Das fertige Simulationsmodell bildet die Produktionshalle ab und besteht aus einem Hauptnetzwerk, dem Netzwerk „Produktionshalle“, in dem alle Arbeitsplätze im finalen Layout angeordnet werden und in dem der innerbetriebliche Materialfluss stattfindet.

Innerhalb der im Hauptnetzwerk platzierten Arbeitsplätze befinden sich Unternetzwerke, in denen die einzelnen Montagevorgänge modelliert wurden.

Im ersten Schritt wurden die Montagevorgänge innerhalb der einzelnen Arbeitsplätze in den Linien, den Vormontagearbeitsplätzen und den Kabelbaumarbeitsplätzen abgebildet.

#### **3.4.2.1 Bausteine des Simulationsmodelles**

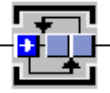
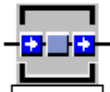



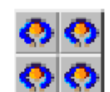


Siemens Plant Simulation bietet eine Vielfalt von Möglichkeiten um Produktionsvorgänge abzubilden. Tabelle 3.4 zeigt die wichtigsten der verwendeten, programminternen Bausteine. Diese haben eine ganze Reihe von Eigenschaften, die es erlauben, ein Modell einfach und schnell zu erzeugen. In den Bausteinen können beispielsweise Bauteile gepuffert oder bearbeitet werden.

Sehr häufig sind jedoch im Zuge der Modellierung andere oder komplexere Verhaltensweisen der Bausteine notwendig und dann ist es möglich, über Methoden die Objekte zu programmieren.

Im Zuge der Erstellung des Simulationsmodelles wurde eine Vielzahl von vorgefertigten Bausteinen verwendet, die jedoch fast alle mit Methoden erweitert wurden, um ein gewünschtes Verhalten des Modells zu erreichen.






Tabelle 3.4: Bausteine für die Modellierung der Arbeitsabläufe

	<p><u>Sortierer:</u> Jedes Bauteil das für den Produktionsprozess benötigt wird, wird in einem Sortierer in den dafür festgelegten Schütten gelagert. Die Schütten werden entsprechend dem FIFO-Prinzip in den Sortierer umgelagert.</p>	Puffern von Bauteilen
	<p><u>Puffer:</u> Haben mehrere Funktionen. Puffer entnehmen einzelne Bauteile aus den Schütten der Sortierer (In weiterer Folge werden diese als Einzelteilpuffer bezeichnet), befinden sich im Anschluss an Montagestationen und Einzelstationen um weitere Aktionen zu triggern, bzw. als Puffer für Teile die bei Vormontagestationen dort zwischengelagert werden.</p>	
	<p><u>Einzelstation:</u> Bearbeitet eintretende Bauteile entsprechend der eingetragenen Bearbeitungszeit.</p>	Bearbeiten von Bauteilen
	<p><u>Montagestation:</u> An den Linienarbeitsplätzen baut die Montagestation Anbauteile an das Hauptteil an. Wenn sich das Ausgangsteil vom Eingangsbauteil unterscheidet, wird das Eingangsbauteil in der Montagestation gelöscht und das Ausgangsbauteil erzeugt.</p>	
	<p><u>Demontagestation:</u> Zerlegt ein eingehendes Bauteil, löscht dieses und generiert mehrere neue Bauteile, welche die Demontagestation über die Ausgangskante verlassen</p>	
	<p><u>Werkerpool:</u> Dient zum Erzeugen und Gruppieren der eingesetzten Werker. Pro Netzwerk wird nur ein Werker erzeugt, da auch in der Realität nur ein Werker pro Arbeitsplatz eingesetzt wird. Der im Werkerpool erzeugte Arbeiter arbeitet an den Arbeitsplätzen nach und nach die einzelnen Aufgaben ab.</p>	Zuweisen von Arbeiter an die Arbeitsplätze
	<p><u>Broker:</u> Vermittelt den Montagestationen und Einzelstationen die Werker und Verwaltet Anfragen.</p>	
	<p><u>Arbeitsplatz:</u> Der Arbeiter wird zur jeweiligen Station beamt, an dem er benötigt wird.</p>	

Neben den Bausteinen für die Modellierung der Montageabläufe, gibt es weitere Elemente, mit denen die zu verbauenden Bauteile, deren Ladungsträger und weitere Hilfsmittel modelliert werden können. Für diesen Zweck verfügt Plant Simulation über „Bewegliche Elemente (BE)“.




Tabelle 3.5 zeigt die in der Simulation verwendeten beweglichen Elemente mit denen die A- und B/C-Teile, Schütten, Teilewägen und der Milkrunzug dargestellt wurden.

Tabelle 3.5: Bewegliche Elemente im Simulationsmodell

	<p><u>Fördergut:</u> Stellt die benötigten Bauteile dar. Jedes A- und B/C-Teil ist als Fördergut in der Simulation hinterlegt. Fördergüter werden von einer Arbeitsstation zur nächsten innerhalb der Montage weiter befördert. Sie wurden mit Bauteilattributen versehen, die Informationen über das Bauteil enthalten.</p>
	<p><u>Förderhilfsmittel:</u> Ist ein BE, auf dem Fördergüter gelagert und bewegt werden. Förderhilfsmittel in der Modellierung sind die Teilewägen, die von Vormontagearbeitsplätzen zu Linienarbeitsplätzen gebracht werden und die benötigten Bauteile in Form von Fördergütern beinhalten, sowie alle in der Simulation modellierten Schütten.</p>
	<p><u>Fahrzeug:</u> Das Fahrzeug kann sich auf Wegen fortbewegen. Es verfügt über einen Antrieb und kann BEs auf- und abladen. In der Simulation wird der Milkrunwagen mit Hilfe eines Fahrzeuges modelliert.</p>

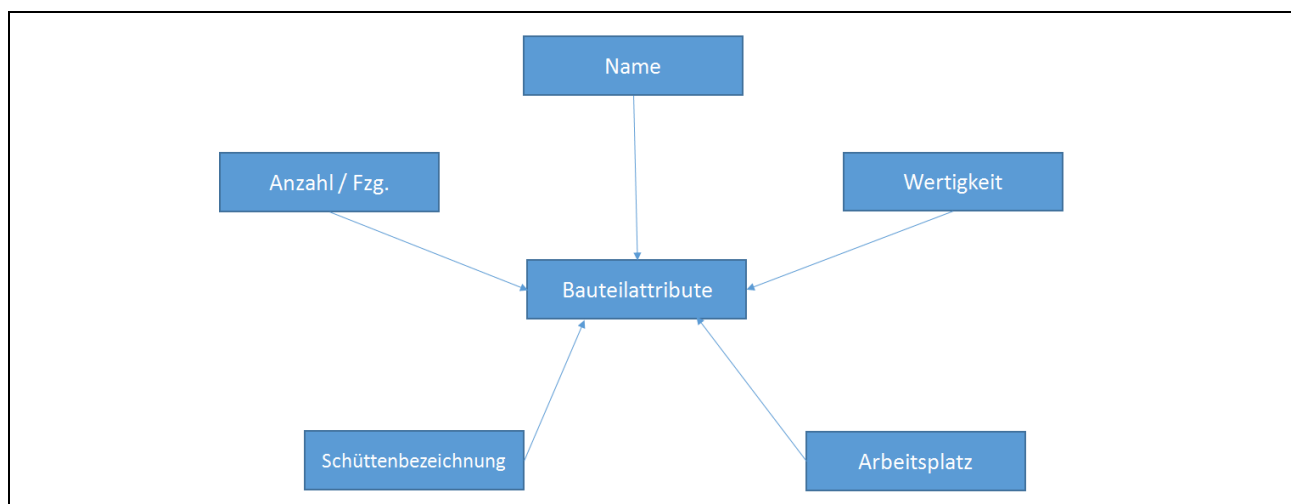
Um die Fördergüter und Förderhilfsmittel zwischen den Arbeitsplätzen transportieren zu können, werden die einzelnen Netzwerke, Arbeitsplätze, Puffer, usw. mit Materialflusselementen verbunden (vergleiche Abbildung 3.12, etc.). Die verwendeten Materialflusselemente sind in Tabelle 3.5 aufgelistet.

Tabelle 3.6: Materialflusselemente im Simulationsmodell

	<p><u>Kante:</u> Innerhalb eines Netzwerkes verbindet eine Kante zwei Objekte, bzw. kann sie Objekte mit Unternetzwerken verbinden.</p>
	<p><u>Flusssteuerung:</u> Mit Flusssteuerungen werden Bauteile innerhalb des Netzwerkes verteilt. Die Verteilkriterien sind dabei programmierbar.</p>
	<p><u>Übergang:</u> Verbindungen zwischen Netzwerken werden mit Übergängen realisiert. Im Unternetzwerk bezeichnet das Symbol Übergang die Schnittstelle zwischen dem Ein- oder Ausgang eines Unternetzwerkes und einem Objekt.</p>

### Erstellung der Bauteile:

Die A- und B/C-Teile, die in der Simulation verwendet wurden, mussten in einem ersten Schritt aus Fördergütern erzeugt werden. Dafür wurden sie mit Attributen versehen, die Informationen über die jeweiligen Bauteile beinhalten. In der Grobplanung wurden für die Bauteile die Wertigkeit, die Lagereinheit, usw. festgelegt. Abbildung 3.9 zeigt, welche Informationen den Fördergütern bei Modellierungsbeginn zugewiesen wurden.

Abbildung 3.9: Bauteilattribute<sup>204</sup>

<sup>204</sup> Eigene Darstellung

Abbildung 3.10 zeigt die Attribute, die den Bauteilen im Modell zugewiesen wurden. Exemplarisch für alle Bauteile sieht man die Attribute des rechten Traggelenkes, welches bei Arbeitsplatz VM1 verbaut wird. Es wurde bei der Erstellung des Bauteiles festgelegt, welchen Namen das Bauteil bekommt, wo es verbaut wird, wie viele Teile pro Fahrzeug benötigt werden und welche Wertigkeit das Bauteil besitzt (ob es sich um ein Logistik A- oder B/C-Teil handelt).

Name	Wert	Typ
Schütte	LF531GZW	string
Station	VM1	string
Stueck_pro_Fahrzeug	2	integer
Wertigkeit	C	string

Abbildung 3.10: Attribute der modellierten Fördergüter<sup>205</sup>

Die benötigten Bauteile wurden in der Klassenbibliothek des Simulationsmodells wie in Abbildung 3.11 gegliedert. Die Arbeitsplätze von BB1 bis IBN1 wurden in Ordnern angelegt, in denen sich die Unterordner Eingang und Ausgang befinden (bei manchen Arbeitsplätzen zusätzlich der Unterordner Zwischenlagerung). Im Unterordner Eingang befinden sich alle A- und B/C-Teile die am jeweiligen Arbeitsplatz verbaut werden, in Ausgang befinden sich die Bauteile, die dem nächsten Arbeitsplatz übergeben werden.

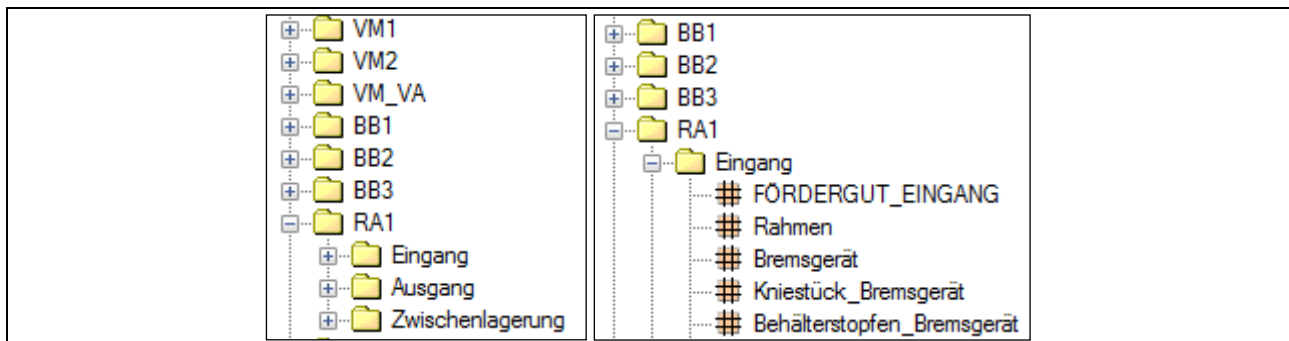


Abbildung 3.11: Gliederung der modellierten Fördergüter<sup>206</sup>

<sup>205</sup> Eigene Darstellung

<sup>206</sup> Eigene Darstellung

Nach der Definition aller notwendigen Bauteile eines Arbeitsplatzes, konnte mit der Modellierung der Montagevorgänge begonnen werden, in der die zuvor erzeugten Bauteile zu Baugruppen montiert werden.

Die Montagevorgänge unterscheiden sich dabei abhängig davon, ob es sich bei dem Arbeitsplatz um einen Linienarbeitsplatz oder einen Vormontearbeitsplatz handelt, geringfügig. Bei Linienarbeitsplätzen werden Bauteile der Reihe nach auf ein einzelnes Hauptteil montiert, während bei Vormontageplätzen Baugruppen erzeugt werden, die auf Teilwägen gelagert werden.

#### 3.4.2.2 Linienarbeitsplätze

Exemplarisch für die Linienarbeitsplätze wird die Modellierung von RA1 erklärt. Diese Vorgehensweise ist bei jedem anderen Arbeitsplatz der Hauptlinie, Batterieboxlinie und Kabinenlinie analog. Im ersten Schritt wurden alle Bauteile die zur Montage benötigt werden, wie im vorigen Kapitel erklärt, definiert.

Im nächsten Schritt wurde jedem definierten Fördergut, das im Eingangsordner gelistet ist, im Simulationsmodell ein Eingangspuffer zugewiesen, über den die Teile dem Arbeitsplatz zugeführt werden können. Die Eingangspuffer wurden mit Sortierer-Bausteinen realisiert um den Zugriff auf den Inhalt regeln zu können, was bei Pufferelementen nicht möglich ist.

Um auf einzelne Bauteile innerhalb der Schütten zugreifen zu können, befindet sich dem Sortierer nachgeschaltet ein Puffer, der Einzelteilpuffer. Er zieht Bauteile aus den Schütten der Sortierer und gibt sie nachgelagerten Montagestationen etc. zur Bearbeitung weiter.

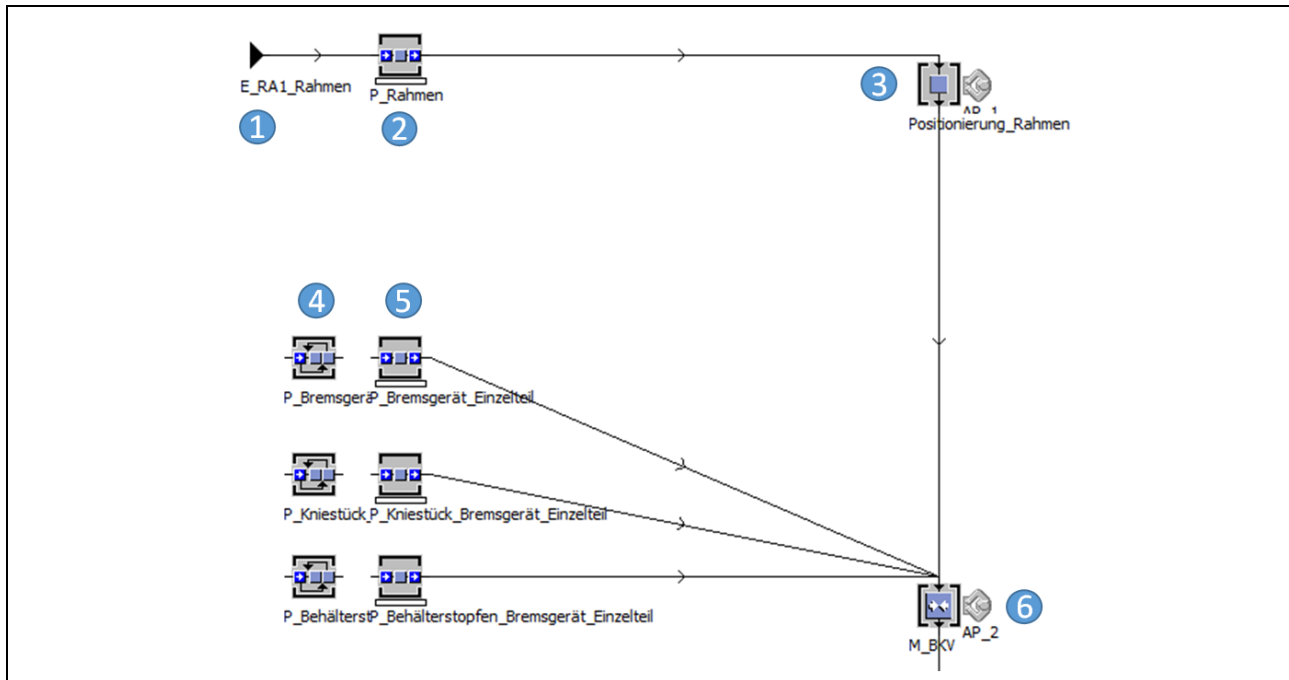


Abbildung 3.12: Montageprozess Linienarbeitsplätze<sup>207</sup>

### Montageablauf im Modell:

Beim Arbeitsplatz RA1 wird zur Montage ein Rahmen benötigt, auf dem die restlichen Bauteile montiert werden. Zu Produktionsstart wird ein Roh-Rahmen über den Übergang (1) in das Netzwerk befördert und im Einzelteilpuffer des Rahmens (2) gelagert. Der erste Arbeitsschritt ist das Positionieren des Rahmens (3). Nachdem die eingestellte Bearbeitungszeit abgelaufen ist, wird der Rahmen über die Kante zur Montagestation (6) weiter befördert und die zur Montage notwendigen Bauteile aus den Sortierern (4) in die Einzelteilpuffer umgelagert (5). Sobald alle Bauteile in der richtigen Reihenfolge vorhanden sind, werden die Einzelteile in der Montagestation gelöscht und der Rahmen nach Ablauf der Montagezeit zur nächsten Montagestation weiter befördert und die notwendigen Bauteile aus den nächsten Sortierern in die Einzelteilpuffer umgelagert. Nach Durchlaufen aller Montagestationen wird der Rahmen in einem Puffer gelagert und bei Beginn des nächsten Taktes zum Arbeitsplatz RA2 umgelagert.

<sup>207</sup> Eigene Darstellung

### 3.4.2.3 Vormontagearbeitsplatz

Für die Vormontageplätze wird die Modellierung exemplarisch für den Arbeitsplatz VM1 gezeigt. Der Aufbau der Vormontagearbeitsplätze ist dem der Linienarbeitsplätze sehr ähnlich, jedoch werden nicht alle Bauteile an einem anderen Bauteil angebaut, wie es bei der Kabine, der Batteriebox und dem Rahmen der Fall ist, sondern es werden mehrere Baugruppen zusammengefügt, die im Anschluss auf einem Teilwagen gepuffert werden.

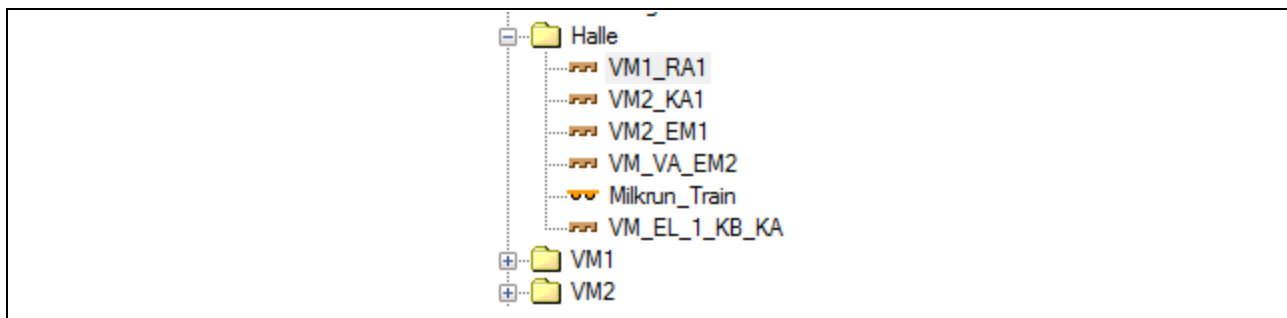


Abbildung 3.13: Förderhilfsmittel im Simulationsmodell

Die jeweiligen Teilwägen sind wie die Fördergüter ebenfalls BEs und werden aus Förderhilfsmitteln erzeugt. Abbildung 3.13 zeigt die definierten Förderhilfsmittel in der Klassenbibliothek des Simulationsmodells.

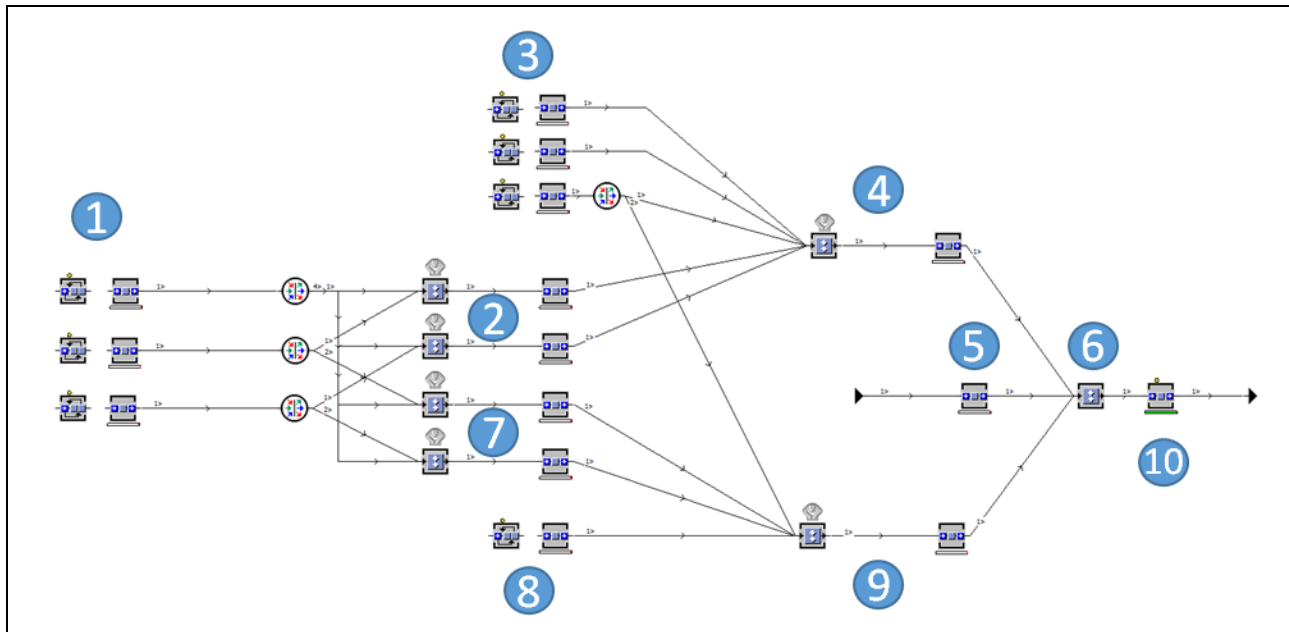


Abbildung 3.14: Montageprozess Vormontagearbeitsplätze<sup>208</sup>

### Montageablauf im Modell:

Zu Produktionsstart werden alle Bauteile die zur Montage der ersten Baugruppe notwendig sind, aus den Sortierern in die Einzelteilpuffer in der der richtigen Stückzahl umgelagert (1). Anschließend erfolgt die Montage der hinteren Querlenker (2). Sind die Querlenker vormontiert und in den Puffern gelagert, werden die für die Vormontage der hinteren Achsträger notwendigen Bauteile in die Einzelteilpuffer umgelagert (3) und die beiden Achsträger in weiterer Folge vormontiert und gepuffert (4). Der Eingang der Teile in den Puffer triggert folgende Ereignisse:

- Ein leerer Teilwagen (VM1\_RA1) wird zu Produktionsstart über einen Übergang in das Unternetzwerk befördert und am Arbeitsplatz bereitgestellt (5). Er wird einer weiteren Montagestation (6) als Hauptteil zugeführt.
- Die Teile für die Vormontage der vorderen Querlenker notwendig sind, werden aus den Schütten der Sortierer in die Einzelteilpuffer umgelagert (7).

Nach Montage und Eingang der Querlenker in die Puffer (7), werden noch die notwendigen Komponenten für die vordere Achsträger Vormontage umgelagert (8), mit den Querlenkern verbaut und gepuffert (9).

<sup>208</sup> Eigene Darstellung



Der Eingang der Teile in den Puffer (9) sendet wiederum ein Signal zur Auslagerung der nächsten benötigten Bauteile innerhalb des Unternetzwerkes VM1.

Sind alle Bauteile in der mit der Montagestation (6) verbundenen Puffern vorhanden, werden die Teile aus den Puffern in die Montagestation umgelagert und anschließend als voller Teilwagen in (10) gepuffert

Bei Beginn des nächsten Arbeitstaktes wird der volle Montagewagen über den Übergang zu RA1 umgelagert und der in RA1 geleerte Teilwagen zu VM1 umgelagert.

In Abbildung 3.15 ist ein leerer Puffer und derselbe Puffer mit teilweise befülltem Teilwagen dargestellt.

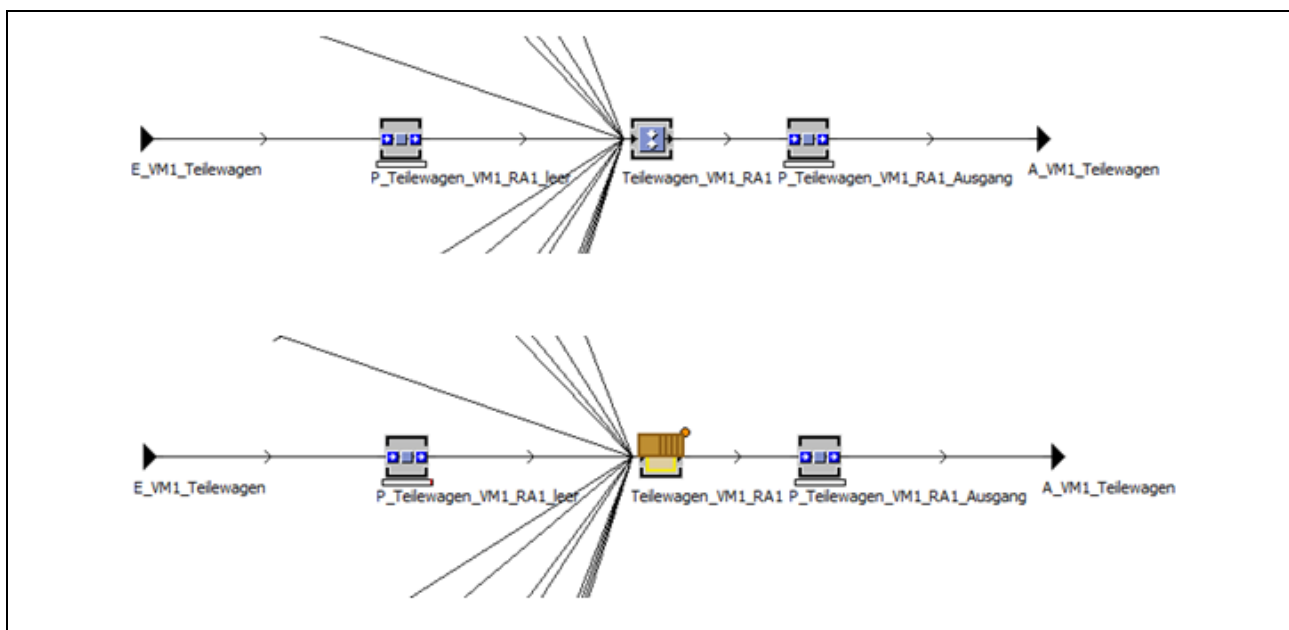


Abbildung 3.15: Teilwagen innerhalb eines Vormontagearbeitsplatzes<sup>209</sup>

#### 3.4.2.4 Elektrik-Vormontagearbeitsplatz

Die Modellierung der Elektrik-Vormontagearbeitsplätze geschieht nach dem gleichen Prinzip wie die Modellierung der Vormontagearbeitsplätze, die im vorderen Kapitel beschrieben wurde.

Der Unterschied liegt darin, dass die fertigen Teile nicht auf einen Teilwagen umgelagert werden, sondern über eine Flusssteuerung (1) in einen Puffer (2) eingelagert werden.

<sup>209</sup> Eigene Darstellung

Treffen Teile im Puffer ein, werden sie über einen Algorithmus in einen Lagerbaustein umgelagert, in dem sie nach Bauteilen sortiert gepuffert werden.

Von diesem Lager aus wird über den Milkrunner die Produktion versorgt.

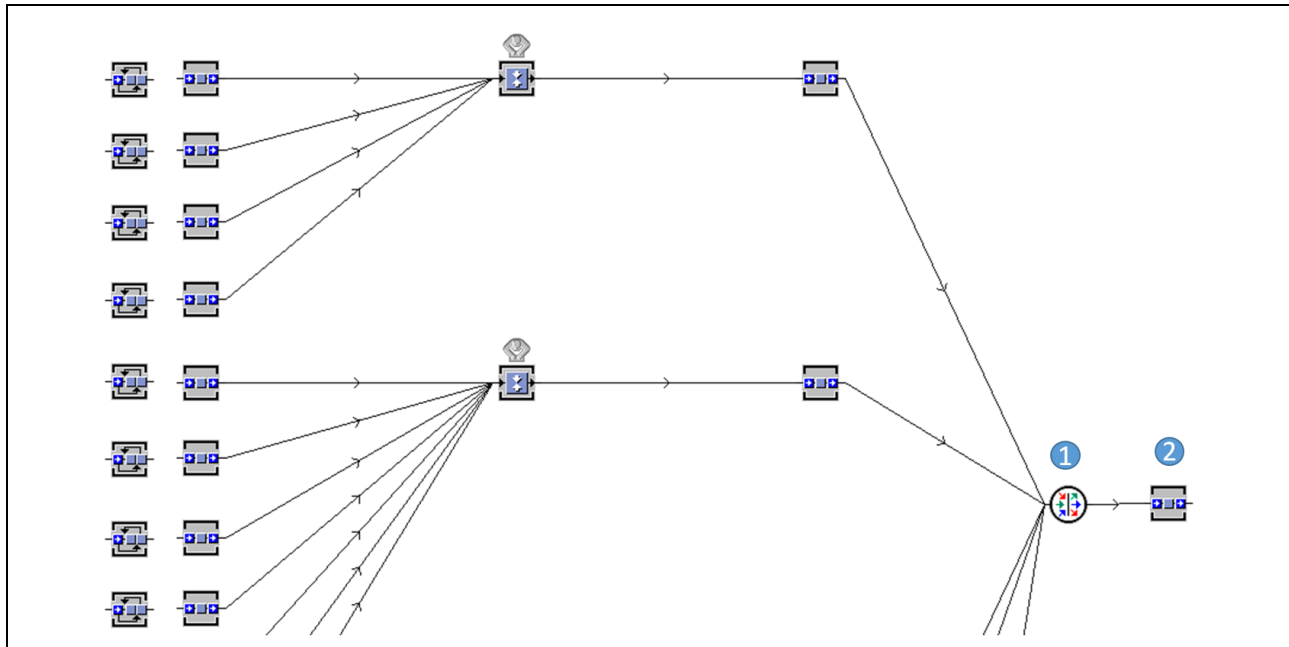


Abbildung 3.16: Montageprozess Elektrik-Vormontagearbeitsplätze<sup>210</sup>

Teilweise sind innerhalb der Elektrik-Vormontagearbeitsplätze auch Einzelstationen vorhanden, mit denen Vorgänge wie Kabel ablängen, Crimpen, etc. simuliert werden. Nach Abschluss der Tätigkeiten werden alle Teile in Puffer umgelagert und die Bauteile für die anschließenden Arbeitsstationen umgelagert.

### 3.4.2.5 Kabelbaumarbeitsplatz

Die in VM\_EL1 abgelängten und gecrimpten Kabel werden von den Montagearbeitern in Kabelwägen zu den Kabelbaumarbeitsplätzen transportiert.

Die Kabelwägen sind in der Simulation nicht abgebildet, da das Modell nur den Milkrun und den Transport von Bauteilen mit Teilwägen explizit darstellt. Der Transport der Kabel geschieht innerhalb des Modells über einen Umlageralgorithmus.

<sup>210</sup> Eigene Darstellung

Als Beispiel für die Fertigung eines Kabelbaums ist in Abbildung 3.17 der Arbeitsplatz KB\_UB abgebildet.

#### Montageablauf im Modell:

Sobald die Produktion des Kabelbaums gestartet wird und die Kabel im Eingangspuffer (1) vorhanden sind, wird ein benötigter Kabelsatz in den Einzelteilpuffer (2) umgelagert. Weiters werden die Stecker, Buchsen, etc. aus den Schütten innerhalb der Sortierer in die Einzelteilpuffer umgelagert (3) und die Montage des Kabelbaums gestartet.

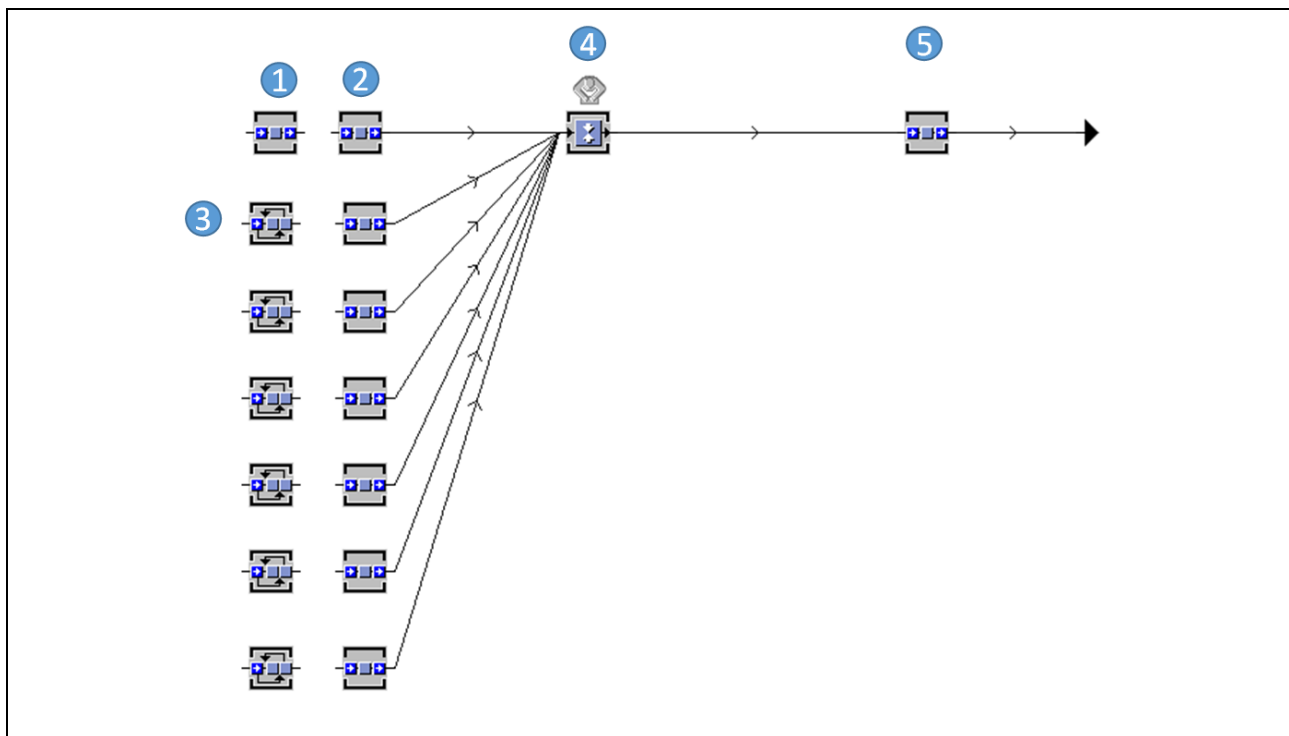


Abbildung 3.17: Montageprozess Kabelbaumfertigung<sup>211</sup>

#### 3.4.2.6 Programmierung der Eingangspuffer

Zum Start der Produktion müssen alle Eingangspuffer mit den in Kapitel 3.4.2.1 definierten Fördergüter befüllt werden, um die für die Montage benötigten Bauteile bereit zu stellen.

Innerhalb der Eingangspuffer müssen die Schütten generiert werden, die mit den Bauteilen befüllt werden.

<sup>211</sup> Eigene Darstellung

Wie in der Grobplanungsphase festgelegt, wurden 2 Schütten bzw. Regalfächer pro Bauteil definiert, in denen die notwendige Anzahl von Bauteilen bereitgestellt wird.

Um das auch im Simulationsmodell umzusetzen, wurde jeder Eingangspuffer mit einer Init-Methode versehen, die bei Abruf des Sortierers die Förderhilfsgüter und Fördergüter erzeugt.

Innerhalb der Methode wurden mehrere lokalen Variablen definiert, wie in Abbildung 3.18 ersichtlich. Die Variablen „local\_Schütte“, „local\_Artikel“ und „local\_Puffer“ sind Variablen vom Typ „Object“.

```
local_schütte : object;  
local_Artikel : object;  
local_Puffer : object;  
Anzahl_Init : Integer;  
parameterconfig : Integer;
```

Abbildung 3.18: Lokale Variablen, Eingangspuffer<sup>212</sup>

Ihnen wird zu Beginn ein Wert zugewiesen. Der aufgerufene Sortierer wird als „local\_Puffer“ definiert und das Bauteil das darin erzeugt werden soll, wird als „local\_Artikel“ definiert, wie in Abbildung 3.19 gezeigt, wo ein Bremsgerät erklärt wird.

```
local_Puffer := @;  
local_Artikel := .BEs.RA1.Eingang.Bremsgerät;
```

Abbildung 3.19: Zuweisung von Werten an die lokalen Variablen

Als Variable „local\_Schütt“e wird das Förderhilfsmittel definiert, das dem Bauteil zugewiesenen Attribut entspricht, siehe Abbildung 3.20. Dieses Attribut wurde dem Bauteil bei seiner Erstellung am Anfang der Modellierung zugewiesen.

---

<sup>212</sup> Eigene Darstellung

Erzeugbare Förderhilfsmittel (Auswahl):

- Sichtlagerkasten LF211ZW
- Sichtlagerkasten LF221ZW
- Sichtlagerkasten LF421G
- Sichtlagerkasten LF531GZW
- Sichtlagerkasten LF533GZW
- Regalfach mittel
- Regalfach groß
- Weitere Regalfächer

Die Methode kontrolliert, welches Förderhilfsmittel dem Bauteil zugewiesen wurde. Abbildung 3.20 zeigt einen Ausschnitt aus der Methode. Dem zu erzeugenden Bauteil ist eine Schütte LF421G zugeordnet. Dementsprechend werden im lokalen Puffer (entspricht dem ausgewählten Eingangspuffer) innerhalb der for-Schleife 2 Sichtlagerkästen vom Typ LF421G erzeugt.

```
if local_Artikel.Schütte = "LF421G" then
    parameterconfig := 1;
    for i:=1 to local_Puffer.kapazität loop
        local_schütte := .BEs.Sichtlagerbox.LF421G.erzeugen(local_Puffer);
```

Abbildung 3.20: Schüttenerzeugung<sup>213</sup>

Innerhalb dieser beiden Förderhilfsmittel werden anschließend die Bauteile erzeugt. Wie viele erzeugt werden, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Wertigkeit der Bauteile (A- oder B/C- Teile)
- Anzahl der benötigten Teile pro Fahrzeug
- Milkrunstrategie

---

<sup>213</sup> Eigene Darstellung

Es wurden mehrere Milkrunstrategien programmiert. In einer Version (Nivellierung des Schüttenoutputs), wurden für die beiden Förderhilfsmittel in den Eingangspuffern unterschiedliche Teileanzahlen programmiert.

Während im 2. Förderhilfsmittel, abhängig von der Wertigkeit, der halbe Tages- bzw. Wochenbedarf an Teilen erzeugt wird, wird die Teileanzahl des 1. Förderhilfsmittels über eine Tabelle gesteuert, die in den Unternetzwerken der Arbeitsplätze hinterlegt ist. Der Inhalt dieser Tabelle ist in Abbildung 3.21 gezeigt.

	object 1	integer 2
1	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Bremsgerät	1
2	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Kniestück_Bremsgerät	3
3	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Behälterstopfen_Bremsgerät	4
4	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Ausgleichsbehälter	3
5	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Behälterschlauch	5
6	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Zwei_Ohr_Schelle	6
7	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Leitungsbefestiger	6
8	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Bremskraftregler	5
9	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Halterung_Bremskraftregler	5
10	.Netzwerke.Produktionshalle.RA1.P_Bremsleitungsverteiler	6

Abbildung 3.21: Definition der Schüttenbelegungen im Simulationsmodell<sup>214</sup>

Einen Ausschnitt des Quellcodes zeigt Abbildung 3.22. In der ersten Schütte wird entsprechend der Variable „Anzahl\_Init“ ein Vielfaches der Stückzahl pro Fahrzeug erzeugt und in der 2. Schütte die halbe Tagesproduktion an Bauteilen, da es sich um ein A-Teil handelt.

<sup>214</sup> Eigene Darstellung

```
if local_Artikel.Wertigkeit = "A" then
    if parameterconfig = 0 then
        for j:=1 to local_artikel.stueck_pro_Fahrzeug*Anzahl_Init loop
            local_Artikel.erzeugen(local_Schütte);
        next;
    else
        for j:=1 to local_artikel.stueck_pro_Fahrzeug*2 loop
            local_Artikel.erzeugen(local_Schütte);
        next;
    parameterconfig := 0;
end;
```

Abbildung 3.22: Bauteilerzeugung innerhalb der Schütte<sup>215</sup>

Nach Start des Simulationslaufs werden die Eingangspuffer befüllt, Abbildung 3.23 zeigt eine Momentaufnahme vom Montageablauf bei Arbeitsplatz BB1. Die Batteriebox befindet sich gerade am 2. Arbeitsplatz (1). Ein Förderhilfsmittel am Eingangspuffer der Batteriebox (2) ist bereits leer und wird vom Milkrunner nachbefüllt. In Vorbereitung auf den nächsten Montageschritt wurden die benötigten Sortierer in die Einzelteilschütte umgelagert (3). An den restlichen Eingangspuffern befinden sich noch beide Förderhilfsmittel (4).

---

<sup>215</sup> Eigene Darstellung

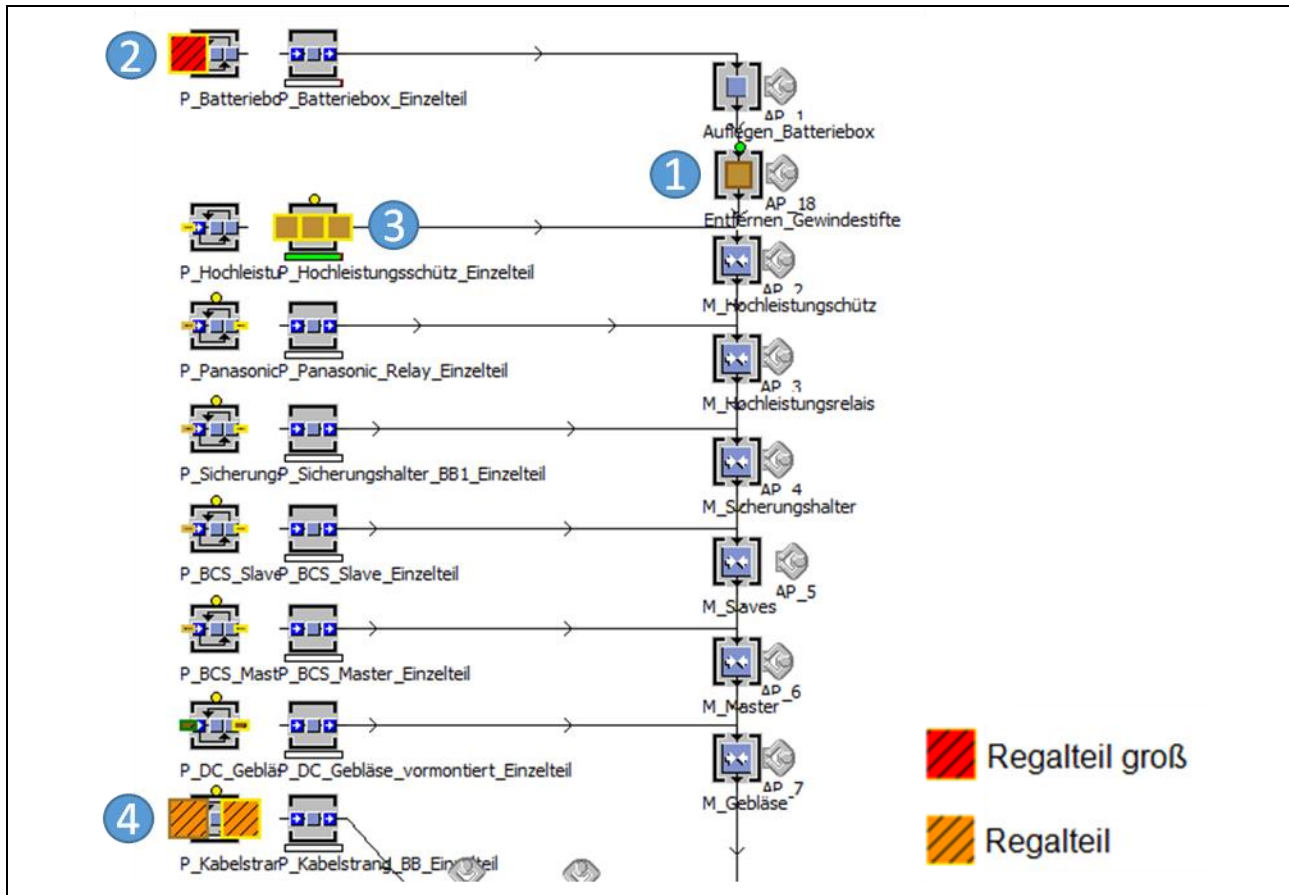


Abbildung 3.23: Belegte Eingangspuffer<sup>216</sup>

Zusätzlich zu der Programmierung der Schüttenbelegung musste die Umlagerung der Bauteile von den Sortierern in die Einzelteilpuffer programmiert werden. Dafür wurde innerhalb des Netzwerkes Produktionshalle die Methode „M\_Produktionsstart“ geschrieben, die bei Produktionsstart die benötigten Bauteile in die Einzelteilpuffer der einzelnen Unternetzwerke umgelagert wird.

### 3.4.2.7 Fördermittelrückgabe zum Milkrunner

Wenn alle Bauteile einer Schütte oder eines Regalfaches verbaut wurden, wird die Schütte oder die Kanbankarte in den Puffer „Lager\_DLR\_Rückgabe“ umgelagert. Ein Algorithmus überprüft zu welchem Regal das leere Förderhilfsmittel gehört, lagert es entweder zu einem Regal- oder Durchlaufregalpuffer innerhalb des Unternetzwerkes um und anschließend wird es über eine Kante zu einem Übergang transportiert. Über diesen

<sup>216</sup> Eigene Darstellung



gelangt es zurück zum Hauptnetzwerk, wo es wie in Abbildung 3.31 ersichtlich gepuffert wird und vom Milkrunner entnommen werden kann.

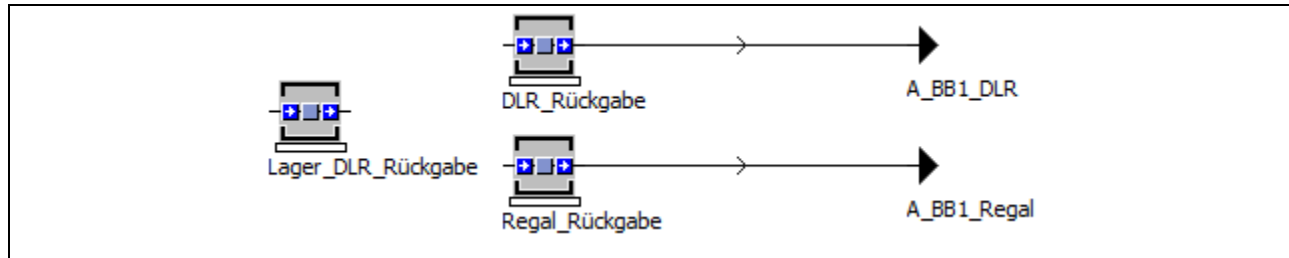


Abbildung 3.24: Puffer für leere Schütten und Kanbankarten<sup>217</sup>

### 3.4.2.8 Montagezeiten

Abhängig davon, wie viel Fahrzeuge produziert werden, ändert sich die Bearbeitungsdauer der Montagevorgänge an den Linienarbeitsplätzen.

Sollen 8 Fahrzeuge pro Tag produziert werden, wird die Arbeiteranzahl an den Linienarbeitsplätzen verdoppelt, so dass sich die Montagedauer halbiert.

An den Vorarbeitsplätzen und in der Kabelfertigung werden die Arbeitsplätze dupliziert, somit bleibt die Montagedauer wie bei einer Tagesproduktion von 4 Fahrzeugen.

Um auch eine Anlaufphase abzubilden, in der 2 Autos pro Tag montiert werden, wurde eine zusätzliche Tabelle innerhalb der Unternetzwerke angelegt, in der die Bearbeitungszeiten verdoppelt wurden.

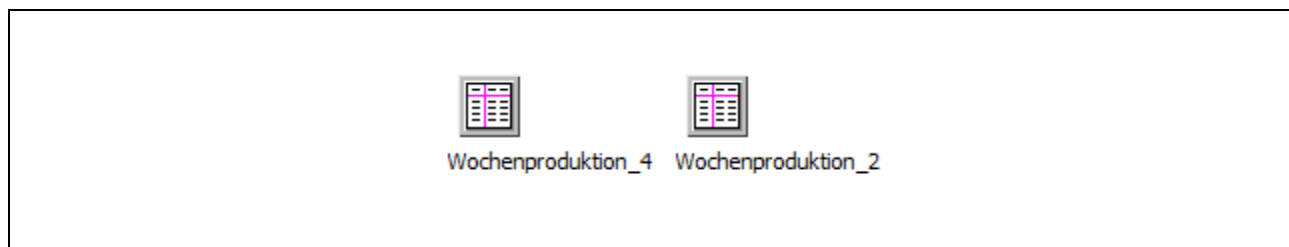


Abbildung 3.25: Tabellen mit hinterlegten Bearbeitungszeiten<sup>218</sup>

Abbildung 3.25 zeigt die Tabellen, wie sie im Unternetzwerk eines Vormontagearbeitsplatzes vorhanden sind. In Tabellen „Wochenproduktion\_4“ und

<sup>217</sup> Eigene Darstellung

<sup>218</sup> Eigene Darstellung

„Wochenproduktion\_2“ sind die Bearbeitungszeiten hinterlegt, die für eine Taktzeit von 2 bzw. 4h abgestimmt sind.

	object 1	time 2
string	Station	Bearbeitungszeit
1	Positionierung_Rahmen	1:00.0000
2	M_BKV	3:00.0000
3	M_Behälter_Bremsflüssigkeit	4:00.0000
4	M_Leitungsbefestiger	1:00.0000
5	M_BKR	2:00.0000
6	M_Bremsleitungsverteiler	50.0000

Abbildung 3.26: Geöffnete Tabelle mit Bearbeitungszeiten<sup>219</sup>

Abbildung 3.26 zeigt den Inhalt einer Tabelle mit den Objekten und den dazugehörigen Bearbeitungszeiten. In der Init-Methode des Unternetzwerkes RA1 wurde festgelegt, wann welche Bearbeitungszeit verwendet werden soll. Die Init-Methode wird vom Programm automatisch aufgerufen, sobald das Unternetzwerk aktiviert wird. Ausschlaggebend dafür ist die Variable Wochenproduktion, wie in Abbildung 3.27 im Quellcode ersichtlich.

---

<sup>219</sup> Eigene Darstellung

```

i: integer;

do

if .Netzwerke.Produktionshalle.Wochenproduktion = 4 then

    for i:=1 to .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_4.ydim loop

        .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_4["Station",i].bearbeitungszeit :=
        .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_4["Bearbeitungszeit",i];

    next;

elseif .Netzwerke.Produktionshalle.Wochenproduktion = 8 then

    for i:=1 to .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_8.ydim loop

        .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_8["Station",i].bearbeitungszeit :=
        .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_8["Bearbeitungszeit",i];

    next;

elseif .Netzwerke.Produktionshalle.Wochenproduktion = 2 then

    for i:=1 to .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_2.ydim loop

        .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_2["STation",i].bearbeitungszeit :=
        .Netzwerke.Produktionshalle.RA1.Wochenproduktion_2["Bearbeitungszeit",i];

    next;

```

Abbildung 3.27: Init-Methode zur Bestimmung der Bearbeitungsdauer<sup>220</sup>

### 3.4.3 Modellierung des Lagers

Im Simulationsmodell wurde auch das Lager innerhalb der Produktionshalle abgebildet. Die Abmaße des bestehenden Lagers wurden dabei in das Modell übertragen und in einzelne Bereiche gegliedert, in denen die Bauteile dem Arbeitsplatz entsprechend gelagert werden, in dem sie verbaut werden.

Grundlage für das Modell des Lagers in der Grobplanung war die bereits bestehende Anordnung des Lagers in der Produktionshalle. Aus der Planung des Lagerbedarfes hat sich ergeben, dass bei einem Sicherheitsbestand von 2 Wochenproduktionen an

<sup>220</sup> Eigene Darstellung

Bauteilen im Lager, die zusätzliche Verwendung der eingeplanten Lagererweiterung notwendig ist.

Das hat zur Folge, dass das Lager erweitert und die Milkrunroute angepasst werden muss. Für die Simulation hat diese Änderung des Lagers nur geringe Auswirkungen (effektiv ändert sich nur die Weglänge durch das Lager). Es wurde darauf verzichtet das Lager und die Milkrunroute im Modell zu ändern, da das erstellte Modell ein hinreichend genaues Ergebnis liefert.

#### Ein Lagersegment besteht aus folgenden Objekten:

- Lagerbaustein

Hier werden die Bauteile generiert und gelagert. Der Milkrunner entnimmt die Bauteile die für die Montage des Fahrzeuges benötigt werden aus dem Lagerbaustein und lagert sie in den Anhänger des Milkrunwagens um.

- Tabelle mit Bauteileigenschaften

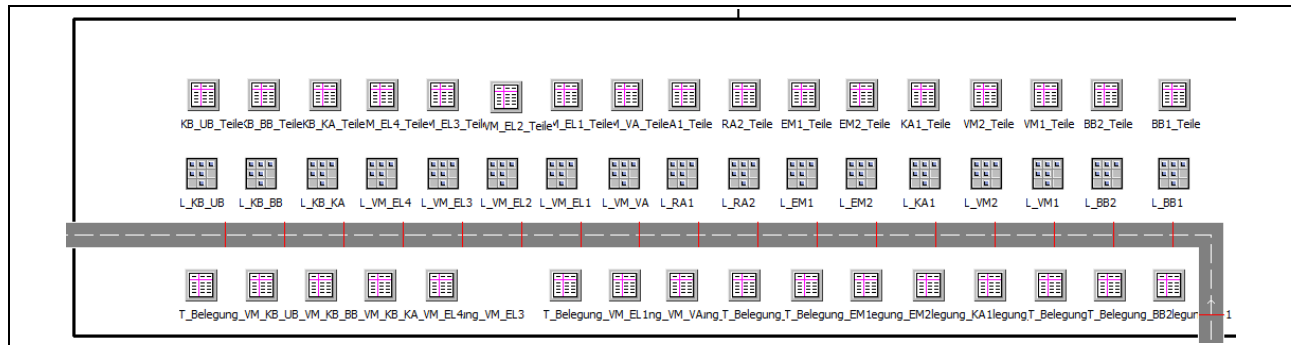
Um bestimmen zu können, welche Bauteile in welchem Abschnitt des Lagers erzeugt werden sollen, zu welchem Arbeitsplatz sie gehören und zu welchem Sortierer die Bauteile weiter transportiert werden sollen, wurde eine Tabelle mit den entsprechenden Information erzeugt.

- Inhaltstabelle

Eine weitere Tabelle zeigt den im Moment vorhandenen Inhalt des Lagerbausteins an. Diese Tabelle dient zur Übersicht und Kontrolle.

- Haltestelle

Der Weg durch das Lager wurde durch eine Transportstrecke modelliert, auf dem sich das Fahrzeug bewegen kann und die eine definierte Länge hat. Der Weg durch den Lagerbereich im Modell ist in Abbildung 3.28 ersichtlich.

Abbildung 3.28: Modellierung des Lagerbereiches<sup>221</sup>

Auf diesem Weg verfügt jeder Lagerbaustein über eine Haltestelle, an der der Milchrunner den Milchrunzug stoppt und überprüft ob ein Auftrag zur Wiederbefüllung (= vorhandene leere Schütte bzw. Kanbankarte) vorliegt. Diese Haltestellen werden mittels Sensoren realisiert. Jeder Sensor besitzt eine ID, eine zugewiesene Position entlang des Weges und besitzt eine Methode, die aufgerufen wird, sobald der Sensor vom Milchrunzug erreicht wird.

ID	Position	Bug	Heck	L.	Pfad
18	1m	x			self.Sensor_ctrl_Lager_ein
1	3.4m	x			self.Sensor_ctrl_BB1
2	4.6m	x			self.Sensor_ctrl_BB2
3	5.8m	x			self.Sensor_ctrl_VM1
4	7m	x			self.Sensor_ctrl_VM2
5	8.2m	x			self.Sensor_ctrl_KA1
6	9.4m	x			self.Sensor_ctrl_EM2
7	10.6m	x			self.Sensor_ctrl_EM1
8	11.8m	x			self.Sensor_ctrl_RA2
9	13m	x			self.Sensor_ctrl_RA1

Abbildung 3.29: Modellierung von Haltestellen mittels Sensoren<sup>222</sup>

<sup>221</sup> Eigene Darstellung

<sup>222</sup> Eigene Darstellung

#### Aufgaben der aufgerufenen Methode:

- Überprüfen ob sich Schütten oder Kanbankarten am Milkrunwagen befinden

Wenn ja, stoppt der Milkrunner an den Sensoren. Ist weder eine Schütte noch eine Kanbankarte auf den Anhängern vorhanden, fährt er ohne zu stoppen durch das Lager.

- Überprüfung der Kanbankarten / Schütten

Sind leere Behälter oder Kanbankarten vorhanden, wird kontrolliert ob sie zum jeweiligen Arbeitsplatz gehören.

- Befüllen der Schütten / Milkrunanhänger mit Bauteilen und Umlagern der Schütten am Milkrunanhänger

### **3.4.4 Hauptnetzwerk**

Im Hauptnetzwerk wurden die abgebildeten Arbeitsplätze wie im realen Layout angeordnet und durch Transportwege miteinander verbunden.

#### 3.4.4.1 Arbeitsplätze innerhalb der Produktionshalle

Um die Arbeitsplätze in der Produktionshalle abzubilden, sind neben den programmierten Unternetzwerken, in denen die eigentliche Montage der Bauteile stattfindet, weitere Bausteine notwendig, um die Produktion ablaufen zu lassen.

Als Übergang zwischen den Netzwerken dienen die Regale an den Arbeitsplätzen. In der Ebene des Hauptnetzwerkes werden sie in Form von 3 Sortierern modelliert (vgl. Abbildung 3.31):

- Eingangspuffer
- Ausgangspuffer Regal
- Ausgangspuffer Durchlaufregal

In der Ebene der Unternetzwerke werden die Regale in Form von Eingangspuffern und dem Puffer für leere Schütten und Kanbankarten modelliert. Abbildung 3.30 zeigt die Verbindung der Netzwerke.

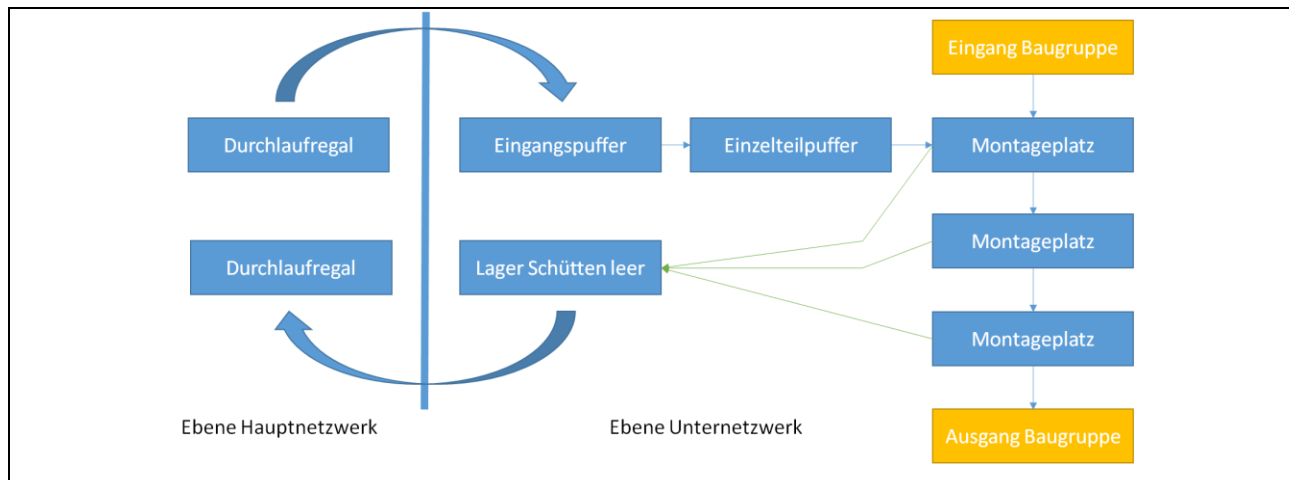


Abbildung 3.30: Netzwerkebenen innerhalb des Simulationsmodells<sup>223</sup>

In Abbildung 3.31 wird der Arbeitsplatz RA1 innerhalb des Netzwerkes Produktionshalle abgebildet. Der Arbeitsplatz besteht aus dem Unternetzwerk RA1 und den notwendigen Elementen zur Modellierung des Materialflusses.

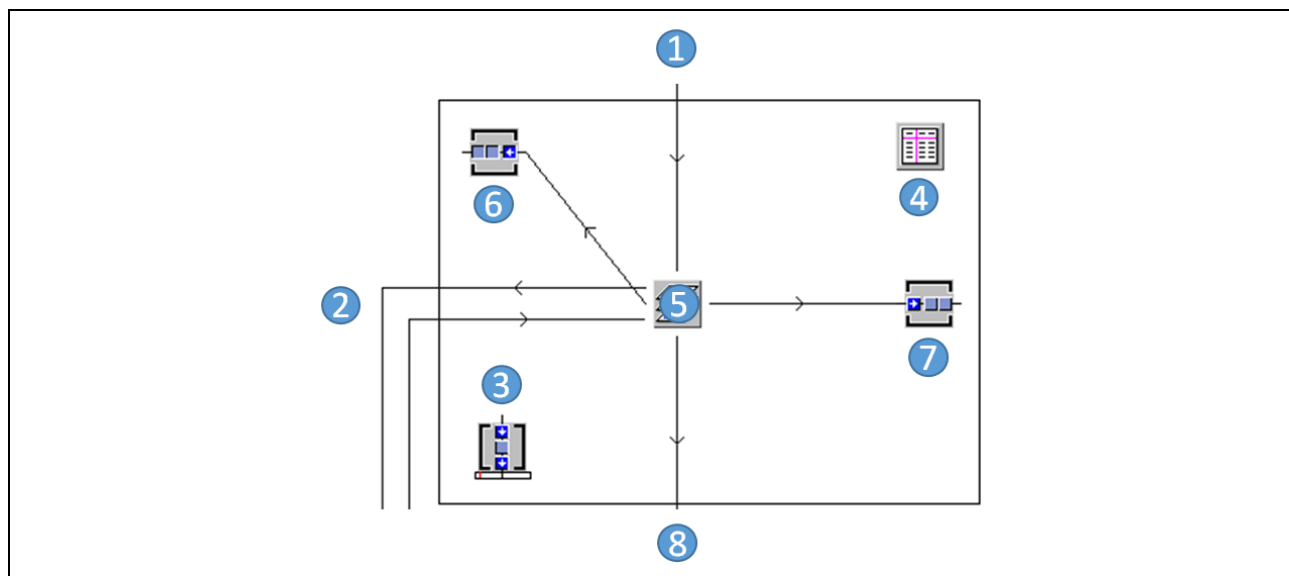


Abbildung 3.31: Arbeitsplatz RA1 im Netzwerk „Produktionshalle“<sup>224</sup>

Der Arbeitsplatz hat innerhalb der Simulation dieselben Abmessungen wie der reale Arbeitsplatz innerhalb des Produktionslayouts.

<sup>223</sup> Eigene Darstellung

<sup>224</sup> Eigene Darstellung

An das Unternetzwerk RA1 (5) wurden Ein- und Ausgangskanten hinzugefügt, über die Materialflüsse in das Unternetzwerk sowie aus dem Unternetzwerk hinaus möglich sind. Im Unternetzwerk der Arbeitsplätze dienen Übergangsbausteine als Verbindung zwischen den einzelnen Netzwerken. Bei Taktstart wird der Rahmen bei (1) über eine Kante in die Produktion eingeschleust (siehe Abbildung 3.12). Über die Ein- und Ausgangskante bei (5) gelangt der Teilwagen mit vorgefertigten Baugruppen in das Unternetzwerk.

Ein Puffer (3) dient als Eingangsregal für den Milkrun. Dort werden die benötigten Bauteile über einen Algorithmus in die jeweiligen Sortierer des Unternetzwerkes umgelagert (Die Tabelle im Lager und eine Tabelle am Arbeitsplatz (4) liefern die notwendigen Informationen dafür).

Die fertige Baugruppe wird zu Taktende über eine weitere Ausgangskante (8) zum Arbeitsplatz RA2 weiterbefördert. Leere Schütten und Kanbankarten gelangen in Sortierer (6) und (7), wo sie vom Milkrunner abgeholt und im Lager wieder befüllt werden.

#### 3.4.4.2 Layoutmodellierung

Alle Arbeitsplätze wurden analog zu Kapitel 3.4.4.1 modelliert und entsprechend ihrer Position innerhalb der Halle angeordnet. Abbildung 3.32 zeigt das Layout der Arbeitsplätze ohne Lager.



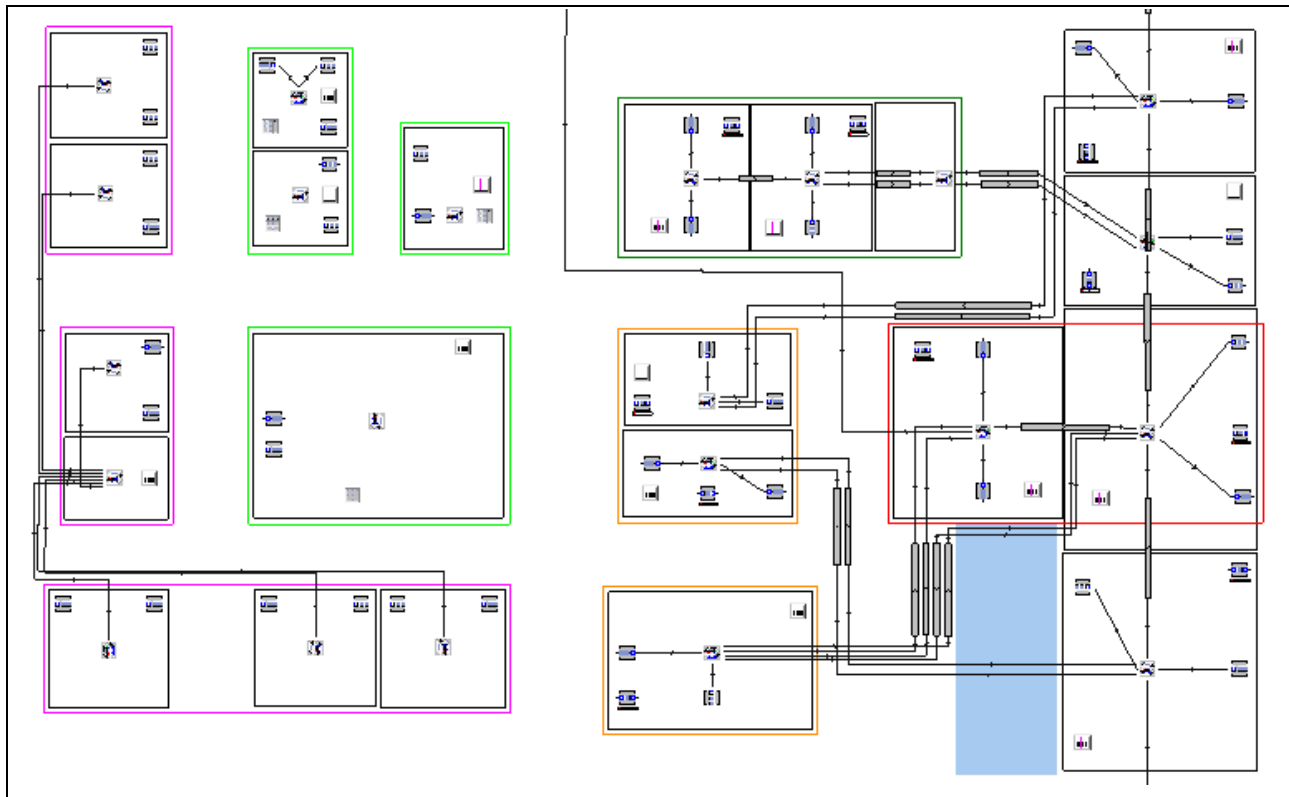


Abbildung 3.32: Anordnung der Arbeitsplätze innerhalb des Modells<sup>225</sup>

Um die Arbeitsplätze mit Bauteilen aus dem Lager zu versorgen, muss innerhalb des Layouts noch die Milkrunroute modelliert werden, auf dem sich der Logistiker bewegt und die Arbeitsplätze versorgt.

### 3.4.5 Milkrunroute

Der Prozess zur Findung des besten Weges durch die Produktion wird in Kapitel 3.5.4.1 beschrieben. In Abbildung 3.33 ist der im Modell erstellte Weg durch das Netzwerk „Produktionshalle“ ersichtlich. Der Weg ist durch eine Förderstrecke dargestellt, die am Ausgang des Lagers beginnt und an dessen Ende in den Lagerweg mündet.

<sup>225</sup> Eigene Darstellung

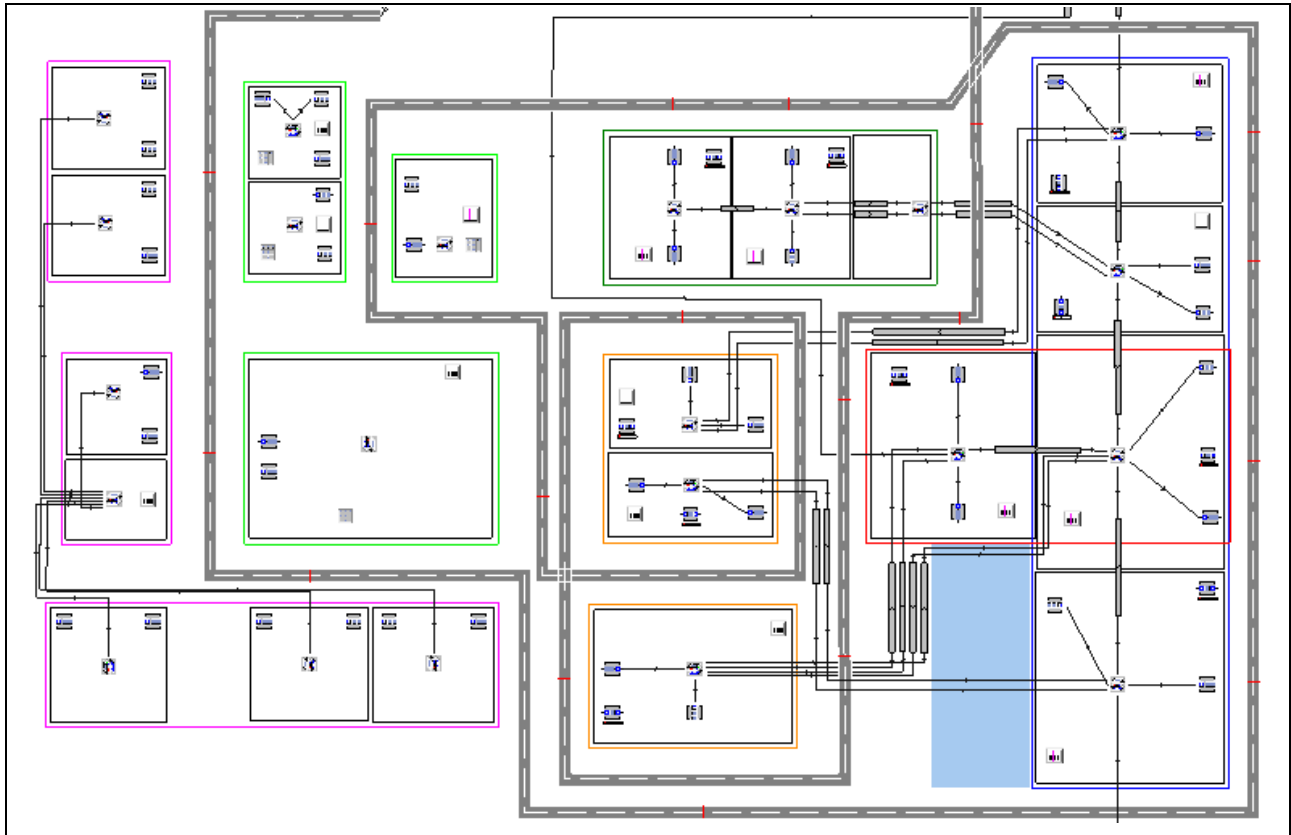


Abbildung 3.33: Produktionslayout im Simulationsmodell<sup>226</sup>

Der Weg ist mittels Kanten mit dem Weg durch das Lager verbunden und besitzt wie dieser Sensoren an definierten Stellen um Haltestellen zu modellieren.

### 3.4.5.1 Haltestellen

An diesen Sensoren hält der Milkrunwagen an und arbeitet die zugewiesene Methode ab. Es wurde jedem Regal ein Sensor zugewiesen.

Wenn der Milkrunwagen an der Haltestelle ankommt und sich im Puffer „P\_BB1\_DLR\_leer“ eine Schütte befindet, wird diese auf den Anhänger 1 des Milkrunwagens aufgeladen, falls dort noch Platz vorhanden ist.

Analog wird die Kanbankarte, die sich bei Puffer „P\_BB1\_Regal\_leer“ befindet aufgenommen, falls noch Platz am Milkrunwagen vorhanden ist.

<sup>226</sup> Eigene Darstellung

In weiterer Folge hat es sich als vorteilhaft erwiesen, mehrere Regale zu einer Haltestelle zusammenzufassen und innerhalb der Feinplanungsphase variierte die Anzahl und Position der modellierten Haltestellen mehrfach. Als Grundlage für die Simulation wurde die Variante mit den meisten Haltestellen (19 Sensoren) gewählt und modelliert.

### 3.4.5.2 Milkrundzug

Der Milkrundzug wurde anhand eines in Plant Simulation implementierten Fahrzeug-BEs modelliert. Der Milkrundzug soll sich auf der im vorigen Unterkapitel gezeigten Milkrundroute bewegen und an den programmierten Haltestellen stoppen.

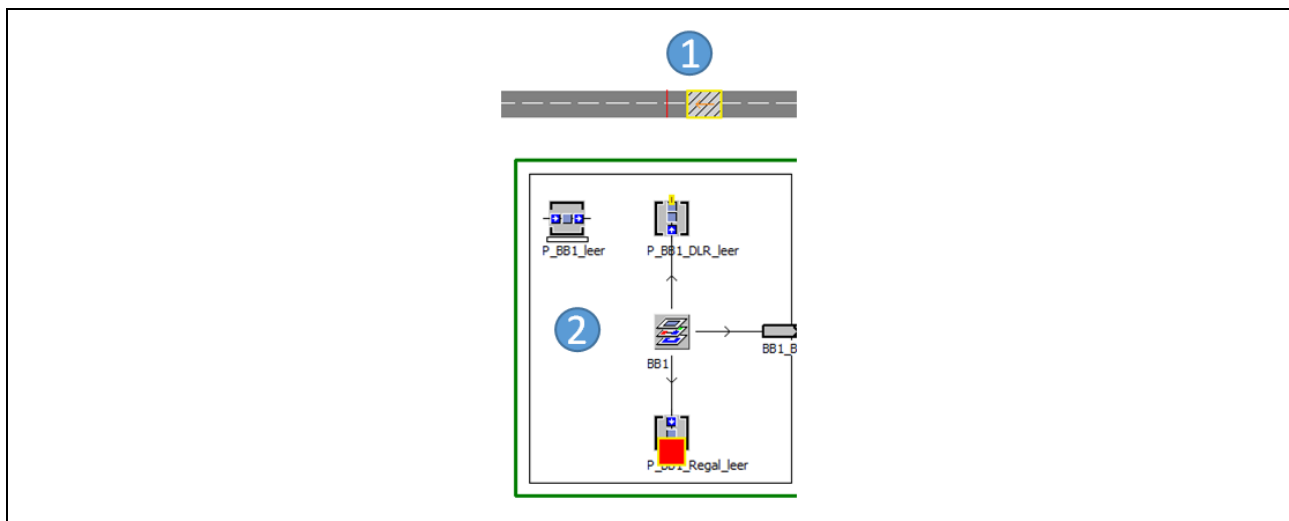


Abbildung 3.34: Modell des Milkrundzuges auf der Förderstrecke<sup>227</sup>

Der Milkrundzug wird durch ein besonderes BE, ein Fahrzeug dargestellt. In Abbildung 3.34 befindet sich der Milkrundzug (1) am Sensor für das Durchlaufregal (DLR) des Arbeitsplatzes BB1 (2). Der gesamte Zug, der aus Zugmaschine und mehreren Anhängern besteht, wurde in einem Fahrzeugsymbol zusammengefasst.

Die Ladefläche des Fahrzeuges besteht aus einer mit x- und einer y-Dimension. Als x-Dimension wurde die Anzahl von verschiedenen Anhängern definiert und die y-Dimension bestimmt, wie viele Teile pro Anhänger gelagert werden können.

<sup>227</sup> Eigene Abbildung

Tabelle 3.7: Bereiche am Milkrunwagen

x- Dimension	Anhänger / Bereich auf Anhänger
1	Anhänger Schütten / Leere Schütten
2	Anhänger Schütten / Volle Schütten
3	Kanbankarten
4	Anhänger Regalteile
5	Anhänger Regalteile groß
6	Anhänger Batteriezellen
7	Anhänger Regalteile groß / Bremsleitungen

Für die Modellierung des Anhängers mit den Schütten wurde die y-Dimension der Ladefläche des Milkrunwagens verwendet, um die maximale Anzahl an transportierbaren Schütten zu definieren. Abbildung 3.35 zeigt das Fenster, in dem die Zahlenwerte der x- und y-Dimensionen des Milkrunwagens eingestellt wurden.



Abbildung 3.35: Ladeflächenkapazität des Milkrunzuges<sup>228</sup>

<sup>228</sup> Eigene Abbildung

### 3.4.5.3 Parameter des Milkrunzuges

Neben der Anzahl der Anhänger sind weitere Parameter notwendig, um den Milkrunzug vollständig zu modellieren. Weiters werden Kapazitätsparameter und Zeitparameter benötigt. Kapazitätsparameter beschreiben, wie viel Bauteile transportiert werden können. Zeitparameter angeben an, wie viel Zeit die einzelnen Tätigkeiten des Logistikers benötigen. Abbildung 3.36 fasst die Zeitparameter zusammen.

<u>Umlagerzeiten:</u>	
Umlagerzeit von leeren Schütten (Arbeitsplatz auf Milkrunwagen)	• Umlagern_Sch_Leer
Umlagerzeit von Kanbankarten (Arbeitsplatz auf Milkrunwagen)	• Umlagern_Kan
Umlagerzeit von vollen Schütten (Milkrunwagen in Eingangsregal)	• Umlagern_Sch_V
Umlagerzeit von mittleren Regalteilen	• Umlagern_Reg_m
Umlagerzeit von großen Regalteilen	• Umlagern_Reg_g
Umlagerzeit der Schütten im Lager auf dem Milkrunwagen	• Umlagern_Sch_MRW
<u>Nachprüfzeiten:</u>	
Logistiker kontrolliert die Regale auf leere Schütten/Kanban	• Nachprüfen_Reg_leer
Logistiker kontrolliert den Milkrunwagen auf leere Schütten im Lager	• Nachprüfen_Lag
Kontrolle ob volle Schütten am MRW abgeladen werden sollen	• Nachprüfen_MRW_voll
<u>Beladezeiten des Milkrunwagens im Lager:</u>	
Beladen von Schütten	• Beladen_Sch
Beladen von mittleren Regalteilen	• Beladen_Reg_m
Beladen großen Regalteilen	• Beladen_Reg_g

Abbildung 3.36: Zeitparameter Milkrun

<u>Kapazitäten:</u>	
Platz für Schütten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Y_dim Milkrunwagen</li> </ul>
Mittelgroße Regalteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapazität_Milkrun_Regal_mittel</li> </ul>
Große Regalteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapazität_Milkrun_Regal_groß</li> </ul>

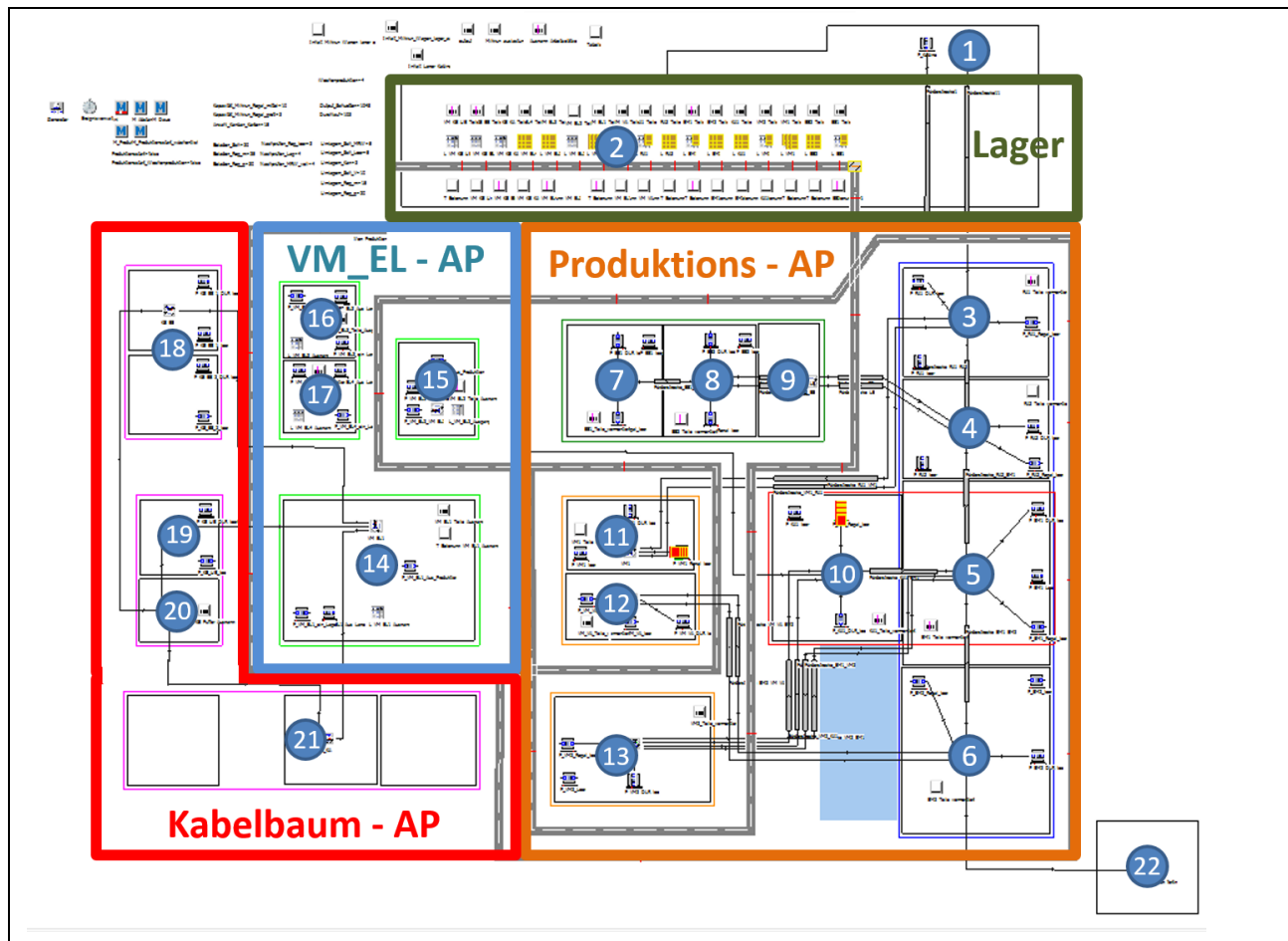
Abbildung 3.37: Kapazitätsparameter Milkrun

Neben den zeitlichen Parametern wurden dem Milkrunwagen auch Kapazitäten zugewiesen, wie Abbildung 3.37 zeigt.

#### 3.4.6.1 Finales Simulationslayout

Nachdem alle Arbeitsplätze innerhalb des Hauptnetzwerkes platziert und mit Ein- und Ausgangspuffern versehen wurden, konnte die Milkrunroute durch die Produktion und das Lager gelegt werden.

Abbildung 3.38 gibt einen Überblick über das Layout der Simulation. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Abmessungen der einzelnen Arbeitsplätze, ihre Anordnung und der Weg auf dem sich der Milkrunner bewegt, den realen Gegebenheiten entsprechen.

Abbildung 3.38: Finales Layout mit Milkrunroute<sup>229</sup>Legende zu Abbildung 3.38:

#	Bezeichnung	#	Bezeichnung
1	Laderampe	2	Lager
3	RA1	4	RA2
5	EM1	6	EM2
7	BB1	8	BB2
9	BB3	10	KA1
11	VM1	12	VM_VA
13	VM2	14	VM_EL1

<sup>229</sup> Eigene Darstellung

#	Bezeichnung	#	Bezeichnung
15	VM_EL2	16	VM_EL3
17	VM_EL4	18	KB_BB
19	KB_UB	20	Pufferplatz Kabelbäume
21	KB_KA	22	Fertigteillager



### 3.5 Materialflüsse im finalen Produktionslayout

Innerhalb der Detailplanungsphase wurden die Materialflüsse im Vergleich zur Grobplanungsphase weiter verfeinert und die Versorgung der Arbeitsplätze mit Teilen aus dem Lager mit Hilfe der Simulation geplant.

In weiterer Folge werden die Materialflüsse in der Produktion genauer beschrieben. Dazu erfolgte eine Aufteilung in einerseits die Fahrzeuglinie und andererseits Vormontage Elektrik und Kabelbaummontage.

#### 3.5.1 Materialflüsse Fahrzeuglinie

Abbildung 3.39 zeigt die Materialflüsse innerhalb der Montagelinien der mechanischen Komponenten, auch was als Bereich der Fahrzeuglinie bezeichnet wird.

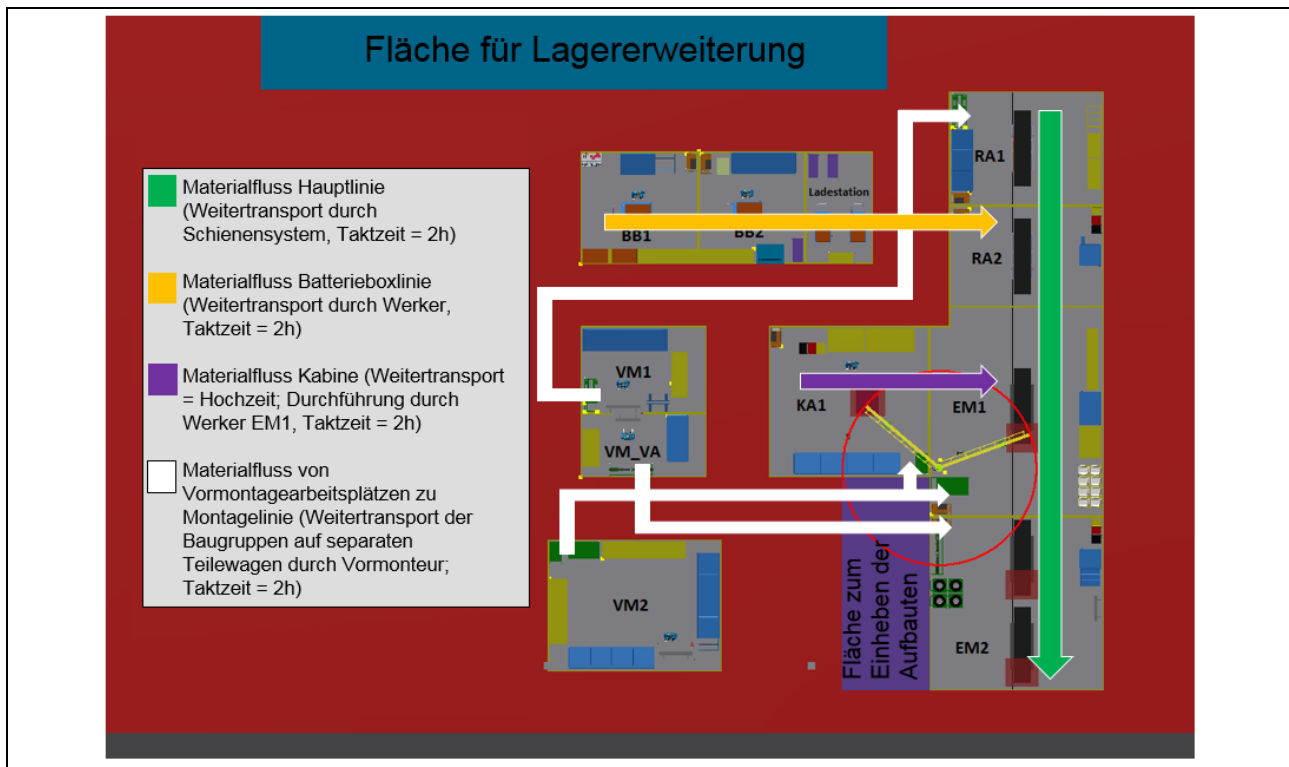


Abbildung 3.39: Materialflüsse in der Fahrzeuglinie<sup>230</sup>

<sup>230</sup> Eigene Abbildung

### 3.5.1.1 Hauptlinie

In der Hauptlinie, bestehend aus den Arbeitsplätzen RA1, RA2, EM1 und EM2, findet der Transport schienengebunden statt. Der Rahmen wird auf Transportböcken fixiert, die dann auf Schienen zwischen den Arbeitsplätzen weitergeschoben werden. Das Anheben der Rahmenbaugruppe erfolgt über fixe Hubtische an jedem Arbeitsplatz. Der Weitertransport erfolgt immer am Ende jedes Produktionstakts.

Am Ende der Montagelinie kann das fertige Fahrzeug auf den eigenen Rädern das Band verlassen. Die Transportböcke werden außerhalb der Linie wieder zurück zum Anfang geschoben.

### 3.5.1.2 Batterieboxlinie

Die Batterieboxlinie besteht aus den beiden Arbeitsplätzen BB1 und BB2, sowie aus der Lade- bzw. Pufferstation BB3. Die Batteriebox wird während der Montage auf höhenverstellbaren Tischen abgelegt. Diese sind mit Rollen versehen, welche ein Weiterschieben zur nächsten Station ermöglichen. Dies erfolgt durch den Werker am Ende jedes Produktionstakts. Ist die Batteriebox in Betrieb genommen, wird sie bei der Ladestation BB3 vollständig aufgeladen und dann für den späteren Einbau bei Arbeitsplatz RA2 bereitgestellt. Von dort holt der Werker vom Arbeitsplatz RA2 die Batteriebox, wenn diese zur Montage an der Reihe ist.

### 3.5.1.3 Kabinenlinie

Die Anlieferung der Rohkabine erfolgt auf einem Transportgestell aus dem Kabinenlager außerhalb der Produktionshalle. Der Transport wird von einem Logistikmitarbeiter durchgeführt. Am Arbeitsplatz wird die Kabine vollständig aufgebaut und dann am hinteren Ende vom Bereich KA1 zum Einheben auf den Rahmen bereitgestellt. Von dort montiert der Werker vom Arbeitsplatz EM1 die Kabine mit Hilfe des dort befindlichen Schwenkkrans. Der Weitertransport erfolgt immer am Ende des Produktionstakts.

### 3.5.1.4 Vormontagearbeitsplätze

Die Werker an den Vormontagearbeitsplätzen montieren die Unterbaugruppen für die Hauptlinie. Die fertigen Unterbaugruppen werden auf speziellen Teilewagen

zwischenlagert, die individuell für jeden Arbeitsplatz angepasst wurden. Am Ende jedes Produktionstakts ist der jeweilige Teilewagen voll und wird vom jeweiligen Werker des Vormontagearbeitsplatzes zum Zielarbeitsplatz in der Hauptlinie transportiert. Von dort nimmt dieser den leeren Teilewagen wieder mit zurück zu seinem Vormontagearbeitsplatz.

Durch dieses System sind nur zwei Teilewagen je beliefertem Hauptlinienarbeitsplatz notwendig. Tabelle 3.8 zeigt eine Übersicht der geplanten Vormontagearbeitsplätze mit den jeweiligen Zielarbeitsplätzen und den benötigten Teilewagen.

Tabelle 3.8: Geplante Teilewagen

Vormontagearbeitsplatz	Zielarbeitsplatz	Anzahl Teilewagen
VM1	RA1	2
VM2	EM1	2
VM2	EM2	2
VM_VA	EM2	3

### 3.5.2 Materialflüsse Vormontage Elektrik

Abbildung 3.40 zeigt die Materialflüsse innerhalb der Vormontage Elektrik und die Verbindung zur Montagelinie.

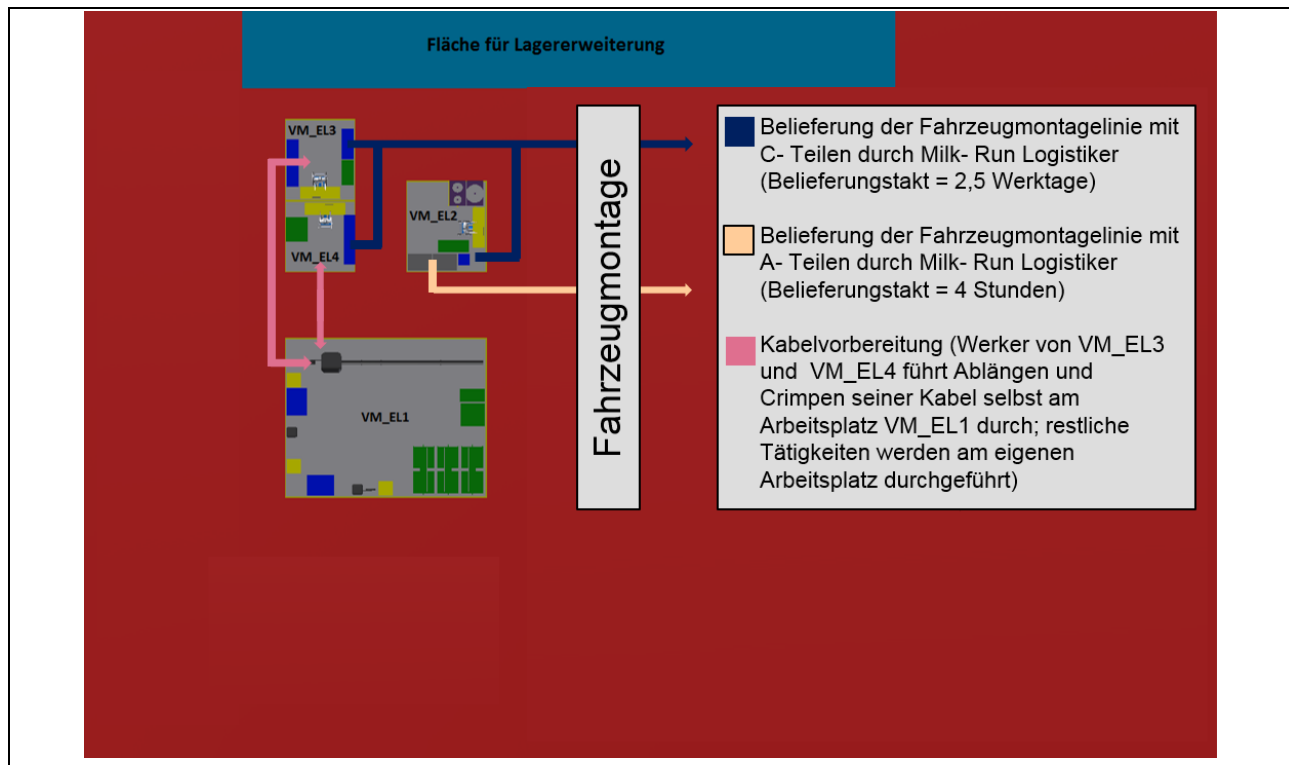


Abbildung 3.40: Materialflüsse Vormontage Elektrik - Montagelinie<sup>231</sup>

### 3.5.3 Materialflüsse Kabelbaummontage

Abbildung 3.41 zeigt die Materialflüsse im Bereich der Kabelbaummontage. Alle Kabel werden am Arbeitsplatz VM\_EL1 zum Verlegen an den Kabelbaumarbeitsplätzen vorbereitet. Sie werden auf speziell konstruierten Kabelwägen bereitgestellt und diese werden vom Werker zu den jeweiligen Kabelbaum- Arbeitsplätzen transportiert.

Im Layout wurden 3 Arbeitsplätze für den Kabelbaum Kabine, 2 für den Kabelbaum Batteriebox und einer für den Kabelbaum Unterbau eingeplant. Die Belieferung mit vorbereiteten Kabeln erfolgt wie vorher erklärt durch den Werker von Arbeitsplatz VM\_EL1 auf den jeweiligen Kabelwagen. Nach der Montage bringt jeder Werker der Kabelbaum Arbeitsplätze seinen Kabelbaum zur Station Kabelbaum Qualitätssicherung, wo eine Durchgangsprüfung durchgeführt wird. Dort werden die jeweiligen Kabelbäume für die Fahrzeuglinie bereitgestellt. Die Belieferung der Fahrzeuglinie mit Kabelbäumen erfolgt bedarfsgesteuert und wird durch den Logistikmitarbeiter (Milkrunner) durchgeführt.

<sup>231</sup> Eigene Darstellung

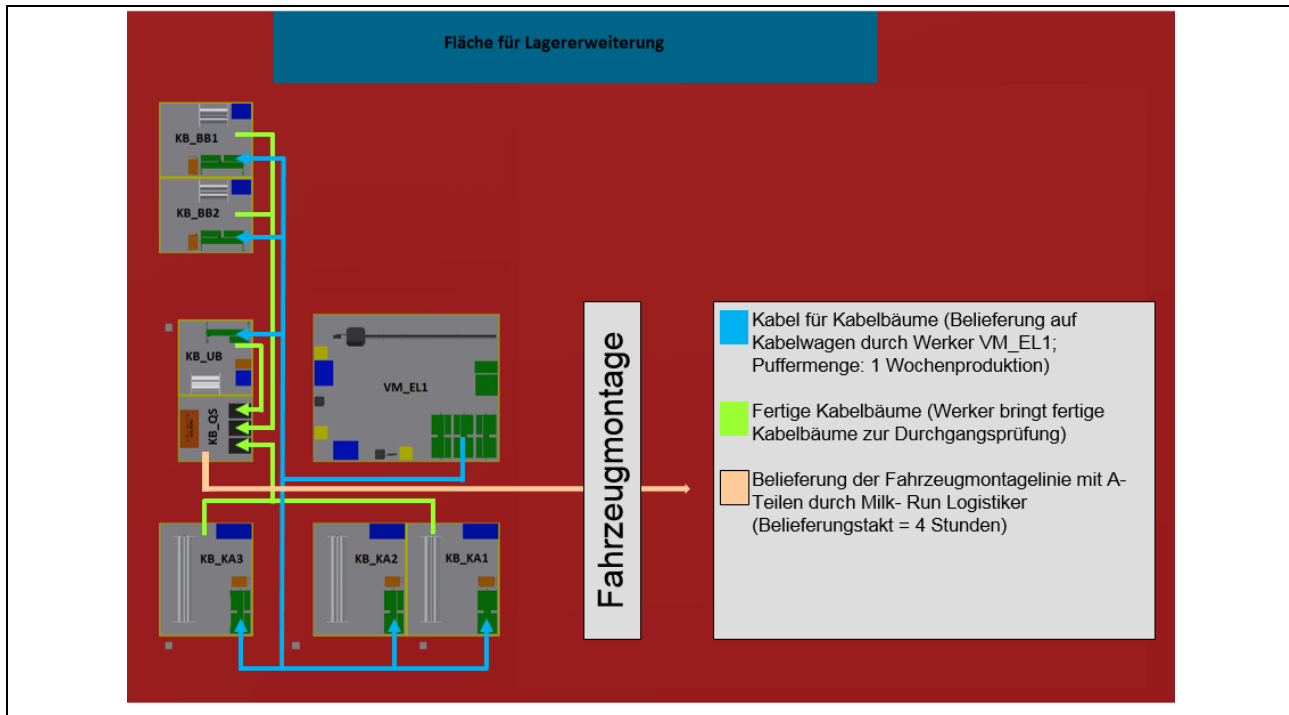


Abbildung 3.41: Materialflussverknüpfungen Kabelbaummontage<sup>232</sup>

<sup>232</sup> Eigene Abbildung

### 3.5.4 Gesamtübersicht

Abbildung 3.42 zeigt eine Gesamtübersicht der vorher beschriebenen Einzelbereiche.

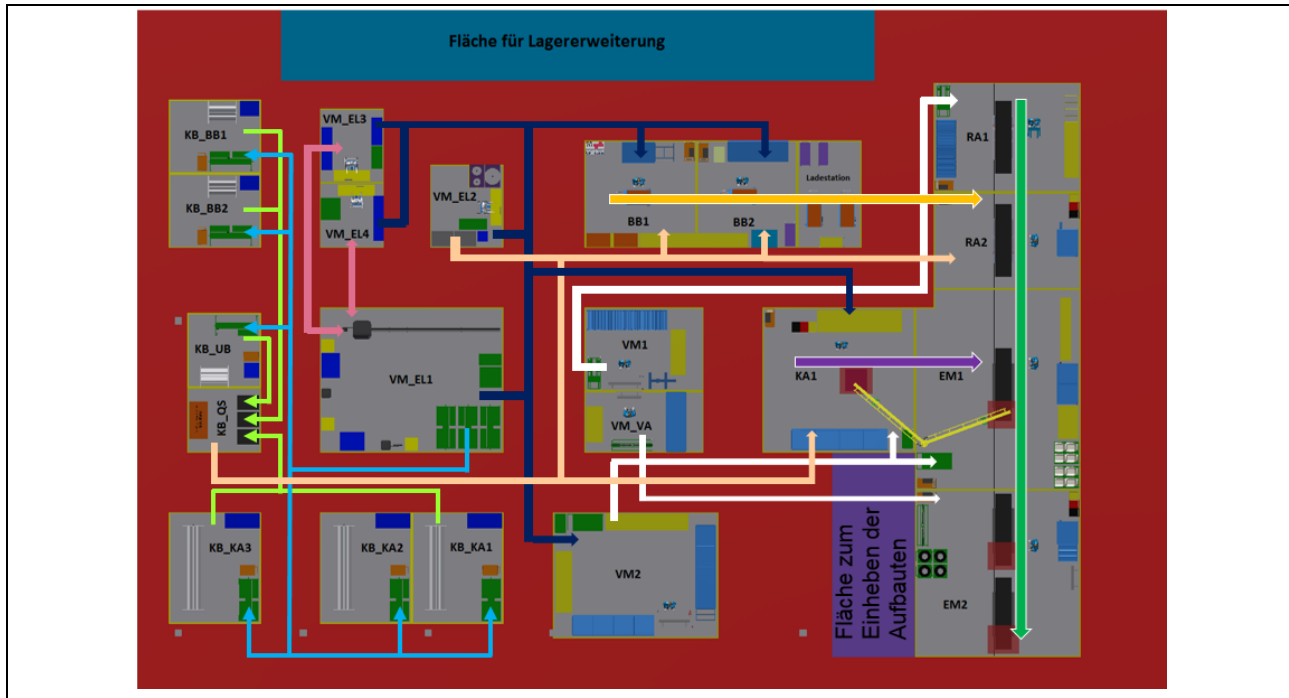


Abbildung 3.42: Materialflüsse Gesamtlayout<sup>233</sup>

Bei diesen Materialflüssen handelt es sich nur um jene, die zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen stattfinden und von den Arbeitern der einzelnen Arbeitsplätze durchgeführt werden.

Zusätzlich zu diesen Materialflüssen müssen die Arbeitsplätze noch mit Bauteilen aus dem Lager mittels Milkrunstrategie beliefert werden.

<sup>233</sup> Eigene Abbildung

### 3.5.4.1 Materialfluss Lager - Arbeitsplätze

Den größten Teil des Materialflusses macht die Versorgung der Arbeitsplätze mit Bauteilen aus dem Lager aus. Diese geschieht durch einen Logistikmitarbeiter, welcher die Logistik A- und B/C-Teile mittels Milkrun an die Arbeitsplätze liefert. Abbildung 3.43 zeigt einen Überblick über die zu beliefernden Arbeitsplätze.

Startpunkt des Milkruns ist der Ausgang des Lagers. Der Routenzug fährt nach und nach sämtliche Haltepunkte ab, lädt leere Schütten bzw. Kanbankarten auf den Milkrunwagen, entlädt volle Schütten bzw. Regalteile in die Regale am Arbeitsplatz und befüllt die Milkrunanhänger im Lager mit den benötigten Teilen.

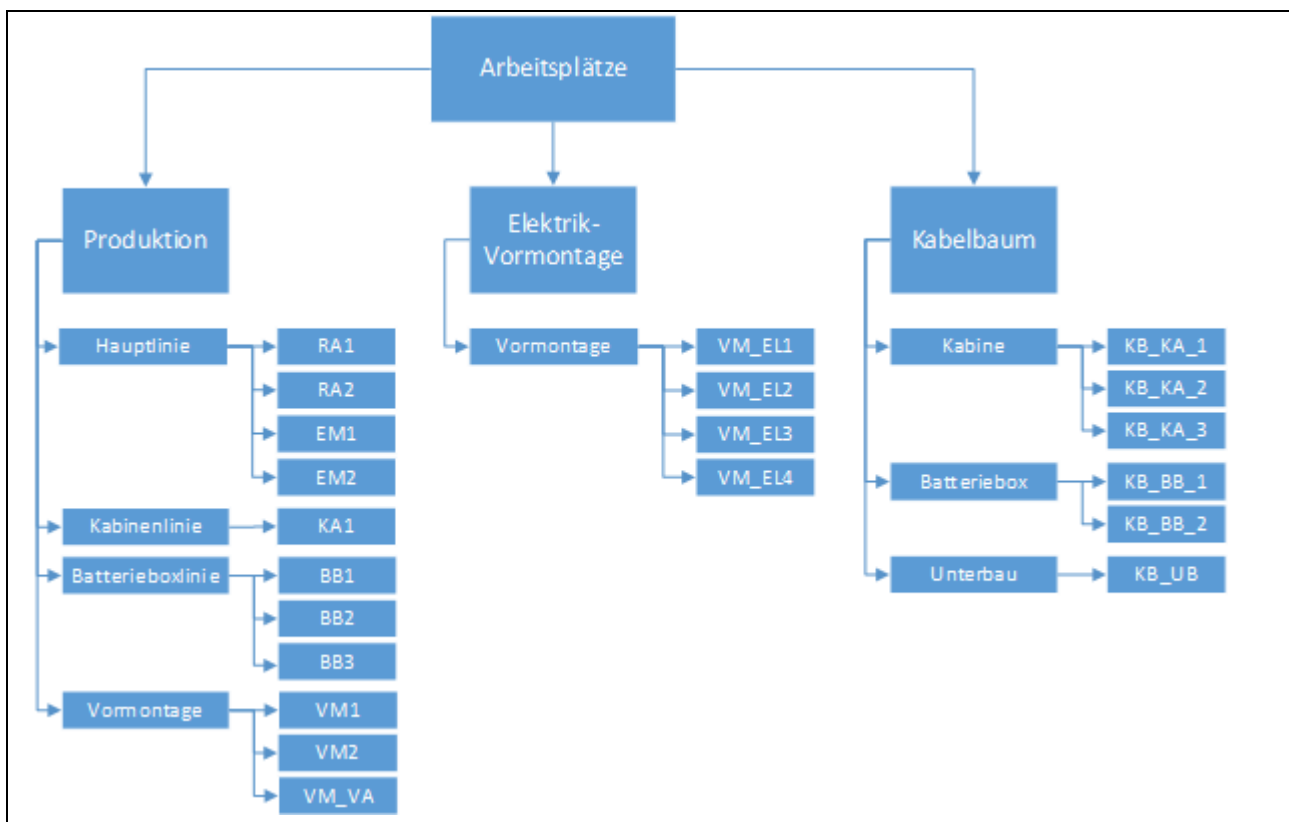


Abbildung 3.43: In der Simulation abgebildete Arbeitsplätze<sup>234</sup>

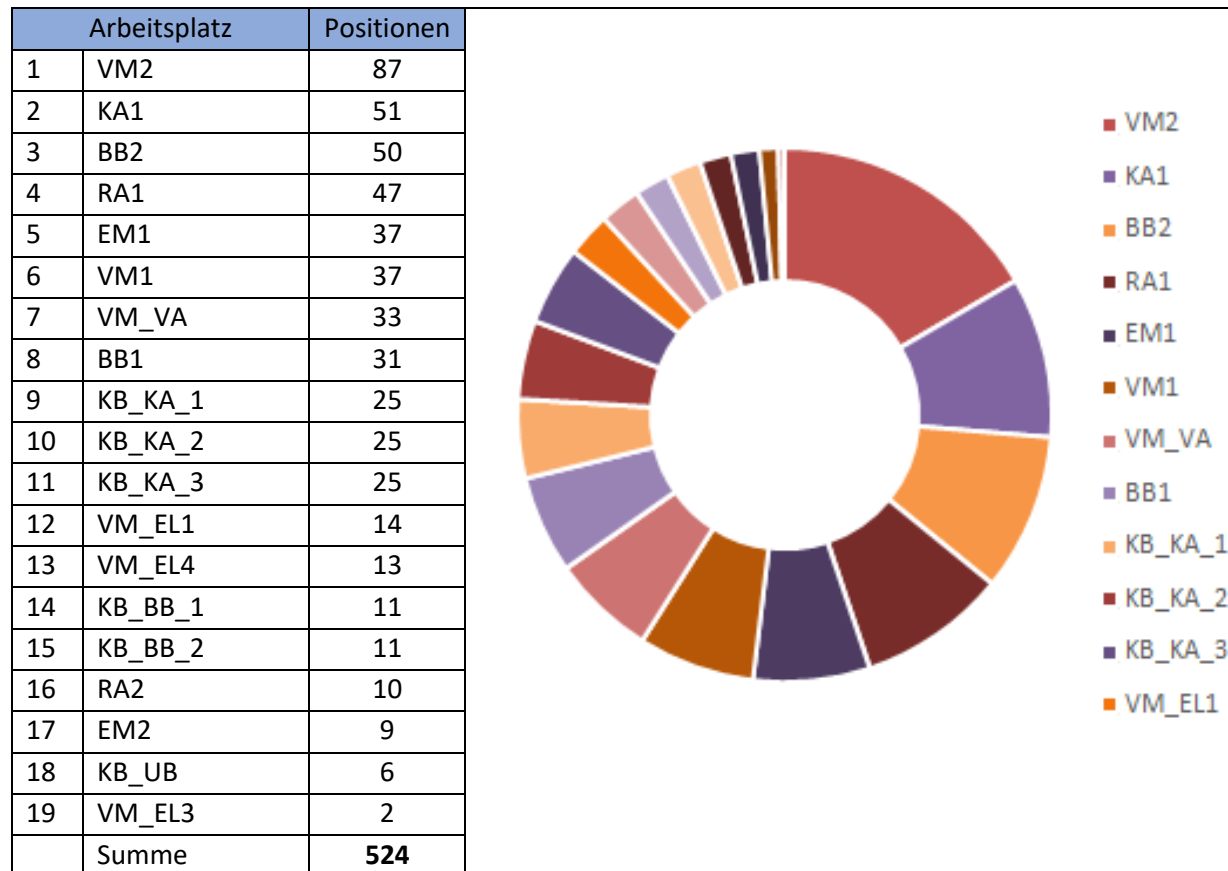
Die Simulation war Ausgangspunkt für die Auslegung des Milkruns. Darin wurde jedes im Fahrzeug verbaute A- und B/C-Teil modelliert. Es wurden verschiedene

<sup>234</sup> Eigene Abbildung

Versorgungsstrategien abgebildet und iterativ die notwendigen Parameter für den Milkrunzug ermittelt.

Tabelle 3.9 listet alle Arbeitsplätze und die Anzahl der Positionen auf, die innerhalb der Simulation mittels Milkrun an die Arbeitsplätze transportiert werden. Es ist aber nicht nur die Gesamtanzahl der zu versorgenden Positionen von Bedeutung, sondern auch deren Wertigkeit, d. h. wie oft sie durch den Milkrunner versorgt werden müssen.

Tabelle 3.9: Positionen pro Arbeitsplatz





In Abbildung 3.45 ist die Verteilung von A- und B/C-Teilen ersichtlich. Man erkennt, dass Logistik C-Teile über 75% aller Bauteile ausmachen. C-Teile müssen innerhalb einer Woche (entspricht 40h Produktion) 2 Mal befüllt werden, während A-Teil-Schütten und Regale in derselben Zeit 10 Mal versorgt werden müssen.

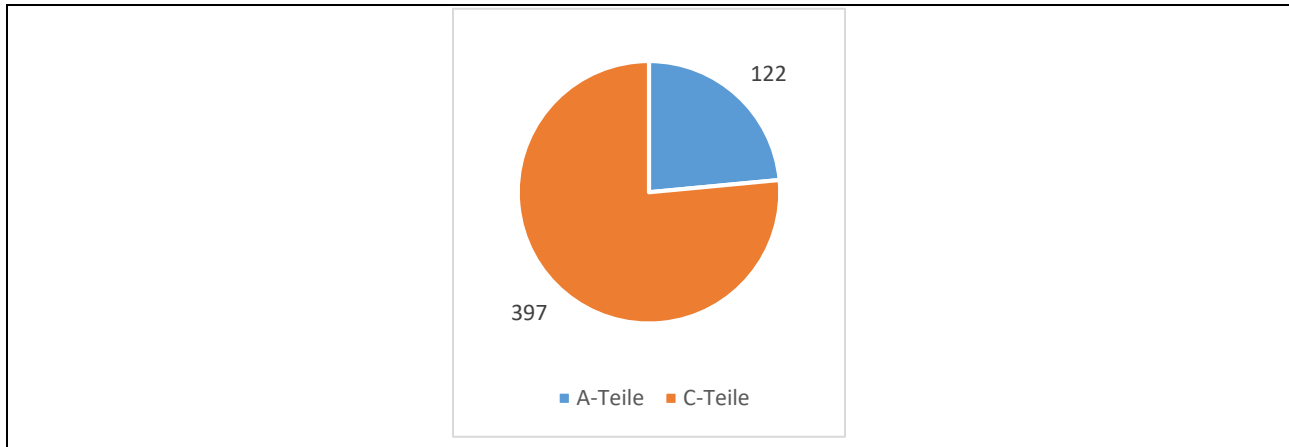


Abbildung 3.44: Aufteilung der Positionen nach Wertigkeit<sup>235</sup>

Eine Aufteilung nach Logistik-A- und C-Teilen und entsprechenden Ladungsträgern ist in Abbildung 3.45 dargestellt. Man erkennt, dass der überwiegende Teil der A-Teile Regalteile darstellt und die meisten C-Teile in LF421G Schütten zu den Arbeitsplätzen transportiert werden sollen.

---

<sup>235</sup> Eigene Abbildung

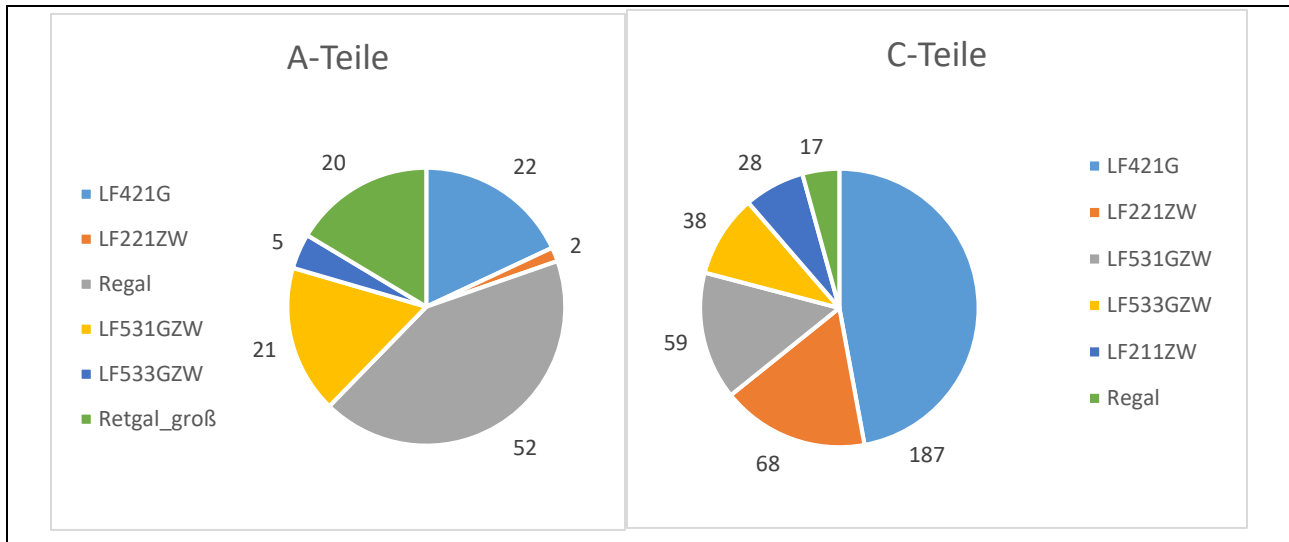


Abbildung 3.45: Aufteilung der Positionen nach Wertigkeit und Schütten<sup>236</sup>

### 3.5.5 Milkrunauslastung

Die Versorgung wurde so geplant, dass innerhalb von 2 Takten die A-Teil-Positionen und nach 20 Produktionsstunden zur Wochenmitte die C-Teil-Positionen befüllt werden müssen. Da viel mehr C- als A- Teile vorhanden sind, führt der unterschiedliche Versorgungsbedarf der Positionen dazu, dass es in der Mitte der Woche zu einem erhöhten Ausstoß an Schütten und Kanbankarten kommt, da die gesamten C-Teil-Schütten innerhalb eines Taktes leer werden.

Während das für die Versorgung C-Teile keine Probleme bereitet (der Reservebestand am Arbeitsplatz für C-Teile reicht für eine weitere halbe Wochenproduktion), müssen die 122 A-Teil-Positionen weiterhin innerhalb von 2 Takten an die Arbeitsplätze transportiert werden. Durch die vielen C-Teil-Schütten und Regalteile kommt es dabei aber zu Engpässen bei der Materialbereitstellung.

Ein Auslegen des Milkrunwagens auf die Maximalanzahl an Positionen, die zugleich leer werden ist nicht zweckmäßig, da sich die Durchlaufzeit des Milkrunners durch die Beladevorgänge um nicht zulässige Maße erhöhen würde.

<sup>236</sup> Eigene Darstellung

### 3.5.5.1 Schüttenoutput

Das Leeren von Schütten bzw. Regalfächern durch den Montagearbeiter und das gleichzeitige Setzen des Signales für die Wiederbefüllung, wird in weiterer Folge als „Schüttenoutput“ bezeichnet.

In der Grobplanung des innerbetrieblichen Materialflusses wurde festgelegt, dass sich in den Durchlaufregalen und Regalen an den Arbeitsplätzen 2 Bereiche befinden, in denen einerseits die gerade verwendeten Bauteile bzw. die Reservebauteile gelagert werden.

Als Beispiel soll die Versorgung eines Arbeitsplatzes mit einem Logistik A-Teil, das in einer Schütte gelagert ist, betrachtet werden. Zu Produktionsstart befindet sich in jedem der beiden Bereiche des Durchlaufregals je eine Schütte und in jeder Schütte lagern 2 Bauteile.

1. Während des ersten Taktes wird das erste Bauteil aus Schütte 1 verbaut – es verbleibt ein Teil in der Schütte
2. Im Laufe des zweiten Taktes wird das letzte Bauteil aus dieser Schütte verbaut und die Schütte wird dem Milkrunner übergeben („Schüttenoutput“)
3. Der Montagearbeiter nimmt im nächsten Takt das erste Bauteil aus der Reserveschütte – es verbleibt wieder ein Teil in der Schütte
4. Während des 4. Taktes entnimmt der Arbeiter das letzte Bauteil aus der Reserveschütte, und es kommt zu einem weiteren Schüttenoutput.
5. Zu Beginn des nächsten Taktes muss die 1. Schütte, die in Schritt 2 dem Milkrunner im Durchlaufregal bereitgestellt wurde, wieder befüllt und im Eingang des Durchlaufregals für den Arbeiter verfügbar sein

Dieser Ablauf wiederholt sich für die Schütten im Laufe der Produktionszeit und ist für alle Bauteile der Linien- und Vormontagearbeitsplätze gleich.

Abbildung 3.46 zeigt einen Ausschnitt des Schüttenoutputs über die Produktionszeit je nach Arbeitsplatz. Jedes x markiert die Übergabe eines Behälters oder einer Kanbankarte an den Milkrunner. Man kann erkennen, dass es wie im oben erwähnten Beispiel, nur während jeder 2. Taktzeit zu einem solchen Ereignis kommt.

Im Gegensatz zu den Produktionsarbeitsplätzen sind die Elektrik-Vormontagearbeitsplätze nicht taktgebunden. Dementsprechend ergibt sich kein Muster wie bei den Produktions-Arbeitsplätzen.

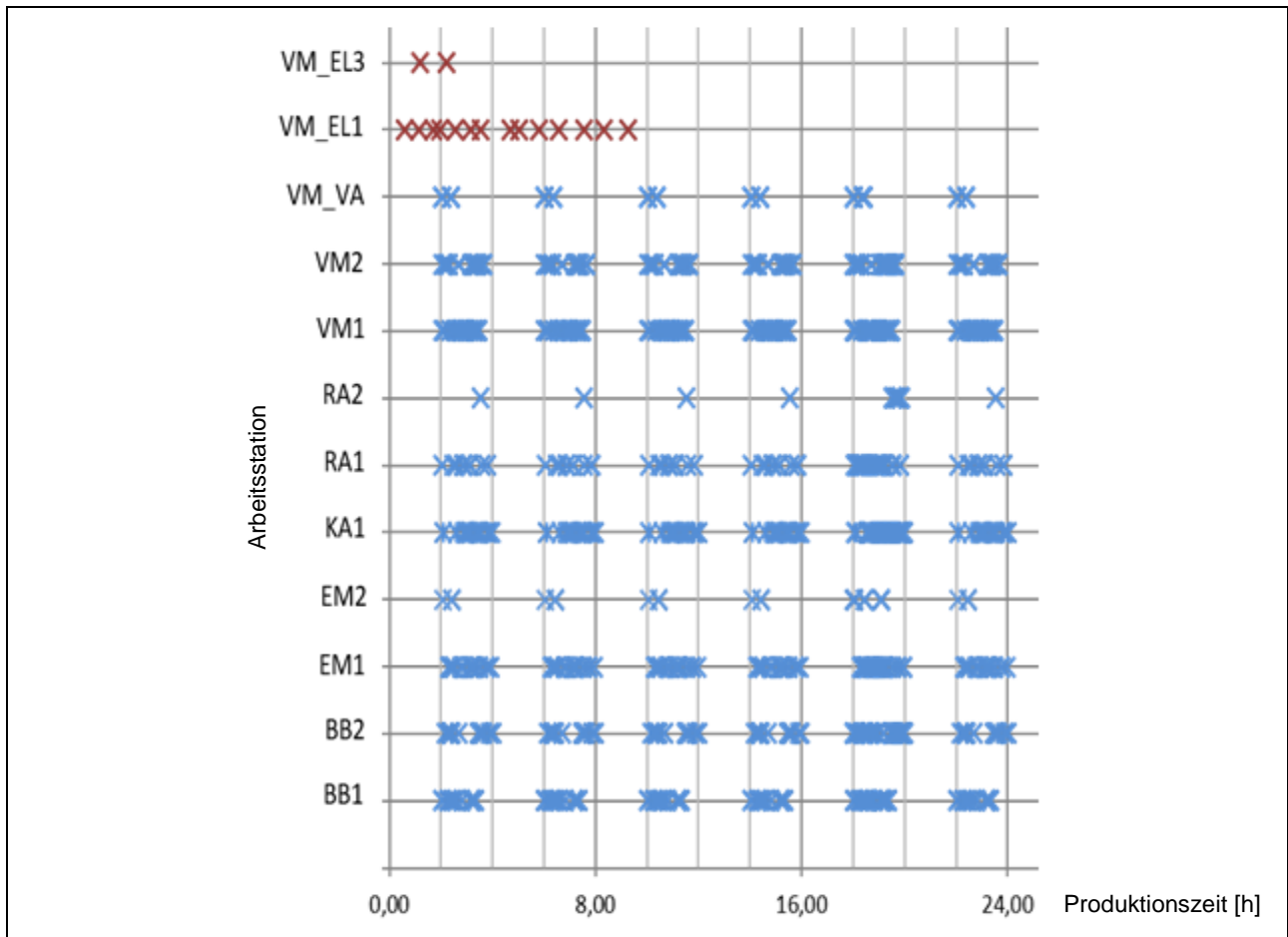


Abbildung 3.46: Schüttenoutput je Produktionszeit<sup>237</sup>

<sup>237</sup> Eigene Darstellung

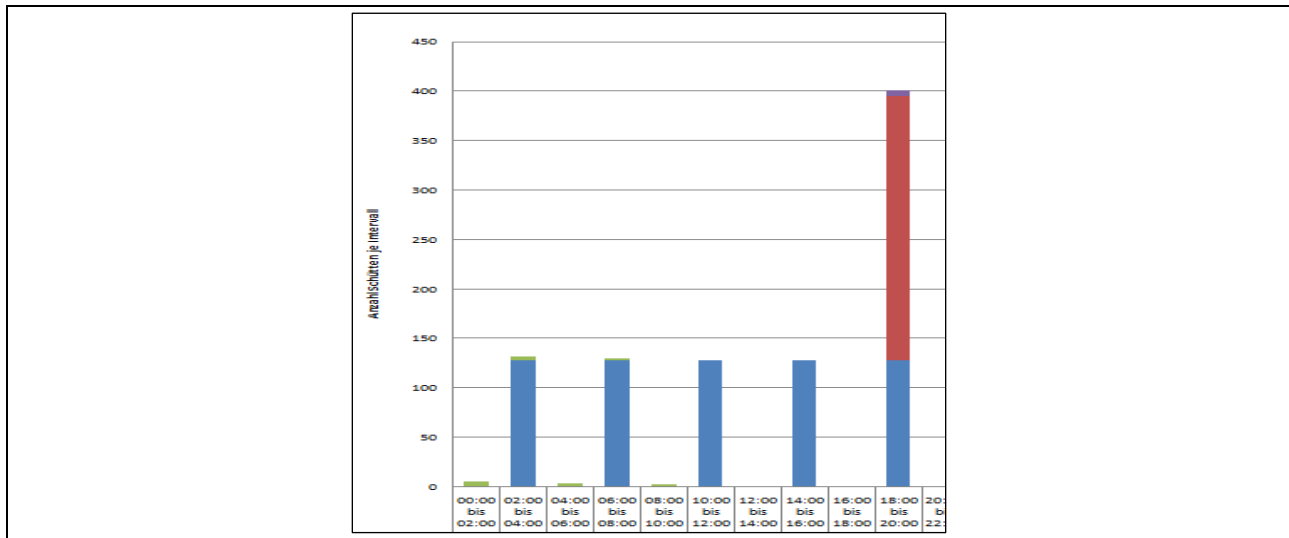


Abbildung 3.47: Schüttenoutput<sup>238</sup>

Abbildung 3.47 zeigt die Anzahl an Positionen, die je Takt versorgt werden müssen. Die Produktionszeit ist in je 2h-Takte geteilt. Man erkennt, dass der Schüttenoutput während den ersten neun Takte sehr viel geringer ist als beim zehnten, da innerhalb dieses Taktes die Schütten und Regalfächer mit Logistik C-Teilen leer werden und durch den Milkrunner befüllt werden müssen.

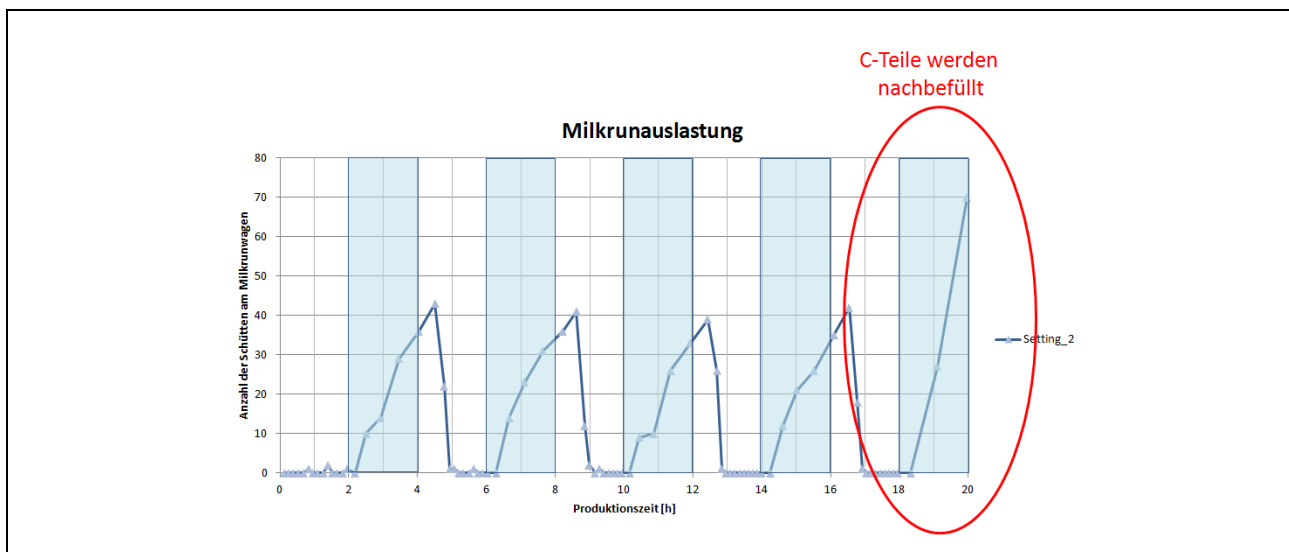


Abbildung 3.48: Milkrunauslastung<sup>239</sup>

<sup>238</sup> Eigene Darstellung

<sup>239</sup> Eigene Darstellung

Wie in Abbildung 3.48 ersichtlich, steigt dadurch in dieser Zeit die Auslastung des Milkrunners rapide an. Als Auslastung wird die Anzahl von Positionen bezeichnet, die sich bei Verlassen des Lagers auf dem Milkrunzug befinden und im Zuge des nächsten Milkrunzykluses am Arbeitsplatz abgeladen werden.

Der Anstieg in der Auslastung sorgt dafür, dass Logistik-A-Teile, die ja in einem verhältnismäßig kleinem Zeitfenster von 4h an die Arbeitsplätze geliefert werden müssen, nicht mehr rechtzeitig an die Arbeitsplätze transportiert werden können.

### 3.5.5.2 Milkrunstrategien

Es war also notwendig eine Milkrunstrategie zu entwickeln, um eine reibungsfreie Versorgung der Arbeitsplätze mit Bauteilen garantieren zu können. Im Laufe der Planung der Milkrunversorgung wurden 2 unterschiedliche Varianten entwickelt.

### 3.5.5.3 Strategie „Priorität A-Teile“

Bei dieser Strategie wurde festgelegt, dass bei jeder Durchfahrt des Milkrunners alle Logistik A-Teile mit Priorität behandelt werden, da diese Positionen innerhalb einer kürzeren Zeit versorgt werden müssen.

#### Ablauf:

1. Während des ersten Durchlaufs nimmt der Milkrunner auf der Route alle leeren Behälter und Kanbankarten von Logistik A-Teilen an den Haltestellen auf. An der letzten Haltestelle befüllt er den Milkrunzug mit allen C-Teilen dieser Regale.
2. Im nächsten Zyklus versorgt er wiederum alle Logistik A-Teile aller Haltestellen und an der vorletzten Haltestelle nimmt er die Schütten und Kanbankarten von Logistik C-Teilen auf.
3. Dieser Ablauf wiederholt sich Runde für Runde. Es werden während jedes Durchlaufs die C-Teil-Schütten und Kanbankarten einer anderen Haltestelle durch den Milkrunner aufgeladen.

Tabelle 3.10: Vor- und Nachteile der Strategie "Priorität A-Teile"

Vorteile	Nachteile
+ Versorgung gewährleistet	- Kompliziert; Der Milkrunner muss immer wissen welche C-Teile er mitnehmen darf
	- Großer Milkrunwagen
	- Logistik A- und C-Teile müssen unterscheidbar sein
	- Schwankende Auslastung des Milkrunners

Es wird zwar eine Versorgung der Arbeitsplätze mit Bauteilen sichergestellt, doch aufgrund der vielen Nachteile wurde eine andere Strategie gesucht, die sich besser eignet.

#### 3.5.5.4 Strategie „Nivellierung der Auslastung“

Ein zweiter Ansatz zur Behebung des Kapazitätsengpasses, war ein Ansatz zur Nivellierung der Auslastung des Milkruns über die gesamte Woche. Damit sollen die in Abbildung 3.48 dargestellten Auslastungsschwankungen verringert werden.

##### Grundsätze der Variante „Nivellierung der Auslastung“:

1. Output von Schütten während aller Takte, nicht nur während jeden 2. Taktes
2. Gleichmäßige Verteilung der C-Teile auf die einzelnen Takte

Als Nivellierung wird in weiterer Folge die Verteilung des Schüttenoutputs auf die einzelnen Takte bezeichnet.

##### Berechnung der Positionen pro Takt:

Anzahl Positionen pro Taktzeit	Logistik-A-Teile	Logistik-C-Teile
	$\frac{\text{Anzahl Gesamtpositionen}}{2}$	$\frac{\text{Anzahl Gesamtpositionen}}{10}$

Da für Logistik-A-Teile 2 Takte lang Reservebauteile an den Arbeitsplätzen vorrätig sind, muss die Wiederbefüllung innerhalb dieser Zeitspanne erfolgen.

Für Logistik-C-Teile, die insgesamt 2/3 der Bauteile ausmachen, ist ein größerer Reservebestand an den Arbeitsplätzen vorhanden. Bei der Nivellierung werden die C-Teil-Positionen auf 10 Takte aufgeteilt. Nach der Nivellierung werden pro Takt mehr A-Teile als C-Teile vom Milkrunner zu den Arbeitsplätzen befördert, wie in Abbildung 3.49 ersichtlich.

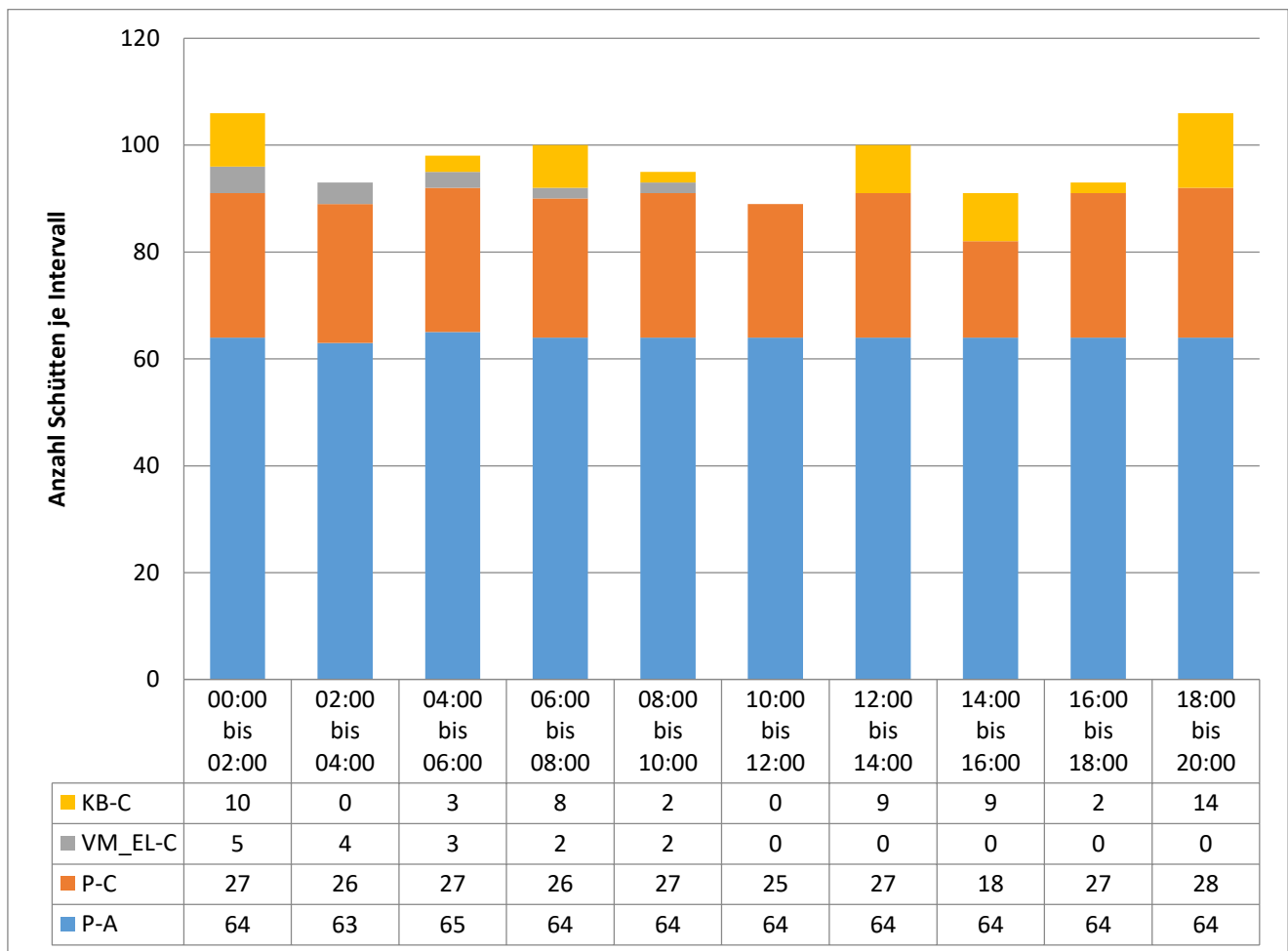


Abbildung 3.49: Schüttenoutput pro Taktzeit nach Nivellierung<sup>240</sup>

<sup>240</sup> Eigene Darstellung



Legende Abbildung 3.49:

KB-C	Logistik C-Teil Kabelbaumarbeitsplätze
VM_EL-C	Logistik C-Teil Elektrik-Vormontagearbeitsplätze
P-C	Logistik C-Teil Produktionsarbeitsplätze
P-A	Logistik A-Teil Produktionsarbeitsplätze

Kriterien für die Nivellierung:

- Es wird pro Takt eine konstante Menge an Gesamtpositionen versorgt
- Es wird pro Takt dieselbe Menge eines Schüttentyps versorgt

Abbildung 3.49 zeigt das Ergebnis der Schüttennivellierung nach diesen Kriterien. Es ist der Schüttenoutput pro Takt aufgetragen. Man erkennt, dass die Schwankungen des Schüttenoutputs pro Takt im Vergleich zu Abbildung 3.47 gering sind.

Werkzeug zur Erreichung dieser Nivellierung ist das Setzen einer Startbedingung für die Befüllung der einzelnen Positionen. Es wird zu Produktionsbeginn nur ein Bruchteil der Standardschüttenbefüllung in den ersten Schütten des Durchlaufregals gelagert. Das bewirkt, dass die Schütten zu unterschiedlichen Takten leer werden und dadurch eine Regelung des Schüttenoutputs möglich ist.

Exemplarisch für ein A-Teil wird das Setzen der Startbedingung für das Bauteil „Stromsensor“ erklärt:

Position	Stromsensor
Wertigkeit	A
Teile pro Fahrzeug	1
Schütte	LF221ZW

Bei Logistik A-Teilen wird die Gesamtanzahl an Bauteilen so aufgeteilt, dass die Hälfte der Positionen innerhalb von Takt 1 und die andere Hälfte innerhalb von Takt 2 leer wird.

Um das zu erreichen, werden entweder 1 oder 2 Teile in der ersten Schütte im Durchlaufregal gelagert.

Bei der Umsetzung wurde darauf geachtet, dass pro Takt möglichst gleich viele Schütten vom Typ LF221ZW leer werden.

Deshalb wurde in Anbetracht der beiden oben genannten Kriterien zur Nivellierung für diese Position der erste Takt gewählt um sie zu befüllen, wie in Abbildung 3.50 gezeigt.

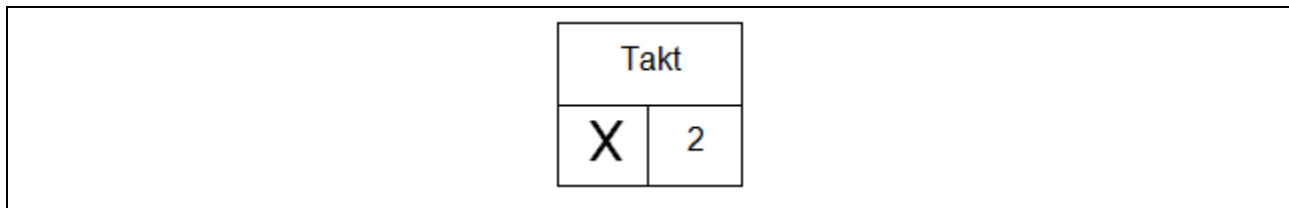


Abbildung 3.50: Wahl einer Startbedingung für Logistik-A-Teile<sup>241</sup>

Exemplarisch für ein C-Teil wird das Setzen der Startbedingung für das Bauteil „Überbrückungsbügel\_Sicherung“ erklärt:

Position	Überbrückungsbügel_Sicherung
Wertigkeit	C
Teile pro Fahrzeug	1
Schütte	LF221ZW

Bei Logistik C-Teilen wird die Gesamtanzahl an Bauteilen so aufgeteilt, dass pro Takt ein Zehntel der Positionen leer wird. Um das zu erreichen, werden Bauteile in einer Anzahl gelagert, die 1-10 Mal der benötigten Anzahl pro Fahrzeug entsprechen.

Bei der Umsetzung wurde wiederum darauf geachtet, dass pro Takt möglichst gleich viele Schütten vom Typ LF221ZW leer werden.

<sup>241</sup> Eigene Darstellung

Unter Berücksichtigung dieses Kriteriums wurde für diese Position der erste Takt gewählt um sie zu befüllen, wie in Abbildung 3.50 gezeigt.

Takt									
X	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Abbildung 3.51: Wahl einer Startbedingung für Logistik-C-Teile<sup>242</sup>

Die Startbedingung wird nur einmal - beim Start der Produktion - berücksichtigt. Wenn leere Schütten aufgefüllt werden, wird die am Behälter oder der Kanbankarte beschriebene Menge eingefüllt. Somit reguliert sich das System von selbst und es kommt zu der in Abbildung 3.49 gezeigten Nivellierung des Schüttenoutputs.

Die zweite Schütte mit den Reservebauteilen wird auch zu Produktionsstart wie gehabt je nach Wertigkeit des Bauteils mit dem doppelten oder zehnfachen an benötigten Bauteilen pro Fahrzeug befüllt.

Es wurde für alle Bauteile eine passende Startbedingung gesucht und in das Modell übertragen.

---

<sup>242</sup> Eigene Abbildung

Einen Auszug aus der erstellten Tabelle mit der Schüttenbefüllung (siehe Anhang), zeigt Abbildung 3.52. Die Tabelle listet die einzelnen Positionen und die Anzahl der Bauteile pro Schütte 1 und Schütte 2 auf. Schütte 2 ist die Reserveschütte und beinhaltet immer die Standardbefüllung. Die Belegung der ersten Schütte (jeweils das Vielfache der pro Fahrzeug notwendigen Anzahl) ist rot markiert.

Lagereinheit	#	Bauteil	Arbeitsplatz	Wgk	Art	A	S1	S2
LF221ZW	1	Stromsensor	BB1	A	P	1	1	2
LF421G	1	Hochleistungsschütz	BB1	A	P	3	3	6
LF421G	1	Panasonic_Relay	BB1	A	P	4	4	8
LF421G	1	Sicherungshalter_BB1	BB1	A	P	5	5	10
Regal	1	Kabelstrang_BB	BB1	A	P	1	1	2
Regal_Batt	1	Battery	BB1	A	P	1	1	2
Regal_groß	1	Batteriebox	BB1	A	P	1	1	2
Regal_groß	1	Purenit_Hartschaumplatten_Set	BB1	A	P	1	1	2
LF421G	2	BCS_Slave	BB1	A	P	1	2	2

Abbildung 3.52: Startbedingungen für die Schüttenbefüllung bei Logistik-C-Teilen<sup>243</sup>

Aufgrund der in Tabelle 3.11 genannten Vorteile gegenüber der Milkrunstrategie „Priorität A-Teile“ wurde diese Strategie gewählt und im Milkrun umgesetzt.

Tabelle 3.11: Vor- und Nachteile der Strategie "Nivellierung"

Vorteile	Nachteile
+ Versorgung gewährleistet	- Permanente Auslastung des Milkrunners
+ Gleichmäßige Milkrunauslastung	
+ Selbstregulierend	
+ keine Unterscheidung der A- und C-Teile notwendig	

<sup>243</sup> Eigene Darstellung

### 3.5.6 Milkrunroute

Der Weg, den der Milkrunwagen während des Versorgens der Arbeitsplätze mit Bauteilen zyklisch zurücklegt – die Milkrunroute - führt durch das Lager und den Produktionsbereich. Auf diesem Weg befinden sich mehrere Haltestellen, von wo aus die einzelnen Regale der Arbeitsplätze versorgt werden. Die Positionen der Haltestellen orientieren sich dabei an den Regalen der einzelnen Arbeitsplätze.

Bei der Erstellung der Milkrunroute wurde auf folgende Punkte geachtet:

- Nach Möglichkeit wird jedes Regal in der Produktionshalle direkt angefahren, so dass der Milkrunner keine langen Wege zwischen Milkrunanhänger und dem zu befüllenden Regal zurücklegen muss und die Wiederbefüllungszeit somit so gering wie möglich ist.
- Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass keine Wege innerhalb der Produktionshalle mehrfach zurückgelegt werden, das heißt, dass alle Haltestellen so direkt wie möglich miteinander verbunden wurden.

Diese beiden Punkte lassen sich jedoch nur schwer miteinander vereinbaren. Das, und die Tatsache, dass die Position der Regale innerhalb der einzelnen Arbeitsplätze nicht für den Milkrunner, sondern in erster Linie für den jeweiligen Montagearbeiter optimiert wurden, führt zu dem Ergebnis, dass die erstellte Milkrunroute einen Kompromiss zwischen den beiden Punkten darstellt.

Um einen kurzen und möglichst unkomplizierten Weg durch die Halle zu finden, der aber alle Regale erfasst und möglichst günstige Positionen vom Milkrunzug zu den Regalen ermöglicht, wurden Regale, die nahe beieinander liegen, zu einer Haltestelle zusammengefasst und innerhalb eines Stopps versorgt.

### 3.5.6.1 Simulierte Milkrunroute

In Abbildung 3.53 sieht man die Milkrunroute der Simulation. In Grün ist der Umriss des Lagers eingezeichnet, in Gelb die Milkrunroute durch die Produktion und das Lager.

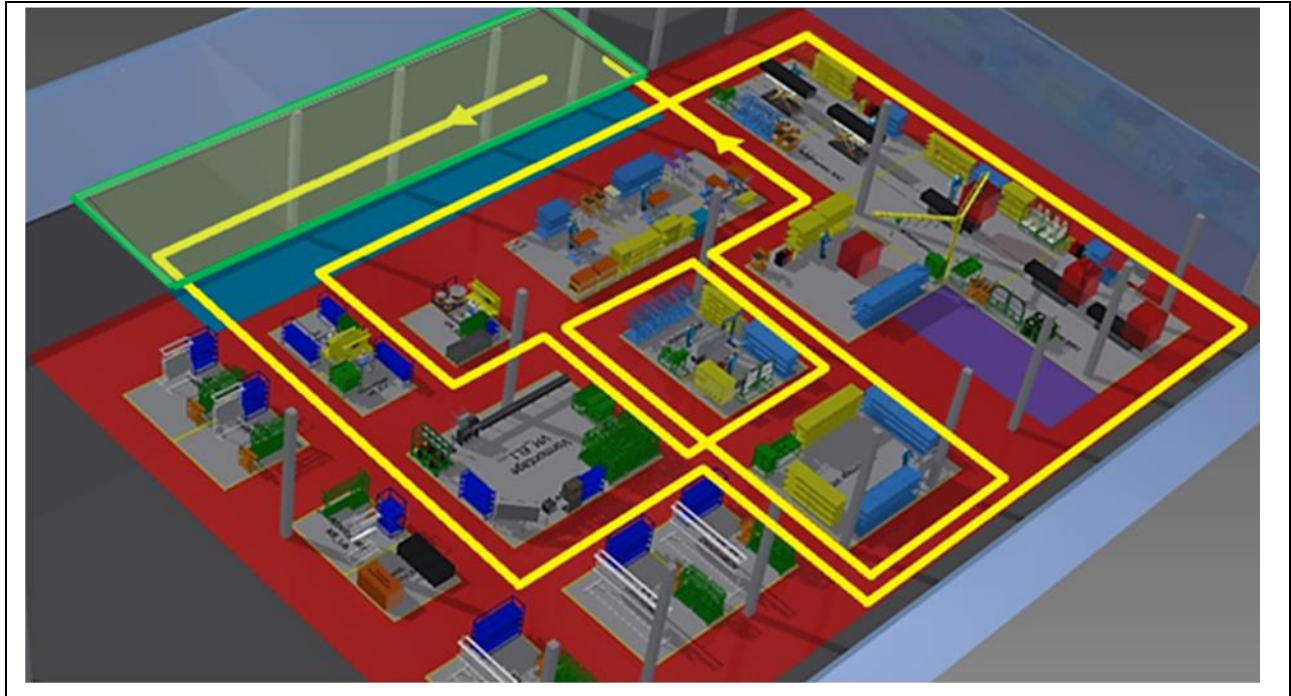


Abbildung 3.53: Milkrunroute innerhalb des Simulationsmodelles<sup>244</sup>

Der Lagerweg führt dabei einmal geradewegs durch den Lagerbereich, wo sich rechts und links vom Weg die Fachbodenregale mit den Bauteilen befinden. An den Lagerbereich schließt die Milkrunroute durch die Produktion an.

Diese Wegführung geht aus der Detailplanung hervor. Sie wurde vor der Festlegung eines Sicherheitslagerbestandes und der damit einhergehenden Erweiterung des Lagers geplant.

### 3.5.6.2 Finale Milkrunroute

Nach der Berücksichtigung des Sicherheitsbestandes im Lager und der Lagererweiterung musste eine andere Route durch das Lager und die Produktion gewählt werden. Der Lagerbereich besteht nun aus 3 Regalen und kann nicht mehr wie in der Simulation so

<sup>244</sup> Eigene Darstellung

angeordnet sein, dass sich links und rechts vom Lagerweg die Fachbodenregale mit allen Bauteilen befinden. Stattdessen muss eine Schleife innerhalb des Lagerbereiches gefahren werden. In der Version der Simulation waren Lagerweg und Produktionsweg getrennt. In der neuen Gestaltung werden die Regale der Arbeitsplätze und die des Lagers an 2 Haltestellen gleichzeitig versorgt.

Die neue Milkrunroute zeigt Abbildung 3.54. In Grün ist wiederum der Umriss des Lagers angedeutet, die gelbe Linie symbolisiert die Milkrunroute und die Haltestellen auf der Route sind nummeriert.

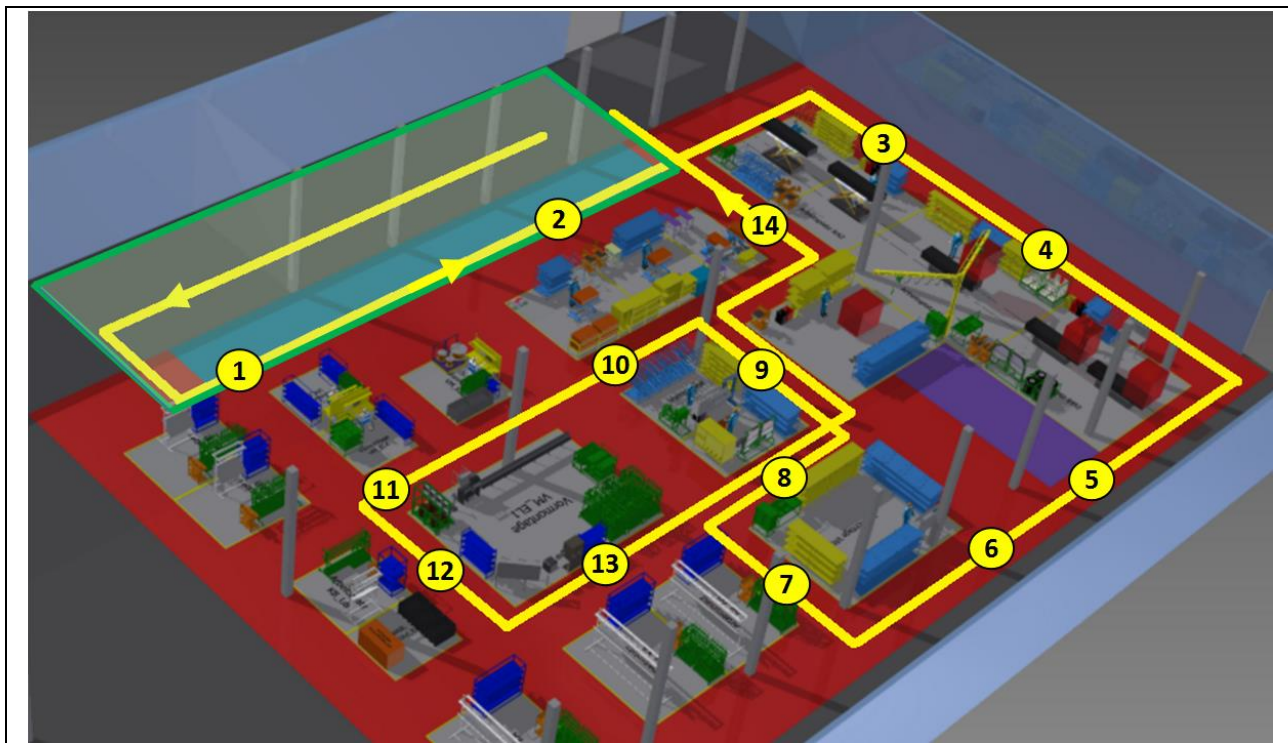


Abbildung 3.54: Milkrunroute nach Lagererweiterung<sup>245</sup>

Innerhalb der Milkrunroute durch die Produktionshalle wurden in dieser Variante 14 Stopps vorgesehen.

<sup>245</sup> Eigene Darstellung

Tabelle 3.12: Haltestellen laut Abbildung 3.52

#	Zu versorgende Regale				
	Fachbodenregale	Durchlaufregale	Seite	VM_EL Regale	Seite
1		KB_BB_1	Rechts	VM_EL3_Lager VM_EL3_Produktion	Rechts Rechts
2		BB1 BB2	Rechts Rechts		
3	RA1	RA2	Rechts		
4	EM1	EM1 EM2	Rechts Rechts		
5	EM2-Räder				
6		VM2	Rechts		
7	VM2-1				
8	VM_VA VM2-2				
9	VM1	VM_VA KA1	Links Rechts		
10	BB1 BB2	VM1	Links	VM_EL2_Lager	Rechts
11		KB_BB_2	Rechts		
12		KB_UB	Rechts	VM_EL_1_Produktion	Links
13		KB_KA_1 KB_KA_2 KB_KA_3	Rechts Rechts Rechts	VM_EL_1_Lager	
14	KA1	RA1	Rechts		

Es wurden nahe gelegene Regale zu einer Haltestelle zusammengefasst. Das spart einerseits Zeit, da der Milkrunner weniger oft halten muss - die größte Ersparnis ergibt sich aber daraus, dass die Milkrunroute einfach, und damit kurz gehalten werden kann. Wenn jedes Regal direkt angefahren werden sollte, würden sich ein langer Weg und viele



Schleifen innerhalb der Milkrunroute ergeben, was eine erhöhte Durchlaufzeit des Milkrunners nach sich ziehen würde.

Tabelle 3.12 beschreibt die zu versorgenden Regale pro Haltestelle. Die Tabelle ist in Fachbodenregale und Durchlaufregale gegliedert. Bei Haltestelle 4 wird beispielsweise das Fachbodenregal an Arbeitsplatz EM1 und die Durchlaufregale an den Arbeitsplätzen EM1 und EM2 versorgt.

Elektrik-Vormontagearbeitsplätze haben eine Schnittstelle sowohl zum Lager als auch zur Produktion. Es werden Bauteile in Schütten vom Lager zu den Elektrik-Vormontagearbeitsplätzen befördert und die vormontierten Bauteile weiter zu den Vormontagearbeitsplätzen der Produktion bzw. zu Linienarbeitsplätzen.

Deshalb haben diese Plätze eine etwas andere Bezeichnung. Sie erhalten die Zusatzbezeichnungen „Lager“ und „Produktion“ um sie zu unterscheiden.

### Lager:

Die Regale mit der Zusatzbezeichnung Lager sind die **Eingangsregale** der Elektrik-Vormontageplätze. Es handelt sich bei den Regalen ausschließlich um Regale mit Schütten, wobei in einer Schütte die gesamte Wochenproduktion an Bauteilen gelagert ist und sich nur eine Schütte am Arbeitsplatz befindet.

Wenn die Schütten leer sind, werden sie dort dem Milkrunner zur Wiederbefüllung im Lager übergeben.

### Produktion:

Hierbei handelt es sich um das **Ausgangsregal** der Elektrik-Vormontageplätze. Vom Ausgangsregal werden die Teile entweder von Mitarbeitern der Produktion selbst (siehe abgelängte und gecrimpte Kabel bei VM\_EL1) oder vom Milkrunner weiter zu anderen Arbeitsplätzen befördert. Die Bauteile werden im Ausgangsregal wie im Lager gepuffert und vom Milkrunner bei Bedarf aus diesem in der benötigten Stückzahl entnommen.

Bsp: VM\_EL1\_Lager ist das Eingangsregal des Arbeitsplatzes VM\_EL1. An der Haltestelle wird das Regal auf leere Schütten kontrolliert, bzw. volle Schütten vom Milkrunwagen auf das Regal umgelagert.

Bsp: VM\_EL3\_Produktion ist das Ausgangsregal des Arbeitsplatzes VM\_EL3. An der Haltestelle werden die leeren Schütten, die als Quelle VM\_EL3 angeben aufgefüllt.

### 3.5.7 Milkrunzug

In weiterer Folge wurden die in Kapitel 3.4.5.2 definierten Bereiche für die unterschiedlichen Bauteiltypen skizziert.

Als Zugfahrzeug wurde ein handelsüblicher „Tugger“ vorgeschlagen. Abbildung 3.55 zeigt das skizzierte Zugfahrzeug.



Abbildung 3.55: Zugfahrzeug<sup>246</sup>

Dieses ist über Deichseln mit den einzelnen Anhängern des Milkrunzuges verbunden. Der Aufbau der Anhänger variiert je nach Einsatz. Für die Anhänger, auf denen Schütten und kleinere Regalteile transportiert werden, werden dieselben Aufbauten verwendet. Tabelle 3.13 zeigt aus welchen Anhängern der Milkrunzug immer zusammengesetzt ist. Falls zusätzliche Spezialanhänger benötigt werden, müssen diese bei Bedarf an den Milkrunzug angehängt werden.

Tabelle 3.13: Milkrunanhänger

Bezeichnung	Anzahl
Anhänger für Schütten/Regalteile	2
Anhänger für große Regalteile	2

<sup>246</sup> Eigene Darstellung

Die Anhänger bestehen aus einem Grundrahmen, der zugekauft werden kann und je nach Anhängertyp, einem individuellen Aufbau. Wichtig für die Funktionalität des Milkrunzuges ist, dass alle Grundrahmen und damit alle Anhänger spurtreu sind.

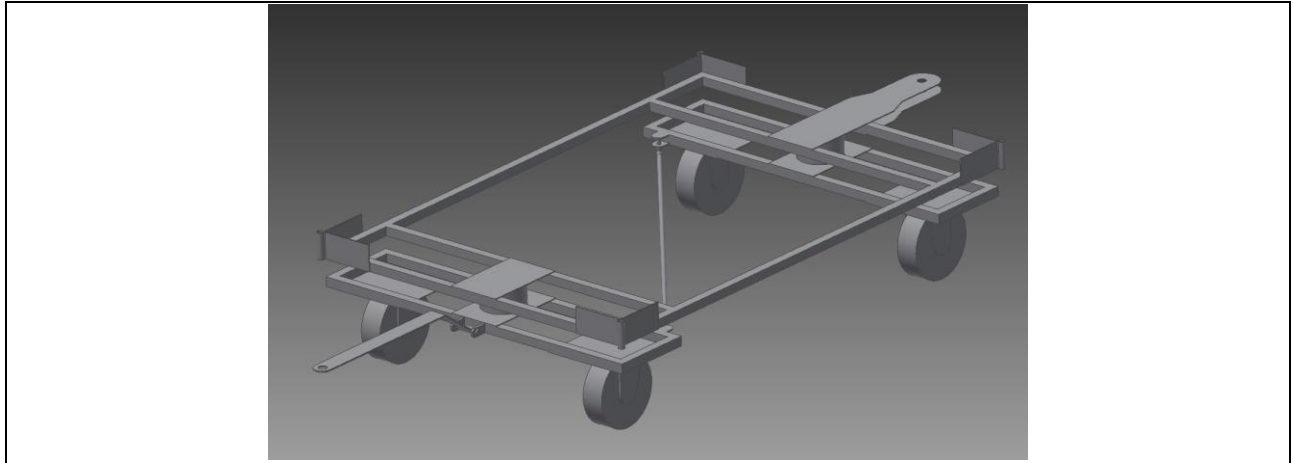


Abbildung 3.56: Grundrahmen<sup>247</sup>

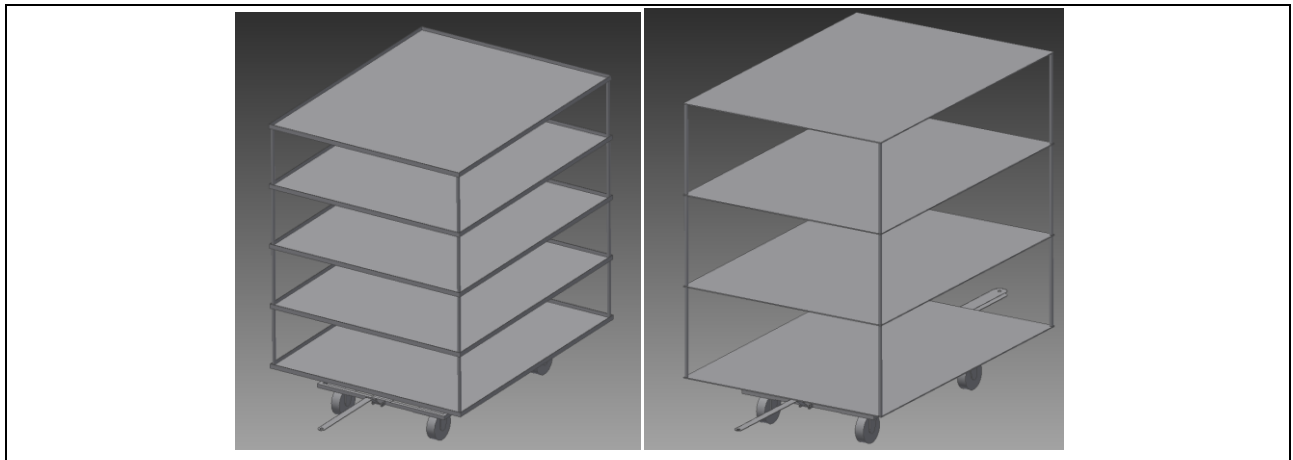


Abbildung 3.57: Anhänger für mittlere und große Regalteile<sup>248</sup>

---

<sup>247</sup> Eigene Darstellung

<sup>248</sup> Eigene Darstellung

### 3.5.8 Anhängerkapazitäten

Aus der Simulation des internen Materialflusses wurde iterativ die notwendige Kapazität der einzelnen Bereiche ermittelt. Tabelle 3.14 zeigt die notwendige Kapazität des Milkrunwagens für die Bereiche „Schütten“, „Regalteile mittel“ und „Regalteile groß“.

Tabelle 3.14: Benötigte Kapazitäten

Bereiche	Kapazität der Bereiche laut Simulation
Schütten	21
Regalteile mittel	12
Regalteile groß	5

#### Bereich „Schütten“:

Als Optimum wurde eine Kapazität von 21 Schütten ermittelt. Da dieser Wert nur die vollen Schütten betrifft und alle vollen Schütten auch im Laufe des Aufladevorgangs leer auf dem Anhänger Platz haben müssen, muss der Schüttenanhänger 42 durchschnittliche Schütten fassen.

#### Bereich „Regalteile mittel“:

Dieser Anhänger ist derselbe wie der Anhänger mit den Schütten. Dort müssen die 12 Regalteilpositionen Platz haben.

#### Bereich „Regalteile groß“:

Große Regalteile sind Bauteile, die volumenmäßig nicht auf den Anhänger mit mittleren Regalteilen passen. Da jedes Bauteil in einer Anzahl von 2 Teilen an die Arbeitsplätze transportiert werden muss und jedes Regalfach am Anhänger nur 1 Teil fasst, muss der Anhänger für große Regalteile doppelt vorhanden sein.

Der Milkrunzug mit Zugfahrzeug und Anhängern für Schütten und Regalteile ist in Abbildung 3.58 dargestellt. Darauf sind die einzelnen Bereiche ersichtlich: Schütten (1), mittlere Regalteile (2) und große Regalteile (3)

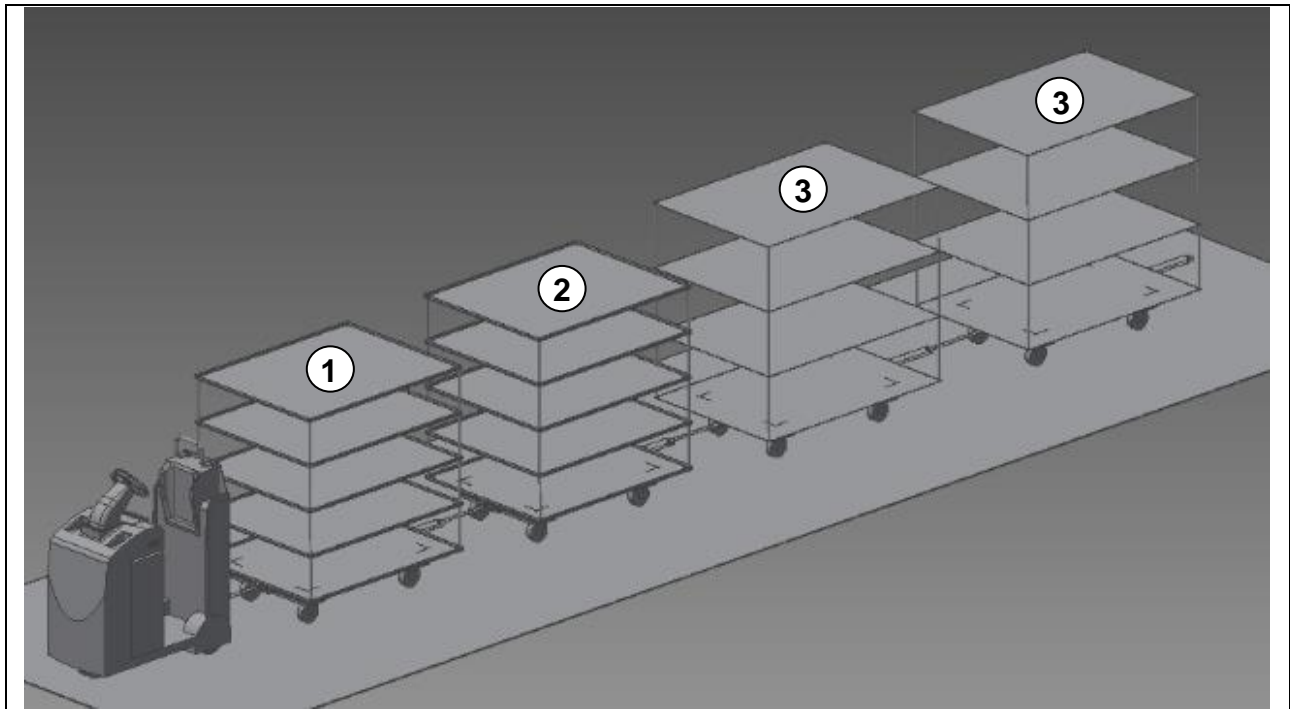


Abbildung 3.58: Milkrunzug<sup>249</sup>

Es wurden Bauteile definiert, die nicht auf den in Abbildung 3.58 gezeigten Anhängern transportiert werden, sondern auf Spezialanhängern.

### Ausgenommene Positionen:

- Batteriezellen
- Fahrersitz
- Beifahrersitz
- Türrahmen rechts
- Türrahmen links

Für die Batteriezellen wurde seitens der TU Graz ein Spezialanhänger skizziert.

---

<sup>249</sup> Eigene Darstellung

Fahrersitz und Beifahrersitz sowie die Türrahmen sollen bereits auf Transportgestellen angeliefert werden. Die Transportgestelle sollen dabei über Deichseln verfügen, mit denen sie am Milkrunwagen angehängt werden sollen.

Laut Simulation beträgt die maximale durchschnittliche Beladedauer der Schütten und Regalteile im Lager 30 Sekunden pro Position. Wird diese Zeit überschritten, kommt es früher oder später zu einem Engpass von Bauteilen an den Arbeitsplätzen.

Forderungen:

- Eingeschulte Logistikmitarbeiter und standardisierte Abläufe
- Übersichtliche Arbeitsplätze
- Gut erreichbare und vorkommissionierte Bauteile im Lager

Falls es trotz Einhaltung dieser Forderungen zu Engpässen bei der Belieferung kommt, kann auch die Befüllung der Schütten an den Arbeitsplätzen erhöht werden, da aufgrund der Flexibilität in der Produktion die Größe der Schütten auf eine Tagesproduktion von 8 Fahrzeugen ausgelegt wurden.

Die maximale Befüllung der Schütten führt zu mehr gebundenem Kapital innerhalb der Montagelinie, erhöht aber auch die Befüllungszeit der Schütten im Lager.

### **3.5.9 Logistikmitarbeiter**

Die im letzten Kapitel vorgeschlagene Strategie für den internen Materialfluss benötigt einen Mitarbeiter, der sich ausschließlich mit dem Bedienen des Milkrunwagens auseinandersetzt, sowie weiteren Mitarbeitern, die ergänzende Arbeiten tätigen, um die Produktion aufrecht zu erhalten. In Tabelle 3.15 ist ersichtlich, welche Mitarbeiter dafür notwendig sind.

Tabelle 3.15: Benötigte Logistikmitarbeiter

Milkrunner	Kümmert sich um die Versorgung der Arbeitsplätze mit Bauteilen, die mittels Milkrun angeliefert werden.
Lagerverwalter	Ergänzt den Milkrunner beim Versorgen der Arbeitsplätze mit Bauteilen. Zusätzlich kümmert sich der Arbeiter um das Bestücken des Lagers und die Eingangskontrollen.
Logistikmitarbeiter – Außenlager	Führt die außerhalb der Produktionshalle gelagerten Bauteile der Produktion zu.

### 3.5.9.1 Arbeitsanweisung Milkrunner

Der Mitarbeiter der den Milkrunwagen bedient, soll während der gesamten Produktionszeit die Milkrunroute abfahren und sich um folgende Tätigkeiten kümmern:

1. Beim Durchfahren der Route gibt es definierte Haltestellen. Kommt der Milkrunner an eine Haltestelle, kontrolliert er die der Haltestelle zugewiesenen Regale auf Kanbankarten und die Durchlaufregale auf leere Schütten.
  - a. Leere Schütten am vorhanden: Es wird die leere Schütte entnommen und auf der entsprechenden Seite des Milkrunwagens auf den Anhänger für Schütten auf den ersten freien Platz gestellt.
  - b. Kanbankarten vorhanden: Wenn eine Kanbankarte vorhanden ist, wird diese auf den Anhänger für Regalteile bzw. große Regalteile gelegt und damit ein Fach für das Bauteil reserviert.  
Ausschlaggebend dafür ist die Regalgröße aus dem die Kanbankarte entnommen wurde.  
Bei kleinen Teilen können mehrere Bauteile in einem Fach am Milkrunwagen transportiert werden, während für große Bauteile sogar 2 Fächer für eine Position reserviert werden müssen (z.B. Batteriebox).
  - c. Bauteile für die Regale auf Milkrunwagen vorhanden: Wenn Regalteile vorhanden sind, werden diese in die entsprechenden Fächer der Regale an den Arbeitsplätzen gelegt und die beiliegende Kanbankarte in die Rutsche des Regalfaches gelegt, um sie dem Produktionsarbeiter zukommen zu

lassen. Die vollen Schütten werden in die vorgesehenen Plätze in den Durchlaufregalen geschoben.

2. Dieser Schritt wird für alle Haltestellen wiederholt.
3. Bei Einfahrt in das Lager wird kontrolliert, ob Spezialanhänger für den nächsten Zyklus notwendig sind. Wenn entsprechende Kanbankarten vorhanden sind, werden die Anhänger an den Milkrunzug angekoppelt.

Innerhalb des Lagers stoppt der Milkrunwagen nach Bedarf. Dort werden die leeren Schütten entnommen, mit Bauteilen befüllt und wieder auf den Milkrunwagen und Regalteile auf die dafür reservierten Plätze am Anhänger gelegt.

### 3.5.9.2 Aufgaben Lagerverwalter

Der Lagerverwalter ist für das Lager verantwortlich. Er nimmt Wareneingänge entgegen, kontrolliert diese und bestückt das Lager.

Um die Wiederbefüllungszeit der Positionen durch den Milkrunner so kurz wie möglich zu halten und Fehler zu vermeiden, soll der Lagerverwalter die benötigten Bauteile im Lager bereits vorportionieren.

An den meisten Arbeitsplätzen sind entweder Werkzeugwägen oder Tische vorhanden, auf denen Normalien gelagert sind. Die Befüllung dieser Schütten wird nicht durch den Milkrunner durchgeführt, da keine Reserveteile am Arbeitsplatz vorrätig sind, sondern durch den Lagerverwalter.

### 3.5.9.3 Aufgaben Logistikmitarbeiter – Außenlager

Die Bauteile, die außerhalb der Produktionshalle gelagert werden, wie beispielsweise der Rahmen, die Kabine oder die Batteriezellen, müssen durch den Außenlagermitarbeiter der Produktion zugeführt werden. Er transportiert die benötigten Teile zur Schnittstelle Außenbereich-Produktionshalle (Rampe), wo sie übernommen und weitertransportiert werden. Tabelle 3.16 zeigt eine Übersicht der betroffenen Positionen.

Die Batteriezellen werden im Batterielager in eine Box geschichtet, kontrolliert und dokumentiert. Diese Box wird vom Außenlagermitarbeiter bei Bedarf an die Rampe transportiert und dort in den Spezialanhänger für Batteriezellen eingeführt.

Der volle Spezialanhänger wird im Bereich des Lagers gepuffert und vom Milkrunner bei Bedarf angehängt. Der leere Anhänger wird wie die leeren Boxen für Batteriezellen vom



Lagerverwalter zur Rampe transportiert, wo der Anhänger wiederbefüllt werden kann und die Boxen vom Außenlagermitarbeiter zur Wiederbefüllung ins Batterielager transportiert werden können.

Tabelle 3.16: Übergabe von Positionen an Produktion

Position	Lagerung	Übergabe
Rahmen	Montagetisch	Arbeiter RA1
Kabine	Gestell	Arbeiter KA1
Batteriezellen	Batteriezellenanhänger	Milkrunner



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

In Zusammenarbeit mit SFL technologies sollte die gesamte Produktions- und Betriebsstättenplanung für die Serienproduktion des Elektrofahrzeugs ELI durchgeführt werden. Die Produktion sollte auf eine Tagesproduktionsmenge von 4 Fahrzeugen ausgelegt werden, wobei im Zuge der Planung eine mögliche Erweiterung der Ausstoßmenge berücksichtigt werden sollte, um eine gewisse Flexibilität in den Prozess integrieren zu können.

Ziel dieser Arbeit war es, im Zuge der Planung der Serienfertigung, ein internes Materialflusssystem auf Basis eines modernen, ganzheitlichen Produktionssystems zu entwickeln.

Dazu wurden während einer Ist-Stand-Analyse, die zur Produktion notwendigen Schritte analysiert und anschließend zu einzelnen Produktionsmodulen zusammengefasst. Nach Einführung einer Taktzeit und einem anschließenden „Workloadbalancing“ wurden die mechanischen Montagearbeitsplätze in Form einer Hauptlinie und 2 weiteren Linien miteinander verkettet.

Die Zuführung der benötigten Bauteile vom Lager zu den Arbeitsplätzen kann prinzipiell bedarfs- oder verbrauchsorientiert geschehen. Da genau festgelegt wird, wie viele Fahrzeuge pro Tag gefertigt werden sollen und genau bestimmt ist, welche Bauteile in welcher Anzahl verbaut werden, kann die Versorgungshäufigkeit genau vorherbestimmt werden und die Teilezuführung zentral geplant und von einem Logistiker oder den Montagearbeitern selbst durchgeführt werden.

Prinzipiell gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Teilebereitstellung. Die Vor- und Nachteile einiger Varianten werden in weiterer Folge kurz diskutiert

Variante 1: Die benötigten Materialien werden von den **Montagemitarbeitern** selbstständig aus dem Lager geholt und zu den Arbeitsplätzen transportiert.

Variante 2: Die benötigten Materialien werden von einem **Logistikmitarbeiter** selbstständig aus dem Lager geholt und zu den Arbeitsplätzen transportiert

Variante 3: Versorgung mit Bauteilen durch einen **Logistikmitarbeiter** bedarfsorientiert und produktionssynchron mittels Milkrunkonzept

Tabelle 4.1: Bewertungsmatrix Teilebereitstellung

Variante	Kosten	Flexibilität	Planung	Auslastung	Aufgabe
1	+	-	O	O	-
2	O	-	O	-	+
3	-	+	-	+	+

Tabelle 4.1 bewertet die einzelnen Varianten bezüglich ihrer Kosten, Flexibilität, dem Planungsaufwand, der Auslastung und der Aufgabenteilung der Arbeiter.

Kosten: Kosten, die bei der Einführung der Variante entstehen. Die Gesamtkosten gliedern sich in Kosten, die bei der Anschaffung entstehen und Kosten des laufenden Betriebes.

Bei den Varianten 1 und 2 werden keine Durchlaufregale und Reservebehälter für die Teilebereitstellung benötigt. Ebenso entfällt der kostenintensive Routenzug. Es können kostengünstigere Regalsysteme oder Teilewagen zur Lagerung der Materialien am Arbeitsplatz verwendet werden. Variante 3 weist die höchsten Kosten bei der Planung und Anschaffung auf. Variante 1 besitzt die niedrigsten Kosten bei laufendem Betrieb, da ein Arbeitsplatz, der des Logikers, eingespart werden kann.

Flexibilität: Beschreibt die Fähigkeit der Variante auf eine Erhöhung der Produktionsmenge, oder auf die Einführung einer zweiten Produktionsschicht zu reagieren.

Die einzige Variante, die es erlaubt, ohne Veränderungen eine weitere Produktionsschicht einzuführen, ist Variante 3, da die Belieferung produktionssynchron erfolgt.

Planung: Stellt den Planungsaufwand der jeweiligen Bereitstellungsvariante dar.

Den höchsten Planungsaufwand weist Variante 3 auf, da die Belieferung durch den Routenzug sehr komplex im Vergleich zu den bedarfsgesteuerten Varianten ist.

Auslastung: Beschreibt die Auslastung der Transportmittel bei der Teilebereitstellung und somit die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Variante.

Die größte Auslastung bei der Teilebereitstellung wird bei Variante 3 erreicht. Durch den Einsatz eines Milkrunsystems und einer Strategie zur Nivellierung der Auslastung, werden, im Gegensatz zu den anderen Varianten, Leerfahrten vermieden.

Aufgabe: Dieser Punkt zeigt, wie ausgeprägt die Aufgabenteilung zwischen Logistikaufgaben und Montageaufgaben ist.

Bei Variante 1 wird die Materialbereitstellung durch die einzelnen Produktionsmitarbeiter durchgeführt. Bei den Varianten 2 und 3 wird die Belieferung der Arbeitsstationen durch einen Logistiker realisiert. Dadurch ist eine Aufgabenteilung zwischen Produktion und Logistik gewährleistet.

Tabelle 4.1 zeigt, dass der Einsatz einer verbrauchsorientierten produktionssynchronen Versorgung der Arbeitsstationen mit Bauteilen eine gute Möglichkeit der internen Materialbereitstellung darstellt. Obwohl die Planung relativ aufwendig und die Kosten bei der Implementierung im Vergleich höher sind als bei anderen Bereitstellungsarten, wurde diese Variante aufgrund der Vorteile in den Bereichen Flexibilität, Auslastung und Aufgabenteilung ausgewählt.

Um diese Versorgung zu gewährleisten wurde eine Milkrunversorgung eingeführt. Der dafür notwendige Routenzug wird von einem Logistiker bedient und besteht aus einem Schleppfahrzeug und mehreren Anhängern für Klein- und Großladungsträger. Die Anzahl und Größe der Anhänger, sowie die Haltestellen innerhalb der Produktion wurden durch eine Materialflusssimulation optimiert. Eine Herausforderung bei der Belieferung der Stationen stellte die unterschiedliche Belieferungsfrequenz von Logistik-A-Teilen und Logistik-C-Teilen dar.

Um den dadurch entstehenden Versorgungsengpass zu umgehen, wurde im Zuge der Detailplanung eine Strategie zur Nivellierung der Milkrunauslastung eingeführt, bei der nicht alle C-Teile zugleich, sondern über die Woche verteilt gleichmäßig verbraucht werden.

Mithilfe der Simulation die Spezifikationen des Milkruns ermittelt werden. Die wesentlichsten Parameter sind die Transportkapazitäten des Routenzuges.

Der finale Routenzug besteht aus einem Schleppfahrzeug und Anhängern mit dem sich der Milkrunner auf einer fixen Route durch die Produktion und den Lagerbereich bewegt. Er besteht aus einem Anhänger für Schütten, einem Anhänger für kleine Regalteile und zwei Anhängern für große Regalteile. Des Weiteren wurde ein Spezialanhänger für die Zulieferung der Batterien aus dem Lager konstruiert, der bei Bedarf an den Milkrunwagen angekoppelt werden kann.

Am 25.11.2016 wurde ELI der Öffentlichkeit am Standort in Stallhofen im Rahmen eines Roll-Outs präsentiert und die Fähigkeiten des Elektrofahrzeuges demonstriert. ELI ist das erste Elektrofahrzeug, das zu 100 Prozent in Österreich entwickelt wurde und eine europäische Zulassung erhalten hat.

Demnächst (Stand Februar 2017) beginnt die Serienproduktion des Fahrzeuges mit geplanten 1000 Stück pro Jahr. Im Zuge der Produktion wird sich herausstellen, inwiefern die Planung der Serienproduktion die gesetzten Ziele erfüllt und ob noch weitere Optimierungen vorgenommen werden können.

Eine mögliche Optimierung, aufbauend auf dieser Arbeit, kann die weitere Digitalisierung einiger Aspekte der Produktion darstellen. Der Einsatz von Industrie 4.0 in Form von E-Kanban und RFID-Tracking der einzelnen Bauteile kann auch nachträglich in die Simulation implementiert werden. Diese Werkzeuge können innerhalb des Milkruns eingesetzt werden, um die Arbeit des Logistikers zu erleichtern. Die Umstellung auf E-Kanban in Kombination mit visuellen Technologien wie Reparables, Tablets oder Smart-Watches, können helfen die richtigen Behälter im Lager zu finden oder die Auffüllreihenfolge von Behältern zu optimieren.

## 5 Literaturverzeichnis

**Bangsow, Steffen (2011):** Praxishandbuch Plant Simulation und SimTalk. Anwendung und Programmierung in über 150 Beispiel-Modellen. [Elektronische Ressource]. München: Hanser Verlag.

**Bauer, Jürgen (2014):** Produktionslogistik/Produktionssteuerung kompakt. Schneller Einstieg in die produktionslogistik mit SAP-ERP. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg (Essentials).

**Bauernhansl, Thomas (2014):** Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink).

**Bauernhansl, Thomas; Hompel, Michael ten; Vogel-Heuser, Birgit (2014):** Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg (SpringerLink).

**Becker, Torsten (2008):** Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. 2., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

**Dangelmaier, Wilhelm; Laroque, Christoph; Klaas, Alexander (2013):** Simulation in Produktion und Logistik 2013. [Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung ; 15. ASIM Fachtagung] ; Paderborn, 09. - 11. Oktober 2013. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst. Univ. Paderborn (ASIM-Mitteilung, 147).

**Dewitz, Marco; Günther, Willibald A.; Arlt, Thomas (2014):** Fahrplanoptimierung für innerbetriebliche Routenverkehre. Timetable Optimization for In-Plant Milk-Run Systems.

**Dickmann, Philipp (2009):** Schlanker Materialfluss. Mit Lean Production, Kanban und Innovationen. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (VDI-Buch).

**Dombrowski, Uwe (2015):** Ganzheitliche Produktionssysteme. Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch).

**Erlach, Klaus (2007):** Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

**VDI Richtlinie 2870-1, Juli 2012:** Ganzheitliche Produktionssysteme.

**Gelenbe, Erol; Guennouni, Hatim (1991):** "FlexSim". A flexible manufacturing system simulator. In: *European Journal of Operational Research* (53), S. 149–165.

**Götzer, Andreas (2016):** Produktionslogistik: Gabelstapler vs. Routenzug. Online verfügbar unter <https://www.andreasgoetzer.de/produktionslogistik-gabelstapler-routenzug/>, zuletzt aktualisiert am 30.10.2016, zuletzt geprüft am 09.01.2017.

**Grundig, Claus-Gerold (2009):** Fabrikplanung. Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. 3., neu bearb. Aufl. München: Hanser.

**Gudehus, Timm (2012):** Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Studienausg. der 4., aktualisierten Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch, / Timm Gudehus ; 2).

**Hartberger, Helmut (1991):** Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme. Berlin, Heidelberg: Springer (iwb Forschungsberichte, Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München, 32).

**Hopp, Wallace J.; Spearman, Mark L.:** To Pull or not to Pull: What is the Question? In: Manufacturing & Service Operations Management, Vol. 6, No. 2, Spring 2004, S. 133–148.

**Jan-Hendrik Stanetzki (2014):** Unternehmer Lexikon. Online verfügbar unter <http://www.unternehmerlexikon.de/reihenfertigung/>, zuletzt geprüft am 16.11.2016.

**Konold, Peter; Reger, Herbert (2003):** Praxis der Montagetechnik. Produktdesign, Planung, Systemgestaltung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag (Vieweg Praxiswissen).

**Lödding, Hermann (2008):** Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 2., erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (VDI-Buch).

**Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.) (2006):** Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis // Ein Handbuch für die Praxis ; mit 16 Tabellen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

**Martini, Andreas; Stache, Ulrich:** Forschungsbericht: Planung von Routenzugsystemen. In: Tagungsband: 20. Magdeburger Logistiktage, S. 88–92.

**Nordgren, William B. (2003):** Flexible simulation (Flexsim) software: Flexsim simulation environment. Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation.

**Empfehlung VDA 4811, Mai 2013:** Qualitätskriterien für Simulationsstudien der Ablaufsimulation.

**Rother, Mike; Shook, John; Wiegand, Bodo (2015):** Sehen lernen. Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen. Dt. Ausg.,



Version 1.4, Oktober 2015. Mülheim an d. Ruhr: Lean Management Inst (Workbooks für Lean Management).

**Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon (2014):** Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch).

**Suri, Rajan (2003): QRM and POLCA: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century.** Center for Quick Response Manufacturing. Masison, USA.

**Suri, Rajan (2015):** Erfolgsfaktor Zeit Quick Response Manufacturing. Übersetzung aus dem Englischen durch Markus Menner. 1. Aufl. Norderstedt: Books on Demand.

**Syska, Andreas (2006):** Produktionsmanagement. 1. Aufl. s.l.: Gabler Verlag.

**Tegel, Andreas (2012):** Analyse und Optimierung der Produktionsglättung für Mehrprodukt-Fließlinien. Eine Studie zum Lean-Production-Konzept. @Augsburg, Univ., Diss., 2010. Wiesbaden: Gabler Verlag (Produktion und Logistik).

**Thürer, Matthias; Stevenson, Mark; Protzman, Charles W. (2016):** Kartenbasierte Steuerungssysteme für eine schlanke Arbeitsgestaltung. Grundwissen Kanban, ConWIP, POLCA und COBACABANA. Wiesbaden, s.l.: Springer Fachmedien Wiesbaden.

**Waurick, Timo (2014):** Prozessreorganisation mit Lean Six Sigma. Eine empirische Analyse. Wiesbaden: Springer Gabler.

**Wiendahl, Hans-Peter; Reichardt, Jürgen; Nyhuis, Peter (2014):** Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. 2., überarb. und erw. Aufl., [elektronische Ressource]. München: Hanser.

**Zirn, Oliver; Weikert, Sascha (2006):** Modellbildung und Simulation hochdynamischer Fertigungssysteme. Eine praxisnahe Einführung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

## 6 Internetquellenverzeichnis

**FlexSim Software Products Inc:** FlexSim. Online verfügbar unter <https://www.flexsim.com/flexsim/>, zuletzt geprüft am 21.11.2016.

**Götzer, Andreas (2016):** Produktionslogistik: Gabelstapler vs. Routenzug. Online verfügbar unter <https://www.andreasgoetzer.de/produktionslogistik-gabelstapler-routenzug/>, zuletzt aktualisiert am 30.10.2016, zuletzt geprüft am 09.01.2017.

**Jan-Hendrik Stanetzki (2014):** Unternehmer Lexikon. Online verfügbar unter <http://www.unternehmerlexikon.de/reihenfertigung/>, zuletzt geprüft am 16.11.2016.

**HEROLD Business Data GmbH (2017):** Firmendaten SFL technologies. Online verfügbar unter <https://www.herold.at/gelbe-seiten/stallhofen/DkqLw/sfl-technologies-gmbh/>, zuletzt aktualisiert am 09.02.2017, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Anlagenbau:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/spektrum/anlagenbau>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Chronik:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/unternehmen/chronik/>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), E-Mobility:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/spektrum/e-mobility>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Energietechnik:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/spektrum/energietechnik>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Fassadenbau:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/spektrum/fassadenbau>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Glastechnik:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/spektrum/glastechnik>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Lichttechnik:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/spektrum/lichttechnik>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**SFL technologies GmbH (2013), Portrait:** A-8152 Stallhofen. Online verfügbar unter <http://www.sfl-technologies.com/unternehmen/portrait/>, zuletzt aktualisiert am 2013, zuletzt geprüft am 11.02.2017.

**Siemens (2016):** Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., Plant Simulation. Online verfügbar unter [http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml), zuletzt geprüft am 21.12.2016.

**Simio LLC:** The Simio Product Family. Hg. v. Simio LLC. Online verfügbar unter <http://www.simio.com/products/>, zuletzt geprüft am 10.12.2016.

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Unternehmenszahlen SFL technologies .....	2
Tabelle 2.1: Aspekte der Arbeitsbereichsgestaltung.....	46
Tabelle 2.2: Eignung von Routenzugsystemen .....	60
Tabelle 2.3: Gestaltungsalternativen Schlepper .....	62
Tabelle 2.4: Gestaltungsalternativen Anhänger.....	62
Tabelle 2.5: Merkmale von Systemen .....	65
Tabelle 3.1: Benötigte Teilwägen laut Grobplanung .....	81
Tabelle 3.2: Festgelegte Pufferbestände .....	84
Tabelle 3.3: Verwendete Kleinladungsträger (Schütten) .....	85
Tabelle 3.4: Bausteine für die Modellierung der Arbeitsabläufe.....	95
Tabelle 3.5: Bewegliche Elemente im Simulationsmodell.....	96
Tabelle 3.6: Materialflusselemente im Simulationsmodell .....	97
Tabelle 3.7: Bereiche am Milkrunwagen.....	122
Tabelle 3.8: Geplante Teilwagen .....	129
Tabelle 3.9: Positionen pro Arbeitsplatz .....	134
Tabelle 3.10: Vor- und Nachteile der Strategie "Priorität A-Teile" .....	141
Tabelle 3.11: Vor- und Nachteile der Strategie "Nivellierung" .....	146
Tabelle 3.12: Haltestellen laut Abbildung 3.52.....	150
Tabelle 3.13: Milkrunanhänger .....	152
Tabelle 3.14: Benötigte Kapazitäten .....	154
Tabelle 3.15: Benötigte Logistikmitarbeiter.....	157
Tabelle 3.16: Übergabe von Positionen an Produktion.....	159
Tabelle 4.1: Bewertungsmatrix Teilebereitstellung .....	156

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Standorte SFL technologies.....	3
Abbildung 1.2: Unternehmensbereiche SFL technologies.....	4
Abbildung 1.3: Produktionshalle ELI.....	7
Abbildung 1.4: Produktionshalle.....	8
Abbildung 2.1: Werkstättenfertigung.....	11
Abbildung 2.2: Reihen-, Fließfertigung.....	12
Abbildung 2.3: Karreeform.....	16
Abbildung 2.4: U-Form.....	17
Abbildung 2.5: Linienform.....	18
Abbildung 2.6: Zielgrößen in der Logistik.....	25
Abbildung 2.7: Durchlaufzeit Losfertigung vs. One Piece Flow.....	30
Abbildung 2.8: Verschwendungsarten nach Ohno.....	32
Abbildung 2.9: Material- und Informationsfluss, Push- und Pull-Systeme.....	35
Abbildung 2.10: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess.....	37
Abbildung 2.11: Prozesssteuerung bei Six Sigma.....	39
Abbildung 2.12: Versand bei M-t-S.....	42
Abbildung 2.13: Wertstrom bei M-t-O und Kanban-Regelung.....	43
Abbildung 2.14: Direkter Versand bei M-t-O.....	43
Abbildung 2.15: Versand bei M-t-O.....	44
Abbildung 2.16: Auftragsabwicklungsarten.....	45
Abbildung 2.17: Zwei-Karten-Kanban.....	49
Abbildung 2.18: Ein-Karten-Kanban.....	50
Abbildung 2.19: Bereitstellungsstrategien.....	52
Abbildung 2.20: Bearbeitungszellen einer Produktion.....	57
Abbildung 2.21: Fluss von POLCA-Karten für eine bestimmte Bestellung.....	58
Abbildung 2.22: Phasen der Routenzugplanung.....	61

Abbildung 2.23: Planungswerkzeuge der digitalen Fabrik .....	66
Abbildung 2.24: Vorgehensmodell Ablaufsimulation.....	68
Abbildung 3.1: Erstes Blocklayout der Fahrzeuglinie .....	76
Abbildung 3.2: Grobplanung Hauptmontagelinie .....	79
Abbildung 3.3: Grobplanung Batterieboxlinie.....	80
Abbildung 3.4: Grobplanung Kabinenlinie.....	81
Abbildung 3.5: Kanbankarte .....	86
Abbildung 3.6: Flussdiagramm Unterteilung der Bauteile .....	88
Abbildung 3.7: Benötigte Produktionsfläche in der Grobplanung .....	90
Abbildung 3.8: Finales Produktionslayout.....	91
Abbildung 3.9: Bauteilattribute .....	97
Abbildung 3.10: Attribute der modellierten Fördergüter .....	98
Abbildung 3.11: Gliederung der modellierten Fördergüter .....	98
Abbildung 3.12: Montageprozess Linienarbeitsplätze .....	100
Abbildung 3.13: Förderhilfsmittel im Simulationsmodell.....	101
Abbildung 3.14: Montageprozess Vormontagearbeitsplätze.....	102
Abbildung 3.15: Teilwagen innerhalb eines Vormontagearbeitsplatzes.....	103
Abbildung 3.16: Montageprozess Elektrik-Vormontagearbeitsplätze.....	104
Abbildung 3.17: Montageprozess Kabelbaumfertigung .....	105
Abbildung 3.18: Lokale Variablen, Eingangspuffer .....	106
Abbildung 3.19: Zuweisung von Werten an die lokalen Variablen .....	106
Abbildung 3.20: Schüttenerzeugung.....	107
Abbildung 3.21: Definition der Schüttenbelegungen im Simulationsmodell .....	108
Abbildung 3.22: Bauteilerzeugung innerhalb der Schütte .....	109
Abbildung 3.23: Belegte Eingangspuffer.....	110
Abbildung 3.24: Puffer für leere Schütten und Kanbankarten.....	111
Abbildung 3.25: Tabellen mit hinterlegten Bearbeitungszeiten .....	111
Abbildung 3.26: Geöffnete Tabelle mit Bearbeitungszeiten .....	112

Abbildung 3.27: Init-Methode zur Bestimmung der Bearbeitungsdauer.....	113
Abbildung 3.28: Modellierung des Lagerbereiches.....	115
Abbildung 3.29: Modellierung von Haltestellen mittels Sensoren .....	115
Abbildung 3.30: Netzwerkebenen innerhalb des Simulationsmodells.....	117
Abbildung 3.31: Arbeitsplatz RA1 im Netzwerk „Produktionshalle“ .....	117
Abbildung 3.32: Anordnung der Arbeitsplätze innerhalb des Modells.....	119
Abbildung 3.33: Produktionslayout im Simulationsmodell .....	120
Abbildung 3.34: Modell des Milkrunzuges auf der Förderstrecke .....	121
Abbildung 3.35: Ladeflächenkapazität des Milkrunzuges .....	122
Abbildung 3.36: Zeitparameter Milkrun .....	123
Abbildung 3.37: Kapazitätsparameter Milkrun .....	124
Abbildung 3.38: Finales Layout mit Milkrunroute .....	125
Abbildung 3.39: Materialflüsse in der Fahrzeuglinie .....	127
Abbildung 3.40: Materialflüsse Vormontage Elektrik - Montagelinie .....	130
Abbildung 3.41: Materialflussverknüpfungen Kabelbaummontage .....	131
Abbildung 3.42: Materialflüsse Gesamtlayout.....	132
Abbildung 3.43: In der Simulation abgebildete Arbeitsplätze .....	133
Abbildung 3.44: Aufteilung der Positionen nach Wertigkeit .....	135
Abbildung 3.45: Aufteilung der Positionen nach Wertigkeit und Schütten .....	136
Abbildung 3.46: Schüttenoutput je Produktionszeit .....	138
Abbildung 3.47: Schüttenoutput.....	139
Abbildung 3.48: Milkrunauslastung.....	139
Abbildung 3.49: Schüttenoutput pro Taktzeit nach Nivellierung.....	142
Abbildung 3.50: Wahl einer Startbedingung für Logistik-A-Teile.....	144
Abbildung 3.51: Wahl einer Startbedingung für Logistik-C-Teile .....	145
Abbildung 3.52: Startbedingungen für die Schüttenbefüllung bei Logistik-C-Teilen ....	146
Abbildung 3.53: Milkrunroute innerhalb des Simulationsmodelles.....	148
Abbildung 3.54: Milkrunroute nach Lagererweiterung .....	149

Abbildung 3.55: Zugfahrzeug.....	152
Abbildung 3.56: Grundrahmen.....	153
Abbildung 3.57: Anhänger für mittlere und große Regalteile .....	153
Abbildung 3.58: Milkrunzug .....	155