

Konzeptvorschlag zur Automatisierung des
Fertigwarentransports bei Mahle Filtersysteme
Austria GmbH

Masterarbeit
von
Dipl.-Ing. Patrick Christopher Allen



eingereicht am
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
der
Montanuniversität Leoben

Leoben, März 2016

Aufgabenstellung

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient 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.

Leoben, März 2016

Dipl.-Ing. Patrick Christopher Allen

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Kurzfassung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, ein Konzept für den Fertigwarenabtransport von der Produktion in den Lagerbereich auszuarbeiten. Es soll dabei untersucht werden, ob ein fahrerloses Transportsystem eine geeignete Alternative zu händischem Palettentransport darstellt.

In dieser Arbeit wird erst der bestehende Materialfluss bei Mahle Filtersysteme Austria GmbH in Wolfsberg untersucht und im Anschluss neu gestaltet, um die Bedingungen für ein fahrerloses Transportsystem zu schaffen. An dem Standort werden jährlich über 2 Millionen Mechatronik Bauteile für die Automobilindustrie gefertigt. Zuerst werden alle Tätigkeiten, welche den Materialfluss im Unternehmen betreffen untersucht und für den wichtigsten Bereich ein Wertstromdiagramm gezeichnet. Eine Marktanalyse und Lieferantengespräche führen zu Angeboten verschiedener Lösungsmöglichkeiten unterschiedlicher Hersteller. Die gestellten Angebote werden mit dem Analytic Hierarchy Process bewertet und das beste sowie günstige Angebot wird anschließend betriebswirtschaftlich untersucht. Es wird eine dynamische Amortisationsrechnung und eine LifeCycle-Costs Rechnung durchgeführt. Für die gefundene Lösung wird ein neuer Materialfluss vorgeschlagen, welcher die Vorteile eines FTS bestmöglich ausnutzen kann und ein Umsetzungsvorschlag in mehreren Schritten ausgearbeitet. Es ist dafür neben den Prozessen des Materialtransports auch die Layout-Gestaltung des Intralogistikbereichs zu ändern. Es wird eine gesamtheitliche Optimierung unter den Aspekten der Lean-Logistik angestrebt.

Das Ergebnis der Arbeit ist, dass der Materialfluss umfangreich neu gestaltet werden muss, um eine automatische Lösung einsetzen zu können. Die betriebswirtschaftliche Betrachtung hat gezeigt, dass bei dem aktuellen Materialdurchsatz und der Umsatzprognose für die nächsten Jahre ein FTS nicht rentabel ist.

Abstract

The main objective of this thesis is to propose a concept for a new material flow for Mahle Filtersysteme Austria GmbH in Wolfsberg. The study examines the shop floor area towards the storage area. This restructuring should include a new automated process to transport the finished goods pallets instead of the manual handling process before. Mahle is manufacturing various mechatronic products for the automotive industry. Every year more than two million products leave the plant towards the costumers.

To implement an automated guided vehicle system properly the whole material flow has to be changed. In a first step all processes around the finished goods flow are going to be analyzed and a value stream map will be drawn for the most important part. A scan of the current market situation and discussions with suppliers will lead to proposals for possible AGV-systems. In the end four suppliers will offer a potential solution. With the help of the Analytic Hierarchy Process the best product will be found and later on economically evaluated. The cheapest and the best offer are analyzed with a dynamic pay back calculation and a life cycle costs computation. For the best solution a new material flow will be proposed, so that all advantages of the new automated system can be used to the fullest extent. An implementation concept in several steps will be delivered at the end of the thesis.

The finding of this thesis is, that an automated process is possible if the material flow will be completely redesigned. From an economical point of view, the AGV is not advisable. The amount of goods, that have to be transported and the sales forecast indicate that the system will not be profitable within the near future.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problembeschreibung	2
1.2	Ausgangssituation des Unternehmens Mahle Filtersysteme Austria GmbH	3
2	Wertstrom	6
2.1	Darstellung	7
2.2	Kennzahlen und Optimierung	14
2.3	Lean	16
3	Fahrerlose Transportsysteme	21
3.1	Fördermittel und -systeme	21
3.2	Normen und Definitionen	24
3.3	Steuerung, Navigation und Technik	26
4	Bewertung und Auswahl von Alternativen	32
4.1	Lifecycle Costing	35
4.2	Dynamische Amortisationsrechnung	37
4.3	Analytischer Hierarchieprozess	39
5	Erarbeitung eines neuen Materialflusskonzepts	43
5.1	Aufnahme des Ist-Zustands und Materialflusses	43
5.2	Probelauf FTS St. Michael	48
5.3	Neuer Materialfluss	49
6	Angebotseinholung	55
7	Bewertung der Alternativen	65
7.1	AHP	65
7.2	Amortisationsrechnung	69
7.3	Lifecycle Costs	71
8	Umsetzung des Konzepts	74
8.1	Schritt eins	76
8.2	Schritt zwei	77
8.3	Schritt drei	78
8.4	Schritt vier	79
8.5	Schritt fünf	80

9	Ergebnis und Potential für die Zukunft	84
9.1	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	84
9.2	Potential für die Zukunft	86

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
CNC	Computerized numericalcontrol
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
ESD	Electrostaticdischarge
FIFO	First-in-first-out
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS	Fahrerloses Transportsystem
KLT	Kleinladungsträger
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LCC	Lifecycle Costing
MA	Mitarbeiter
NWA	Nutzwertanalyse
RFID	Radiofrequenyidetification
ROI	Return on Investment
TCO	Total Costs of Ownership
TPS	Toyota productionsystem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WMS	Warehousemanagementsystem

1 Einleitung

Diese Masterarbeit wurde von der Firma Mahle Filtersysteme Austria GmbH am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben in Auftrag gegeben.

Im Betrieb der Mahle Filtersysteme Austria GmbH werden Mechatronikkomponenten gefertigt. Es ist ein Tochterunternehmen von Mahle Filtersysteme Austria GmbH in St. Michael ob Bleiburg. Derzeit hat der Weltkonzern Mahle ungefähr 75.000 Mitarbeiter an 170 Produktionsstandorten. 2014 hatte der Gesamtkonzern knapp 10 Mrd. Euro an Umsätzen und einen Konzerngewinn von 10 Mio. Euro bei einer Eigenkapitalquote von nicht ganz 38%. Die Mahle GmbH wird von der Mahle Stiftung GmbH, welche 99,9% der Geschäftsteile innehält und von der Mabeg, welche 0,1% der Anteile hält, geleitet. Am Standort in Wolfsberg arbeiten derzeit 216 Mitarbeiter auf einer Gesamtfläche von 16.000m². Die Filterproduktion, welche ursprünglich an den Standort verlegt wurde, ist verlagert worden. Derzeit werden am Standort Wolfsberg Dieselheizer, Wastegate-Steller, Abgasrückführventile und Drosselklappensteller gefertigt. In Zukunft könnten noch Steller für variable Turboladerschaufeln, neue Abgasrückführventile und elektrische Kühlwasserpumpen folgen. Die Werksleitung hat DI Michael Bach inne, er ist auch Produktionsleiter. Unter der Werksleitung sind die Abteilungen Logistik, Qualitätsmanagement, Produktion und Prozesse/Arbeitsvorbereitung angesiedelt. Es gibt am Standort Wolfsberg noch eine Entwicklungsabteilung für Aktuatoren, welche allerdings nicht direkt unter der Werksleitung in Wolfsberg steht, sondern von Mahle Austria geleitet wird.

Am Standort Wolfsberg laufen auf mehreren Fertigungslinien elektrische Heizer für Dieselfilter, Luftheizer für die Kurbelwellengehäuseentlüftung und Aktuatoren für Saugrohrsteller und Turboladerwastegates. Die Steller für Turbolader sind das Produkt mit dem größten Umsatz und Volumenstrom im Unternehmen. Diese Produkte für Volkswagen und Audi werden auf zwei Fertigungslinien in bis zu 17 Schichten pro Woche an 48 Wochen im Jahr gefertigt. Alle Linien fertigen die Produkte in mehreren Arbeitsschritten, bis zum Fertigteil. Es gibt daher keine Halbfabrikate im Unternehmen. Die Zulieferteile werden an die Linie verbracht und dort zum Endprodukt verarbeitet und auch verpackt.

Die Materialversorgung erfolgt mit Hilfe eines Milk-run-Systems mit einem Zug. Dieser bringt Kleinladungsträger (KLT) mit Rohteilen von einem Supermarkt in die Produktion und fährt in einem zwei Stunden Takt alle Linien ab. Die Fertigware wird auf Paletten von den Linien übernommen und für den Versand vorbereitet. Das Handling übernehmen Mitarbeiter mit Deichselhubwagen und Gabelstaplern gleichermaßen. Die Ware wird je nach Kunde ein- bis fünfmal pro Woche abgeholt.

Der Transport der Fertigware ist derzeit nicht optimiert und läuft nach gewachsenen Strukturen. Die Wege des Materialversorgers mit der Ameise sind zu lange und es ist auch noch der Gabelstapler in den Prozess eingebunden. Die Ware wird in chaotischen Blocklagern bis zur Kommissionierung zwischengelagert.

Ziel dieser Arbeit soll sein, diesen Fertigwaretransport zu untersuchen und eine Expertise abzugeben ob eine Automatisierung durch ein fahrerloses Transportsystem (FTS) möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist. Um die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit zu erlangen, wird zuerst das Wertstromdesign behandelt. Es wird im Theorieteil auch der Gedanken der Lean-Thematik besprochen. Für die Neugestaltung des Materialflusses werden diese Grundsätze verfolgt werden. Ebenso notwendig ist die Bewertung und Auswahl von Angeboten der Lieferanten. Dazu werden die Methoden des Lifecycle Costing sowie der dynamischen Amortisationsrechnung besprochen. Um die Lösungsvarianten auf ihre Zielerreichung und weitere Eignung hin zu bewerten wird der Analytische Hierarchieprozess erst theoretisch besprochen und nachher angewandt. Um die technischen Lösungsvorschläge bewerten und Unterschiede interpretieren zu können, werden die technischen Grundlagen von fahrerlosen Transportsystemen erarbeitet. In diesem Teil soll vor allem auf geltende Normen und die Details der Technik eingegangen werden.

Im praktischen Teil der Arbeit werden erst die genauen Prozesse sowie der Materialfluss erfasst. Mit diesen Informationen kann der Warenstrom, unter der Berücksichtigung der Vorteile und Bedingungen eines FTS, neu gestaltet werden. Ist der neue Warenfluss festgelegt, können Lieferanten ihr Angebot abgeben. Diese Angebote werden bewertet und verglichen um zu ermitteln welches die Anforderungen am besten erfüllt und für zukünftige Aufgaben die meisten Reserven bietet. Die letzten Kapitel des Praxisteils widmen sich der Umsetzung des neuen Materialflusskonzepts in mehreren Schritten und der Potentialanalyse für die Zukunft.

1.1 Problembeschreibung

Die Ausgangssituation der Diplomarbeit ist ein zweistufiger Warenflussprozess, welcher von der Materialschleuse des Fertigungsbereichs zum Verladebereich des Warenausgangs eingerichtet ist. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Materialfluss zu untersuchen und zu prüfen, ob ein automatisches Transportsystem eingesetzt werden kann. Die Prozesse können und müssen dazu teilweise massiv geändert werden, damit das System eingebunden werden kann und damit alle Vorteile des Systems ausgenutzt werden können. Dabei soll der Gedanke der Lean-Logistik eingebunden und die Prozesse in Hinblick auf den davor und danach gelagerten Wertstrom eingebunden werden.

Es ist genau zu prüfen, ob ein fahrerloses Transportsystem für diese Unternehmensgröße und die Anforderungsumgebung wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Es wird sich herausstellen, ob die kritische Menge an Transportaufträgen vorliegt und ob dieses automatische System effektiv Kosten sparen kann. Das wird sich aus dem Aufgabengebiet ergeben, welches abgedeckt werden kann.

1.2 Ausgangssituation des Unternehmens Mahle Filtersysteme Austria GmbH

Am Standort in Wolfsberg ist die gesamte Produktion in einer Halle (51a) konzentriert, dies ist in Abbildung 1 zu erkennen. Da diese als Reinraum- und ESD-Bereich ausgeführt werden muss, sowie klimatisiert ist, darf in dieser nicht mit Fahrzeugen oder Ameisen gefahren werden. Es stehen 7 Linien zur Produktion der Teile bereit, wobei nur zwei davon sogenannte Rennerlinien sind, welche in 15 Schichten oder mehr gefahren werden. Diese beiden Rennerlinien produzieren für VW und Audi die Wastegateaktuatoren. In der nächsten Halle (51), neben der Produktionshalle, befindet sich ein CNC- Bearbeitungszentrum mit Waschanlage, die Lagerbereiche mit Wareneingang, ein Kanban-Supermarkt sowie Hochregallager und freie Produktionsflächen. Aufgrund des Reinraumbereichs in der Produktion werden nur Kunststoffpaletten im Produktionsbereich geduldet.

Die Produktion wird durch einen händisch geführten Zug, welcher ein Kanban-System befüllt, versorgt. Es wird versucht, den Zug im zwei Stunden Takt fahren zu lassen und mit Hilfe von KLTs und Durchlaufregalen wird das Material zum Mitarbeiter direkt an die Linie gebracht. Einige wenige Materialien sind von der Menge und dem Volumen so umfangreich, dass diese nicht in KLTs transportiert werden. Dazu gehören die Kunststoffdeckel samt Steckeraufnahme, welche in Trays auf Paletten manipuliert werden. Bei diesen kann die Palette nicht gegen eine aus Kunststoff gewechselt werden, da die Deckel auf wenig stabilen Kunststofftrays angeliefert werden und diese beim Umheben vom Palettenwechsler beschädigt werden würden. Die Elektromotoren werden in Schaumstofftrays händisch bewegt und größere fertig bestückte Platinen werden auch direkt mit der Palette in die Produktion bewegt.

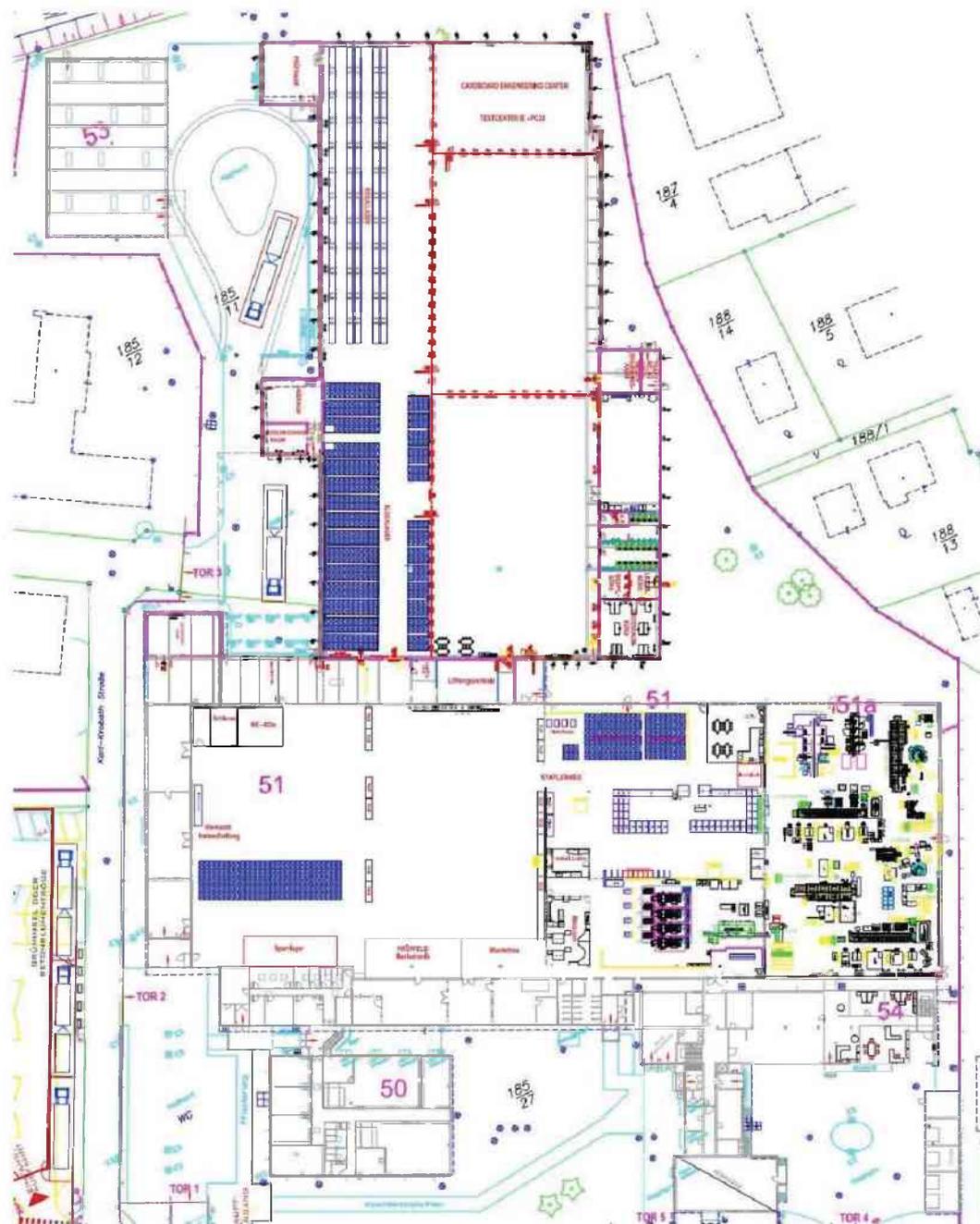


Abbildung 1: Werkslayout Standort Wolfsberg ¹

Die Produktion selbst, ist bis auf das Ausfräsen der Gehäuse im CNC-Zentrum, nur auf Montage beschränkt. Die Mitarbeiter legen an unterschiedlichen Stationen die Einzelteile auf Bauteileträger und der Zusammenbau wird von der Anlage automatisch vorgenommen. Die Rennerlinien bestehen aus folgenden Arbeitsschritten:

¹Quelle: eigene Darstellung aus Auto-CAD

- Federteller mit Schaft verschweißen (Laserschweißen)
- Zusammenbau der Schaftbaugruppe
- Schaftbaugruppe in das Gehäuse einsetzen und Motor mit Motordeckel verbauen
- Getriebe einsetzen
- Deckel mit Platine und Motorschneidkontakten aufsetzen
- Lasergravieren der Seriennummer und Steller programmieren

Am Ende der Produktion werden die fertigen Steller in KLTs oder auf Exportpaletten sortiert. Die KLTs werden auf Paletten geschichtet und auf den Fertigwarenplatz geschoben. An jeder Linie ist ein Platz für eine Fertigwarenpalette vorgesehen. Von dort werden die Paletten durch einen Logistikmitarbeiter durch die ESD-Schleuse gefahren. Es muss die Palette gewechselt werden, von Kunststoff auf Holz-Versandpalette. Je nach Produkt müssen noch Beschriftungen angebracht werden und die Palette mit Folie umwickelt werden. Die Einlagerung erfolgt mit einem Gabelstapler, dafür wird die Palette an einem Übergabepplatz bereit gestellt. Der Gabelstapler lagert die Palette in einem Blocklager ein und bucht den Transportvorgang im SAP-System. Vor der Verladung auf einen LKW werden noch weitere Versandlabels angebracht. Der Fertigwarenabtransport wird in Kapitel 5.1 genauer beschrieben.

Der zuletzt beschriebene Prozess des Fertigwarenhandlings soll durch ein fahrerloses Transportsystem wirtschaftlicher gestaltet werden. Dafür wird erst der Wertstrom der Fertigware aufgenommen und dieser auf Optimierungspotential hin untersucht. Ist eine Möglichkeit gefunden worden, für einen Teil der Strecke ein FTS einzusetzen, kann dafür von den Lieferanten Angebote eingeholt werden. Aus diesen wird das am besten passende gefunden und anschließend wirtschaftlich bewertet. Der neue Materialfluss mit dem neuen fahrerlosen Transportsystem muss im Anschluss langsam und schrittweise in die bestehenden Prozesse und Strukturen integriert werden. Diese Vorgehensweise wird in dieser Arbeit genau beschrieben und erklärt.

2 Wertstrom

Bevor ein fahrerloses Transportsystem eingeführt werden kann, ist der Materialfluss als Wertstrom aufzunehmen. Der Wertstrom wird optimiert und die Möglichkeit geprüft, ob ein FTS eingesetzt werden kann.

Mit der 1990 veröffentlichten MIT-Studie „The Machine that Changes the World“ wurde das „Toyota Production System“ weltweit bekannt gemacht. Das japanische Unternehmen hat es geschafft durch einfache Mittel seine Leistungsfähigkeit und Qualität zu steigern und gleichzeitig Kosten zu senken. Dadurch schaffte es Toyota nach dem Krieg von einem Unternehmen, das knapp vor der Schließung stand, zu dem dritt größten Automobilhersteller innerhalb kürzester Zeit.² Dies versuchten im Anschluss viele andere Unternehmen nachzumachen, mit unterschiedlich erfolgreichen Ergebnissen. Als Problem stellen sich vor allem die kulturellen Unterschiede zwischen der westlichen Welt und Japan heraus, deswegen müssen die Prinzipien und Methoden des Toyota Production Systems (TPS), auch Lean Production System genannt, entsprechend den lokalen Bedürfnissen angepasst werden.³

Teil dieses gesamtheitlichen Produktionssystems von Toyota ist die Wertstromanalyse und das Wertstromdesign. Dieses Tool soll in vereinfachter Form verwendet werden, um den Materialfluss im Unternehmen Mahle Filtersysteme Austria darzustellen.

Die verschiedenen Begriffe wie Materialflussuntersuchung, Materialflussanalyse, Materialfluss-Ablaufanalyse oder Materialfluss-IST-Analyse sind Synonyme für die Erfassung des innerbetrieblichen Transports und der Lagerung aller Materialien. Auslöser für eine solche Untersuchung kann der Wunsch nach erhöhter Prozesstransparenz sein oder die Notwendigkeit das Unternehmen effizienter zu gestalten. In dem Fall dieser Diplomarbeit ist der Auslöser die Automatisierung des Transport- und Lagerbereichs. Dadurch wird eine genaue Betrachtung der vorhandenen Verhältnisse ausgelöst und dies führt zu Materialflussoptimierungen und -planungen.⁴ Das Ziel soll sein, Schnittstellen des zukünftigen Transportsystems zu erkennen und gleichzeitig bei der Einführung eines neuen Systems die historisch entstandenen Arbeitsschritte und -abläufe zu betrachten und zu optimieren.

Der gesamte Wertschöpfungsprozess und alle Arbeitsschritte im Unternehmen lassen sich immer durch Input, Verarbeitung und Output beschreiben. Dieser generelle Prozess kann die tatsächlichen Abläufe sowohl makro- als auch mikroskopisch und in jedem Zwischenschritt des Detailgrads darstellen. So können die unterschiedlichsten Prozesse betrachtet werden und bei Bedarf wird nächst höhere Abbildungsstufe gewählt, um den Punkt der Verschwendung besser

²Vgl. Womack; Jones; Roos (2007), S. 1 ff.

³Vgl. Arnold (2008), S. 304

⁴Vgl. Martin (2009), S. 30

eingrenzen zu können und diesen im Anschluss zu optimieren. Es soll durch diese Darstellung, welche im Englischen auch SIPOC (Supplier-Input-Process-Output-Customer) genannt wird, darauf hingewiesen werden, dass jeder Prozess einen Kunden und einen Lieferanten hat, welche meist im eigenen Unternehmen zu finden sind. Nur die wenigsten Prozesse treten mit Externen in Kontakt. Es soll so für den Prozessbesitzer verdeutlicht werden, was der Kunde von seinem Prozess erwartet, gleichzeitig auch das Bewusstsein stärken, dass man selbst Kunde eines vorgelagerten Prozesses ist und Forderungen stellen kann. Diese Erkenntnis ist für Beteiligte der erste Schritt zu einer Verbesserung des Prozesses.

Ein bekannter und transparenter Prozess kann einfacher verbessert werden. Dieses ist das Ziel der Wertstromanalyse, erst Transparenz und Bewusstsein schaffen und dadurch Verschwendung erkennen lassen. Optimierungen finden nun in kleinen aber regelmäßigen Schritten statt und sind meist durch ein KVP-Rad (kontinuierlicher Verbesserungsprozess) dargestellt. Das symbolische Rad rollt durch Optimierungen die Qualitätsebene nach oben. Durch Standardisierungen wird das Rad vor dem Zurückrollen abgesichert. Ein Prozess, welcher verbessert wurde, soll die Neuerung behalten und nicht über einen längeren Zeitraum wieder ablegen. Die Richtung der Verbesserung findet meist in einem der Bereiche Zeit, Kosten oder Qualität statt, wobei diese im Zielkonflikt miteinander stehen. Das bedeutet, dass bei gleichbleibendem Produktionsprozess eine Steigerung der Qualität höhere Kosten und mehr Zeit in Anspruch nimmt.⁵

Der Grund und Ursprung der Wertstromanalyse wurde gezeigt, im folgenden Kapitel wird erläutert wie ein solcher Wertstrom zuerst in groben Zügen erfasst und im Anschluss detailliert dargestellt werden kann.

2.1 Darstellung

Abgesehen vom Wertstromdesign des TPS, wird Materialfluss auch in anderen Systemen und Normen vorgegeben bzw. behandelt. Die VDI-Richtlinie 2689 beschreibt die Grundlagen und Methoden für Materialflussuntersuchungen. Der Begriff des Materialflusses ist in der Norm wie folgt definiert:

„Materialfluss ist die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. ...“

6

Die Definition der VDI-Norm, lässt bereits erkennen, dass Materialfluss nicht nur den reinen physischen Transport der Güter und Waren behandelt, sondern auch die Produktions- und Veredelungsprozesse berücksichtigt.

Die Objekte des Materialflusses können dabei Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie auch Halbfabrikate und Fertigprodukte sein.⁷

⁵Vgl. Günthner; Boppert (2013), S. 13 f.

⁶VDI 2689 (2010)

⁷Vgl. Martin (2009), S. 22

Transport ist allerdings ein wichtiger und zeitintensiver Bestandteil und wie in Kapitel 2.3 erläutert eine nicht unerhebliche Art der Verschwendung. Der Transport erfolgt dabei immer in Ladungseinheiten auf Ladungsträgern. Eine genaue Definition dieser Begriffe ist in Kapitel 3.2 beschrieben. Für den innerbetrieblichen Transport werden unterschiedliche Transportmittel verwendet. Typisch sind Gabelstapler, Hubwagen oder auch fahrerlose Transportsysteme.⁸

Um die Wirklichkeit so verständlich und einfach wie möglich darzustellen, gibt es Methoden den Materialfluss vereinfacht abzubilden, wobei das Schaubild nicht genau entsprechen muss oder kann. Das Ziel ist die meist komplexe Wirklichkeit für alle Beteiligten so verständlich wie möglich darzustellen. Von den Arbeitern an der Linie, welche sehen sollen wie ihr Prozess zum Gesamten beiträgt bis in die höchsten Managementebenen, welchen klar werden sollen, welche Maschinen und Prozesse essenziell für das Produkt und die Wertschöpfung sind. Die Darstellung kann dabei in Form von Flussdiagrammen, Graphen, Tabellen, Block- und Wirkschaltbildern erfolgen. Aus der graphischen Darstellung lassen sich leichter mathematische Modelle generieren, welche für die anschließende Optimierung verwendet werden können. Bei diesem Prozess der Visualisierung und Analyse entsteht ein Kreislauf aus: dem realen System, das im Modell abgebildet und dabei vereinfacht bzw. abstrahiert wird. Das Modell wird analysiert und in Hinblick auf Durchsatz, Wartezeit, Staubildung etc. hin optimiert. Anschließend wird der reale Materialfluss an die verbesserte Abbildung angepasst und der Kreislaufprozess erneut angeregt. Bei der Rückübertragung in die Wirklichkeit muss auf eine geeignete Interpretation und Umsetzbarkeit geachtet werden.⁹

Eine Form den Materialfluss in frühen Phasen des Modellierens darzustellen wird folgend erklärt. Es hat sich als einfacher erwiesen, den Materialfluss zuerst schematisch in einem einfachen Schaubild darzustellen, um den grundsätzlichen Ablauf zu verstehen. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn man den Materialfluss in einem unbekanntem Unternehmen aufnehmen soll. Das Vorgehen sollte einem T-Shape entsprechen, erst eine breite Voranalyse um ein ganzheitliches Bild zu bekommen, ist dann eine Prozessgruppe gefunden, bei welcher starkes Optimierungspotential vorhanden ist, konzentriert man sich auf diese. T-Shape deswegen, weil der Querbalken des T den Prozess darstellt, dessen Betrachtung schlank gehalten ist und erst bei einem schlechten Prozessschritt in dessen Tiefe gegangen wird, welches den vertikalen Strich des T darstellt.

Diese vorerst einfache dafür aber ganzheitliche Darstellung hat auch den gewünschten Effekt, dass in großen Unternehmen bei ganzheitlicher Betrachtung ein Abteilungsdenken vermieden wird, wenn erst damit begonnen wird den Materialfluss ganzheitlich unter Einbeziehung möglichst vieler Mitarbeiter abzubilden, bewusst werden dabei auch die später möglicherweise nicht relevanten Teile des Prozesses aufgenommen.¹⁰

⁸Vgl. Erlach (2010), S. 81

⁹Vgl. Arnold; Furmans (2009), S. 48

¹⁰Vgl. Günthner; Boppert (2013), S. 156

Dargestellt wird der grobe Materialfluss mit Hilfe der Symbole in Abbildung 2.



Abbildung 2: Symbole des vereinfachten Materialflusses ¹¹

Falls der Materialflussplan über die Grenzen des Unternehmens hinaus geht, wird der innerbetriebliche Transport mit einem durchgefärbten Pfeil dargestellt und der außerbetriebliche Transport durch einen weiß gefüllten Pfeil. Für die Funktion Transportieren kann, wenn für die Darstellung relevant, das Transportmittel dargestellt sein, wobei grundsätzlich zwischen Lastkraftwagen, Gabelstapler und Fördertechnik unterschieden wird. Zusätzlich zu diesen Symbolen kann man auch Datenkästen in die Zeichnung integriert und mit Informationen zur Anzahl der Mitarbeiter an dem Arbeitsschritt bzw. wie viel Material bei einem Schritt verwendet oder bearbeitet wird, ergänzen.¹² Dieses Verfahren wird in Kapitel 5.1 angewendet um in einer frühen Projektphase schon eine Darstellung des Warenstroms zu erlangen in welcher auch erste Prozessdaten aufgenommen werden.

Ist ein Überblick geschaffen worden, wird begonnen, die Wertstromdarstellung vorzunehmen. Je nach Komplexität und Detailgrad des ersten Materialflussplans muss dieser unter Berücksichtigung der folgend beschriebenen Wertstromanalyse neu gezeichnet werden oder Teile des Plans mit Details ergänzt werden.

Wird zum reinen Materialfluss und den Produktionsprozessen auch der Informationsfluss eingezeichnet, spricht man von einem Wertstrom. Daher bildet die Wertstrommethode eine gute Visualisierungsmöglichkeit um alle Produktionsabläufe und deren Schnittstellen mit Geschäftsabläufen darzustellen, allerdings geht dabei die räumliche Anordnung der Betriebsmittel verloren. Es lässt sich mit der Wertstrommethode der Ist- und angestrebte Sollzustand abbilden. Die Transparenz der Produktionsabläufe deckt Schwachstellen auf. Der Begriff Wertstrom setzt sich aus den zwei Wörtern Wert und Strom zusammen. Ersteres repräsentiert die Wertschöpfung in einer Fabrik, das Zweite steht für den Produktionsfluss von Teilen und Informationen. Durch die Veredelung von Rohstoffen und Produkten im Fertigungsprozess wird der Wert eines Gutes gesteigert. Wirtschaftlich gesehen sollte der Gesamtwert des Produkts unter dem Nutzwert des Kunden liegen. Im heutigen Markt ist der Preis, welcher verlangt werden kann, oft vom

¹¹Quelle: Martin (2009), S. 22

¹²Vgl. Erlach (2010), S. 81

Markt selbst bestimmt und eine Gewinnsteigerung wird durch eine Optimierung der Produktionskosten erreicht. Der zweite Teil des Worts Wertstrom ist Strom oder auch Fluss und soll ausdrücken, dass die Materialbewegung von einer Fertigungsstation zur nächsten ohne Stauungen oder Unterbrechungen zu erfolgen hat um als möglichst optimal angesehen zu werden. Guter Warenstrom alleine schafft aber noch keinen Wert, weshalb das Wort Wertstrom zusammengesetzt wurde, um diese beiden wichtigen Aspekte zu vereinen. Die Tätigkeiten, welche alle notwendig sind um das Fertigprodukt zu erstellen, werden in drei Hauptgruppen unterteilt. Erstens die unmittelbar produzierenden Tätigkeiten, zweitens die logistischen Tätigkeiten und drittens alle indirekten Tätigkeiten wie Planung oder Steuerung.¹³

Die eigentliche Aufnahme des Wertstroms erfolgt durch einen Rundgang durch die Fertigung und es sind folgende Punkte zu beachten:¹⁴

- Persönliches Sichten des realen Material- und Informationsflusses.
- Angefangen werden sollte mit einem Schnelldurchlauf vom Ende zum Anfang des Wertstroms. Dies soll ein erstes Verständnis für die Abläufe in dem Unternehmen geben.
- Es ist essenziell, dass mit dem Aufnehmen am Ende des Wertstroms begonnen wird, da sich dieser „letzte“ Punkt im Unternehmen dem Kunden am nächsten befindet, von dort wird der Wertstrom aus der Sicht des Kunden stromaufwärts abgebildet.
- Es sollen nur selbst aufgenommene Information dargestellt werden, keine Planwerte oder Auskünfte von anderen Personen. Dies stellt sicher, dass alle Aufnahmen der betrieblichen Realität entsprechen. Eine Verbesserung kann nur stattfinden wenn bei der Aufnahme die Realität nicht vernebelt wird und Probleme aufgedeckt werden können.
- Der gesamte Wertstrom ist im besten Fall von nur einer Person aufzunehmen. Es werden natürlich verschiedene Personen helfen und sich an der Aufnahme beteiligen, allerdings soll durch das Darstellen durch nur eine Person gewährleistet sein, dass einer den kompletten Wertstrom als Gesamtwerk versteht.
- Die Aufnahme soll von Hand und mit Bleistift erfolgen. Es hat sich als geeignet herausgestellt, auf A3-Papier zu zeichnen und auf dem Computer bei der Erstaufnahme zu verzichten. Sollte ein Blatt nicht ausreichen, können höhere Detailgrade auf mehrere Seiten verteilt werden.

¹³Vgl. Erlach (2010), S. 7 ff.

¹⁴Vgl. Rother; Shook (2003), S. 14 ff.

Wertstromanalyse bzw. Wertstromdesign sind grundlegende Werkzeuge des Lean Management bzw. TPS, es entstehen dabei folgende Vorteile bei korrektem Einsatz:¹⁵

- Nicht nur einzelne Prozesse werden visualisiert, sondern der gesamte Wertstrom vom Eingang bis zum Ausgang des Materials wird dargestellt.
- Es wird nicht nur die Verschwendung an sich aufgezeigt, sondern auch deren Quelle im Wertstrom.
- Eine gemeinsame Grundlage für Diskussionen geschaffen, welche leicht verständlich und gestaltbar ist.
- Entscheidungen und Details des Wertstroms werden sichtbar und dadurch eine Diskussion angeregt. Die vereinfachte Darstellung der Abläufe hilft diese schneller zu hinterfragen.
- Lean Konzepte und Techniken werden gleichsam in einer Methode vereint. Es wird vermieden, gute Prozesse alleine hervorzuheben und nur einzelne Prozesse zu optimieren.
- Nach Abschluss einer Optimierungsphase ist der neu gestaltete Wertstrom bereits Grundlage für einen Umsetzungsplan.
- Einzigartig ist, dass Informations- und Materialfluss in einem Werkzeug verbunden sind.
- Wertstromdesign ist eine Methode, der sofortige Handlungen folgen können. Sie ist ein qualitatives Werkzeug, welches erklärt wie die Produktion ablaufen könnte.

Werden Materialflussschritte aufgenommen, welche Schwankungen unterliegen, wie Pufferlager, Transport- oder Durchlaufzeiten, Personaleinsatz etc. kann durch das Multimomentverfahren ein genaueres Abbildungsergebnis erreicht werden. Es wird dabei die zu beobachtende Größe mehrmals zu unterschiedlichen Auslastungszuständen und Tageszeiten beobachtet und ein Durchschnitt gebildet. Die Anzahl der Beobachtungen hängt dabei von der gewünschten Genauigkeit ab.¹⁶

Ist der Materialfluss dargestellt, kommt die Frage auf, wie dieser ausgelöst und gesteuert wird und die Kundenaufträge verarbeitet werden. Dies ist der zweite Teil der Wertstromanalyse, der Informationsfluss. Die Darstellung erfolgt als dünner Pfeil und für elektronische Übertragung ist dem Pfeil noch ein kleiner Blitz hinzu zu fügen. Ein kleines Rechteck neben dem Pfeil beschreibt die Art der Information und auf welche Weise diese übermittelt wird. Datenverarbeitung wird als großes Rechteck dargestellt in dem die Art der Informationsverarbeitung beschrieben ist. Wird in Prozesse manuell eingegriffen oder diese durch das bedienende oder disponierende Personal manuell gesteuert kommt ein go-see-Symbol zum Einsatz. Zum Beispiel wenn der Mitarbeiter nachsieht ob Material zur Verfügung gestellt wurde. Das Symbol wird durch eine Brille dargestellt.¹⁷

¹⁵Vgl. Rother; Shook (2003), S. 4

¹⁶Vgl. Martin (2009), S. 31 f.

¹⁷Vgl. Rother; Shook (2003), S. 26

Für logistische Systeme werden folgende Steuerungsarten oder Bausteine verwendet um den Wertstrom darzustellen, wobei sich alle Steuerungsarten noch generell in Push oder Pull-Steuerung einteilen lassen:¹⁸

- Kanban
- Im Fluss
- FIFO-Steuerung
- Go-See
- Auftrag
- Verkettete Fließprozesse
- Getakteter Fahrplan

Weitere Symbole werden für die Auftragsabwicklung benötigt. Dabei wird noch zwischen Geschäftsprozessen und Informationsflüssen unterschieden. Kundenaufträge werden mit Hilfe von Geschäftsprozessen abgewickelt. Diese Prozesse erzeugen Informationen, welche verarbeitet und gespeichert werden müssen. Geschäftsprozesse steuern und planen Produktionssysteme und sind durch Informationsflüsse verbunden. Ein EDV-System wird allgemein durch einen Zylinder dargestellt, ein Datensatz wird durch eine Raute und ein Dokument durch ein unterwelliges Rechteck. Die Symbole dafür sind in Abbildung 3 dargestellt.¹⁹

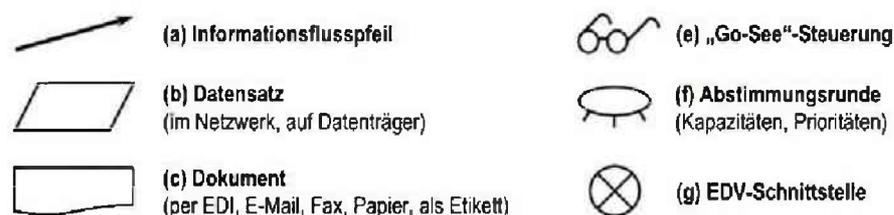


Abbildung 3: Symbole des Informationsflusses ²⁰

In Abbildung 4 ist ein von Gram in seiner Diplomarbeit gezeichnetes Wertstromdesign dargestellt. Es soll als Beispiel dienen um zu veranschaulichen wie ein Wertstrom aussehen kann. Rechts oben ist der Kunde eingezeichnet und links oben der Lieferant. Der Informationsfluss wird immer oben in der Mitte dargestellt und der Fertigungsprozess vom Lieferanten zum Kunden über das ganze Blatt. Wesentliche Elemente im Materialfluss sind mit Textkästen versehen, in welchen die wichtigsten Leistungsdaten des Prozesses stehen. Auf der unteren Seite des Blattes sind drei Zeitlinien aufgezeichnet. Diese Zeitlinien sind WZ für Wartezeit, BZ für Bearbeitungszeit und PZ steht für Prozesszeit. Die Zeiten sind als Ist-Zeiten eingetragen, welche zu Soll-Zeiten optimiert werden. Durch die den Prozessen zugeordneten Zeiten ist auf den ersten Blick erkennbar, wo die meiste Zeit liegen bleibt und welche Schritte der Fertigung zu optimieren sind.

¹⁸Vgl. Günthner; Boppert (2013), S. 151

¹⁹Vgl. Erlach (2010), S. 88 ff.

²⁰Quelle: Erlach (2010), S. 92

der Darstellung als Wertstrom ausgehend, mit der Analyse und Optimierung beginnen. Worauf dabei zu achten ist wird im nächsten Kapitel behandelt.

2.2 Kennzahlen und Optimierung

Zur Verbesserung der Prozesse dient der Kundentakt als wichtigste Kennzahl, an welcher sich das Produktionssystem orientieren sollte bzw. sogar muss, um die gewünschten Mengen des Kunden über einen endlos langen Zeitraum bereitstellen zu können. Der Begriff Kundentakt ist demnach das vom Kunden indirekt geforderte Tempo der Produktion, angegeben in Zeiteinheiten pro Stück. Die in Formel 2.1 verfügbare Betriebszeit pro Zeitraum wird berechnet indem die Arbeitstage pro Jahr mit der täglichen Arbeitszeit multipliziert werden. Der Kundenbedarf pro Zeitraum ist die geforderte Menge Produkte pro Jahr.²²

$$\text{Kundentakt} \left[\frac{\text{Zeit}}{\text{Stk.}} \right] = \frac{\text{verfügbare Betriebszeit pro Zeitraum}}{\text{Kundenbedarf pro Zeitraum}} \quad (2.1)$$

Grundsätzlich kann die Zeitperiode für Kundenbedarf und Arbeitszeit beliebig gewählt werden, Gesamtarbeitstage im Jahr oder Stunden, die Zeitperiode müssen allerdings für den Kunden und das Unternehmen gleich groß sein, damit der Takt angepasst werden kann. Die Betrachtung in Jahren und Arbeitstagen pro Jahr hat den Vorteil, dass unterschiedliche Arbeitstagzahlen in verschiedenen Ländern über das Jahr gesehen aufgehoben werden. Schlecht anwendbar ist diese Zeiteinheit bei sehr kleinen Kundenbedarfen pro Jahr, daraus ergeben sich theoretisch sehr lange Kundentaktzeiten, welche nicht als Referenz dienen können. Dies kann auftreten, wenn eine Linie mehrere Produkte fertigt und eines davon einen sehr geringen Anteil am Absatz hat.

Wäre die Wertschöpfungskette optimal und ohne Verluste würde jeder Kundenauftrag, unabhängig von dessen Umfang, einzeln bearbeitet und weitergeleitet werden. Im extremsten Fall, ein Auftrag von nur einem Stück, wäre man nicht nur im One-Order-Flow sondern sogar im One-Piece-Flow. Dabei sollte im idealsten Fall der Kundentakt der benötigten Arbeitszeit je Auftrag entsprechen. Ist der Kundentakt höher so entstehen Leer- und Wartezeiten. Dies kann durch Auftragsbündelung (horizontales Bündeln) vermieden werden. Zwischen den gebündelten Aufträgen wird der Mitarbeiter oder die Produktionsmittel für andere Tätigkeiten eingesetzt. Die eigene Fertigung darf nicht geringer als der Kundentakt sein, da man sonst nicht im Stande ist, die geforderten Mengen des Kunden zu liefern.²³

Die Zeiten, welche in das Wertstromdesign eingetragen wurden, sind die wichtigsten Indikatoren wenn man einen Ansatzpunkt für Optimierungen sucht. Die Durchlaufzeit (DLZ), ist ein erster Anhaltspunkt, wie viel Verschwendung in dem Prozess vorhanden ist, dargestellt in Formel 2.2. In der DLZ werden Warte- und Lagerzeiten ebenso wie wertschöpfende Zeit zusammen dargestellt. Grundsätzlich gilt es die DLZ zu verringern. Man kann als gegeben annehmen, dass die Prozesszeit so gering ist, dass diese nicht mehr verbessert werden kann, dies ist in der Formel

²²Vgl. Erlach (2010), S. 48

²³Vgl. Günthner; Boppert (2013), S. 153

damit angedeutet, dass die DLZ ungefähr der Summe der Warte- und Lagerzeiten entspricht. Es fällt somit das Hauptaugenmerk auf die Warte- und Lagerzeiten.²⁴ Wollte man die Prozesszeit verkürzen, sollte man den Betrachtungsmaßstab verringern und ein neues Wertstromdesign nur für den ausgewählten Produktionsschritt erstellen. Eine Reduzierung der Prozesszeit kann unter Umständen eine neue Technologie erfordern.

$$DLZ = \sum(BZ + PZ) + \sum WZ \approx \sum WZ \quad (2.2)$$

DLZ...Durchlaufzeit des Materials durch die Produktion

BZ...Bearbeitungszeit der Produkte

PZ...Prozesszeit, Zeit für einen Prozessdurchlauf des Produkts

WZ...Warte- oder Lagerzeit, keine Bearbeitung des Materials

Sind die Zeiten alle erfasst und eingetragen worden, können die Kennwerte des Zeitstroms berechnet werden. In den meisten Fällen ist es bereits zielführend, wenn die Relation von wertschöpfender Zeit zu nicht wertschöpfender Zeit errechnet wird, um den Handlungsbedarf an Verbesserungen aufzuzeigen. Das Verhältnis der beiden Zeiten wird als Flussfaktor bezeichnet und ist der prozentuale Anteil der wertschöpfenden Zeit an der Gesamtzeit. Der Flussfaktor wird wie in Formel 2.3 angegeben berechnet.²⁵

$$FF = \frac{\sum(BZ + PZ)}{\sum(DLZ)} * 100 \quad (2.3)$$

FF...Flussfaktor, Relation der wertschöpfenden Zeit zur Gesamtzeit

Abgesehen von der Betrachtung der oben genannten Kennzahlen, kann ein System auch auf seine Leistungsfähigkeit hin untersucht und optimiert werden. Eine Möglichkeit ist das Augenmerk auf Engpässe entlang des Materialflusses zu legen. Es gibt in jeder Kette ein Glied, welches in der betrachteten Periode die höchste Auslastung aufweist und den maximal möglichen Durchfluss für das Teilsystem festlegt. Dies gilt für Produktionssysteme wie auch für Logistiksysteme, wobei der Engpass des Logistiksystems an jenem der Produktion anzupassen ist, damit die Produktivität des Unternehmens innerhalb der Grenzen des Produktionsbereichs liegt und dieser nicht durch die zuarbeitende Logistik beeinträchtigt wird. Engpässe sind bis zu dem Zeitpunkt nicht auffällig und nicht problematisch, solange das Arbeitssystem nicht voll ausgelastet wird.²⁶

Nyhuis und Wiendahl stellen diese Engpässe und die minimal erreichbare Durchlaufzeit in einem Trichtermodell dar. Das Trichtermodell wird von Durchlaufdiagrammen ergänzt, diese liefern auch die Daten für die Darstellung der Trichter.²⁷ Anhand dieser Durchlaufdiagramme sieht man, welche Teilsysteme oder Komponenten einer näheren Betrachtung unterzogen werden sollten, um durch das Optimieren des Engpasses die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu steigern.

²⁴Vgl. Erlach (2010), S. 94

²⁵Vgl. Klevers (2007), S. 135

²⁶Vgl. Zsifkovits (2012), S. 102 ff.

²⁷Vgl. Nyhuis; Wiendahl (2010), S. 25

Ist mit all dieser Hilfsmittel und Kennzahlen ein besserer Wertfluss gefunden als der bisherige, wird dieser schematisch dargestellt und als Future State Map bezeichnet. Diese theoretisch ideale Ablauffolge und Anordnung der Prozessschritte und Abläufe muss anschließend in ein praxistaugliches Soll-Modell umgewandelt werden, welches den zukünftigen Wertstrom im Unternehmen darstellt.²⁸

Für die Neugestaltung der Prozesse und des Wertstroms wird nicht nur auf die oben erwähnten Kennzahlen zurückgegriffen und versucht diese zu reduzieren, ein weiterer Ansatz ist die Prozesse nach dem Lean-Prinzip kritisch zu betrachten und die Verschwendungsarten nacheinander zu eliminieren.

2.3 Lean

Der Begriff „Lean“ kommt ebenfalls aus dem Buch „The Maschine That Changed The World“, welches die Kulturen der USA und Japan vergleicht und beschreibt, wieso die Lean-Philosophie die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit eines Unternehmens steigern kann und dabei nur einfache Mittel und Methoden angewendet werden. Kern des Lean Gedankens ist die Vermeidung von Verschwendung. Durch diese Logik, wenn gänzlich ohne Verschwendung produziert werden kann, ist es einem Mitbewerber nicht möglich sein, besser oder günstiger als man selbst zu fertigen.²⁹

Auch wenn der Begriff „Lean“ heute in fast jedem modernen Unternehmen groß geschrieben wird und die ganzheitliche Einführung meist noch nicht abgeschlossen ist, ist die Idee dahinter bereits mehr als 60 Jahre alt. Die Mitarbeiter von Toyota haben in den 1950ern das Unternehmen wettbewerbsfähiger gestalten wollen und dabei das „Toyota Production System“ (TPS) eingeführt. Immer wieder in diesem Zusammenhang fällt der Name Taiichi Ohno, welcher maßgeblich an der Gestaltung mitgewirkt hat.

Lean setzt dabei den Kunden und den Wertgewinn in den Mittelpunkt. Es ist wichtig, den Kundenwert zu kennen, um auf diesen fokussieren zu können. Man sollte die Frage stellen, wofür der Kunde bereit ist zu zahlen und umdenken, von der Sicht des Unternehmens in jene des Kunden. Ist der Kundenwert einmal gefunden, können die Prozesse danach ausgerichtet werden und alles, was nicht direkt dem Kunden Mehrwert schafft, kann als Verschwendung reduziert und im besten Fall eliminiert werden. Dabei hat Ohno sieben Verschwendungsarten festgestellt:³⁰

²⁸Vgl. Dickmann (2007), S. 231

²⁹Vgl. Roos et al. (2007), S. vii, viii

³⁰Vgl. Schuh (2013), S. 2 ff.

- **Überproduktion:** Diese Art der Verschwendung wird auch Überbetriebsamkeit genannt, damit ist gemeint, dass nicht nur zu viel produziert wird, sondern auch zu früh oder auch erst für den Fall. Daraus ergeben sich diskontinuierliche Schübe in der Produktion und dies führt zu längeren Durchlaufzeiten, Lagerbeständen und im weiteren Sinn auch Transporten.
- **Bestände:** Beschreibt unwirtschaftliches Handeln durch zu hohe Bestände, diese werden in Rohmaterialien, Halbzeuge und Fertigprodukte unterschieden. Es verbraucht Platz, Transportkosten, gebundenes Kapital und erhöhte Durchlaufzeiten.
- **Transportwege:** Unnötige und zu lange Transportwege innerhalb des Unternehmens fügen dem Produkt keinen Mehrwert hinzu und der Kunde möchte dafür auch nicht zahlen. Es sind auch Transportwege innerhalb der Produktion gemeint, welche Schäden an Produkten hervorrufen können und die Produktivität verringern.
- **Bewegungen von Menschen:** Die Verschwendung von nicht wertschöpfenden Handgriffen während Arbeitsvorgängen. Durch ergonomische Arbeitsplätze kann dies vermieden werden.
- **Wartezeiten:** Es ist leicht ersichtlich, dass sich das Warten auf Material, Maschinen oder andere Prozesse negativ auf den optimalen Warenstrom auswirkt. Es beeinflusst auch direkt die Durchlaufzeit, Wettbewerbsfähigkeit und Kundenzufriedenheit. Es wird in Japan als Beleidigung angesehen, wenn der Mitarbeiter auf eine Maschine warten muss.
- **Überarbeitung:** Auch umständliche Bearbeitung, beschreibt einen nicht optimalen Prozess, meist durch nicht aktualisierte Übernahme von Prozessen aus alten Produkten oder von KVP bisher nicht berücksichtigt.
- **Nacharbeit und Fehler:** Ist ein zusätzlicher Arbeitsaufwand um dem Produkt seine Qualität zurückzugeben nachdem in einem Arbeitsschritt davor ein Fehler aufgetreten ist.

Womack und Jones haben diesen Verschwendungsarten noch eine weitere hinzugefügt. Entwerfen von Produkten, welche von Kunden nicht nachgefragt oder nicht gekauft werden.³¹ Es lässt sich nicht jede Verschwendung vollständig vermeiden, allerdings kann mit starkem Fokus auf die genannten Verschwendungsarten der Prozess stark verbessert werden.

Der zweite Schritt im Lean Thinking ist die Bestimmung des Wertstroms. Dieser Prozess wird sehr genau in Kapitel 2 erläutert. Nach der Aufnahme des Wertstroms erfolgt dessen Optimierung. Ohno will damit alle Prozessschritte zu einem kontinuierlichen Fluss des Produkts reduzieren. Der perfekte Wertstrom ist erreicht, wenn das gesamte Unternehmen in einem gleichmäßigen Takt läuft und an keinen Stellen Bestände anfallen. Puffer können prozessbedingt (Chargenfertigung) nicht immer reduziert werden. Der Kundentakt sollte das Produktionstempo bestimmen. Dies wird im nächsten Schritt durch das „Pull-Prinzip“ stärker hervorgehoben. Wird ein Produktabruf gestartet löst dieser eine Reaktion zu produzieren durch

³¹Vgl. Womack; Jones (2003), S. 15

das ganze Unternehmen aus. Durch Entnahme eines Fertigprodukts am Ende der Prozesskette wird diese angestoßen zu produzieren. Es müssen dafür von den vorgelagerten Prozessen die Teile bereitgestellt werden und die gesamte Produktionskette wird aktiviert ein Teil zu fertigen. Diese Lean-Bemühungen gipfeln im letzten Schritt, der Perfektion. In diesem ist der kontinuierliche Verbesserungsprozess integriert, welcher bei endloser Wiederholung und Verbesserung schlussendlich zu einem perfekten, verschwendungsfreien Prozess führt. Dafür sind alle vorangegangenen Schritte nötig, um den Kundennutzen bewusst zu machen und die Arbeitsschritte soweit transparent werden, dass der Optimierungsweg leicht erkennbar ist.³²

Die Lean-Philosophie, wie sie von Toyota eingesetzt wird und von Liker interpretiert, ist in Abbildung 5 dargestellt. Das „Haus“ basiert auf stabilen Prozessen, visuellem Management und ausgeglichener Produktion. Darüber hinaus braucht es noch Jidoka und JIT um damit den Arbeitsplatz und die Produktionslogistik zu verbessern. Verschwendung vermeiden und Mitarbeiter sowie Teamwork ausbauen hilft am Weg der kontinuierlichen Verbesserung. In der Darstellung sind einige der Tools um diese Ziele zu erreichen auch angeführt, die Auflistungen sind nicht vollständig. Das gesamte Haus versucht die beste Qualität, zu geringsten Kosten, in der kürzesten Zeit, mit der meisten Sicherheit und der höchsten Moral der Mitarbeiter zu erreichen. Dadurch ist das Unternehmen nach dem TPS wettbewerbsfähig.

³²Vgl. Schuh (2013), S. 5 f.

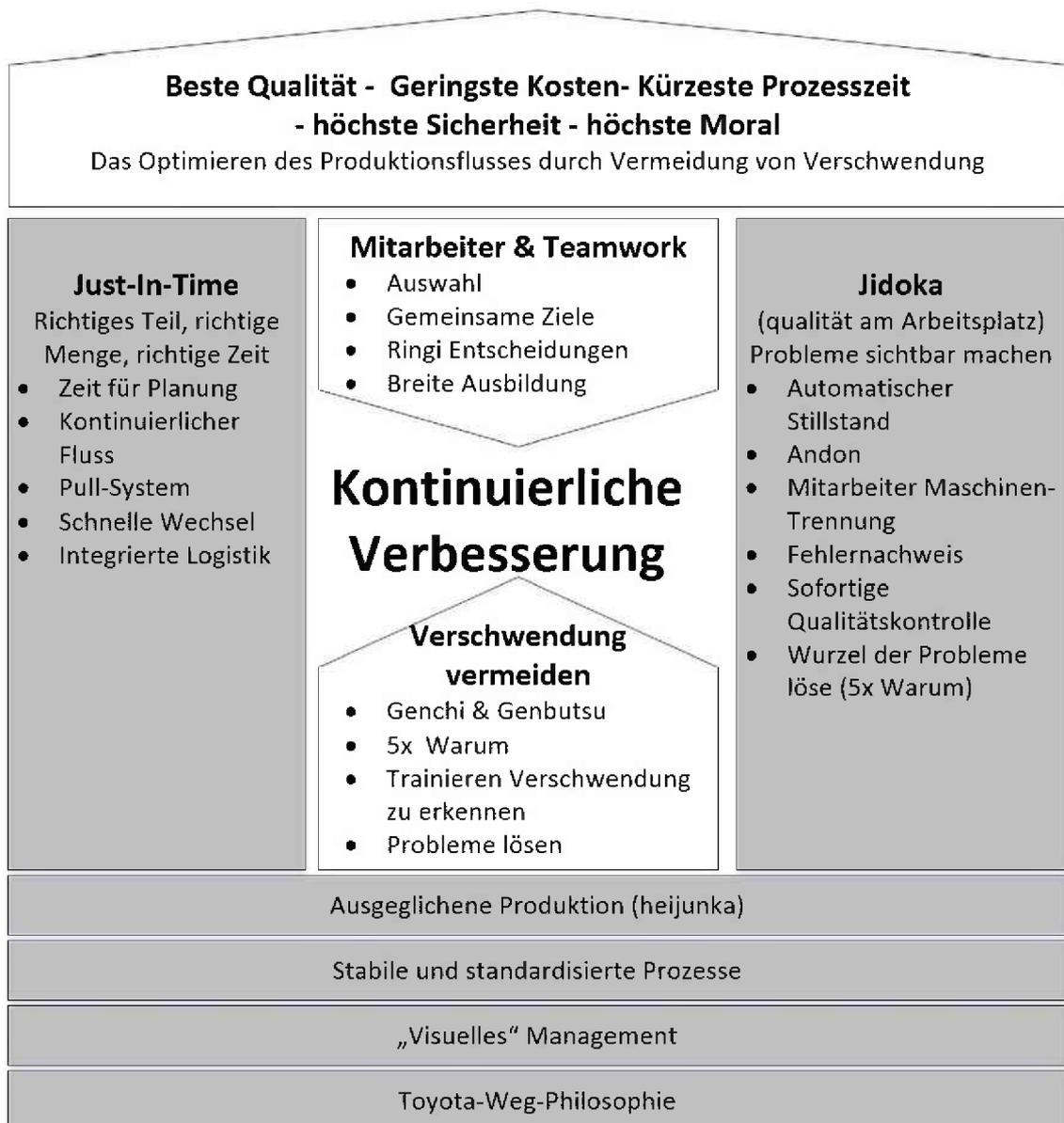


Abbildung 5: Lean- Philosophie als Haus ³³

Lean meint nicht, dass die Mitarbeiterzahl reduziert werden soll oder muss. Es soll durch „process reengineering“ und KVP der Mitarbeiter effizienter arbeiten können um die gewonnene Zeit für Verbesserungen einsetzen zu können.³⁴

Um die Schritte des Lean Thinkings umzusetzen gibt es viele Methoden, welche mit dem TPS entwickelt wurden oder nachher neben TPS entstanden sind, um die kulturellen Unterschiede zwischen der japanischen Kultur und dem westlichen Kulturkreis (weil meistens dort versucht wird das TPS einzuführen) zu überbrücken und die Denkprozesse zu ändern.

Es wird dem Mitarbeiter mit den Methoden ein Werkzeug gegeben, um die ersten Lösungen selbst zu finden und den Vorteil des „neuen“ Ansatzes zu erleben. Einfachere Tools können

³³Quelle: Liker (2004), S. 33, übersetzt aus dem Englischen

³⁴Vgl. Günthner; Boppert (2013), S. 16

dabei sein: Poke Yoka, Kanban und die 5W-Methode. Komplexer sind Ansätze wie SMED, Six Sigma und die bereits erwähnte Wertstromanalyse.³⁵

Das Streben nach Perfektion wird oft durch den PDCA (Plan-Do-Check-Act) Zyklus dargestellt. Dieser findet nicht nur bei Lean Anwendung sondern ist bereits Bestandteil vieler neuer Managementansätze und Normen (Risikomanagement, ISO 9001, ISO 14001 usw.).

Dieses Kapitel zeigt wie ein Wertstrom aufgenommen und verbessert werden kann. Es wurde erklärt welche Arten der Verschwendung es gibt und wodurch diese zustande kommen. In dieser Arbeit soll nicht nur der Materialfluss neu gestaltet werden, sondern auch ein fahrerloses Transportsystem eingebunden werden. Um für den zukünftigen Prozess die richtige Lösung zu finden müssen erst die technischen Grundlagen bekannt sein, das folgenden Kapitel behandelt diese.

³⁵Vgl. Günthner; Boppert (2013), S. 319

3 Fahrerlose Transportsysteme

Nachdem der Wertstrom aufgenommen wurde können die technischen Grundlagen von fahrerlosen Transportsystemen sowie die dazugehörigen Normen behandelt werden. Es sollen Funktionsprinzipien zur Steuerung, Positionsbestimmung und Wegfindung besprochen, um im späteren Verlauf der Arbeit die unterschiedlichen Produkte besser differenzieren zu können.

3.1 Fördermittel und -systeme

In der betrieblichen Wertschöpfung liegt der Schwerpunkt meist auf der Produktion. Zur Verfügung stellen und abtransportieren der Produktionsfaktoren nach dem Prinzip der 6 R ist die Aufgabe der Produktionslogistik, welche Teil der Supplychain ist.

Deswegen gibt es in jedem produzierenden Unternehmen eine Logistikkette, welche den gesamten Güterfluss vom Lieferanten bis zum Kunden bewerkstelligt. Diese Kette besteht aus Knoten, an welchen Tätigkeiten verrichtet werden und Kanten, welche die Knoten verbinden. Dieses Netzwerk ist nicht linear sondern breit gefächert. Der Transport der Güter entlang der Kanten kann im Unternehmen auf verschiedenste Weise geschehen.³⁶ Die Verbindung der Knoten ist je nach Systemumgebung unterschiedlich und kann von 1:1 bis n:m alle Kombinationen annehmen. Aus der Anzahl der Kanten und den Strömen über diese kann eine Vorauswahl an möglichen Fördermitteln erfolgen. Die Analyse des Systems und die Erstellung des Graphen oder der Wertströme ist in Kapitel 2 beschrieben.³⁷

Die Fortbewegung oder Ortsveränderung des Ladeguts ist Aufgabe des Fördersystems, diese werden in unterschiedliche Kategorien eingeteilt.³⁸ Fahrerlose Transportsysteme (engl. Automated Guided Vehicle, AGV) gehören zu der Gruppe der Unstetigförderer. Sie können im Vergleich zu den stetig fördernden Maschinen nur Stückgüter transportieren. Stückgüter sind in ihrer Anzahl und Form erfassbar und haben Eigenschaften wie Abmessungen, Masse und Form. Im Gegenteil dazu haben Schüttgüter keine einzeln zählbaren Bestandteile und meist keine feste Form. Maßgebliche Eigenschaften für Schüttgüter sind Dichte, Körnung, Feuchtigkeitsgehalt etc. Ladehilfsmittel können mehrere Stückgüter aufnehmen oder Schüttgüter zu einzelnen Stücken zusammenfassen. Für diese Arbeit relevante Stetigförderer lassen sich

³⁶Vgl. Arnold (2008), S. 4 f.

³⁷Vgl. Gudehus (2012), S. 825

³⁸Vgl. Hompel et al. (2007), S. 119

unterteilen in flurgebundene und flurfreie sowie schienengebundene und schienenfreie Förder-systeme. Schienen dienen nicht der Spurführung oder Stromversorgung des Fördermittels. Die verschiedenen Fördersysteme sind in Abbildung 6 dargestellt.³⁹

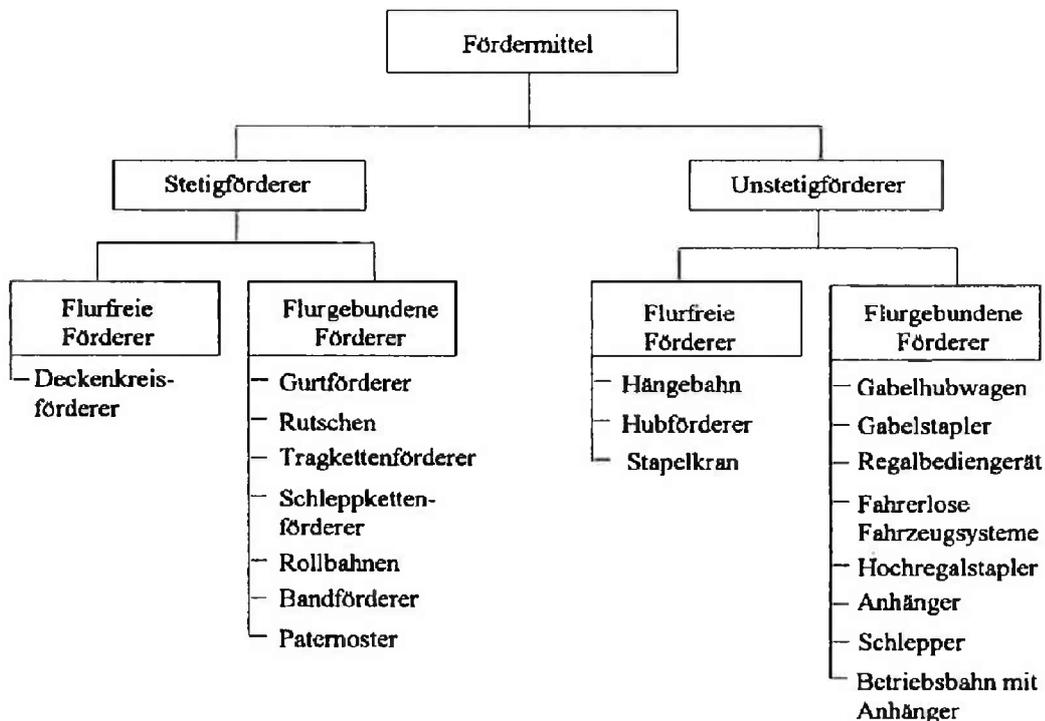


Abbildung 6: Einteilung der Foerdersysteme ⁴⁰

Unstetig fördernde, flurgebundene und schienenfreie Förderer benötigen für den Einsatz geeigneten Boden und Transporteinheiten. Sie laufen meist auf Vollgummi-, Elastik- oder Luftreifen, je nach Bodenbelag und Verschmutzungsgrad (Nägel, Späne etc.). Angetrieben werden diese von menschlicher Kraft, wenn der Weg und das Gewicht des Ladeguts klein sind, sonst kommt ein Diesel- oder elektrischer Antrieb zum Einsatz. Meist sind diese Wagen oder Stapler mit Lastaufnahmeverrichtungen versehen, um die Güter selbstständig aufnehmen zu können oder um von anderen Maschinen be- und entladen zu werden.⁴¹

Erste autonom fahrende Förderer wurden bereits in den 1950er in den USA und England eingesetzt. Damals waren es nur Schleppfahrzeuge, welche durch optische Sensoren einen auf dem Boden vorgegebenen Weg abgefahren sind. In den 1960ern wurden Gabelhubfahrzeuge zu selbstfahrenden Fördermitteln umgebaut, das Lastaufnahmemittel war somit auch schon Teil des FTS.⁴²

Das FTS steht bei der Anschaffung in direkter Konkurrenz zu den bereits erwähnten herkömmlichen Gabelstaplern und anderen, teilweise auch stetig fördernden, Transportsystemen. Das

³⁹Vgl. Römisch (2012), S. 4 ff.

⁴⁰Quelle: Wannewetsch (2007), S. 287

⁴¹Vgl. ebd., S. 151 ff.

⁴²Vgl. Mueller (2011), S. 1 f.

FTS hat seine Vorteile in folgenden Bereichen⁴³ :

- **Staplerfreie Fabrik:** Weniger Unfälle und Transportschäden; leise, saubere und sichere Transportvorgänge
- **Personalkostensparnis:** Durch Akkustationsstationen, permanenter Induktivladung oder stationärem Nachladen kann ein 24 Stunden Betrieb gewährleistet werden und die Anlagen amortisieren sich besonders im Mehrschichtbetrieb schnell. Im Dreischichtbetrieb wird mit 4,5 Mitarbeitern pro Gabelstapler gerechnet
- **Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit:** Nach der Inbetriebnahmephase ist eine Verfügbarkeit von über 98% erreichbar, die Zuverlässigkeit im Vergleich zu manuell geführten Systemen steigt auch deutlich
- **Prozestransparenz:** Durch die automatisierten Abläufe werden alle Transportprozesse deutlich sichtbar, Kennzahlen zu Durchlaufzeit oder Störungen werden genauer
- **Flexibilität:** Im Vergleich zu anderen Systemen ist ein FTS leicht zu erweitert oder Fahrstrecken einfach zu ändern. Durch Parken oder Hinzufügen von Fahrzeugen skaliert ein FTS gut mit schwankenden Produktionsmengen
- **Flächenbedarf und baulicher Aufwand:** FTS-Systeme benötigen keine Schienen oder Trägerkonstruktionen und die Fahrwege des FTS sind auch von manuell bedienten Geräten oder Personen benutzbar. Sofern die Bodenbeschaffenheit genügend ist, kann das FTS bereits vorhandene Wege nutzen. Die Reinigung der Flächen ist einfach.
- **Integration und Einsatzmöglichkeiten:** FTS-Systeme lassen sich einfach mit Toren, Ampeln anderer Fördertechnik oder automatisierten Fertigungsschritten über Schnittstellen verbinden. Das FTS lässt sich für fast alle Aufgaben einsetzen, welche auch ein manueller Stapler erledigen könnte, auch Hallen übergreifend, außen gelegen oder über mehrere Stockwerke.

Im Vergleich betreffend den reinen Transport von Ware innerhalb des Unternehmens kommt es oft zu der Frage, ob Gabelstapler oder FTS eingesetzt werden soll. Neben den bereits oben genannten Vorteilen, ist noch der Verschleiß zu berücksichtigen. Das FTS transportiert Ware viel schonender und auch Reifen, Batterien und Antrieb werden weniger belastet. Oft nicht erwähnt wird, dass FTS-Systeme meist auf eine Lebensdauer von mehr als zehn Jahren Dauereinsatz ausgelegt sind. Gabelstapler dagegen erreichen Lebensdauern von nur 3-4 Jahren. Ein nicht messbarer Gewinn eines FTS ist die Ruhe und Kontinuität welche durch ein FTS in den Fertigungsbereich gebracht wird. Der hektische und nicht ungefährliche Staplerverkehr wird durch konstante und langsamere, auch berechenbare Bewegungen des FTS ersetzt.⁴⁴

Nachteile von FTS ergeben sich aus den technischen Restriktionen. Ein Problem für die Wirtschaftlichkeit von FTS ist das Verhältnis von Fahrstrecke zu Handlingaufgaben. Letztere benötigen viel Zeit und verlangsamen den Prozess stärker durch das langsame Lastspiel. Deswegen

⁴³Vgl. Mueller (2011), S. 4 f.

⁴⁴Vgl. Ullrich (2013), S. 27

sind auf stark frequentierten kurzen Strecken Stetigförderer eine bessere Alternative. FTS-Systemen fehlt intern auch die Möglichkeit effektiv zu puffern, die Einbringung von weiteren Fahrzeugen ist zu kostenintensiv. Müssen für verschiedene Prozesse im Unternehmen verschiedene FTS-Systeme eingesetzt werden, können diese nur schlecht oder gar nicht untereinander kommunizieren, wenn diese von unterschiedlichen Herstellern bezogen wurden.⁴⁵

3.2 Normen und Definitionen

Die „VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik“ sowie der „Fachausschuss Fahrerlose Transportsysteme (FTS)“ haben 2010 einen Leitfaden zu FTS-Sicherheit veröffentlicht. Eine neue Norm, EN ISO 3691-4 ist in Arbeit, bis zu deren Veröffentlichung wird empfohlen, wie bisher die EN 1525 anzuwenden. Neben diesen Vorschriften sind Hersteller verpflichtet die Fahrzeuge so zu bauen, dass die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen erfüllt werden. Die Einhaltung der Vorschriften werden durch die CE- Kennzeichnung rechtsverbindlich bestätigt.⁴⁶

Folgend sind die wichtigsten Begriffe in Zusammenhang mit Materialtransport und FTS beschrieben:⁴⁷

- Last: zu handhabendes Objekt
- Bumper: Einrichtung, die bei physikalischer Betätigung (z.B. durch eine Person) ein Signal zum Anhalten des Flurförderzeuges erzeugt
- Steuerungssystem: Automatische Einrichtung, die das Flurförderzeug und seine zugehörigen Einrichtungen steuert und lenkt
- Lasthandhabung: Heben, Senken, Lastübergabe und Lastbehandlung
- Automatikbetrieb: Betriebsart, die keine Einflussnahmen durch eine Bedienperson erfordert
- Handbetrieb: Betriebsart, bei der alle Vorgänge von einer Betriebsperson gesteuert werden
- Gefahrenbereich: Teil des allgemeinen Verkehrsbereichs mit erhöhter Gefährdung, z.B. durch verringerten Sicherheitsabstand für Personen oder bei Lastübergabe
- Allgemeiner Verkehrsbereich: Ein nicht ausschließlich für automatisierten Verkehr reservierter Bereich

⁴⁵Vgl. Mueller (2011), S. 5

⁴⁶Vgl. VDI (2010)

⁴⁷DIN EN 1525 53.060 (1997), S 4.

Ein fahrerloses Flurfördersystem sowie dessen Komponenten sind nach EN 1525 wie folgt definiert:

„Im Sinne dieser Norm ist ein fahrerloses Flurförderzeug ein kraftbetriebenes Fahrzeug einschließlich jeglicher Anhänger, das dazu bestimmt ist, selbstständig zu fahren, wobei die Betriebssicherheit nicht von einer Bedienungsperson abhängt.“⁴⁸

Aus dem Grund, dass bei einem FTS kein Fahrer den Verkehrsweg und das Fahrzeug überwacht, müssen entsprechende Sensoren für die Sicherheit von Personen, des Fahrzeugs und der Last sorgen. Die Anordnung und Steuerung der Sensoren muss sicherstellen, dass das Fahrzeug in keinem Betriebszustand eine Gefahr darstellt.⁴⁹

Weitere Anforderungen bezüglich der Sicherheit sind eine Warneinrichtung, wenn das Flurförderfahrzeug schneller als 0,3m/s fährt, sowie eine Fahrtrichtungsanzeige, wenn das Gerät an Stellen kommt, an welchen es mehrere Möglichkeiten der Weiterfahrt gibt. Bewegt sich das Flurförderfahrzeug in eine Richtung ohne Personenschutzeinrichtung muss ein akustisches Warnsignal abgegeben werden. Personenschutzeinrichtungen müssen in der Lage sein über die volle Breite des Fahrzeugs und der Ladung in jeder Fahrtrichtung Personen zu erkennen. Personenschutzeinrichtungen dürfen bei deren Betätigung keine Verletzungen verursachen. In abgeschlossenen Bereichen oder im Handbetrieb müssen diese Einrichtungen nicht vorhanden sein.⁵⁰

Nach heutigem Stand der Technik ist SICK der weltweit führende Produzent für Personenscanner. Die anderen Hersteller weisen keine relevanten Marktanteile auf. Die Scanner der Firma SICK errichten eine 3 bis 7 Meter weite Sicherheitszone vor dem Gerät, welche durch Abgreifen der Sensordaten nicht nur zur Navigation herangezogen werden kann, sondern auch zur Erkennung von bodennahen Lagerplätzen.⁵¹ Es ist bei beengten Verhältnissen der Sicherheitsbereich einzuschränken und deswegen gleichzeitig die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu reduzieren.

⁴⁸Vgl. DIN EN 1525 53.060 (1997), S. 3

⁴⁹Vgl. Klug (2010), S. 188

⁵⁰Vgl. DIN EN 1525 53.060 (1997), S. 6

⁵¹Vgl. Ullrich (2013), S. 128

Die DIN-Norm 3691-4 enthält auch Anforderungen an folgende Komponenten des FTS⁵²:

- Komponenten mit gespeicherter Energie
- Schutz gegen unbefugte Benutzung
- Bremssystem
- Steuereinrichtungen für Handbetrieb
- Geschwindigkeitsregelung
- Batterieladen
- Lasthandhabung
- Lenkung
- Standsicherheit

Die Norm beschreibt auch die Fahrweggestaltung bezüglich der Sicherheitsabstände. Bis zu einer Höhe von 2,1m muss auf jeder Seite ein Mindestsicherheitsabstand von 0,5m gegeben sein. Ist dies nicht der Fall, ist dieser Bereich ein Gefahrenbereich. Daraus folgt die bereits erwähnte Geschwindigkeitsreduzierung auf höchstens 0,3m/s. Ebenso wird bei der Lastaufnahme, Abgabe und in Bereichen mit eingeschränkter Sicht und Kreuzungen die Geschwindigkeit geregelt.⁵³

Ladungsträger, auch Ladehilfsmittel genannt, sind nach DIN 30781, ein tragendes Mittel, welches Güter zu Ladeeinheiten zusammenfasst.⁵⁴ Die Ladungsträger können von geeigneten Systemen aufgenommen und transportiert werden.

Ein bekannter Ladungsträger, welcher auch bei der Firma Mahle viel im Einsatz ist, da fast alle Waren darauf angeliefert oder abgeholt werden, ist die Palette. Als Europalette genormt mit den Maßen 800x 1200mm ist sie von allen vier Seiten unterfahrbar. Industriepaletten mit den Maßen 1000x 1200mm sind auch im Einsatz. Europoolpaletten eignen sich nicht für den Transport in ISO-Containern, weswegen Einweg-Industriepaletten für Überseetransporte eingesetzt werden.⁵⁵

3.3 Steuerung, Navigation und Technik

Fahrerlose Transportsysteme bestehen grundsätzlich aus einer Leitsteuerung, einem Kommunikationssystem und den fahrerlosen Transportfahrzeugen selbst. Die Steuerung der FTF übernimmt und wickelt Transportaufträge ab. Die Aufträge, die Routenplanung und auch die Konfliktlösung sind den einzelnen fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) zuzuteilen. In den Anfängen und auch noch großteils bis heute wurde die Steuerung zentral angelegt. Jetzt geht die aktuelle Entwicklung in Richtung selbstständig agierender FTF, welche dezentral gesteuert

⁵²DIN EN ISO 3691-4:2006 (2006), S. 9 ff.

⁵³Vgl. ebd., S. 16 f.

⁵⁴Vgl. DIN 30781-1:1989-05 (1989)

⁵⁵Vgl. Zsifkovits (2012), S. 239 f.

werden, so genannte Agenten. Aufträge sind von einer Station an alle FTF zu senden, diese bieten um die Aufträge und das Optimale bekommt den Auftrag zugeteilt. Zu Berücksichtigt ist hierfür die Endposition des FTS und die Zeit bis zur Vollendung des letzten geplanten Auftrags.⁵⁶

Diese Art der dezentralen Steuerung kommt auch der Einsatzform des Taxibetriebs entgegen. Dabei wird nicht ein kontinuierlicher Materialfluss erzeugt, wie beim Fließlinienbetrieb, sondern jede FTF-Bewegung muss in der Steuerung angemeldet werden. Ein diesen Auftrag erfüllendes Gerät, fährt wie ein Taxi von der Quelle zur Senke und steht danach für weitere Aufträge bereit. Die Taxizentrale erledigt die Zuteilung, falls unterschiedliche FTS-Typen im Einsatz sind und regelt auch die Prioritäten der Aufträge. Durch dieses System wird das FTS flexibler und verbindet mehrere Bereiche wie: Produktion, Lager, Versand nach Bedarf miteinander.⁵⁷

Es zeigt sich, dass eine völlig autonome Fahrweise mehrerer Geräte gleichzeitig ohne Zentralsteuerung nicht möglich ist. Es ist bis jetzt nur unter großem Aufwand geschafft worden die Geräte autonom Wege finden zu lassen, ohne dass diese in einen sogenannten Deadlock fahren. Deadlock bedeutet, dass ein oder mehrere Geräte in einer Situation sind aus der sie selbst nicht herauskommen.⁵⁸ Zum Beispiel wenn sich zwei Schlepper mit Anhängern an einer Engpassstelle gegenüberstehen und nicht zurückschieben oder selbstständig ausweichen können.

Steuerungen von FTS unterscheiden sich auch in Stations- und Fahrwegstrategien. Stations-Strategien unterteilen sich in Abfertigungs- und Beladestrategien. Bei zielreiner Beladung werden die Ladeeinheiten nach Ziel und Richtung aufgenommen. Eine zielfreie Beladung erlaubt der Transporteinheit so viele Ladeeinheiten aufzunehmen wie möglich und diese anschließend zu verteilen. Je nach Steuerung kann ein Zuladen zu nicht vollständig gefüllten FTS unerwünscht sein. Die jeweils zutreffende Strategie kann die Auslastung des FTS steigern. Fahrwegstrategien können nach minimaler Fahrstrecke, maximaler Kapazitätsauslastung oder nach einem festen Fahrplan optimiert werden. Letzterer lässt sich gut in getaktete oder Chargenfertigung integrieren.⁵⁹ Es ist nicht jede Strategie für jedes FTS-System sinnvoll oder umsetzbar. Die Wahl der richtigen Strategie lässt sich bei komplexen Transportnetzwerken nicht mehr durch vollständiges Austesten herausfinden. In diesen Fällen kommen analytische Verfahren des Operations Research zum Einsatz.

Zur Lastaufnahme und Abgabe muss jedes einzelne FTF wissen, wo es sich genau befindet. Die Steuerung der Wegfindung ist nicht zentralisiert, sondern jedes Gerät fährt eigenständig. Dazu ermittelt das FTF seine Position in einem ortsfesten Koordinatensystem. Viele FTS verwenden koppeln als Unterstützung zu anderen Navigationslösungen. Dabei wird durch einen Radumdrehungssensor und Kreiselkompass die Relativbewegung des Fahrzeugs im Raum gemessen und zu der vorigen Position addiert. Durch Schlupf und sich addierende Messfehler sowie Ungenauigkeiten verliert das System immer mehr an Genauigkeit, je weiter gefahren wird. Um immer wieder eine exakte Position zu finden, von welcher weiter gekoppelt werden

⁵⁶Vgl. Schwarz et al. (2013), S. 1

⁵⁷Vgl. Ullrich (2013), S. 21

⁵⁸Vgl. Günther (2012), S. 7

⁵⁹Vgl. Gudehus (2012), S. 836

kann, wird neu gepeilt. Bei aktuellen FTS-Systemen haben sich mehrere Lösungen für die Peilung im Raum gefunden.⁶⁰ In Tabelle 1 sind alle gängigen Technologien sowie deren Vor- und Nachteile aufgelistet.

Die Fahraufträge können auf unterschiedliche Art und Weise dem Leitreechner übermittelt werden. Die einfachste Form sind Taster, welche mit der Leitstation verbunden sind. Ein Mitarbeiter betätigt den entsprechenden Knopf um das FTS „zu rufen“, wenn ein Transport anfällt. Etwas komplexer sind Sensorensysteme, welche bestimmte Palettenplätze oder andere Übergabepunkte überwachen und die Abholung des Materials automatisch veranlassen. Fast jeder Hersteller von FTS bietet auch Schnittstellen zu ERP- oder Lagerverwaltungssystemen an. Je nach Möglichkeiten des FTS, eingeschränkt durch Navigationsart und Hubhöhe, können so auch automatisiert Auslagerungen erfolgen und Transportaufträge erstellt werden. Fast alle FTF brauchen fest definierte Aufnahme- und Abgabeplätze.

⁶⁰Vgl. Ullrich (2013), S. 107 ff.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile FTS-Navigationsverfahren ⁶¹

	Vorteile	Nachteile
Leitdraht (aktiv induktiv)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ bewährte Technik ▪ einfache Fahrzeugsteuerung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ teilweise veraltet ▪ unflexibel ▪ aufwändige Bodeninstallation ▪ Layoutänderungen teuer ▪ störanfällig (Leitdraht)
optische oder (passiv) induktive Leitspur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ preiswerte Technik ▪ einfaches Layout ist schnell in Betrieb ▪ einfachste Systemsteuerung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Leitsteuerung ▪ schwer erweiterbar ▪ unflexibel ▪ störanfällig (Farbstrich, Metallband)
induktive Energieübertragung (doppeltes Stromkabel im Boden)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine oder kleine Batterien erforderlich ▪ gut geeignet für einfache Liniensysteme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aufwändige Installation ▪ keine komplexen Layouts
Magnetnavigation in Punktfolge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ einfache Bodeninstallation gegenüber Leitdraht ▪ begrenzt flexibel, nur +/- 30 cm seitliche Abweichung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fahrkursänderung nur mit Änderung der Bodeninstallation ▪ Einschränkungen bzgl. Bodenfreiheit und Bodenzustand
Raster (optisch oder magnetisch)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ freie Navigation ▪ flexibel innerhalb des Rasters ▪ Layout softwareseitig anpassbar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boden muss vorbereitet werden (Magnete) ▪ Einschränkungen bzgl. Bodenfreiheit ▪ Rasterverlegung bedeutet hohen Aufwand
klassische Lasernavigation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Bodeninstallation ▪ freie Navigation ▪ einfache Layouts werden angelernt ▪ flexibel innerhalb der Reflektorenbereichs ▪ hohe Genauigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reflektoren an den Wänden, Säulen, Maschinen ▪ ebener Boden für Mast des Laserkopfs ▪ Reflektoren ortsfest angebracht ▪ Lichteinflüsse können stören ▪ nur bedingter Außeneinsatz

⁶¹Quelle: Ullrich (2013), S. 119 f.

Lasernavigation ohne Marken (Gebäude- oder Deckennavigation)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Reflektoren oder künstliche Marken erforderlich ▪ bei Gebäudenavigation wird Personenschutzscanner als Navigationssystem eingesetzt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ erhöhter Softwareaufwand ▪ für Deckennavigation benötigt zusätzliche Sensorik ▪ Gebäudenavigation nur für Bereiche ohne viel Verkehr
Freiflug bzw. Koppelnavigation ohne Peilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine ortsfesten Installationen notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ unsicher weil Freiflug = Blindflug ▪ Fahrgenauigkeit schlecht ▪ nur für kurze Strecken
Satellitenavigation (GPS)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ frei von ortsfesten Installationen ▪ flexibel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nur für Außenbereich ▪ freier Öffnungswinkel nach oben 15° ▪ hohe Genauigkeit nur mit hohem technischen Aufwand

Fahrerlose Transportsysteme können als Singleload Carrier oder Multipleload Carrier ausgeführt werden. Es können Mitarbeiter auf dem FTF mitfahren um während der Bewegung (meist Montageplattformen) Arbeitsschritte verrichten. Das FTF kann auch als mobiler Arbeitsplatz ausgelegt sein, dabei fährt während der Bewegung kein Mitarbeiter auf dem Wagen mit.⁶²

Eine Marktanalyse hat ergeben, dass für diese Arbeit die Unterscheidung der FTS folgendermaßen sinnvoll ist: einzel KLT-Transport, Palettentransport, Unterfahrschlepper und Zugschlepper.

Der einzel KLT-Transport wird meist durch Förderbänder auf sehr kompakten und höher bauenden Fahrzeugen realisiert. Das Förderband nimmt die KLTs auf und gibt diese ab, teilweise können auch mehrere KLTs gleichzeitig transportiert werden. Der automatisierte Palettentransport wird häufig dadurch realisiert, dass bereits am Markt vorhandene Deichselhubwagen mit entsprechender Sensorik und Robotik ausgestattet werden, damit diese Paletten selbstständig aufnehmen und abstellen können. Die Unterfahrschlepper sind meist sehr kompakte und flache Fahrzeuge, welche unter Regale auf Rollen fahren können und diese mit Hilfe eines Bolzen mitnehmen. So kann auf den Regalen eine Rollenbahn mit KTLs sein, welche an die Linie verbracht oder zum Befüllen in das Lager transportiert wird. Zugschlepper sind meistens nicht in der Lage ihre Anhänger selbstständig an- oder abzukoppeln wodurch die Züge aus vorgegebenen Konfigurationen bestehen. Meist werden mit Hilfe von E-Rahmen und Einschubwagen Paletten manipuliert, allerdings müssen diese bei den Zügen händisch be- und entladen werden.

Auf technischer Ebene ermöglicht die schnell voranschreitende Miniaturisierung und Leistungsfähigkeit von Elektronikbauteilen für die Intralogistik mehr Möglichkeiten und die Vorausset-

⁶²Vgl. Ventzislavova (2013), S. 117

zungen, die oben genannten Anforderungen erfüllen zu können.⁶³

Ein oft gehörter Begriff in diesem Zusammenhang ist das „Internet der Dinge“. In diesem Netzwerk haben die vernetzten Objekte, Speicher und Software integriert und kommunizieren miteinander. Anstatt der derzeitigen Computer im Internet wird das Objekt (Werkstück, Palette etc.) selbst angesprochen. Der Mensch zieht aus diesem System den Nutzen, dass die Objekte selbstständiger werden und selbst wissen wohin, wann oder wie sie zu transportieren sind. RFID kann hier ein erster Schritt sein, jedem Gegenstand im Unternehmen diese Informationen mitzugeben und an Knoten- und Steuerungspunkten abzufragen.⁶⁴ Als erster Schritt dazu sollen mit passiven RFID-Tags markierte Ladungsträger in Datenbanken gespeichert und verwaltet werden, so die Vorstellungen von EPCglobal.⁶⁵

FTS werden in diesem Szenario immer mehr zur sich selbst steuernden Intralogistiklösungen, welche mit den Objekten kommunizieren und den Materialfluss ganzheitlich optimieren, ohne ein Zuarbeiten von Menschen zu benötigen.

In den beiden vorhergegangenen Kapiteln wurde der Wertstrom gezeichnet, verbessert und der Konnex zu Lean erläutert, sowie die Grundlagen von fahrerlosen Transportsystemen erarbeitet. Um von den Angeboten der vielen Hersteller am Markt das für das Unternehmen am besten passende zu finden, müssen die Angebote der Lieferanten bewertet werden. Dafür bespricht das folgende Kapitel einige Werkzeuge und erklärt diese mit Hilfe von Beispielen.

⁶³Vgl. Baginski in Dieter (2006), S. 225 ff.

⁶⁴Vgl. Zsifkovits (2012), S. 293 f.

⁶⁵Vgl. ten Hompel in Dieter (2006), S. 267

4 Bewertung und Auswahl von Alternativen

Der Markt für fahrerlose Transportsysteme wächst stetig und es gibt unterschiedlichste Möglichkeiten eine Transportaufgabe zu lösen. Um für das Unternehmen die optimalste Alternative zu finden, sollen in diesem Kapitel Bewertungs- und Auswahlmethoden beschrieben werden, welche auf FTS angewendet werden können.

Bei der Beschaffung von Investitionsgütern bindet das Unternehmen hohe Kapitalsummen über eine lange Zeit und möchte dabei die möglichst beste Entscheidung treffen. Die Kapitalbeschaffung ist dabei von wichtiger Bedeutung, da für Fremdkapital noch jahrelang Kosten in Form von Zinsen entstehen können. Beschaffungen von Investitionsgütern sind auch in gewisser Weise Indikator für die gesamtwirtschaftliche Situation. Ist diese besser gelegen, so fällt es leichter Kapital zu beschaffen oder bereit zu stellen, da die Rentabilität der Investition eher gesichert scheint.⁶⁶

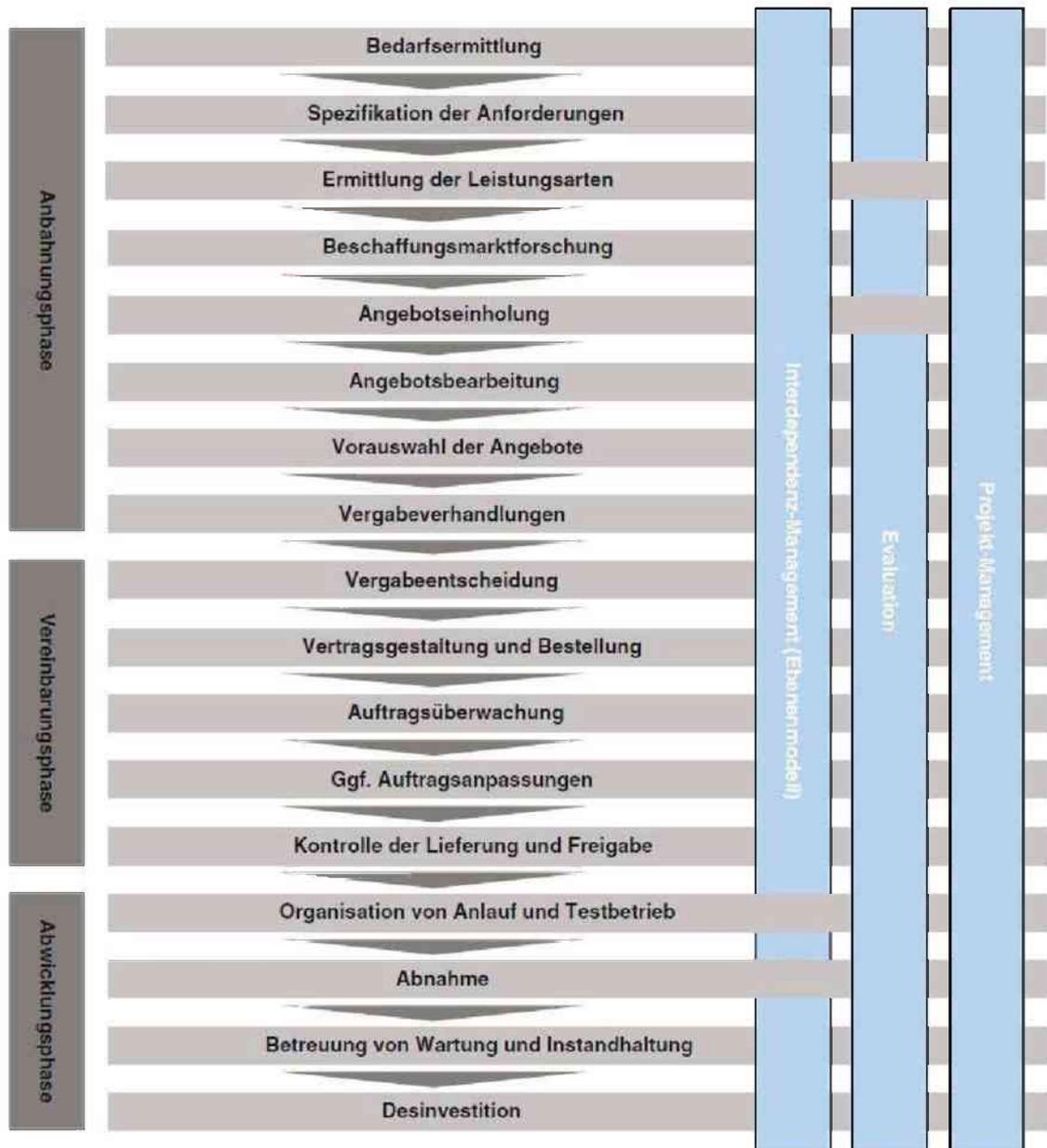
Ein Investitionsgut ist dabei ein materieller Vermögensgegenstand, welcher im Gegensatz zum Material dauernd dem Geschäftsprozess dienen soll. Er gehört deswegen auch zum Anlagevermögen. Im Fall dieser Arbeit handelt es sich um produktionsbezogene Vermögensgegenstände, welche bewertet werden sollen.⁶⁷

Damit der Gesamtsollprozess der Investitionsgüterbeschaffung in einem Unternehmen vollständig durchgeführt wird, sind die Schritte wie in Abbildung 7 durchzuführen. Der Beschaffungsprozess unterteilt sich dabei in Anbahnungsphase, Vereinbarungsphase und Abwicklungsphase, wobei über alle diese Phasen Projektmanagement, Evaluation und Interpendenz-Management stattfinden müssen. Es sollen im weiteren einige Schritte im Prozess der Investitionsgüterbeschaffung übersprungen werden, um gleich die verwendeten Instrumente der Vergabeentscheidung zu beschreiben, da für diese Arbeit der umfassende Prozess der Beschaffung des Investitionsgüters nicht von Bedeutung ist.⁶⁸

⁶⁶Vgl. Hofmann et al. (2012), S. 1 f.

⁶⁷Vgl. Large (2006), S. 8 ff.

⁶⁸Vgl. Hofmann et al. (2012), S. 24

Abbildung 7: Darstellung des Beschaffungsprozesses ⁶⁹

Eine Investition bindet Kapital, dies wirkt sich auf andere Unternehmensbereiche, durch knappere Finanzmittel aus. Es müssen verschiedene zur Verfügung stehende, Projekte miteinander verglichen werden. Um Investitionen zu rechtfertigen oder zu vergleichen kann auf die Werkzeuge der Investitionsrechnung zurückgegriffen werden. Diese unterteilen sich in statische und dynamische Verfahren.⁷⁰

Statische Verfahren berücksichtigen keine zeitlichen Unterschiede bei Geldflüssen. Diese Methoden eignen sich meist für kurze Projekte, in welchen geringe einstellige Zinsen wenig Auswirkung auf das Ergebnis der Rechnung haben. Sie sind rechnerisch weniger aufwändig und können leichter nachvollzogen werden.

⁶⁹Quelle: Hofmann et al. (2012), S. 24

⁷⁰Vgl. Brecht (2012), S. 189

Im Gegensatz dazu stehen dynamische Verfahren der Investitionsrechnung. Bei diesen sind alle Ein- und Auszahlungen auf das Periodenende (der Periodenanfang ist weniger üblich) und je nach Zeitpunkt des Geldflusses Zinsen zu verrechnen. Argumentiert wird dies damit, dass das Geld bis zum Verwendungszeitpunkt anders investiert werden könnte und sich entsprechend der Wert zum Zeitpunkt der Investition anders darstellt. Für Erträge aus der Investition gilt gleiches, je später diese erhalten werden, umso geringer wird ihr Wert in der Gegenwart. Als Zinsperiode wird meist ein Jahr herangezogen und der Zinssatz ist oft im Unternehmen vorgegeben. Wird die dynamische Investitionsrechnung über mehrere Jahre gerechnet, ist die Berechnung nicht mehr trivial. Es werden dafür meist Computerprogramme verwendet, im Gegensatz zur statischen Berechnung, welche auch von Hand leicht zu rechnen sind. Die Verfahren eignen sich nicht nur um Investitionsprojekte zu vergleichen, sondern auch um beispielsweise den Kapitalbedarf zu ermitteln oder wie in dieser Arbeit eine Modernisierung gegenüber dem aktuellen Zustand zu argumentieren.

Methoden der statischen Investitionsrechnung sind unter anderem die Amortisationsrechnung, die Kostenvergleichsrechnung und Rentabilitätsrechnung. Die Amortisation wird mit statischen Mitteln berechnet, indem der Investitionsbetrag durch den Cashflow pro Jahr dividiert wird. Das Ergebnis sind die Jahre, nach denen die Investition durch Mehrwert ihre Ausgaben wettgemacht hat. Im Vergleich dazu ermittelt die Rentabilitätsrechnung den Return of Investment (ROI), und gibt den relativen Gewinnzuwachs an. Die Kostenvergleichsrechnung stellt die Gesamtkosten der unterschiedlichen Investitionen gegenüber.⁷¹

Bei der dynamischen Investitionsrechnung gibt es dazu unterschiedliche Ansätze des Vergleichs. Am verständlichsten ist die Methode des Kapitalwerts. Bei dieser werden alle Ein- und Auszahlungen eines Jahres mit einem Abzinsungsfaktor auf das Jahr Null umgelegt. Ist die Summe im Jahr Null positiv wird durch die Investition ein Mehrwert erwirtschaftet. In den Abzinsungsfaktor fließt der Zinssatz mit ein. In Formel 4.1 ist dargestellt, wie der Kapitalwert einer Periode berechnet wird. Vergleicht man mehrere Projekte so ist jenes mit dem höchsten Kapitalwert zu bevorzugen. Ähnlich dieser Methode ist die Berechnung des internen Zinsfußes. Bei dieser wird ähnlich der Kapitalwertmethode gerechnet, mit dem Unterschied, dass das Ergebnis der Zinssatz ist. Es wird für den Kapitalwert Null eingesetzt und ermittelt, welcher Verzinsung dies entsprechen würde. Höhere Zinsen sind zu bevorzugen und negative Zinsen sind abzulehnen.⁷²

$$C_0 = \sum_{t=1}^n ((e_t - a_t) * (1 + i)^{-t}) \quad (4.1)$$

C_0 ...Kapitalwert

e_t ...Einzahlung Zeitpunkt t

a_t ...Auszahlung Zeitpunkt t

n...Zeitpunkt in Perioden

i...Zinssatz

⁷¹Vgl. Bauer; Hayessen (2006), S. 171 f.

⁷²Vgl. Brecht (2012), S. 191 f.

4.1 Lifecycle Costing

Der Begriff der „Lifecycle Costing“ (LCC) steht für ein Kalkulationsverfahren, bei dem versucht wird, die über die gesamte Lebensdauer der Anschaffungsdauer anfallenden Kosten im voraus zu bestimmen. Dies kann nicht mit absoluter Genauigkeit erfolgen, da viele Faktoren nicht über eine Lebensdauer von mehreren Jahren bis Jahrzehnten absehbar sind. Die Total „Costs of Ownership“ (TCO) unterscheiden sich, von dem sehr ähnlichen Verfahren der LCC, durch einen höheren Detailgrad. Bei dem TCO Verfahren werden zusätzlich noch die Kosten ermittelt, welche der Lieferant verursacht. Dies reicht von der Auswahl des Lieferanten und Kosten für Lieferantenmanagement bis zu den Kosten, welche die Beziehung zu dem Lieferanten verursacht. Da im Rahmen dieses Projekts die Kosten, relativ zum Umsatz des Unternehmens, nicht hoch sind, wird auf den hohen Detailgrad des TOC Ansatzes verzichtet und nach LCC gerechnet. Zudem gibt Hofmann selbst an, dass in der Praxis der theoretische Unterschied nicht relevant ist. Die LCC lassen sich nach Hofmann in fünf Phasen unterteilen:⁷³

- Planungsphase
- Realisierungsphase
- Einführung
- Nutzung
- Liquidation

Durch die Tatsache, dass die Betrachtungsweise des LCC, keine Einnahmen berücksichtigt und meist nur direkt in Geld messbare Aufwände integriert, kann man auch vom Kapitalwert der verursachten Auszahlungen sprechen. Es werden Nutzeneffekte wie Qualität oder Kundenzufriedenheit selten in die Berechnung aufgenommen, da diese fast nicht ohne willkürlichen Einfluss zu monetär zu bewerten sind. Diesen Bewertungen wird keine hohe Validität zugetraut.⁷⁴

Der Vorteil der LCC Methode liegt darin, das verhindert wird, dass die anfangs unberücksichtigten Kosten zu Fehlentscheidungen führen. Hersteller oder Lieferanten könnten die Strategie verfolgen, die Beschaffungskosten der Anlagen niedrig zu halten und den Service sowie Ersatzteile teurer zu verkaufen und so die geringen Verkaufserlöse refinanzieren. Fachlich wird dies auch eine Preispolitik der nicht gleichmäßig verteilten Deckungsbeitragsquoten über die Absatzelemente des Verkaufsverbunds genannt.⁷⁵

In Abbildung 8 ist ein Beispiel für eine TCO-Berechnung dargestellt, welches auch demonstriert, wie stark die Vermischung von LCC und TCO in der Praxis ist. In der Grafik sind beispielsweise die Kosten für die Lieferantenbeziehung nicht angeführt. Dies wäre, wie bereits erwähnt, notwendig um TCO vollständig zu berechnen. Im strengen Sinn der Definition sind in der Grafik die LCC der Anlage berechnet und nicht deren TCO. Abgesehen von der Differenzierung von TCO zu LCC ist das Wichtigste in der Grafik zu erkennen, dass der Barwert der Betriebs- und

⁷³Vgl. Hofmann et al. (2012), S. 67 f.

⁷⁴Vgl. Taschner (2013), S. 119 f.

⁷⁵Vgl. Baumeister (2008), S. 41

Rückbaukosten nicht vernachlässigt werden darf. Die Relation aus Investitionskosten, Betriebs- und Rückbaukosten und der Barwert der TCC in Relation zueinander, zeigen den Einsatzzweck der LCC Berechnung, das Darstellen aller relevanten Kostenblöcke der Anschaffung über deren Lebensdauer.

Anlagenpreis	1.300.000 €
<i>Planung</i>	40.500 €
<i>Erschließung</i>	31.500 €
<i>Fundament</i>	99.000 €
<i>Netzanbindung</i>	162.000 €
<i>Sonstige Kosten</i>	117.000 €
Gesamte Investitionsnebenkosten	450.000 €
<i>Wartung und Instandhaltung</i>	25.935 €
<i>Versicherung</i>	12.968 €
<i>Strombezug</i>	4.988 €
<i>Grundstückskosten</i>	17.955 €
<i>Steuer</i>	20.948 €
Gesamte Betriebskosten pro Jahr	99.750 €
Kosten für den Rückbau der Anlage	87.500 €
Barwert der gesamten Betriebs- und Rückbaukosten	1.079.365 €
Gesamte Investitionskosten	1.750.000 €
Barwert der Total Cost of Ownership	2.829.365 €

Abbildung 8: Beispiel einer TCO-Berechnung ⁷⁶

Durch die hohe Komplexität und die damit auftretenden Schwierigkeiten, sind die LCC und TCO-Methode in ihrer Akzeptanz begrenzt. Dies folgt auch auf die Tatsache, dass bei Investitionen über lange Zeiträume künftige Entscheidungen nicht genau abgebildet werden können. So wie ein 100%iges Abschätzen der zukünftigen Kosten nicht möglich ist, obwohl diese ein Vielfaches der Anschaffungskosten betragen können. Noch schwieriger wird die Berechnung, wenn mit den Investitionsgütern noch keine Erfahrungen im Unternehmen gemacht worden sind. Strukturiertes Vorgehen bei der analytischen Kostenabschätzung ist wichtig, um die Vergleichbarkeit mehrerer Alternativen bestmöglich zu erreichen. Um die Methode dennoch so genau wie möglich zu gestalten ist ein multipersonales Team einzusetzen, dies wird oft als Buying Center bezeichnet.⁷⁷

LCC und TCO sind nicht nur für die Beschaffung von eigenständigen Anschaffungen heranzuziehen, sondern auch für die Beschaffung von Bauteilen und -gruppen, welche in Produkte einfließen. Die Berechnung bleibt dabei im Grunde gleich, allerdings gibt es weitere Faktoren zu berücksichtigen. So kann die Qualität des zugekauften Teils auf die Häufigkeit und Kosten der Garantieansprüche der Kunden Einfluss nehmen. Auch Aufwände für Nacharbeit können in

⁷⁶Quelle: Hofmann et al. (2012), S. 73

⁷⁷Vgl. Hofmann et al. (2012), S. 72 ff.

die Berechnung mit einbezogen werden.⁷⁸

Dies trifft zwar nicht direkt auf FTS zu, aber Ausfallkosten sind zu berücksichtigen, falls die Ausfallrate in den Angeboten der Hersteller unterschiedlich ist oder die Zuverlässigkeit unterschiedlich ist. Im Englischen ist dies als „Reliability Based Total Costs of Ownership“ bezeichnet (RBTCO). Da jede Komponente mehrere Lieferanten hat, ist die Auswahl jener Lieferantenselektion, welche in Summe die geringsten RBTCO aufweist sehr aufwändig. Mit Hilfe von genetischen Algorithmen und anderen Methoden des Operations Research kann eine annähernd optimale Lösung gefunden werden. Es wird in dem Paper von Kanagaraj, Ponnambalam und Jawahar allerdings nicht darauf eingegangen, wie die Werte der Zuverlässigkeit für jeden einzelnen Lieferanten zu ermitteln sind.⁷⁹

Der Ansatz des Total TCO kann nicht nur zur Anschaffungsbewertung von Gütern herangezogen werden. Mercedes-Benz hat im Jahr 2000 begonnen, bereits in das Unternehmen integrierte Investitionsgüter zu untersuchen und Einsparungspotential aufzudecken. Erreicht wurde dies durch eine bessere Transparenz aller Kosten durch die Methode.⁸⁰

Eine genaue Abgrenzung von LCC und TCO ist auch in der Literatur nicht immer gegeben. Obwohl beide Methoden voneinander abgegrenzt und definiert sind werden sie in der Theorie und Praxis oft synonym verwendet.⁸¹ Es ist daher, nicht immer möglich eine genaue Aussage zu treffen, ob z.B. Mercedes von wirklichen TCO spricht oder die weniger aufwändigen LCC berechnet hat.

4.2 Dynamische Amortisationsrechnung

Ergänzend zur LCC-Berechnung ist auch eine Amortisationsrechnung von unternehmerischem Interesse. Ein wesentlicher Unterschied ist die Tatsache, dass bei der LCC-Berechnung nur die Kosten betrachtet werden, bei der Amortisationsrechnung auch die durch die Investition generierten Einsparung oder Einnahmen. Die LCC-Berechnung kommt zu der gleichen Wertung wie die Amortisationsrechnung, wenn die Erträge und Einsparungen der Alternativen die selben sind. Dabei ermittelt die Amortisationsrechnung, wie auch die LCC, den Vorteil eines Investitionsobjekts nur anhand einer Zahl und unter Voraussetzung der Sicherheit aller Annahmen.

Die dynamische Amortisationsrechnung ermittelt die Nutzungsdauer als Rechenergebnis, bei welcher die Kapitalwertmethode, Horizontwert und Annuität null sind. Bei der dynamischen Amortisationsrechnung wird die Zeitdauer betrachtet, bei welcher durch zurückfließende Nettzahlungen die Anschaffungszahlungen und die Verzinsung aller Beträge zum Kalkulationszinsatz sich ausgleichen. Das Ergebnis als Zeiteinheit mehrerer Investitionen kann gegeneinander verglichen werden oder auch als Auflage dienen. Eine Investition muss sich innerhalb einer bestimmten Zeitdauer amortisieren, welche unternehmensintern vorgegeben wird. Die exakte

⁷⁸Vgl. Prabhakar; Sandborn (2012), S. 387 f.

⁷⁹Vgl. Kanagaraj et al. (2014)

⁸⁰Vgl. Wannewetsch (2007), S. 57 f.

⁸¹Vgl. Bunting in Schweiger (2009), S. 39

Bestimmung der Amortisationsdauer ist nicht trivial, es muss dazu die Formel 4.2 gelöst werden. Um dies zu vereinfachen wird, wie in Abbildung 9 dargestellt, die regular falsi zwischen dem Jahr mit dem letzten negativen Kapitalwert und dem ersten positiven Kapitalwert angewendet. In der Praxis wird dazu eine Tabelle der Kapitalwerte erstellt, um die Jahre für die regular falsi zu finden. Dann wird in Formel 4.3 eingesetzt und die approximierte Nutzungsdauer errechnet. Die Ungenauigkeit liegt aufgrund der konvexen Natur der Kapitalwertfunktion immer im positiven Bereich. Das bedeutet, die Amortisationszeit wird immer ein wenig überschätzt und die Berechnung liegt damit, auch unter Berücksichtigung des Fehlers, auf der sicheren Seite.⁸²

$$0 = \sum_{k=1}^{n_{dyn}} \left((e_k - a_k) * (1 + i)^{-k} + R * (1 + i)^{-n_{dyn}} - A \right) \quad (4.2)$$

e_k ...Einzahlung Zeitpunkt k

a_k ...Auszahlung Zeitpunkt k

k...Zeitpunkt in Perioden

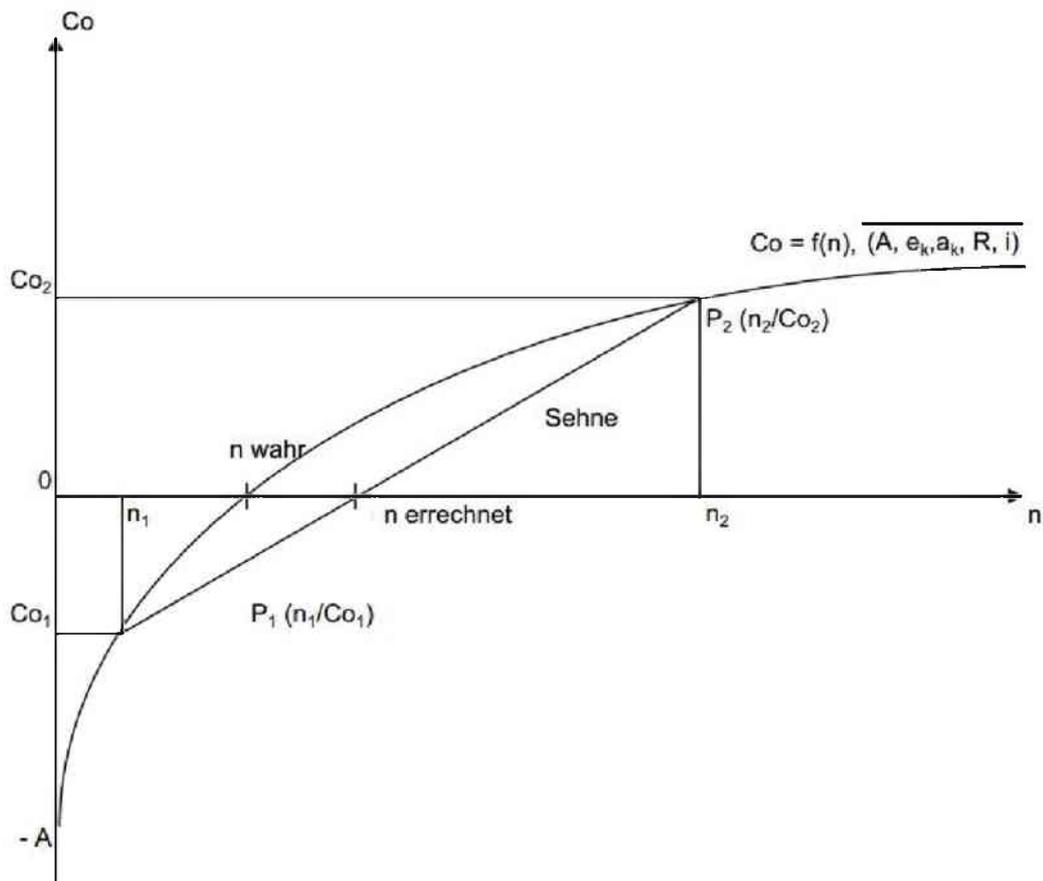
i...Zinssatz

n...Periode

$$n_{dyn} \approx n_* + \frac{C_{n_*}}{C_{n_*} - C_{n_*+1}} \quad (4.3)$$

C_{n_*} ...Kapitalwert zum Zeitpunkt n_*

⁸²Vgl. Poggensee (2009), S. 166 ff.

Abbildung 9: Bestimmung der dynamischen Amortisationszeit ⁸³

Der Amortisationsrechnung liegt das Kapitalwertmodell zu Grunde. Datenbeschaffung und Rechenaufwand sind bei beiden fast identisch. Das dynamische Amortisationsmodell ist dem statischen vorzuziehen, negativ fällt auf, dass keine Zahlungen nach dem Amortisationszeitpunkt berücksichtigt werden. Sollte eine große Instandhaltungsmaßnahme kurz nach der errechneten Kostenneutralität anfallen, wird diese nicht berücksichtigt. Es wird empfohlen die Rechnung deswegen nur als zusätzliches Instrument zur Entscheidungsfindung einzusetzen. Ein Investitionsobjekt ist absolut vorteilhaft, wenn die Amortisationszeit unter einem Grenzwert liegt. Dieser wird von Unternehmen oft intern angegeben und liegt im Bereich von wenigen Jahren. ⁸⁴

4.3 Analytischer Hierarchieprozess

Möchte man eine Entscheidung, auch auf nicht monetärer Basis, treffen müssen andere Methoden als die bisher erwähnten herangezogen werden. Die Nutzwertanalyse ist das klassische Bewertungsverfahren für mehrere Lösungsalternativen. Das Vorgehen ist dabei sehr systematisch, transparent und dadurch nachvollziehbar. Die Vergleichbarkeit wird durch eine absolute

⁸³Quelle: Poggensee (2009), S. 169

⁸⁴Vgl. Götze (2008), S. 108 ff.

Kennzahl je Alternative erreicht. Kosten können mit erhoben werden, müssen aber nicht in die Bewertung einfließen.⁸⁵

Der Analytische Hierarchie Prozess (AHP) oder besser bekannt unter dem englischen Namen „Analytic Hierarchy Process“ ist ähnlich der Nutzwertanalyse (NWA). Diese ist meist gut bekannt und leicht umzusetzen, dafür ist die Bewertung der Kriterien eher subjektiv und muss nicht zueinander konsistent sein. Der AHP dagegen beruht auf paarweisen Vergleichen, wodurch der Vorteil entsteht, dass der Anwender, nicht wie bei der NWA, eine Wertung für jedes Attribut der Entscheidung finden muss, sondern diese einfach in Paaren miteinander vergleicht und der Algorithmus errechnet im Anschluss die Wertigkeit der einzelnen Elemente selbstständig. Es ist vor allem bei vielen Elementen einfacher zwischen zwei Einzelnen zu entscheiden als eine Vielzahl zum selben Zeitpunkt zu bewerten und zu reihen. Weitere Vorteile sind:⁸⁶

- Leicht verständlich in der Anwendung (ausgenommen der mathematische Hintergrund)
- Stark strukturiert und verständlich
- Basiert auf Paarvergleichen anstatt Elemente direkt zu bewerten
- Liefert auch bei Anwendergruppen mit stark unterschiedlichen Meinungen ein Ergebnis

Aus diesen Gründen wurde der AHP als Methode für komplexe Entscheidungssituationen gewählt. Der AHP kann wie die Nutzwertanalyse qualitative wie auch quantitative Kriterien bewerten. Das Ergebnis ist ebenfalls gleich zur NWA, ein Zahlenwert je Lösungsalternative, welcher die relative Vorteilhaftigkeit einer Lösung darstellt. Der AHP wird in folgenden Schritten durchgeführt:⁸⁷

1. Bildung der Hierarchie
2. Ermittlung der Prioritäten
3. Berechnung lokaler Prioritätenvektoren (Gewichtungsfaktoren)
4. Überprüfung der Konsistenz der Prioritätenbeurteilung
5. Bestimmung von Ziel- und Maßnahmenprioritäten für die gesamte Hierarchie

Es kann vorkommen, dass einige Schritte mehrmals zu durchlaufen sind. Dies tritt vor allem auf, wenn inkonsistente Prioritätseinschätzungen vorliegen.

Der erste Schritt, die Bildung der Hierarchien, ist notwendig wenn die Anzahl der in die Bewertung einfließenden Kriterien sehr hoch ist. Um die Vergleiche zu vereinfachen, können mehrere Kriterien zu einem Übergeordneten zusammengefasst werden. Die Basis der Hierarchie, die unterste Ebene, sind alle zur Lösung zur Verfügung stehenden Alternativen, darüber stehen alle relevanten Kriterien.

⁸⁵Vgl. Brüggemann; Bremer (2015), S. 25 f.

⁸⁶Vgl. Saaty (2010), S. 9 ff.

⁸⁷Vgl. Götze (2008), S. 188 f.

Die Prioritäten zu ermitteln ist der zweite Schritt, dabei werden alle Kriterien einer Ebene mit allen anderen der gleichen Hierarchieebene verglichen um deren Erfüllungsgrad für die nächst höhere Ebene zu ermitteln. Wie bei allen Bewertungen des AHP werden die Faktoren paarweise miteinander verglichen. Dazu kann eine Skala von 1 bis 9 wie in Tabelle 2 angewendet. In der Tabelle sind die Interpretationen der Zahlenwerte angegeben, damit der Anwender ein besseres Gefühl hat wie die Zahlen zu verstehen sind. Die paarweisen Vergleiche haben als Ergebnis immer Matrizen ($K \times K$ bei K -Elementen), wobei die Diagonale mit Einsen befüllt wird und jeweils gegenüberliegende Bewertungen die gegenseitigen Kehrwerte darstellen. Daraus folgt, dass für jede Matrix $0,5 \cdot K \cdot (K-1)$ Vergleiche angestellt werden müssen.

Tabelle 2: Bewertungsskala nach Saaty⁸⁸

Wert	Gewichtung	Bedeutung
1	gleich wichtig	zwei Attribute sind gleich wichtig
3	ein wenig Bedeutender	dieses Attribut ist ein wenig wichtiger
5	dominierend	dieses Attribut ist wichtiger als das andere
7	stärkere Bedeutung	dieses Element ist viel wichtiger als das andere
9	absolut dominierend	größtmöglicher Bedeutungsunterschied zwischen zwei Attributen
2,4,6,8		Zwischenwerte für bessere Abstufung

Der dritte Schritt erstellt die Gewichtungsfaktoren, welche durch paarweise Vergleiche errechnet werden. Das Ergebnis ist ein normierter Vektor, welcher so viele Elemente wie Kriterien, welche in einer Ebene festgelegt wurden, enthält. Das sind die Gewichtungsfaktoren (Einflussfaktoren) für jedes Kriterium auf die nächst höhere Ebene und sind analog der Gewichtung der Alternativen der NWA.

Als vierten Schritt gilt es alle Paarvergleichsmatrizen auf ihre Konsistenz zu überprüfen. Die berechneten Eigenwerte der Matrizen werden normiert. Ist das Ergebnis höher als der allgemeine Grenzwert 0,1 ist die Matrix in sich nicht konsistent und ist neu zu berechnen.⁸⁹

Inkonsistenz entsteht, wenn bei den paarweisen Vergleichen nicht alle Bewertungen in sich logisch sind. Dies kann auftreten wenn behauptet wird A sei bedeutender als B, B bedeutender als C und C wiederum mehr wie A. Kleine Unstimmigkeiten können ignoriert werden. Sind die Abweichungen zu gravierend, überschreitet das Ergebnis die von Saaty festgelegten Grenzwerte und die Bewertung ist zu wiederholen oder zu überarbeiten.⁹⁰ Das angeführte Beispiel ist natürlich sehr trivial, werden die paarweisen Vergleiche in 9×9 Matrizen und größer durchgeführt wird die Bewahrung der logischen Konsistenz schwieriger. Auch Gruppendiskussionen können bei Meinungsverschiedenheiten und Kompromissen zu in sich nicht logischen Bewertungen führen.

Im fünften und letzten Schritt werden die Gewichtungsfaktoren, welche bis jetzt für die jeweils untere Ebene erstellt wurden, durchgehend für alle Ebenen bis zur obersten Zielsetzung weiter errechnet. Ausgehend von der Hierarchie unter dieser sind die Gewichtungsmatrizen bis zur untersten Ebene zusammzusetzen. Dadurch entsteht schlussendlich ein Vektor, welcher die

⁸⁸Quelle: Saaty (2008), S. 86, übersetzt vom Englischen

⁸⁹Vgl. Götze (2008), S. 189 ff.

⁹⁰Vgl. Saaty (1990), S. 9 ff.

Einflüsse der untersten Ebene mit dem Lösungsziel direkt in Zusammenhang stellt. Die unterste Ebene wurde im vierten Schritt schon berechnet, als die Einflüsse auf das jeweils darüber liegende Teilziel ermittelt wurden. Durch Zusammensetzen errechnet sich ein Ergebnisvektor, bei welchem das Investitionsobjekt mit der höchsten Priorität das relativ vorteilhafteste ist.⁹¹ Das mathematische Verfahren dahinter ist äußerst komplex und wird an dieser Stelle nicht näher erläutert, es wird auf die angegebenen Quellen verwiesen.

Aufgrund der hohen Popularität des AHP gibt es auch viele Versuche diesen weiter zu entwickeln. Saaty selbst hat den AHP zu dem „Analytic Network Process“(ANP) erweitert, bei welchem die Kriterien nicht hierarchisch angeordnet sein müssen, sondern ein Netzwerk bilden.⁹²

Eine andere Entwicklung ist der „Correlated Analytic Hierarchy Process“ (CAHP), welcher Beziehungen zwischen den Auswahlkriterien berücksichtigt. AHP und ANP berücksichtigen beide nicht, falls zwei oder mehr Auswahlkriterien einander beeinflussen oder gegenseitig abhängig sind.⁹³

Für sehr vage und unscharfe Bewertungen, welche nicht klar in Zahlen auszudrücken sind, wurde „Fuzzy AHP“ entwickelt. Dieser Ansatz versucht unscharfe Aussagen, durch Zugehörigkeitsfunktionen mathematisch greifbar darzustellen. Es wird so mit Begriffen wie „besser als“ oder „am besten“ die AHP-Matrix befüllt und trotzdem zu einem eindeutigen, errechneten Ergebnis führen.⁹⁴

Dass sich AHP für die Auswahl von FTS eignet, haben Maniya und Bhatt 2011 in ihrem Paper dargelegt. Sie entwickelten die AHP-Methode weiter indem sie diese mit der „modified grey relational analysis“ (M-GRA) kombinierten um den Aufwand bei vielen Alternativen zu senken. Das Paper kommt zu dem Schluss, dass durch die Kombination von M-GRA und AHP zwar der Aufwand reduziert werden kann, das Ergebnis davon aber weitgehend unberührt bleibt.⁹⁵

In diesem Kapitel sind alle relevanten Grundlagen erarbeitet worden um die Zielsetzung im Unternehmen bearbeiten zu können. Es kann der Materialfluss untersucht und optimiert werden um ein Einsatzgebiet für das FTS darzustellen. Für die Bewertung und Auswahl eines System sind mehrere Möglichkeiten wie dynamische Amortisationsrechnung und LCC sowie die Methode des AHP vorgestellt und erklärt worden.

⁹¹Vgl. Götze (2008), S. 189 ff.

⁹²Vgl. Saaty; Vargas (2006), S. 1 f.

⁹³Vgl. Liu et al. (2014), 1 ff.

⁹⁴Vgl. Javanbarg et al. (2012), S. 962, Vgl.Wang; Chin (2011), S. 542

⁹⁵Vgl. Maniya; Bhatt (2011), S. 611 f.

5 Erarbeitung eines neuen Materialflusskonzepts

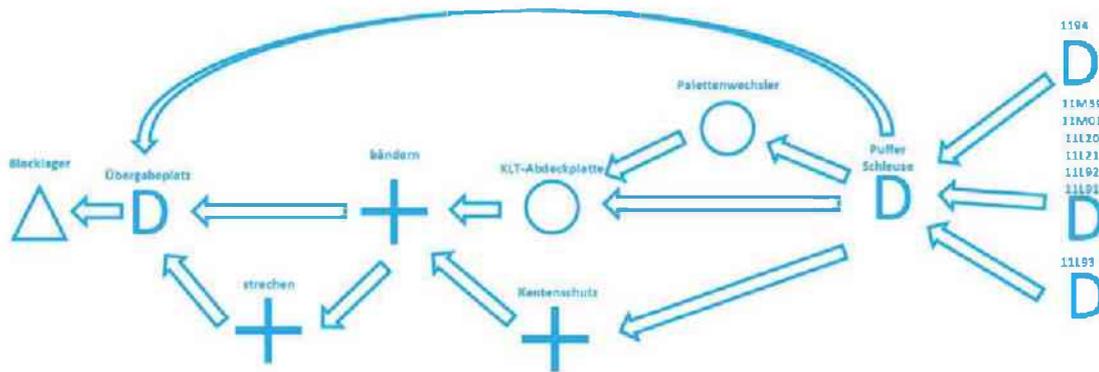
In diesem Kapitel sind alle Schritte und Überlegungen beschrieben, welche notwendig sind um bei der Firma Mahle Filtersysteme Austria ein neues Materialflusskonzept einzuführen. Um ein fahrerloses Transportsystem in das neue Konzept einzubinden, muss dafür ein neuer Materialfluss gestaltet werden sowie Angebote für FTS eingeholt und selektiert werden. Die Wirtschaftlichkeit des FTS, ist anschließend zu prüfen. Es wird der bereits erfolgte Probelauf eines FTS im Mutterwerk in St. Michael besprochen und eventuell nützliche Informationen daraus gewonnen. Zuletzt wird die genaue Umsetzung des neuen Materialflusses und Einführung des FTS in den laufenden Betrieb beschrieben.

5.1 Aufnahme des Ist-Zustands und Materialflusses

Im Kapitel 1.2 wurde der Fertigwarenstrom bereits in groben Zügen beschrieben. Der Ist-Zustand wird nun detailliert anhand eines Wertstroms, wie in Kapitel 2 beschrieben, dargestellt.

Der Prozess der Fertigteile von den Maschinen ins Fertiglager stellt sich derzeit wie in Abbildung 10 dar. Je nach Produkt kann der Prozess andere Abfolgen haben. Die Verzweigungen und Aufteilung der Warenströme sind ebenfalls in Abbildung 10 visualisiert. Zur Darstellung wurden die Symbole des vereinfachten Materialflusses wie in Kapitel 2 beschrieben verwendet. Der Ablauf des Hauptwarenstroms stellt sich wie folgt dar:

- Fertigteile bei Maschine
- KTL-Deckel und Beschriftung
- Palettenwechsel
- Bändern
- Übergabeplatz
- Fertigwarenlager

Abbildung 10: Materialfluss der Fertigware ⁹⁶

Der Transport von der Maschine bis zu einem Pufferplatz vor der Fertigungshalle ist nicht geregelt. Je nach verfügbarer Zeit und Anzahl der Paletten mit Fertigware in der Produktion schieben Linienmitarbeiter, Maschineneinsteller oder der Logistikmitarbeiter die Paletten, welche zu diesem Zeitpunkt auf Palettenwagen stehen, durch die ESD-Schleuse. Ab diesem Prozessschritt werden alle folgenden Arbeitsschritte nur mehr von Logistikmitarbeitern durchgeführt. Da sich die KLTs lose auf der Palette gestapelt befinden und für den weiteren Transport nicht genug Stabilität vorweisen, wird über die oberste Lage ein umfassender Deckel gelegt. Die Warenbegleitkarte muss von dem Klemmbrett am Palettenwagen auf den Deckel geklebt werden. Sie befindet sich bereits in einer selbstklebenden Kunststofftasche. Mit einem Gabelhubwagen wird die Kunststoffpalette von dem Palettenwagen gehoben und in den Palettentaucher manipuliert. Das Gerät klemmt die KLTs zwischen zwei Druckplatten ein, sodass die Palette darunter hervorgezogen werden kann. Neben dem Palettenwechsler befinden sich Stapel für Holz- und Kunststoffpaletten. Es wird nun für den Versand an den Kunden eine Holzpalette unter den KLT-Stapel geschoben und die Druckplatten gelöst. Um für den Staplertransport weitere Stabilität und Sicherheit zu gewährleisten, wird die Abdeckplatte noch gebändert. Das Bändergerät besteht in der einfachsten Ausführung aus einem manuellen Bandspender und aus einem Handgerät. Die Palette wird mit dem Gabelhubwagen ein wenig angehoben, um eine angenehmere Arbeitshöhe zu erreichen. Das Nylonband wird von Hand um die Palette herumgeführt und beide Enden in das Handgerät eingelegt. Dieses spannt das Band und verschweißt es autonom. Nach diesem Schritt kann die Fertigpalette auf einen der Übergabeplätze gestellt werden. Je nach Bedarf und Einschätzung des Staplerfahrers holt dieser die Fertigware ab und verbringt sie ins Fertigwarenlager. Während dieses Schrittes wird die Warenbegleitkarte per Handscanner im SAP von einem Lagerplatz in der Fertigung auf einen Lagerplatz im Versandlager gebucht.

Der Prozess kann dahingehend abweichen, als dass China-Exportpaletten nicht zu wechseln sind, da diese schon in der Produktion mit Versandpaletten gehandhabt wurden. Nach dem Bändern werden die Gebinde mit Kunststoffolie umwickelt und ein Kantenschutz angebracht.

Wird die Fertigware zu Bosch-Mahle-Turbo-Systems (BMTS) geliefert ist diese nur zu bändern,

⁹⁶Quelle: eigene Darstellung

da die Produktion die Produkte bereits in versandfertige Gebinde sortiert. Einige Produkte für den Kunden BMW werden in Gitterboxen verpackt und müssen nicht bearbeitet werden sondern sind direkt aus der Produktion ins Versandlager zu transportieren.

Um den Prozess für spätere Vergleiche und Berechnungen mit Zahlen hinterlegen zu können, wurden für die einzelnen Schritte die jeweils benötigten Zeiten aufgenommen. Die zuständigen Mitarbeiter wurden dafür über mehrere Stunden beobachtet bis ungefähr 10 Aufnahmen für jeden Prozess erhoben waren. Bei der Erfassung wurde bereits festgestellt, dass die Zeiten nur geringfügig schwanken und mit wenigen Daten eine prozesssichere Aussage getroffen werden kann. Um sicherzugehen, dass alles richtig aufgenommen wurde, wurden alle Prozesse im Nachhinein noch mit den Fertigungsleitern abgesprochen und visualisiert. Diese Visualisierung ist in Darstellung 11 in einem Wertstrom festgehalten. Deutlich wird in der Abbildung auch die Relation aus der Summe der Prozesszeiten und der Wartezeit der Güter.

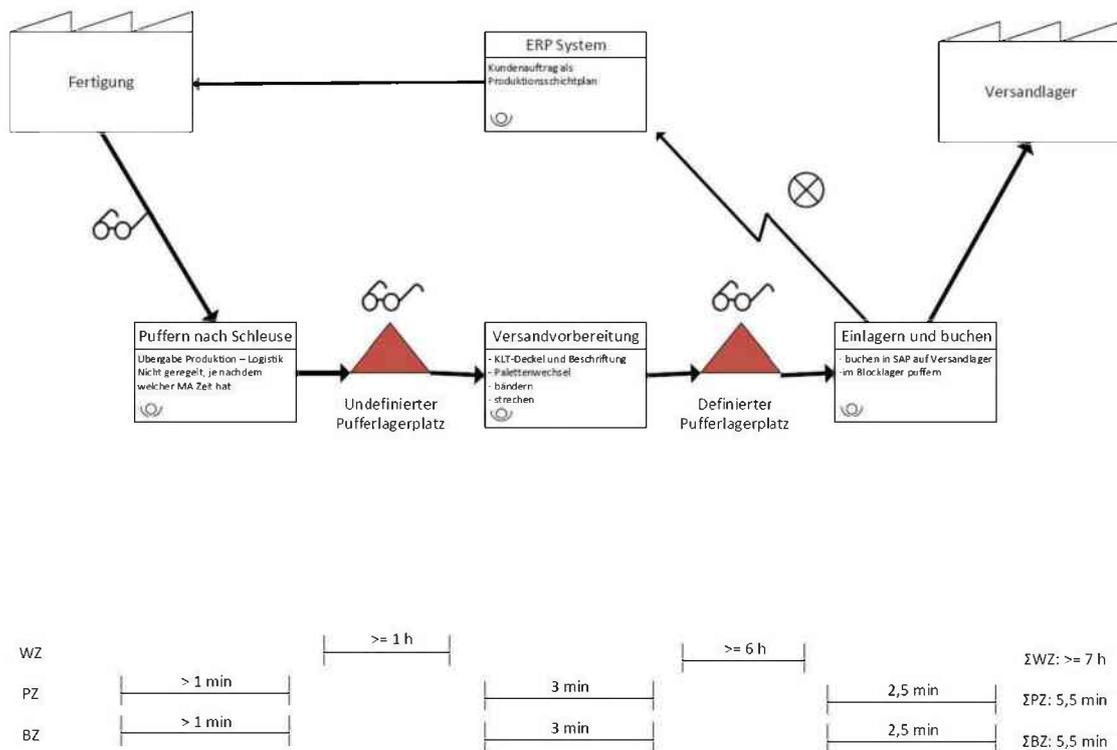


Abbildung 11: Wertstrom der Fertigware ⁹⁷

Um den Materialstrom ganzheitlich zu verbessern und das angedachte FTS besser in den Gesamtfluss einzubinden, wurde schematisch der vollständige Materialfluss von Fertigware, Leergut von Lieferanten und Kunden sowie Rohware in ein Layout eingezeichnet. Dieser von Hand an einem Flipchart skizzierte Materialflussplan ist in Abbildung 12 dargestellt, Eingehendes in roter, Ausgehendes in grüner und Leergebinde in schwarzer Farbe. Dabei sind bereits erste sich kreuzende Materialströme aufgefallen. Ebenfalls zu erkennen ist, dass der Materialtransport sehr sprunghaft durch die Halle erfolgt und es zwei Kreuzungspunkte gibt. Die Materialströme

⁹⁷Quelle: eigene Darstellung

müssen immer über den Palettentauscher laufen, da fast alle Paletten aus der Fertigung kommend und in den Fertigungsbereich gehend, von Holz- auf Kunststoffpaletten oder umgekehrt gewechselt werden müssen. Der zweite Engpass oder Knotenpunkt ist die Stretchmaschine. Es müssen teilweise Fertigprodukte und auch manche Lieferantenleergebinde umwickelt werden. Materialströme, welche sich kreuzen gibt es zwar auch, allerdings sind diese aufgrund des geringen Verkehrs nicht kritisch. Es bewegen sich nur der Zug für die Materialversorgung und bis zu zwei Gabelstapler durch das Werk. Dass alle Materialien für und von der Produktion durch die Schleuse müssen ist auch nicht beeinträchtigend, da der gesamte Materialtransport von einer Person durchgeführt wird und sich ein Mitarbeiter selbst nicht im Materialstrom kreuzen kann. Eine genauere Betrachtung zeigt auch, dass der Materialfluss von Wareneingang und Warenausgang sich kreuzen und die Lagerbereiche derzeit auch nicht voneinander getrennt sind. Die Fertigwaren lagern um die Wareneingangskontrollzone herum und die Bereiche sind auch nicht optisch oder sonst wie voneinander getrennt. Bezüglich der Transportwege ist zu erkennen, dass das Lager an einem Randbereich des Unternehmens gedrängt wurde und nicht zwischen Wareneingang und Produktion liegt. Somit ist das gesamte Material, welches nicht direkt in den Supermarkt gebracht wird, erst vom Wareneingang ins Lager zu bringen und einige Tage später aus dem Lager in den Supermarkt und danach in die Produktion zu liefern. Dadurch fährt der Gabelstapler einige Wege doppelt und muss vor allem den relativ langen Weg bis zum Hochregellager fahren. In diesem steht anschließend ein weiterer Manipulationsschritt an, da das Hochregellager als Schmalganglager gebaut wurde und nur mit eigenen Regalbediengeräten ein- und ausgelagert werden kann. Es gibt keinen Mitarbeiter ausschließlich für das Regalbediengeräte, deswegen muss der Gabelstapelfahrer die Palette abstellen, das Fahrzeug wechseln um die Palette einlagern zu können und die gleichen zeitintensiven Schritte beim Auslagern des Materials wiederholen. Fertigware wird derzeit nicht im Hochregellager gepuffert, da die Blocklagerkapazitäten ausreichend sind. Dieses Jahr wird bei den beiden Hauptproduktionslinien auf einen Betriebsurlaub verzichtet, da die benötigten Materialmengen aufgrund des Auslastungsgrads nicht im Voraus produziert werden können. Das Vorhalten von rund zwei Wochen Produktion würde den Einsatz eines weiteren Lagerbereichs erfordern und die Wegzeiten beim Ein- sowie Auslagern steigern.

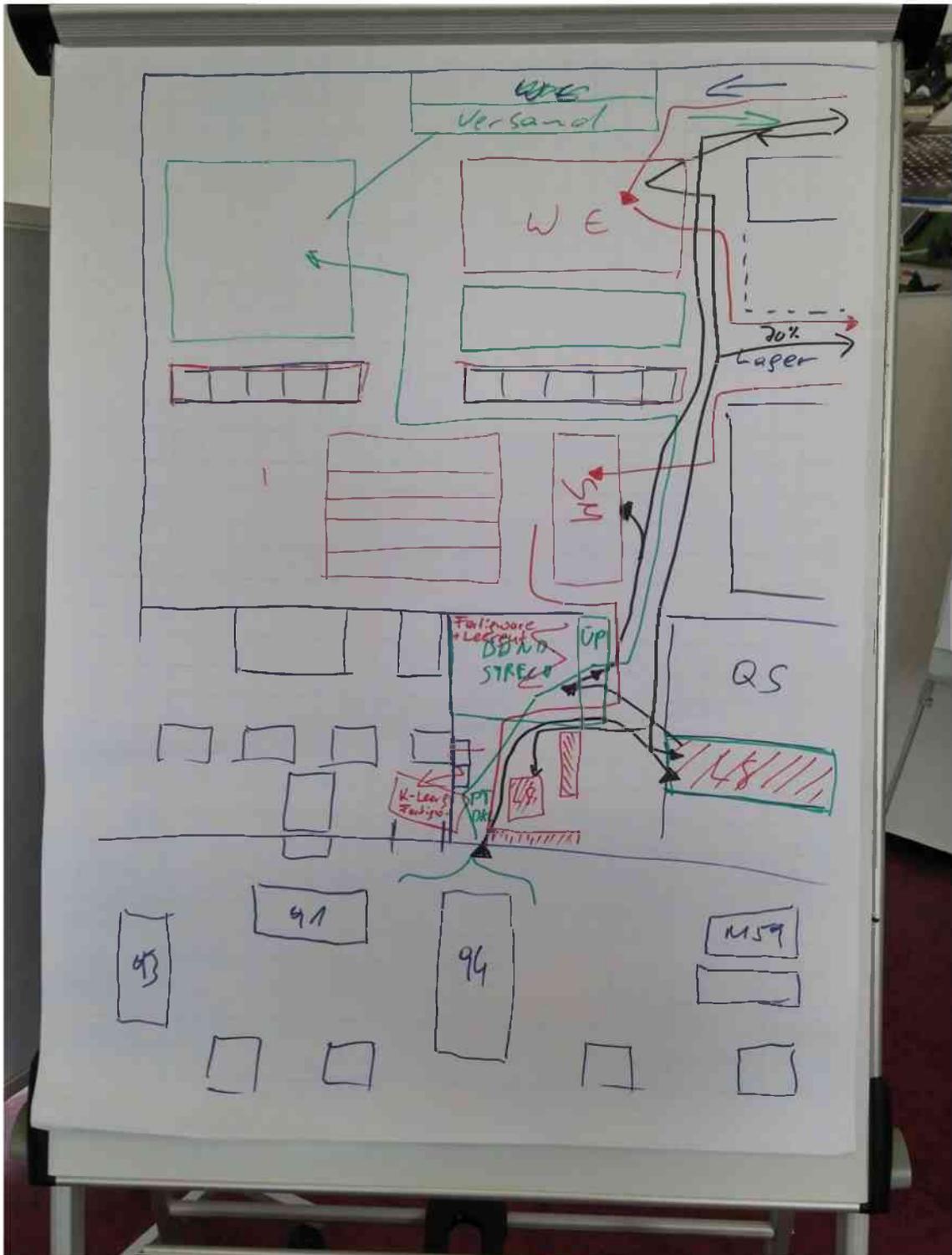


Abbildung 12: schematischer Materialflussplan ⁹⁸

⁹⁸Quelle: eigene Darstellung

5.2 Probelauf FTS St. Michael

Am Standort St. Michael wurde im Jahr 2010 ein Probelauf über mehrere Wochen mit einem fahrerlosen Transportsystem durchgeführt. Die Zielsetzung war nicht die gleiche wie am Standort Wolfsberg, es können aber Erfahrungen übernommen und die Investitionsrechnung betrachtet werden.

Aufgrund der Größe des Werks in St. Michael wurde es für sinnvoll empfunden worden einen Zug zum Warentransport einzusetzen. Dieser überbrückt eine Wegstrecke von ungefähr 200m mit einem Zugfahrzeug und in der Testphase bis zu 2 Anhängern. Dieses „Milkrun“-System kann Paletten aufnehmen, diese sind seitlich mit Gabelstapler oder Gabelhubwagen aufzuladen. Es können auch Gitterboxen oder andere stabile Lastaufnahmemittel in Palettengröße transportiert werden. Eine automatische Aufnahme oder Abgabe der Ladungsträger ist nicht möglich. Die Fahrt wurde per Taster am Zugfahrzeug gestartet. An den jeweiligen Auflade- bzw. Abladepunkten bleibt der FTS-Zug stehen bis ein Mitarbeiter diesen be- oder entladen hat und das Signal zur Weiterfahrt gibt.

Der Lieferant ist DS-Automation, eine in Linz ansässige Firma. Das Zugfahrzeug ist nur als solches einsetzbar und kann selbst keine Last aufnehmen. Auch das An- und Abkoppeln der Anhänger kann nur von Hand erfolgen. Zu Testzwecken wurde das System für 4 Wochen gemietet und erste Erfahrungen damit gesammelt. In Abbildung 13 ist das Zugfahrzeug mit dem gesamten Zug erkennbar. Aus Sicherheitsgründen wurde zwischen den Anhängern eine Absperrung errichtet, damit kein Mitarbeiter zwischen diesen während der Fahrt oder in der Station durchsteigt. Man erkennt am Zugfahrzeug auch den Sicherheitsscanner sowie die Richtungsindikatoren und eine Warndrehleuchte. Die Akkumulatoren sind für den Test provisorisch mit einer Holzkonstruktion auf der Zugmaschine fixiert. In Abbildung 14 ist zu erkennen, wie ein Mitarbeiter einen Zughänger mit Hilfe eines Hubwagens belädt. Es ist zu sehen, wie die Palette mit Gitterboxrahmen in den Aufnahmeträger des Anhängers gestellt wird.



Abbildung 13: FTS-System Probelauf St. Michael ⁹⁹



Abbildung 14: FTS-System Probelauf St. Michael ¹⁰⁰

Wie viele Anhänger angeschafft werden sollten und die Anzahl der Anhänger wurde von den 4 Projektmitarbeitern durch eine Nutzwertanalyse bestimmt. Bei dieser Bewertung ist die Variante mit den meisten Zugfahrzeugen und meisten Anhängern gewählt worden (nicht pro Fahrzeug aber insgesamt). Die Kosten sind bei der Bewertung nur zu 10% eingeflossen. Bewertet worden sind Steuerungsaufwände für Leergut, Abtransporte, Platzbedarf, Händlingaufwand, Investitionskosten und Personalaufwand.

Die Berechnungen für den ROI war nicht nachvollziehbar. Es werden in unterschiedlichen Dokumenten unterschiedliche Werte angenommen, so schwanken auch Personalkosten je nach Berechnung zwischen 36.000 € und 45.000 € pro Jahr und zwischen Nachtschicht und Tagsschichten wird nicht unterschieden. Die Ergebnisse reichen von einem halben bis zu drei Jahren ROI und sind daher nicht als Grundlage für eigene Amortisationsrechnungen geeignet.

5.3 Neuer Materialfluss

Durch den Umstand, dass die derzeitige Logistik zu großen Teilen historisch gewachsen ist, wird die Möglichkeit genutzt und mit der Einführung eines FTS auch ein neuer Materialfluss geplant.

Weil früher andere Linien und viel mehr Produktion am Standort war, wurde die Logistik teilweise an den Rand gedrängt. Durch das Umsiedeln der alten Filterproduktion in andere Länger wurde Platz frei, die alte Raumaufteilung allerdings weiter benutzt. Teilweise haben die Mitarbeiter selbst begonnen freie Flächen zu nutzen um Leergut und Waren zu puffern.

⁹⁹Quelle: eigene Darstellung

¹⁰⁰Quelle: eigene Darstellung

Manche Arbeitsschritte werden dort durchgeführt, wo sich gerade der Platz dafür finden lässt. Einer dieser Prozesse ist das Bauen der Exportverpackung für Überseefracht. Die Lagerung der benötigten Materialien und der Zusammenbau an sich, haben keinen definierten Platz im Unternehmen.

Das FTS bietet durch seine Eigenschaften die Möglichkeit den Materialfluss neu zu gestalten. Das Lastspiel ist im Vergleich zur Fahrzeit relativ zeitaufwändig, weswegen längere Wegstrecken nicht so schwer ins Gewicht fallen. Es kann diese Möglichkeit genutzt werden, um das Material etwas weiter weg von der Produktion zu bringen, um in dem Bereich direkt um die Produktionshallen mehr Platz zu schaffen. Dadurch entsteht die Möglichkeit den Platz später für neue Produktionslinien zu nutzen.

Die in Kapitel 2.3 beschriebenen Eigenschaften eines schlanken Materialflusses und schlanker Prozesse sind bestmöglich in den neuen Materialflussplan eingeflossen. Aufgrund der bereits vorher beschriebenen Prozesse, welche beim neuen Layout durchgeführt wurden, könnte überlegt werden, ob es eine bessere Anordnung gibt, um Wegzeiten zu verkürzen.

Da der Materialfluss nicht nur für die Fertigung gesehen werden sollte, sondern das Wertstromdesign aus Kapitel 2 dazu rät, eine gesamtheitliche Betrachtung zu machen und auch die Ressourcen verfügbar waren, wurde der neue Materialflussplan für den ganzen innerbetrieblichen Materialfluss Laderampe - Fertigung und Fertigung - Laderampe neu gestaltet. Durch das Umgestalten des Materialflusses, auch des Zukaufteileflusses, kann freie Arbeitszeit gewonnen werden, welche für die Amortisierung des FTS herangezogen werden kann. Die Bewegungen in der Produktion wurden nicht berücksichtigt, da hier bereits eine Optimierung stattgefunden hat und die Abläufe heute schon so trivial sind, dass der Materialfluss nicht geändert werden muss.

Um den Zustrom der Rohmaterialien und Halbzeugnisse zu verbessern, wurde als oberste Priorität gesehen, den Umweg in das Schmalganglager zu vermeiden. Jede Ein- oder Auslagerung bedingt, dass der Staplerfahrer von seinem Gabelstapler absteigt, den Schmalgangstapler besteigt, und die Ware ein oder auslagert. Diese wird dann mit dem Stapler aufgenommen und meist zum Supermarkt gebracht. Ist es nicht möglich, den ganzen Umfang der Palette in den Supermarkt zu verräumen, werden die Restgebände wieder in das Schmalganglager zurückgebracht oder in ein Regal nahe dem Supermarkt geräumt, abhängig davon, ob in den Regalen nahe des Supermarkts Platz gefunden wird.

Eine Verbesserung dieses Prozesses sieht vor, dass die gesamte Rohware gleich neben dem Supermarkt eingelagert wird. Schnelldreher, sind Materialien bei Mahle, welche einen so hohem Verbrauch aufweisen, dass sie beim Supermarkt von Paletten zu kommissionieren sind. Diese Schnelldreher sollen gleich bei den Wagenschienen gelagert werden. Die Schnelldreherpaletten sind auf Wagen mit Rädern gehoben und in ein Schienensystem geführt. So ist sichergestellt, dass die Paletten genau geordnet, immer an der gleichen Stelle bereit stehen. Wird eine Palette leer, so kann der leere Wagen vorne aus der Schiene gezogen werden und eine volle Palette wird von dahinter nachgeführt. Dieses einfache FIFO-System wird dadurch, dass die Schnelldreherpaletten gleich bei den Schienen gelagert werden, damit auf einfachste Weise für

Nachschub gesorgt ist. Die Paletten müssen allerdings, im Gegensatz zu dem jetzigen System nicht quer, sondern der Länge nach in Blocklagern abgestellt werden. Die im Werk verwendeten Deichselhubhandwagen können Paletten nicht an der langen Seite unterfahren. Durch die Lagerung mit der schmalen Seite nach vorne, ist zwar die Lagerdichte geringer, weil der Stapler breiter als eine Palette ist und somit immer ein Abstand zwischen den Paletten sein muss damit dieser Ein- und Auslagern kann, aber dafür ist der Mitarbeiter im Supermarkt nicht auf den Gabelstaplerfahrer angewiesen. Es kann dadurch die Ware direkt vom Wareneingang in die Nähe der Schnelldreherkommissionierung gebracht werden. Im besten Fall ist der weitere Transport vom Mitarbeiter im Supermarkt zu erledigen und dem Stapler steht mehr Zeit zur Verfügung.

Jene Waren, welche in die Durchlaufregale des Supermarkts ein geschichtet sind, sollten nicht unweit des Supermarkts gelagert werden. Diese Idee wird davon mitgetragen, dass der Wareneingang und der Supermarkt nicht weit auseinander liegen. So sind die Wege nicht nur kurz, auch das Umsteigen in den Schmalgangstapler fällt weg. Durch die kurzen Wege ergibt sich der Vorteil, dass der Prozess nicht auf den Staplerfahrer angewiesen ist, sondern die Mitarbeiter des Wareneingangs die Einlagerung über einige wenige Meter mit dem Deichselhubwagen vornehmen können.

Durch diese Maßnahmen, können Wege des Staplers eingespart werden. Staplerfahrten sind nicht gerne gesehen, da diese immer mit einer erhöhten Gefahr verbunden sind. Der Prozess wird auch klarer und einfacher, wenn der Mitarbeiter des Wareneingangs nach der Sichtung der Ware, diese gleich in ein Lager verräumen kann. Es wird so ein Informationsschritt eingespart und eine Person weniger am Prozess beteiligt. Die Durchlaufzeit wird geringfügig kürzer und die Anfahrt des Staplers gespart. Letztere ist allerdings nicht relevant, da der Gabelstapler meist in der Nähe des Wareneingangs arbeitet.

Die Prozesse des Fertigwarenabtransports umfassen nicht neben der Fertigware auch Leergutbewegungen. Da für produzierte Ware, im gleichen Takt wie diese fertig wird, auch das entsprechende Leergut an die Linie gebracht werden muss. Das Lieferantenleergut im Logistikbereich wie Fertigware behandelt wird, indem es gebändert, umwickelt und verschickt wird. Das Lieferantenleergut und derzeit auch das Kundenleergut wird in St. Michael gesammelt und von dort weiter verschickt. Das Leergut entsprechend wie Fertigware am Warenausgang gesammelt und mit auf das tägliche Shuttle zum Mutterwerk verladen.

Der neue Prozess für die Fertigware sieht nun vor, dass vor der ESD-Schleuse ein Übergabepplatz eingerichtet wird. An diesem wird eine Palette Fertigware gegen bereits vorhandenes Leergut getauscht. Der Idealprozess wäre, dass immer Leergut für jede Linie vor Ort steht und ein Mitarbeiter immer Zug um Zug Leergut gegen Fertigware tauscht. Es würde demnach für jede Produktionslinie ein Abstellplatz zur Verfügung stehen. Gehäusedeckel werden nach dem gleichen Verfahren getauscht. Der Abtransport der Fertigware und Leerpaletten für Deckel wird in dem Materialfluss von dem FTS übernommen. Dieses soll die Fertigware von den Transportwägen der Produktion heben und zu dem Pufferplatz für den Verpackungsarbeitsplatz bringen. Von einem Paletteneinschubregal soll im Anschluss die Leerware entnommen und auf den nun leeren Palettenwagen gestellt werden. Dieser Prozess garantiert, dass sofern das

Pushback-Regal befüllt ist, immer Leergut zur Verfügung steht und ebenso, dass das FTS immer einen leeren Palettenwagen vorfindet, auf dem das neue Leergut abgestellt wird. Durch diese Zug- um Zug Lösung ist auch der Platzbedarf gering, da jede Linie nur mehr einen Palettenplatz beim Übergabebahnhof benötigt.

Das fahrerlose Transportsystem soll nun die Distanz von der Übergabestelle zu dem Verpackungsplatz überbrücken. An diesem werden die Paletten getauscht, ein Deckel aufgesetzt, die Ware gebändert und anschließend eingelagert. Im neuen Materialflussplan ist das Fertigwarenlager örtlich gleich neben dem Verpackungsplatz. Die Einlagerrichtung der Paletten ist, wie beim Wareneingang, an Deichselhubwagen angepasst, sodass der Mitarbeiter, welcher die Palette bearbeitet, diese auch gleich einlagern kann und der Arbeitsschritt entfällt, die Palette abzustellen und den Staplerfahrer heranzuziehen. Die Fertigware wird wie bisher im Blocklager gelagert. Neu ist allerdings, dass für jedes Material einige definierte Bahnen zur Verfügung gestellt werden. Dies schafft mehr Übersicht und erleichtert das Einlagern und Finden der Ware. Beim bisherigen Prozess musste immer erst gesucht werden, welche Variante in welchem Block gelagert ist, damit diese sortenrein zusammenstehen.

Der alte Prozess hat die Ware in Bahnen bis zu 5 Paletten tief gelagert. Der neue Lagerort hat Raum um 8 oder 3 Paletten tief zu stapeln. Um bei dieser Tiefe, in einem nur von einer Seite zugänglichen Blocklager das FIFO Prinzip einzuhalten, war eine genaue Überlegung des Prozesses notwendig, welche Produktvariante in welchen Lagerblöcken gelagert wird. Die Fertigware wird je nach Variante, täglich, zweimal pro Woche oder monatlich abgeholt.

Die Auslegung des Fertigwarenlagers erfolgt aufgrund von historischen Daten aus dem ERP-System. Für einen Zeitraum von 20 Wochen wurde für jede Variante die Mengen der Abholung ausgelesen. Diese Zyklusmengen dienen als Datenbasis, je nach Verpackungsvariante wurde ein Pufferlagerbestand und ein Sicherheitsbestand hinzugefügt. Für die Lagerauslegung wurde auch der maximale Lagerbestand und die durchschnittliche Entnahmemenge berücksichtigt. Der maximale Lagerbestand wurde herangezogen um festzulegen wie viele Blöcke die Ware verbraucht. Der maximale Lagerbestand zusammen mit der Zyklusmenge bestimmt ob die Blöcke 8 oder 3 Paletten tief werden.

Folgende Überlegung garantiert die Einhaltung des FIFO-Prinzips im Blocklager: Jeder Block hat im ERP-System eine Lagerplatznummer und es gibt einen Toleranzzeitraum von 2 Wochen bei FIFO. Es darf jede Palette ausgeliefert werden, solange keine Lagerware älter als 2 Wochen ist. Gibt es ältere Ware, so schreibt das System vor, dass diese Ware auszuliefern ist. Das Blocklager darf maximal so viele Paletten in einer Reihe fassen, wie bei einer Abholung entsprechen. Dadurch wird sichergestellt, dass auch wenn die älteste Palette ganz hinten steht in einer Reihe diese auch noch ausgelagert wird. Die Einlagerung muss dafür auch einer Gesetzmäßigkeit folgen. Es muss immer eine Reihe komplett befüllt sein, bevor die nächste angefangen wird. Wird eine Blockreihe bei einer Kommissionierung nicht ganz geleert, so darf auf diese angefangene Reihe nicht weiter eingelagert werden. Am einfachsten lässt sich dies erklären, wenn man sich beispielsweise 3 Reihen nebeneinander vorstellt. Es muss nun immer ganz rechts eingelagert werden und die Reihe ganz links ausgelagert. Ist die dritte Reihe auch voll, sollte ganz links der Block frei geworden sein, um dort weiter einlagern zu können. Damit

teilt sich zwar der gesamte Lagerblock auf links und rechts, aber das Prinzip bleibt gleich. Auslagern in der Reihe des Blocks auf deren rechten Seite die Ware steht und einlagern immer rechts an den Block. Diese Logik stellt sicher, dass auch in einem Blocklager das FIFO-Prinzip innerhalb einer LKW-Abholung eingehalten wird. Die Reihenfolge, in welcher die Paletten auf den LKW geladen werden, entspricht nicht FIFO, das wird vom Kunden auch nicht verlangt.

Der Platzbedarf für Fertigware auf Exportpaletten ist aufgrund der breiteren Paletten etwas größer. Zusätzlich wird die Ware, welche nach China verschifft wird, im Durchschnitt nur einmal im Monat geholt und mit der Ware ein ganzer ISO-Container vollgeladen. Durch diese Umstände brauchen die Exportwaren einen großen Anteil an der Lagerfläche, obwohl es nur 2 Produktvarianten sind.

Der Verpackungsarbeitsplatz wird auch neu gestaltet und nach Lean-Maßstäben optimiert. Das Zusammenstellen der Maschinen reduziert die Wegzeiten für die Arbeitsschritte, welche derzeit ungefähr 50% der Arbeitszeit ausmachen. Die Anordnung wird verbessert. Wo früher die Wechelpaletten parallel zum Palettentauscher gestanden sind und der Deichselhubwagen parallel versetzt werden musste, ist die neue Anordnung in einem 90 Grad Winkel zueinander. Dies sollte helfen den Palettenwechsel zu vereinfachen. Das Bändergerät wird gleich neben den Palettenwechsler gestellt und auch der Umwickelautomat steht daneben. So kann auf einer Fläche von ca 8 mal 8 Metern alles untergebracht werden, was im alten Prozess auf 10 mal 30 Meter, mit den entsprechenden Wegen und viel Leerfläche, angeordnet war.

Nachdem bei Leergut auch die Paletten getauscht werden müssen und der Deckel abgenommen, muss das Bereitstellungsregal für Leergut auch in der Nähe des Verpackungsplatzes aufgestellt werden. Es ist vorgesehen, dass das gesamte Leergut in der Nähe gelagert wird, damit der Mitarbeiter mit dem Deichselhubwagen das Leergut auslagern, vorbereiten und das Einschubregal befüllen kann. Bei dieser Änderung des Arbeitsablaufs ist es möglich, den Gabelstapler aus dem Prozess zu entfernen.

Die zerlegt eingekauften Exportpaletten und müssen erst vom Logistikmitarbeiter zusammengebaut werden. Der dafür notwendige Platz ist, wie bereits beschrieben, nach Belieben festgelegt worden. In dem neuen Materialflussplan ist vorgesehen, einen festen Platz, auch nahe der Leergutübergabe, einzurichten.

Es wird die Möglichkeit genutzt, die Leergutübergabe und die Fertigwarenübergabe als Pufferplätze zu verwenden, damit dem FTS nicht sofort zugearbeitet werden muss, sondern ein mehrere Stunden anhaltender Puffer entsteht. Dieser soll dazu dienen, den Arbeitsablauf des Mitarbeiters besser zu takten und einteilen zu können. Es kann damit auch das Personalloch in der Nachtschicht überbrückt werden, wenn von den 3 Logistikmitarbeitern einer in Krankenstand oder auf Urlaub ist. Abgesehen von der in Arbeit befindlichen Palette in der Produktion, steht nach dem neuen Materialflussplan immer eine leere Palette auf dem Übergabebahnhof und noch zusätzlich 4 weitere im Einschubregal. Das ergibt eine Reichweite von circa vier Stunden bis zu über einer Schicht, abhängig von der Verpackungsvariante.

Durch das Aufstellen von Regalen und Umordnen von Lagerfläche ändern sich in den Logistikbereichen die Lagerplätze für alle Materialien. Die folgenden Aufzählungen sind nur die

Änderungen, bestehende Regale sind nicht inbegriffen. Es entstehen beim Supermarkt 54 neue Bodenpalettenplätze, für Fertigware 95 zusätzliche Bodenplätze. Im Wareneingangsbereich werden durch neue Regale 148 Regalplätze gewonnen, es gehen 30 Bodenplätze für Paletten im Wareneingang verloren. Die Rollenbahn für die Kommissionierung wird weitere 60 Palettenplätze schaffen, auf welchen einfach gestapelt werden kann. Durch das Umräumen und Bündeln von Leergut an einem Platz verliert man insgesamt 46 Bodenplätze für Leergut.

Bei den Bodenplätzen ist zu berücksichtigen, dass auf einem Platz bis zu 3 Paletten stehen könnten. Es ist derzeit nicht der gesamte Platz an Bodenpalettenplätzen belegt, eine Aufnahme der Auslastung wurde nicht durchgeführt. Auch nicht berücksichtigt ist der frei werdende Platz im Schmalganglager und das Leergut von Lieferanten. Der Vorteil der Regalplätze ist, dass auch nicht stapelbare Waren noch 3 Etagen hoch einlagern zu können und jeder Platz jederzeit zugänglich ist, zu Lasten von einem guten Flächennutzungsgrad. Das Problem an Regalen ist die breite Regalgasse dazwischen. Da der Gabelstapler mit Kabine 3,6m lang ist, muss die Regalgasse mindestens 4m breit sein, damit dieser das Regal bedienen kann. Könnte in Zukunft ein FTS in diesem arbeiten, ist eine Verkleinerung der Regalgasse auf 2,5m Breite möglich. Würden Schubmaststapler eingesetzt werden, reduziert sich diese auf 3m.

Durch die neuen Materialflusswege ändern sich auch die damit verbunden Prozesse.

Der Kommissionierprozess ist ebenfalls neu zu gestalten. Von einem 3 Schritte Prozess auf ein 2 Schritte Vorgehen. 4 Rollenbahnen sind notwendig um darauf die Fertigware zu kommissionieren. Der Stapler hat durch die Lage der Rollenbahn kürzere Wege vom Fertigwarenlager zur Kommissionierstelle und von dieser zum LKW wird der Weg auch verkürzt. Die Paletten werden auf der Bahn gestapelt und anschließend durch eine, derzeit noch vorhandene, Wand hindurchgeführt. Zu beachten ist das Problem der Auszeichnung bei dem neuen Kommissioniervorgang. Jeder KLT auf einer Palette muss nach VDA-Standard einzeln ausgezeichnet werden. Bei kleinen KLTs sind bis zu 20 auf einer Palette, welche alle einzeln mit VDA-Anhängern beschriftet werden müssen. Dieser Vorgang ist sehr zeitaufwändig und die Durchführung wird in Zukunft direkt vom Stapelfahrer während des Auslagerns geschehen müssen. Die Anhänger können nicht früher angebracht werden, da erst ein Lieferschein vorhanden sein muss, um die Lieferscheinnummer aufdrucken zu können. Es ist zu überlegen, diesen zeitaufwändigen Prozess der Auszeichnung von KLTs und Auslagern der Fertigware auf die weniger ausgelastete Nachtschicht zu verlagern.

6 Angebotseinholung

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Angebote von allen kontaktierten Lieferanten abgegeben worden sind. Für die Angebotslegung für das fahrerlose Transportsystem verlangt fast jeder Hersteller eine Transportmatrix mit den entsprechenden Gebindearten oder zumindest einen Wegstreckenplan, um die Auslastung des Fahrzeugs zu berechnen. Für die Transportmatrix wurden zuerst auf einem Plan des Firmenlayouts alle Übergabepunkte eingezeichnet. In der Matrix wurde eingetragen wie viele Paletten pro Stunde wo aufgenommen werden müssen und wo das Ziel der Transporte liegt. In der Transportmatrix wird auch festgehalten, ob es Europoolpaletten, Exportpaletten oder Gitterboxen sind, welche transportiert werden.

Um die Maximalauslastung des Transportsystems zum aktuellen Beschäftigungsgrad zu ermitteln, wurde aus dem ERP-System ein Datensatz herausgefahren, in welchem alle von der Produktion fertig gemeldeten Paletten mit Zeitstempel aufgelistet sind. Durch Gruppieren und Filtern in Excel wurde ermittelt, wie viele Paletten innerhalb von 15 Minuten, 30 Minuten und einer Stunde fertig gemeldet wurden. Von allen fertig gestellten Paletten fällt mit 59% Wahrscheinlichkeit innerhalb einer Stunde keine zweite an. Mit 33% sind es zwei Paletten und 3 Paletten treten nur in weniger als 7% der Fälle auf. Vier Paletten innerhalb einer Stunde sind nur mit sehr geringer Häufigkeit aufgetreten. Betrachtet man einen Zeitraum von 30 Minuten ist die Häufigkeit von 1 Palette pro Zeiteinheit bei 79%. Zwei Fertiggebände innerhalb einer halben Stunde tritt nur bei 19% der Fälle auf und die restlichen 2% verteilt sich auf drei und vier Paletten pro 30 Minuten. Innerhalb von 15 Minuten liegt die Chance, dass 2 gleichzeitig fertig werden nur bei 10%.

Diese Zahlen sind nur für die Maximalauslegung des System heranzuziehen und es gilt zu berücksichtigen, dass die zwei Hauptproduktionslinien den Großteil aller Transport verursachen werden. Somit ist eine konstante Last von maximal 2 Paletten gleichzeitig gegeben. In jeweils ein bis zwei Schichten pro Tag laufen auch die kleinen Linien und bringen so über den Tag verteilt bis zu 5 weitere Paletten aus. Wie in Tabelle 3 zu sehen, wurde für die Angebote von einer Auslastung von konstant 4 Paletten pro Stunde ausgegangen, um für künftige Linien noch Reserven zu haben und Spitzen auch noch innerhalb einer angemessenen Zeit abarbeiten zu können. Als Quellen werden Orte bezeichnet, an welchen Transportgut abgeholt wird. An Senken wird die Ladung abgegeben.

Tabelle 3: Transportmatrix des FTS

Landungsträger Nr.	Quelle	Senke	Strecke	Transporte / h
1,2,3	1	2	120m	4
1,2,3	3	1	140m	4
4	4	5	80m	0,25
3	4	1	80m	0,5

Die Ladungsträger sind Holzpaletten (1), Exportpaletten (2), Kunststoffpaletten (3) und Gitterboxen (4). Es ergeben sich aus der Transportmatrix in Tabelle 3 eine Gesamtwegstrecke von ungefähr 1200 Metern und ein Transportvolumen von 9 Paletten pro Stunde. Aus dem Mittel der Angebote entspricht dies einer Auslastung von ungefähr 70 Prozent für ein FTS mit einem Fahrzeug. Quelle 1 ist der Übergabepplatz vor der Produktion. 2 und 3 sind im Bereich der Fertigware und Leergutübergabe. Quelle 4 ist im Palettenregal und 5 ist ein Übergabepplatz vor dem CNC-Zentrum.

Firma BeeWaTec

Der erste Lieferant, welcher eingeladen wurde seine Produkte zu präsentieren, war die Firma BeeWaTec. Dieser Lieferant wurde gewählt, da bereits andere Produkte, hauptsächlich Regale, von diesem bezogen wurden und der Verkäufer den Standort Wolfsberg schon kennt. Dies ist in einer sehr frühen Phase des Projekts geschehen, um erste Erfahrungen mit Lieferanten zu sammeln und für künftige Gespräche die benötigten Informationen gleich bereit halten zu können. Mit dem Hintergedanken herauszufinden, welche Daten benötigt werden um ein Angebot zu erstellen, wurde der Verkäufer genauestens befragt. Auch die Leistungsfähigkeit und Grenzen des angebotenen Systems wurden durch vielfaches Nachfragen ermittelt.

Die Firma BeeWaTec hat ein sehr einfach gestaltetes FTS entwickelt. Am interessantesten für den vorliegenden Einsatzzweck scheint das Produkt „Spurmeise“. Dieses ist ein automatisierter Dreirad Gabelhubwagen für Standard- Europoolpaletten. Das Fahrzeug ist auf Basis eines manuell bedienbaren Staplers aufgebaut und um Aktoren, Navigationstechnik und Sicherheitstechnik erweitert worden, um selbstständiges Fahren zu ermöglichen. Das gesamte System besteht aus den Fahrzeugen, den Tastern und einer optionalen Steuer- und Leitanlage, CallCenter genannt. Die Kommunikation erfolgt per Funk, wobei hierfür auf Radiofrequenz zurückgegriffen wird. Die Navigation und Spurführung erfolgt anhand von optischer Erkennung des Fahrwegs am Boden. Für dieses System sind kontrastreiche Linien notwendig, welche dem Fahrweg entsprechen. An Punkten von besonderen Aktionen werden RFID-Tags in den Boden eingelassen, welche von dem Fahrzeug ausgelesen und an das Leitcenter gefunkt werden. An den Bodenmarken wird entweder nur die Position abgefragt und an das CallCenter genannte Leitsystem geschickt oder ein Befehl vom CallCenter erhalten, beispielsweise an Kreuzungen, an Toren etc. Dies wird für Einbahnregelungen oder an Kreuzungen verwendet, um die Verkehrssteuerung zu regeln. Ohne RFID-Tags im Boden folgt das Fahrzeug der Linie. Durch den Umstand, dass die Basis für das Fahrzeug ein regulärer Gabelhubwagen ist, hat der MA jederzeit die Möglichkeit händisch einzugreifen und das Fahrzeug konventionell zu bedienen. Es

findet allerdings nicht alleine auf die Spur zurück, sondern muss auf der Spur „abgestellt“ und in den Automatikmodus geschaltet werden, damit die Arbeit autonom weitergeführt wird.

Genauere Positionierungen werden mithilfe von Positionsmarken am Boden vorgenommen. Das sind ferromagnetische Plättchen, welche ausgelesen werden können, um das Fahrzeug danach auszurichten. Es kann eine Genauigkeit von ± 1 cm erreicht werden. Der Batteriewechsel kann händisch oder auch vollautomatisch erfolgen. Es gibt die Option das Fahrzeug über Induktionsspuren während des Betriebs zu laden oder auch Ladepunkte einzurichten, an welchem über Bodenkontakte aufgeladen wird. Grundsätzlich schafft es das Fahrzeug mit einer Akkumulatorenladung eine Schicht durchzuarbeiten. Aufgrund des Mehrschichtbetriebs bei Mahle, ist der Batteriewechsel ein interessanter Punkt. Wie die Nachladung der Batterie gestaltet wird hängt allerdings auch von der Auslastung des FTS ab, ob es Zeit hat, sich selbst zu laden oder ununterbrochen im Einsatz ist.

Die Personensicherheit wird durch einen SICK-Laserscanner sichergestellt, welcher auch für das Scannen von Palettenplätzen verwendet werden kann. Der Sicherheitsbereich vor dem Fahrzeug ist auf die Begebenheiten vor Ort in Weite und Breite einstellbar. Der Bereich ist in zwei Zonen eingeteilt, die erste ist eine Warnzone die zweite, dichter am Fahrzeug, löst einen automatischen Stop aus. Nach einer Wartezeit nimmt das Fahrzeug die autonome Fahrt wieder auf, wenn das Objekt aus der Schutzzone entfernt wurde. Die Größe der Sicherheitszone hat nach Aussagen des Verkäufers keinen Einfluss auf die Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Geschwindigkeit beträgt bis zu 1 m/s. Das Fahrzeug wird in engen Kurven und bei Lastspielmanövern langsamer.

Der Verkäufer hat versichert, dass das Fahrzeug mit dem Scanner Palettenplätze rechtwinkelig zur Fahrtrichtung und bis zu 3 Paletten tief abtasten kann, allerdings nur für Lagerplätze am Boden. So können aus einem kleinen Blocklager, nur eine Ebene hoch und drei tief, Paletten eingelagert oder aufgenommen werden. Bis auf dieses „Plätze finden“, ist die Steuerung sehr einfach gehalten. Anhand der Bodenmarken können Aktionen festgelegt werden, diese stehen nicht in Abhängigkeit von äußeren Faktoren, Einflüssen oder Abhängigkeiten. Das System kann an sich bis zu 1,5m hoch heben, allerdings kann der Scanner keine Paletten in zweiter Ebene erkennen, somit ist ein autonomes stapeln nicht möglich. Die Stapelfunktion ist für das Einlagern in Regalplätze gedacht.

Die einzelnen Fahrzeuge kommunizieren nicht miteinander sondern nur mit dem CallCenter. Aufträge werden über manuelle Taster von Mitarbeitern ausgelöst. Ein Taster hat bis zu 6 Knöpfe und kann mit bis zu zwei Sensoren ausgestattet werden. Auf Knopfdruck wird dem CallCenter ein benötigter Transportauftrag gemeldet und dieses leitet den Auftrag an das nächste freie Gerät weiter. Die Aufträge sind pro Taster fest vorgegeben. Bis auf das Scannen nach leeren oder vollen Palettenplätzen ist der Rest des Transportvorgangs fest vorgegeben. Somit müssen an einem Übergabepunkt mehrere Knöpfe programmiert sein, um verschiedene Produkte sortenrein an unterschiedlichen Positionen einlagern zu können.

In Abbildung 15 ist die Frontansicht des FTS zu sehen. Man erkennt ganz eindeutig den zu Grunde liegenden Deichselhubwagen. Dieser ist am Mast mit Warnleuchten ausgestattet

worden. Die Rückansicht ist in Abbildung 16 dargestellt. An der unteren Seite ist der Sicherheitsscanner von SICK zu sehen. Dieser weist in die Hauptfahrrichtung. Neben der Deichsel ist die Benutzereingabe zu erkennen, mit welcher das FTS nach dem Handbetrieb wieder auf die Fahrlinie eingespurt werden kann. Die Navigationsinstrumente und Steuerungseinrichtungen sind alle unter der schwarzen Verkleidung untergebracht.



Abbildung 15: FTF von BeeWaTec ¹⁰¹

¹⁰¹Quelle: BeeWaTec-Systems GmbH (19.08.2015)



Abbildung 16: FTF von BeeWaTec, Rückseite ¹⁰²

Firma Jungheinrich

Die Firma Jungheinrich, welche Lagertechnik und Flurförderfahrzeuge anbietet, hat auch eine Sparte für automatisierten Transport. Es werden von Hand geführte Standardfahrzeuge mit Steuerungstechnik und Sensoren ausgestattet und für den Warentransport eingesetzt. Die Navigation der Fahrzeuge erfolgt über Laserscanner am Fahrzeug und Reflektoren im Raum. Durch den Arbeitsbereich oder die Einsatzart bedingt, kann auch mit Magnetpunkten ein 50 cm Raster aufgebracht werden, an welchem sich das FTS im Raum orientieren kann. Dies wird notwendig, wenn das FTS für hohe Blocklagerung eingesetzt wird, durch die Hubhöhe von 4 Metern kann die gestapelte Ware die Höhe des Laserscanners überragen und so die optischen Reflektoren verdecken. Das Blocklager kann das FTS selbstständig befüllen, es kann die Stapelhöhe feststellen, sowie auch leere Palettenplätze am Boden finden.

Die Auftragsübermittlung kann über Sensoren, Taster oder die Leitzentrale erfolgen. Durch Regalsensoren kann die zentrale Fahrzeugsteuerung erkennen, ob Palettenplätze belegt sind und diese selbstständig frei räumen. Per Taster kann der Transportauftrag auch vom Mitarbeiter gestartet werden. Die Datenverbindung zwischen den Tastern, Fahrzeugen und der zentralen Steuerung wird über das lokale WLAN sichergestellt. Die zentrale Steuerung kann mit SAP oder dem Jungheinrich-WMS verbunden werden.

¹⁰²Quelle: BeeWaTec-Systems GmbH (19.08.2015)

Bei Jungheinrich wird das Fahrzeug immer mit einer zweiten Batterie geliefert. Bei den kleinen Modellen kann keine Garantie gegeben werden, dass diese mit einer Aufladung zwei ganze Schichten arbeiten können. Der Batteriewechsel wird von einem Mitarbeiter händisch durchgeführt. Jungheinrich bietet 3 verschiedene Modelle an. Der kleinste Deichselhubwagen hat eine Traglast von 1500kg, muss aber zur Lastaufnahme und Abgabe die Paletten oder das Regal unterfahren können. Das größere Model hat freie Gabeln zur Lastaufnahme und kann somit auch Paletten quer aufnehmen. Durch die fehlenden Stützräder vorne, ist der Bereich hinter der Gabel massiver und größer ausgelegt, damit keine Kippgefahr besteht. Durch den größeren Aufbau und die Batterien mit höherer Kapazität kann bei diesem Modell ein durchgehender Zweischichtbetrieb gewährleistet werden. Der Nachteil ist der größere Wendekreis des Modells. Die dritte Variante ist für lange Transportwege gedacht. Dieses ist ein modifizierter Palettenkommissionierer mit einer 2,4 Meter langen Gabel für die Aufnahme von zwei Paletten. Aufgrund der Länge der Gabel ist der Wendekreis des Geräts sehr groß und damit auch der Bereich, welcher beim Lastspiel benötigt wird. Alle FTS und weitere Lagertechnik steht zur Besichtigung in einer Demonstrationshalle, in der Nähe von München.

Die Fahrzeugsteuerung wird in AutoCAD erstellt und der Kunde kann diese nach Ablauf der Garantie bzw. Gewährleistungsfrist selbstständig ändern. Je nach Umfang der Änderungen muss der Hersteller beauftragt werden. Von der Auftragsvergabe bis zur Inbetriebnahme beim Kunden vergehen in der Regel 6 Monate.

In Abbildung 17 ist das kleinere FTF abgebildet. Am Mast ist die Steuerung auf Höhe der Deichsel zu erkennen. Man sieht auch einen Sicherheitsscanner am Mast und den Navigationslaser ganz oben. Unten am Körper des FTF ist in einem erweiterten Anfahrschutz noch ein Personensicherheitsscanner untergebracht. Die Frontansicht in Abbildung 18 zeigt deutliche Unterschiede zum BeeWaTec FTF. Es ist vorne zwischen den Gabeln ein weiterer Personenscanner zu erkennen, dieser wird bei der Lastaufnahme von dem grauen Schutzkasten am hinteren Ende der Gabelzinken geschützt. Schwer zu erkennen sind die Gabelsensoren in den Spitzen.



Abbildung 17: FTF von Jungheinrich, Rückseite ¹⁰³



Abbildung 18: FTF von Jungheinrich ¹⁰⁴

¹⁰³Quelle: Jungheinrich AG (19.08.2015)

¹⁰⁴Quelle: Jungheinrich AG (19.08.2015)

Firma Still

Das Unternehmen Still fertigt traditionell Gabelstapler und Flurförderzeug und war bis vor wenigen Jahren Hauptlieferant für den Mahle Konzern. Das Besondere an dem Konzept von Still ist die Steuerung der Fahrzeuge über Apple Ipad. Diese kommunizieren über das WLAN mit dem Fahrzeug. Auf dem Ipad werden die Aufträge sowie Aufgabe- und Abgabestation eingegeben. Für jede Station muss ein Ipad zur Verfügung gestellt werden, ähnlich den Lösungen von anderen Herstellern mit den Tasterfeldern. Es gibt bei dieser Lösung keine Leitzentrale und damit auch keine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen. Grundsätzlich ist das System als einfach zu installierende Stand-Alone-Lösung gedacht, welche mit ein oder zwei Fahrzeugen auskommt. Durch die ausschließliche Bedienung per Ipad, kann der Nutzer selbst Fahrkurs, Aufgabe- und Abgabestellen definieren ohne Programmieraufwand. Der größte Nachteil sind die nicht miteinander kommunizierenden Fahrzeuge, welche durchaus gemeinsame Wegstrecken fahren könnten. Kommen sich zwei Fahrzeuge auf einer einspurigen Fahrspur entgegen, bleiben beide stehen bis ein Mitarbeiter die Fahrzeuge händisch frei fährt. Somit ist das System nur eingeschränkt erweiterbar. Das Still iGoEasy ist nicht blocklagerfähig, erkennt allerdings ob Paletten auf dem Aufnahmeplatz stehen oder nicht.

Die Navigation erfolgt über Laserscanner und Reflektoren. Letztere können vom Nutzer selbst eingelesen werden, indem mit dem Fahrzeug im Lernmodus die Fahrstrecke abgegangen wird. Dabei prüft das System selbstständig, ob genügend Reflektoren für eine eigenständige Navigation vorhanden sind. Am Fahrzeug sind zwei Kameras angebracht, welche jederzeit über die Ipads abgefragt werden können. Sicherheitstechnisch sind die FTF vorne und hinten mit jeweils einem SICK Personenlaserscanner ausgerüstet.

Die Wartung entspricht jener eines herkömmlichen Deichselhubwagen. Die Ipads müssen bei Still selbst gekauft werden, da man die Software nicht selbst aufspielen kann. Die Fahrzeuge sind nach wie vor auch von Hand bedienbar.

Die Firma Still bietet auch Konzepte für die Automatisierung von ganzen Lagern und darüber hinaus an. Dazu ist Still eine Kooperation mit dem Automatisierungsspezialist DS Automotion aus Linz eingegangen. Letzterer ist für die Steuerung der Automatisierungstechnik zuständig und Still liefert die „Hardware“ dazu. Eine Automatisierung mit Leitzentrale von Still ist allerdings aus Kostensicht weit über den Mitbewerbern. Der Vertreter hat eine solche Lösung auf Kosten von 700.000 € aufwärts geschätzt.

Firma EK Automation

Die Firma EK Automation bietet sehr flexible Lösungen für ihre Kunden. Das Unternehmen produziert selbst keine Gabelhubwagen, sondern kauft diese von anderen Unternehmen zu und ergänzt die fehlende Technik. Der Kunde hat dadurch die Möglichkeit sich den Hersteller des Grundfahrzeugs selbst auszusuchen (es wurden Jungheinrich und Linde angeboten). Die Fahrzeuge navigieren mit Hilfe von Lasertriangulation und Reflektoren, das Fahrzeug kann über Ruftaster, Sensortechnik oder auch SAP-Anbindung mit Fahraufträgen versorgt werden. Die Kommunikation zwischen der Leitzentrale, den Ruftastern und den Fahrzeugen wird über

das am Standort bereits vorhandene WLAN realisiert. Die zentrale Leittechnik wird auf einen normalen PC aufgespielt.

EK Automation unterscheidet sich von den anderen Anbietern durch die verwendete Batterietechnik. Aus der Besichtigung vor Ort ging hervor, dass Lithium-Ionen-Batterien für den Einsatz am besten geeignet wären. Das Fahrzeug würde sich auch selbst laden, wenn es keinen Transportauftrag zu erfüllen hat und in Warteposition steht. Andere Batterietechniken können auf Wunsch auch angeboten werden und sind nach Aussage des Vertreters nur unwesentlich günstiger.

Layoutänderungen soll der Kunde selbst vornehmen können. Das FTS operiert mit einer Siemens S7 ähnlichen Steuerung.

In Abbildung 19 ist ein umgebauter Linde Deichselhubwagen von EK Automation zu sehen. Im unteren Bereich ist wie bei Jungheinrich ein erweiterter Anfahrschutz für den Personenlaser scanner angebracht worden. Die Steuerung befindet sich in dem großen Kasten hinter dem Hubmast. Oben auf diesem ist der Navigationslaser angebracht. An der Seite des Steuerungskasten ist die Eingabekonsolle zu erkennen.



Abbildung 19: FTF von EK Automation ¹⁰⁵

¹⁰⁵Quelle: Abbildung aus dem Angebot der Fa. EK Automation

7 Bewertung der Alternativen

In dem folgenden Kapitel werden erst die Angebote der Lieferanten miteinander verglichen um das Produkt mit der höchsten Erfüllungsrate der Anforderungen zu finden und im Anschluss wird die beste Lösung betriebswirtschaftlich bewertet.

7.1 AHP

Für die Auswahl der besten Lösung für das Transportproblem wird der Analytical Hierarchy Process herangezogen. Dieser wird mithilfe des Programms „PriEst“ berechnet, da dieses eine ansprechende und einfach zu erklärende grafische Oberfläche bietet sowie weitere sinnvolle Optionen, wie das Darstellen der Konsistenz von Eingaben, unterschiedliche Berechnungsalgorithmen und Darstellungsformen des Ergebnisses. Während der Eingabe prüft das Programm die Konsistenz der Eingaben und stellt diese grafisch dar, um dem Anwender aufzuzeigen welche Bewertungen überarbeitet werden müssen.

Für die Bewertung der vier Angebote wurden nachfolgende Kriterien ausgewählt. Diese wurden zusammen mit dem Logistikleiter des Standorts erarbeitet und sollen alle wichtigen Aspekte abdecken, um eine begründbare Entscheidung präsentieren zu können, gleichzeitig müssen die Kriterien bewertbar und die Daten von jedem Anbieter vorhanden sein.

- Erweiterbarkeit des Systems mit weiteren Fahrzeugen
- Unternehmensgröße, Nähe zum Servicetechniker
- Möglichkeit und Umfang der Ein- und Anbindung an SAP
- Technischer Reifegrad der angebotenen Lösung
- Flexibilität des Kunden den Fahrkurs und Arbeitsabläufe selbst zu ändern
- Technische Lösung der Aufgabenstellung (Navigationstechnik, Fähigkeit zu stapeln etc.)

Die Kriterien zielen darauf ab, die Lösungen der Lieferanten auf ihre Zukunftssicherheit, Zuverlässigkeit, Erweiterbarkeit und Bedienungsfreundlichkeit bei möglichen Fahrkursänderungen zu bewerten. Alle angebotenen Produkte erfüllen die Anforderung, den zukünftigen Warenfluss zu bewältigen und stellen für die derzeitige Situation im Werk eine mögliche Lösung dar, weswegen die Entscheidung für einen Lieferanten nach zukunftsorientierten Kriterien erfolgt.

Für die Bewertung wurde ein Team zusammengestellt, welches die AHP-Methode angewendet und die Bewertungen vorgenommen hat. Die Informationen zur Beurteilung wurden aus den

Angeboten bzw. den persönlichen Gesprächen der Lieferantenvertreter und der Internetpräsenz der Firmen entnommen.

Der nächste Schritt nach der Festlegung der Kriterien und des Teams ist, diese Faktoren untereinander zu bewerten um den Einflussfaktor für jedes Kriterium zu ermitteln. Dazu wird eine Matrix befüllt und jedes Kriterium mit jedem anderem paarweise verglichen und von 1 bis 9 bewertet. Diese Bewertung erfolgt nach dem Vorschlag von Saaty wie in Kapitel 4 besprochen. Der AHP-Algorithmus ermittelt aus den paarweisen Vergleichen einen Vektor mit den Wertigkeiten für jedes Kriterium. Dieser Vektor würde der Wertigkeit der Kriterien einer Nutzwertanalyse entsprechen.

Aufgrund der Anzahl der Vergleiche in der 6x6 Matrix sind nicht alle Angaben des Bewertungsteams vollständig konsistent zueinander. Der von Saaty angegebene Grenzwert von 0,1 für die Konsistenz der Angaben wird allerdings nicht erreicht, sondern in diesem Fall nur 0,05.

Das Ergebnis der Bewertung der Kriterien ist, dass mit 37% Einfluss die technische Lösung der Aufgabenstellung am wichtigsten ist. Knapp über 30% für die Gewichtung für den Reifegrad der angebotenen Lösung und nicht ganz 16% für die Flexibilität des Kunden Änderungen vornehmen zu können. Die weiteren drei Kriterien sind alle unter 8% berechnet worden. Das Bewertungsteam empfindet demnach die technische Basis als sehr wichtig für die Auswahl des Lieferanten.

Der nächste Schritt im Bewertungsprogramm ist für jedes Einflusskriterium eine Matrix zu befüllen, in welcher die Lieferanten untereinander verglichen werden, um für jede Bewertungsgröße die Rangfolge der Zielerfüllung zu ermitteln. Diese Tätigkeit unterstützt die Software indem die Inkonsistenz als absoluter Wert ausgegeben und in einer separaten Grafik angezeigt wird. In letzterer werden unstimmmige Dreiecksbewertungen optisch hervorgehoben und es ist leicht zu erkennen, wodurch die Inkonsistenz entstanden ist. Wie solche Inkonsistenzen zustande kommen sowie die Überprüfung dieser ist in Kapitel 4 beschrieben.

Nachdem alle Tabellen befüllt worden sind, berechnet das Programm das Endergebnis. Es wird der Vektor der Wertigkeit der Kriterien mit der Zielerfüllung der Lösungen multipliziert und summiert. Für jeden Lieferanten wird eine Zahl berechnet, welche darstellt wie gut sich die Lösung für alle Kriterien eignet, summiert ergeben alle Lieferantenbewertungen 100%.

Als Kalkulationsmethode im Programm wurde die Berechnung mit Hilfe von Eigenvektoren gewählt. Es werden insgesamt 12 verschiedene Methoden angeboten, um die Matrizen zu lösen. Es wird grafisch dargestellt, welcher Hersteller in welchem Beurteilungskriterium die beste Zielerfüllung vorweist. Vom Mittelpunkt der Grafik ausgehend, welche in vier Sektoren geteilt ist, werden für jeden Lieferanten, die Bewertungskriterien dargestellt. Richtung und Abstand zur Mitte zeigen das Unternehmen und den Grad der Erfüllung des Bewertungskriteriums, beispielhaft ist dies in Abbildung 20 dargestellt.

In Abbildung 20 ist das Programm „PriEst“ dargestellt. Den größten Teil des Bildschirms auf der rechten Seite nimmt in diesem Fall die Darstellung der Bewertungskriterien und der Lieferanten ein, (wie oben beschrieben). Auf der linken Seite sind im oberen Bereich die Kriterien

aufgelistet, daneben die Lieferanten/Lösungsmöglichkeiten und darunter ist die Bewertungstabelle dargestellt. In der Matrix sieht man die ausgegraute Diagonale. Die weißen Felder sind vom Benutzer ausgefüllt und die hellgrauen sind vom Programm aus den Eingaben des Benutzers errechnet, da auf der Diagonalen gegenüberliegende Werte immer die jeweiligen Reziproken sind. Der blaue Balken neben der Benutzereingabe zeigt eine Inkonsistenz an. Ebenso werden die Kennzahlen, wie z.B. Konsistenz der Eingabe, rechts neben der Tabelle darstellt. Im oberen Bereich der Software sieht man rechts das Endergebnis und links die Bedienfelder.

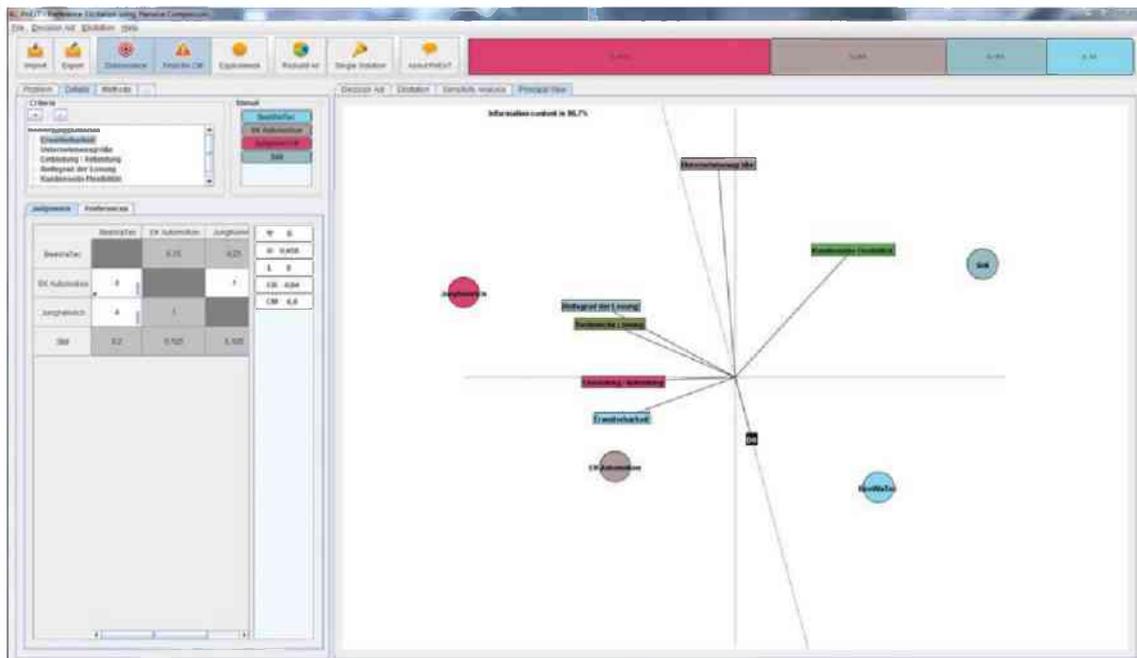


Abbildung 20: Screenshot von PriEst zur Bewertung der Lösungsmöglichkeiten ¹⁰⁶

Das Ergebnis der AHP-Methode ist, dass die Firma Jungheinrich mit dem Produkt Pallet Mover ERC 215a alle vorgegebenen Kriterien am besten erfüllt. Jungheinrich erreicht 46%, der zweitplatzierte EK Automotion 25% und mit 15% und 13% eignen sich die Produkte von Still und BeeWaTec am wenigsten für zukünftige Szenarien. Das Ergebnis muss dahingehend betrachtet werden, dass sich für die Grundanforderungen der aktuellen Situation alle Produkte eignen würden. Erst wenn man Kriterien für die Zukunftssicherheit und Möglichkeiten der Erweiterung und Änderung berücksichtigt lässt sich ein Anbieter favorisieren.

Zu jedem der Kriterien wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt mit dem Ergebnis, dass es zu einer gravierenden Änderung der Wertigkeit der Bewertungsfaktoren kommen muss, damit sich das Ergebnis zu Gunsten eines anderen Lieferanten verändert. In Abbildung 21 ist ein Beispiel dargestellt. Es ist der Reifegrad der Lösung zu erkennen und in welchem Ausmaß sich die Wertigkeit ändern müsste um ein anderes Ergebnis zu bewirken. Die größte Auswirkung hätte die Anhebung des Einflusses der kundenseitigen Flexibilität von derzeit 17% auf mindestens 49% damit die Firma Still favorisiert werden würde. Betrachtet man die drei schwerwiegendsten Kriterien und bezieht alle drei in eine Sensitivitätsanalyse ein, ist der Ergebnis das gleiche,

¹⁰⁶Quelle: eigene Darstellung

nur eine Änderung der Wertigkeit der kundenseitigen Flexibilität würde das Ergebnis ändern. Diese Erkenntnis ist vorhersehbar, da die zwei einflussreichsten Kriterien zu mehr als 50% von Jungheinrich dominiert werden. Der dritt gereichte Bewertungsfaktor wird von Still am besten erfüllt. Dies ist der einzige Faktor, bei welchem Jungheinrich nicht am besten bewertet wird oder zumindest gleich stark mit einem anderen Mitbewerber die beste Zielerfüllung aufweist. Aus diesen Gründen wäre das Ergebnis auch ohne eine Gewichtung der Bewertungsfaktoren zum Vorteil von Jungheinrich ausgefallen, da deren Produkt fünf von sechs Kriterien dominiert. Die Gewichtung verstärkt diesen Vorsprung in wodurch das Endergebnis noch eindeutiger wird.

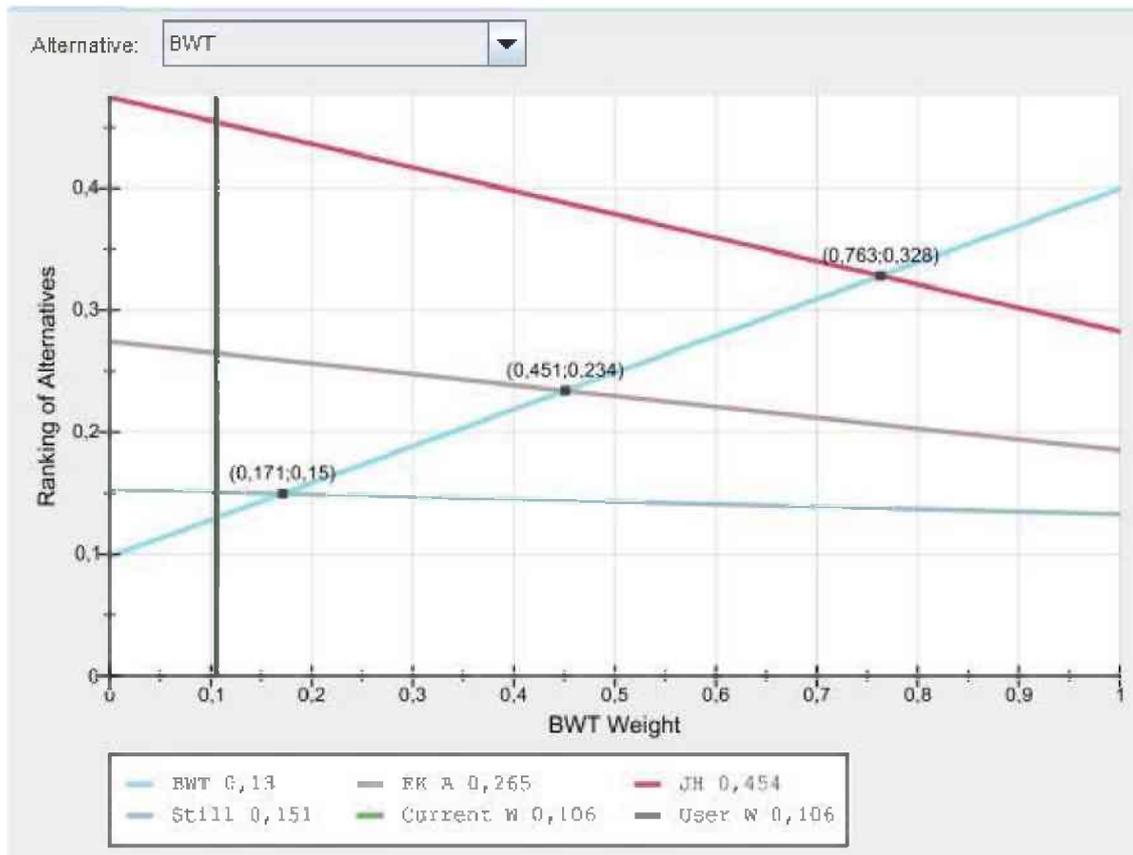


Abbildung 21: Screenshot von PriEst Sensitivitätsanalyse ¹⁰⁷

In Abbildung 20 ist auf der rechten Seite des Screenshots eine grafische Darstellung der Zielerfüllung für jeden Lieferanten angezeigt. Es ist zu erkennen, dass Jungheinrich in lila dargestellt, zwei Kriterien absolut dominiert und bei einem weiteren mit EK Automotion in grau, gleich liegt. Das hellblaue Kriterium liegt zwischen Jungheinrich und EK Automotion, wobei die Tendenz eher zu EK Automotion zeigt. BeeWaTec kann kein Kriterium für sich entscheiden und Still nur die Flexibilität dominieren, wobei auch dieses Kriterium nicht ganz bei Still liegt sondern auch zu Jungheinrich hin dargestellt ist.

¹⁰⁷ Quelle: eigene Darstellung

7.2 Amortisationsrechnung

Um die im vorigen Schritt ausgewählte Alternative auch auf finanzieller Ebene bewerten zu können wurde die in Kapitel 4 bereits erwähnte Methode der dynamischen Amortisationsrechnung angewandt. Die Berechnungen wurden im Programm Microsoft Excel durchgeführt, weil dieses am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt wurde.

Als interner Zinsfuß wurde für die dynamische Amortisationsrechnung ein Wert von 8% mit dem Controlling festgelegt. Dieser wird für den Rest der Berechnung unverändert beibehalten. Die Kosten für einen MA werden mit 40.000 € pro Jahr veranschlagt. Aufgrund der Unterschiede in Ausbildung und Alter der Mitarbeiter ist an dieser Stelle ein ungefährer Wert für die Berechnung ausreichend.

Das fahrerlose Transportsystem kann nur gewinnbringend im Unternehmen eingeführt und betrieben werden, wenn mit seiner Hilfe Kosteneinsparungen möglich sind. In der Logistik bei Mahle in Wolfsberg machen Personalkosten den Großteil der Aufwände aus. Aufgrund dieser Tatsache ist das Einsparungspotential in diesem Punkt auch am größten. Um zu ermitteln bei welchen Tätigkeiten das FTS die Mitarbeiter unterstützen kann oder welche gänzlich abgenommen werden können, wurde für jede Stelle in der Logistik ein Tätigkeitsprofil erstellt. Die Mitarbeiter wurden gebeten an ausgewählten Tagen alle ihre Tätigkeiten selbst festzuhalten, da es nicht möglich ist, diese auch in der Nachtschicht oder in Tagesschichten persönlich zu erfassen. Für die Tage der Selbstprotokollierung wurden immer zwei hintereinander folgende gewählt. Für die Materialversorger sind Tage mit Dreischichtbetrieb ausgesucht worden. Für die Analyse der Staplerfahrer wurden Tage mit Zweischicht- und Einzelschicht gewählt. Die Tätigkeit der Staplerfahrer wurde deswegen genauer untersucht, da durch ein FTS fast ausschließlich deren Tätigkeiten Veränderungen unterliegen würden. Die Materialversorger wurden aufgenommen, da es unter Umständen notwendig werden kann, Aufgaben von den Staplerfahrern zu diesen zu verschieben und umgekehrt.

Das fahrerlose Transportsystem, zusammen mit dem neuen Materialfluss, kann die Mitarbeiter bei folgenden Tätigkeiten entlasten:

- Transporte in und aus dem Schmalganglager
- Transport der Fertigware zum Einlagerplatz
- Transport des Leerguts vor die Produktion
- Verkürzte Wege für das Ein- und Auslagern in die Schnelldreher des Supermarkts

Durch den neuen Materialfluss, welcher durch das FTS ermöglicht wird, können durch die oben genannten Aufgaben ungefähr 50 bis 60% der Wochenstunden eines Mitarbeiters eingespart werden. Es lässt sich in diesem Szenario kein ganzer Mitarbeiter freisetzen. Durch die Tatsache, dass der gesamte Materialstrom in Wolfsberg von nur fünf Mitarbeitern in drei Schichten bewältigt werden muss, ist eine Reduzierung der Mitarbeiterzahl nicht möglich. Werden Urlaub und Krankenständen berücksichtigt müssen für einen konstanten Dreischichtbetrieb mindestens 4,5 Mitarbeiter angestellt sein. Hinzu kommt noch die Tatsache, dass es derzeit nur zwei

Staplerfahrer gibt. Baut man einen von diesen ab und wird der verbleibende krank oder nimmt Urlaub, ist keine Materialanlieferung oder Kundenbelieferung mehr möglich. Zwei der drei Materialversorger haben einen Staplerschein, allerdings keine Erfahrung im Umgang mit dem Gabelstapler und sind als Ersatz, ohne weitere Schulungen oder Übung, nicht geeignet.

Durch die Umstände, dass das FTS nur die Arbeit eines halben Mitarbeiters übernehmen kann und ein Personalabbau nur sehr schwer möglich ist, wird für die folgenden Berechnungen die Annahme getroffen, dass die Zeit des Mitarbeiters mit anderen Aufgaben zu gleicher Effizienz genutzt werden kann. Es wurde in Gesprächen mit den Mitarbeitern des Wareneingangsbüros festgestellt, dass die derzeitige Menge an Aufgaben nicht von den Materialversorgern alleine zu bewältigen ist. Die Mitarbeiter des Wareneingangs helfen pro Woche 12 Stunden aus und Leiharbeiter werden im Umfang von 10 Stunden herangezogen. Der Arbeitsaufwand der Leiharbeiter wird umverteilt und abgebaut und dadurch können effektiv Kosten gespart werden. Im Büro befindet sich eine Arbeitskraft, welche Halbtags angestellt ist. Können durch weitere Maßnahmen im Büro so viele Stunden freigemacht werden, dass diese halbe Arbeitskraft nicht mehr benötigt wird, ist die Kosteneinsparung auch an dieser Stelle umsetzbar. Für den folgenden Teil der Arbeit wird angenommen, dass die Einsparungen umgesetzt werden können. Es nicht Teil dieser Diplomarbeit die Personal- und Arbeitsstruktur im Wareneingangsbüro neu zu gestalten.

Aus den oben erwähnten Gründen wird für die folgende Berechnung ein Einsparpotential von einem halben Mitarbeiter angenommen, dies entspricht ungefähr 20.000 € im Jahr.

Die dynamische Amortisationsrechnung wurde für einen Zeitraum von 10 Jahren durchgeführt. Um den Zeitpunkt für die regular falsi zu bestimmen, wird dazu das letzte Jahr mit negativem und das erste Jahr mit positivem Kapitalwert ermittelt. Zu Vergleichszwecken wurde das Angebot des günstigsten Bieters und jenes des ausgewählten Lieferanten berechnet. Die Berechnung ist graphisch in der Abbildung 22 dargestellt. Aufgrund des exakt gleichen Einsparungspotentials und Zinssatzes sind die Kurven der beiden Alternativen parallel. Der Unterschied besteht im unterschiedlichen Anschaffungswert und so ergibt sich für die Lösung der Firma Jungheinrich ein Amortisationszeitraum von 8,9 Jahren. Dieser Zeitraum ist weit entfernt vom geforderten Wert der Geschäftsführung für Anschaffungen. Dieser liegt bei unter 3 Jahren. Deswegen wurde als Alternative noch die weniger geeignete Lösung der Firma BeeWaTec berücksichtigt. Letztere erreicht eine Amortisation von 3,7 Jahren und ist ebenfalls nicht im gewünschten Rahmen.

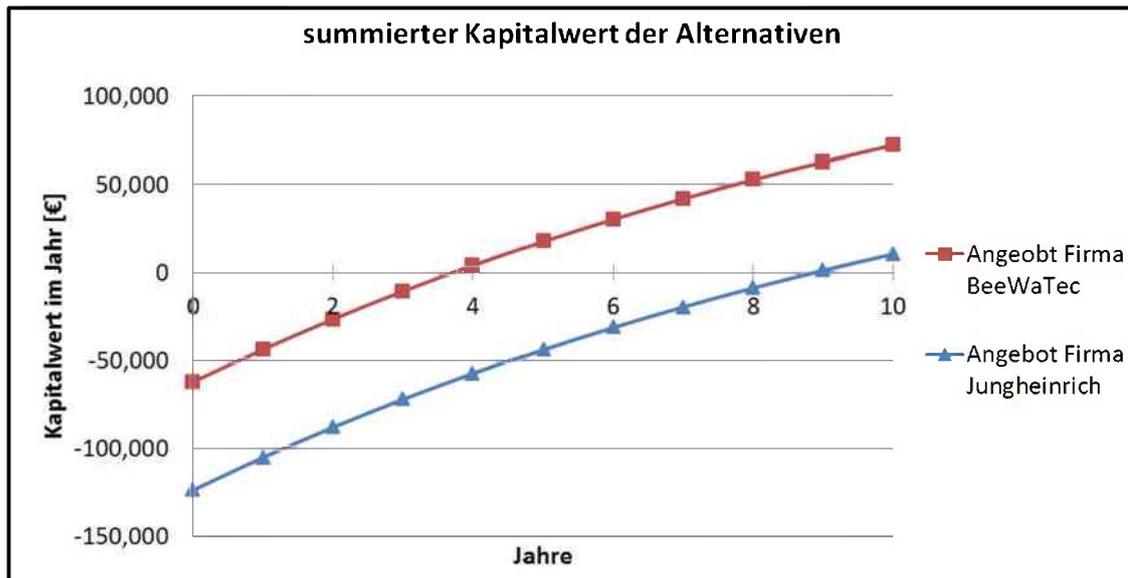


Abbildung 22: Darstellung des Ergebnisses der Amortisationsrechnung¹⁰⁸

Das Ergebnis dieser Berechnungen ist für die Geschäftsführung und die Entscheidung für oder wider der Anschaffung eines FTS ausschlaggebend. Eine Amortisationszeit von zwei bis drei Jahren ist für die Realisierung des Projekts als Voraussetzung veranschlagt worden. Unter den gegebenen Umständen der aktuellen Umsatzlage und den Zukunftsprognosen ist es nicht realistisch, dass der Konzeptvorschlag dieser Diplomarbeit umgesetzt wird. Die Prognose für die Umsatzentwicklung geht von einem konstant bleibenden Umsatz für die nächsten Jahre aus. Aufgrund der langen Vorlaufzeit von Projekten in der Automobilindustrie, vor allem der Motorenfertigung, ist die Umsatzänderung der nächsten Jahre verlässlich vorher zusehen.

Sollte in den nächsten Jahren der Umsatz um mehr als 30 Prozent steigen, ist die Annahme zulässig, dass durch den steigenden Aufwand für den Materialtransport ein weiterer Mitarbeiter angestellt werden müsste. Kann ein FTS diese Anstellung abfangen, ist die oben genannte Amortisationsrechnung noch einmal durchzuführen und das Ergebnis neu zu betrachten. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass ein fahrerloses Transportsystem, die Arbeitslast über den ganzen Tag reduziert und nicht nur während einer Schicht, wie ein zusätzlicher Mitarbeiter.

7.3 Lifecycle Costs

Um die reinen Anschaffungskosten in Relation zu den Gesamtkosten für den Betrieb über einen Zeitraum von 10 Jahren zu bringen, wird eine Lifecycle Calculation, wie in Kapitel 4 beschrieben, durchgeführt. Die Gesamtkosten werden für einen Zeitraum von 10 Jahren berechnet und in fünf Hauptgruppen eingeteilt.

In Tabelle 4 ist die genaue Aufstellung der Lebensdauerkosten des vorgeschlagenen fahrerlosen Transportsystems von Jungheinrich aufgelistet. In der ersten Projektphase, der Planungsphase,

¹⁰⁸Quelle: eigene Darstellung

welche hauptsächlich aus dem Erstellen der Diplomarbeit als Konzept der Umsetzung besteht, fallen nur Kosten für den Diplomanden an. Dessen Lohn und Lohnnebenkosten werden für die Dauer von 6 Monaten berechnet. Aufwände für die Unterstützung durch den Logistikleiter oder andere Abteilungen werden nicht berücksichtigt. Der zweite Block der Lebensdauerkosten besteht aus der Beschaffung des Fahrzeugs, welche aus dem Kostenvoranschlag des Lieferanten Jungheinrich übernommen wurde. Hinzu kommen noch Aufwände für die baulichen Maßnahmen um einen geeigneten Übergabepplatz für Palettenwägen vor der Produktionsschleuse zu errichten. Diese Kosten wurden von einem Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung aus Lohnkosten für Mitarbeiter und Materialkosten geschätzt. Die laufenden Kosten für die 10 Jahre Betrieb des FTS setzen sich aus Wartungs- und Stromkosten zusammen. Die Wartung findet jährlich statt und ist ein ungefährender Richtwert vom Verkäufer des Fahrzeugs. Die Stromkosten beziehen sich auf 5 Jahre Betrieb mit einem Fahrzeug und weitere 5 Jahre Betrieb mit zwei Fahrzeugen. Es wurde angenommen, dass in 15 Schichten pro Woche die Fahrzeuge in jeder Schicht voll geladen werden müssen. Nach Auskunft eines Mitarbeiters der Firma Mahle, betragen die Stromkosten ungefähr 9 Eurocent pro Kilowattstunde. Daraus ergeben sich Kosten von 350 € pro Fahrzeug pro Jahr. Die Phase der Erweiterung, welche nach 5 Jahren angenommen wurde, besteht aus der Anschaffung eines weiteren Fahrzeugs, einer Änderung und Erweiterung des aktuellen Fahrkurses und Umbaumaßnahmen für den Ausbau des bestehenden Übergabepplatzes oder der Errichtung eines Neuen in einem anderen Bereich des Unternehmens. Die Kosten für ein neues Fahrzeug und die Fahrkursänderung sind nach Informationen des Vertreters der Firma Jungheinrich angenommen worden. In der letzten Projektphase, wenn das System außer Betrieb genommen wird, ist kein Restwert, für die zu diesem Zeitpunkt 5 bis 10 Jahre alten Fahrzeuge, angenommen worden.

Tabelle 4: Lifecycle Calculation

Projektphase	Position	Kosten €
Planungsphase	Kosten Diplomand	11.760
Beschaffung	FTS-Anschaffung	143.800
	Umbaumaßnahmen	5.000
Laufende Kosten pro Jahr	Wartung	1.000
	Strom pro Fzg.	350
Erweiterung	Fahrzeug	75.000
	Änderung Fahrkurs	10.000
	Umbaumaßnahmen	5.000
Restwert		0
Summe für 10 Jahre		270.808

Die Darstellung der Kosten über den ganzen Lebenszyklus zeigt, dass die laufenden Aufwände pro Jahr in Relation zu den Fahrzeugkosten bzw. Anschaffungskosten sehr gering sind. Die

Kosten für Beschaffung und Erweiterung betragen 88% der Gesamtkosten. Werden nur die Kosten für die reine Fahrzeugbeschaffung herangezogen, so ist der Prozentsatz immer noch bei 81% oder anders ausgedrückt, zu den Kosten der Fahrzeuge und des Systems kommen nur noch 23% für alle anderen Aufwände hinzu.

Es ist offensichtlich, dass die Anschaffung den größten Teil der Gesamtkosten ausmacht und eine Einsparung bei den laufenden Kosten oder der Planungsphase nicht so sehr ins Gewicht fällt. Sehr deutlich ist zu erkennen, dass die Kosten für Wartung und Strom nur 7,5% der Gesamtkosten ausmachen und somit fast vernachlässigbar sind bei der Gesamtkostenbetrachtung. Die Erweiterung des Systems um ein Fahrzeug kostet in der Anschaffung 90.000 € oder 33% der Gesamtkosten.

8 Umsetzung des Konzepts

Die Einführung eines FTS, welches auch einen neuen Materialfluss bedingt, um sinnvoll eingesetzt werden zu können, soll nicht als BigBang-Implementierung erfolgen, sondern in kleinen Schritten. Diese Entscheidung wurde getroffen, da die Produktion in drei Schichten ungestört arbeiten muss und deswegen die Änderung des Materialflusses unbemerkt von statten gehen soll. Durch eine schrittweise Umsetzung können sich die Mitarbeiter langsam an die neuen Prozesse gewöhnen.

In den folgenden Umsetzungsschritten wird beschrieben, wie der Materialfluss erst umgestellt wird und in diesen das neue Transportsystem integriert wird. Dazu werden nacheinander das Leergut, die Fertigware und die Zukaufteile umgelagert, neue Regale aufgebaut und Übergabepplätze und Puffer eingerichtet.

In Abbildung 23 ist der aktuelle Materialfluss und die aktuelle Flächennutzung im Unternehmen eingezeichnet. Mit roter Farbe sind die Bewegungen von eingehender Ware markiert. In blauer Farbe sind die freien Flächen hervorgehoben. In Grün sind alle Fertigwarenbewegungen und -flächen eingezeichnet. Die schwarzen Pfeile und Flächen sind die Bewegungen des Leerguts in die Produktion. Am Ende dieses Kapitels ist in Abbildung 24 zum Vergleich auch der neue Materialfluss und die neue Flächennutzung eingezeichnet.

8.1 Schritt eins

Im ersten Schritt wird das gesamte Leergut, welches derzeit über mehrere Hallen verteilt ist, an dem zukünftigen Platz zusammengefasst. Es ist bereits geprüft worden, ob der Platz dafür ausreichend ist. Der neue Lagerort soll in feste Bahnen eingeteilt werden, damit für ein jedes Produkt die Leergebinde immer an der selben Stelle gefunden werden können. Dies hilft nicht nur bei der wöchentlichen Leergutinventur, sondern vereinfacht auch für die Staplerfahrer das Einlagern und Entnehmen. Das Einlagern der Paletten in Längsrichtung sorgt dafür, dass diese in Zukunft auch mit einem Deichselhubwagen manipuliert werden können. Bei der Einlagerung in Längsrichtung ist zu berücksichtigen, dass der Gabelstapler breiter ist als eine Palette und somit zwischen den Gassen ein Abstand sein soll, damit die Fahrzeuge bis ans Ende der Gasse fahren können. Es hat sich aus Gesprächen und Beobachtungen gezeigt, dass rechts und links der Palette ein Abstand von 40cm notwendig ist. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Breite für die Bahnen von 1,2m. Für einige Leerguttypen müssen zwei Bahnen eingerichtet werden um die Mengen aufnehmen zu können.

Der Pufferplatz, welcher derzeit vor der Produktionshalle eingerichtet ist, sollte vorerst bestehen bleiben, da auch der Prozess zu dem Übergabepplatz vor der Schleuse nicht geändert wird. Das Leergut soll weiterhin mit dem Gabelstapler in größeren Mengen vor die Produktion gebracht werden und dort mit dem Deichselhubwagen weiter vereinzelt werden. Bevor der neue Platz für das Leergut eingeräumt wird, ist abzuklären, ob der Boden und die bereits vorhandenen Markierungen zu erneuern sind. Teilweise ist der Bodenbelag aufgebrochen und von der ehemals dort angesiedelten Produktion sind noch Markierungen am Boden. Abgesehen von den Bodenmarkierungen muss auch für eine geeignete Kennzeichnung der Leergutbahnen gesorgt werden. Es hat sich als praktisch erwiesen, dies mit Bildern kopfüber zu gestalten. Werden diese Beschriftungen in der richtigen Höhe angebracht, dienen sie auch der Höhenkontrolle, damit keine Leitungen an der Hallendecke beim Einlagern beschädigt werden.

In dem neuen Bereich für Leergut ist eine Energieversorgungssäule und ein Abzug vorhanden, welche den Lagerbereich stören und zu demontieren sind. Nach diesen Tätigkeiten kann die Bodenmarkierung angebracht werden und in dem Bereich eingeteilt, in welcher Reihe welches Leergut gelagert wird. Es gilt dabei zu beachten, dass manchen Arten nur wenige Paletten benötigt und diese geringen Mengen am besten an den Rand gestellt werden, damit der Block in der Mitte möglichst gleich lange Bahnen aufweist und an den Rändern die Kürzeren sind. Bei Blocklagern darf nicht auf den Schutz von Fußwegen, Wänden und Säulen durch Anfahrpuffer am Boden vergessen werden. Wenn diese Schutzeinrichtungen angebracht sind, muss genügend Abstand zu dem dort montierten Feuerlöscher und der Durchgangstüre vorhanden sein. Direkt vor der Türe ist keine längere Palettenbahn geplant, da sonst Fußgänger dahinter übersehen werden könnten, wenn sie durch die Türe gehen, den Paletten ausweichen müssen und auf den Fahrweg treten.

In dem Bereich steht derzeit eine von der Produktion separierte Stanzmaschine. Ob die Fläche welche dadurch verloren geht, für Leergut dringend benötigt wird und mit welchem Aufwand die Siedlung der Maschine verbunden ist, muss mit den Wertstromleitern abgestimmt werden.

Im diesem ersten Schritt soll bereits die Fertigware auf die durch das Leergut frei gewordenen Flächen, eingelagert werden. Dies kann fließend erfolgen. Neue Fertigware wird an die neuen Lagerplätze gebracht und die Fertigware in den alten Blocklagern zuerst versendet sein, bis diese Lagerorte leer sind. Vorerst können die fertigen Produkte in chaotischen Blocklagern wie bisher gelagert werden. Es befinden sich an diesen Lagerorten bereits Beschriftungen der Blocklagergänge und die Bodenmarkierungen sind auch vorhanden um quer zu lagern. In diesem ersten Schritt ist noch nicht vorgesehen, dass die Fertigware mit der Ameise eingelagert wird, weswegen die vorhandene Querlagerung beibehalten werden kann. Zu Testzwecken kann allerdings bereits zu diesem Zeitpunkt die Lagerrichtung geändert und Fixbahnen eingerichtet werden, um für die nächsten Schritte Erfahrungen zu sammeln, ob das in Kapitel 5.3 beschriebene System für FIFO im Blocklager funktioniert und alte Ware nicht liegenbleibt.

Der letzte Teil des ersten Schritts ist die Einlagerung der Schnelldreher neben dem Supermarkt. Dort ist ein ebenerdiges Blocklager zu schaffen, aus welchem die Palettenbahnen des Supermarkts bedient werden können und noch weiteres Rohmaterial eingelagert werden. Die Blocklagerreihen sind nur 4 Paletten tief und sollen in Längsrichtung eingelagert werden.

Durch diese drei Maßnahmen kann im ehemaligen Bereich der Fertigware- und Zukaufteilelagerung Platz geschaffen werden für die nächsten Schritte. Es ist bei diesem Lager der Boden bereits erneuert worden, es fehlen an dieser Stelle Markierungen am Boden für den Lagerblock, Anfahrpuffer zum Schutz der Fußwege und die Beschriftung der Blöcke mit Lagernummern. Durch die geringe Tiefe der Blocklager kann der seitliche Abstand der Paletten verringert werden, der Gabelstapler braucht bei der Manipulation nicht so viel Platz zu den Seiten, da keine langen Wege in den engen Gassen entstehen können.

In dem Bereich um den Supermarkt gibt es einen Trennvorhang. Dieser muss entfernt oder gekürzt werden um eine geeignete Durchfahrmöglichkeit und Zugang zu diesem neuen Blocklager zu schaffen.

Die Vorlaufzeit und Dauer für den ersten Schritt des Umsetzungsplans setzt sich größtenteils aus den Bodenarbeiten und deren Bestellzeit zusammen. Bevor diese Schritte begonnen werden ist der Raum nochmals genau zu vermessen und die Bahnen und deren Belegungen festzulegen. Das Umlagern der Paletten ist im Anschluss in wenigen Stunden Staplerarbeit erledigt. Die Erstellung der Lagerplätze in SAP nimmt nicht viel Zeit in Anspruch.

8.2 Schritt zwei

Der zweite Teil der Umsetzung besteht darin, vorhandene Regale leer zu räumen. Dazu gehören vor allem jene, welche in Halle 52 stehen und später wo anders aufgebaut werden können. Mit dem Mutterwerk in Sankt Michael ist abzusprechen, wohin die Blechrollen, welche auf den Bodenplätzen des Palettenregals eingelagert sind, verlagert werden sollen. Diese sind zu großen Teilen nicht auf Paletten eingelagert, wodurch sich Palettenregale wie im Schmalganglager nicht anbieten, um diese aufzubewahren.

In dem Regal befinden sich derzeit noch große Mengen an Gehäusen in KLTs auf Paletten eingelagert. Diese gilt es bis zum Aufbau der Regale im Wareneingangsbereich zwischen zu lagern. Da der Prozess ins Schmalganglager sehr aufwändig ist, bietet es sich an, die freien Flächen gegenüber dem Leergut oder gegenüber dem Supermarkt als vorübergehendes Blocklager für die Gebinde zu verwenden. Schritt Zwei und Drei sollten wenn möglich aufgrund dieser Zwischenlagerung möglichst zeitnah erfolgen.

8.3 Schritt drei

Durch die nun frei gewordenen Regale kann in Schritt drei die Übersiedlung dieser in Angriff genommen werden. In dem Bereich, der durch Fertigware und Zukaufteile in Schritt eins frei geworden ist, sind die Palettenregale aufzubauen. Es kann nicht garantiert werden, dass alle Zukaufteile, welche dort lagern in dem Bereich um den Supermarkt Platz finden. Eine Aussage über die benötigte Lagerkapazität an dieser Stelle ist sehr schwer zu treffen. Vorausschauend kann schon Tage und Wochen vorher begonnen werden, neu angelieferte Ware nicht mehr in diesen Bereichen aufzubewahren sondern gegenüber dem Supermarkt, wenn dort nicht schon Gehäuse lagern. Für eine begrenzte Übergangsfrist ist unter Umständen auch der Platz vor der Produktion ein möglicher Lagerbereich.

Bevor die Regale aufgebaut werden, ist, wie auch in den Schritten davor, der Boden zu begutachten. Dieser muss aufgrund seiner jetzigen Beschaffenheit nicht neu gemacht werden. Allerdings könnten die alten Markierungen am Boden entfernt werden. Zur besseren optischen Trennung der Bereiche Wareneingang und Zukaufteilelager ist zu empfehlen, den Boden in beiden Bereich unterschiedlich zu bemalen, um dadurch einen farblichen Kontrast zu schaffen.

Der Aufbau der Regale ist an sich eine triviale Angelegenheit, allerdings sind die Abstände zum Sperrgutlager und zwischen den Regalen selbst genau einzuhalten. Die Breite einer Regalgasse hat der Länge eines Gabelstaplers plus einem Sicherheitsabstand zu entsprechen. Dies gewährleistet, dass bei der Bedienung der Regale, dieser keine Ware oder die Regale beschädigt. Bei der Installation der Balken, kann berücksichtigt werden, dass es Sinn macht, nicht überall die gleiche Fachhöhe zu wählen. Ein Teil des Lagers kann auch nur aus 2 Fächern übereinander bestehen, um z.B. Motoren gestapelt einzulagern. Ein anderer Teil kann dafür mit mehreren Fächern für nicht so hohe Paletten eingerichtet werden. In dem Bereich des Regals kommen zwei tragende Säulen der Hallendecke zu liegen. Je nach Lage dieser Säulen in den Regalen werden dadurch einige Regalplätze unbrauchbar.

Die Beschriftung der Palettenregale muss umgehend nach dem Aufbau erfolgen, damit jeder Lagerplatz eindeutig zuzuordnen ist und durch das Handgerät des Staplerfahrers erfassbar sind. Die Lagerplätze müssen in SAP angelegt werden.

Die Übersiedlung der Zukaufteile in diese Regale soll fließend erfolgen. Alle neu einzulagernden Paletten sollen in diese Regale eingelagert werden. Es ist keine bestimmte Einlagerstrategie vorgesehen. Am besten eignet sich eine chaotische Einlagerung um den Platzbedarf möglichst gering zu halten. Eine Lagerstrategie, welche auf Fahrwegverkürzung absieht ist nicht relevant,

da die Wege im Durchschnitt nur um maximal 15m verkürzt werden könnten. In Relation zur benötigten Zeit für das Lastspiel, ist die dadurch entstehende Wegzeit vernachlässigbar.

Aufgrund des FIFO-Prinzips wird durch stetiges Einlagern von Neuware in die neuen Regalgassen und Auslagern aus dem Schmalganglager dieses langsam leer geräumt. Es werden nur mehr selten benötigte Teile dort eingelagert bleiben. Dies bietet für die Zukunft die Möglichkeit, die Notwendigkeit des dort verbleibenden Materials zu überlegen. So können Ladenhüter und möglicherweise nicht mehr gebrauchtes und vergessenes Material aufgedeckt werden.

Der Abbau der Regale in Halle 52 schafft Platz um die Fertigware auf ihren endgültigen Stellplatz zu verlagern. An diesem wird die Fertigware in ein Kanbansystem übergeführt. Dazu sind feste Bahnen für alle Produkte vorgesehen, wie im Kapitel 5.3 beschrieben. Um dies umzusetzen, muss mit den Materialversorgern abgesprochen werden, damit die Ware ab diesem Zeitpunkt Werks intern nur mehr an den Längsseiten beschriftet wird. Da sich die Lagerrichtung ändert, muss dieser Schritt erfolgen, damit die Ware auch in den Bahnen noch eindeutig anhand der Warenbegleitkartennummer identifiziert werden kann. Nach Abschluss dieser Phase sollten die Fertigware, das Leergut und die Zukaufteile gemäß dem neuen Materialfluss eingelagert sein.

Für den zweiten Schritt ist es wichtig im Voraus zu betrachten, welche der vorhandenen Palettenregale weiter verwendet werden können, ob im Werk nicht verwendete Regale eingelagert sind und wie lange die Bestellzeit für noch benötigte Regale ist. Die Zeit vom Bestellen bis zur Lieferung der Regale ist in diesem Schritt kritisch. In einem Vorabangebot hat die Firma Jungheinrich angegeben, eine Lieferzeit von 6 bis 8 Wochen auf Palettenregale zu haben. Dies ist unbedingt zu berücksichtigen. Im Mutterwerk in Sankt Michael sind keine geeigneten Regale mehr eingelagert. Die Balkenlänge sowie die Ständerhöhe sind für das Lager nicht optimal und daher abzulehnen.

8.4 Schritt vier

Im vierten Schritt wird die Kommissionierung der Fertigware auf den finalen Prozess umgestellt. Dafür ist es notwendig, einen neuen Durchgang zu schaffen. In diesem soll die Rollenbahn wie in Kapitel 5.3 beschrieben aufgebaut werden.

Es sollen in dem Bereich 4 Rollenbahnen für Paletten angeschafft werden, wobei zwei von diesen die Exportpaletten mit einer Breite von 1000mm aufnehmen können. Die Separierung der Paletten um den Staudruck bei der Entnahme zu verringern, soll nach 2 Paletten oder 2400mm erfolgen, damit der Gabelstapler zum LKW Beladen mit den langen Gabeln immer jeweils zwei Paletten auf einmal entnehmen kann. Der Bodenbelag in diesem Bereich ist nicht durchgehend gleich. Reste von einer alten Laderampe sind noch im Boden eingelassen. An dieser Stelle muss vor der Bestellung der Palettenrollenbahnen mit dem Lieferanten geklärt werden, wie in diesem Bereich die Befestigung der Bahnen erfolgen kann. Eine Möglichkeit besteht auch darin die Reste der Laderampe zu entfernen und den Boden in dem Bereich der Umgebung anzupassen.

Um die Halle vor kaltem Zugwind im Winter abzuschotten, gibt es zwei Möglichkeiten. Ein automatisches Rolltor direkt am Anfang der Rollbahnen, möglicherweise mit einem Handschalter, damit das Tor nur geöffnet wird wenn die Rollenbahnen beschickt werden und nicht jedes Mal wenn ein Gerät vorbei fährt. Die zweite Möglichkeit wäre ein Rolltor parallel zu den Rollenbahnen zu installieren und so eine Schleuse zu schaffen, in deren Mitte die Rollbahnen sind. Dies hat allerdings den Nachteil, dass bei jeder Durchfahrt die kalte Luft, welche zwischen den Schleusentoren steht in beide Hallen gelangen würde. In Anbetracht der zukünftigen Fahrroute des FTS ist die letztgenannte Variante nicht vorteilhaft, da genau diese Schleuse oft passiert werden würde.

Ein erstes Angebot für die Rollenbahnen der Firma Jungheinrich für drei Palettenrollbahnen beträgt 11.500 € dazu kommen noch Montagekosten in Höhe von 1.600 €. Es muss dabei dringend beachtet werden, dass zumindest bei Jungheinrich die Lieferzeit für Palettenrollbahnen 10 bis 12 Wochen beträgt.

8.5 Schritt fünf

Sind diese Vorbereitungen alle getroffen worden, ist die nächste Phase des Projekts die Verpackungszelle oder auch Logistkarbeitszelle zu übersiedeln und den Übergabepplatz vor der Produktion einzurichten.

Die Logistikzelle bestehend aus dem Palettenwechsler, der Foliermaschine, dem Umreifungsgerät sowie Fixplätzen für die gewechselten Paletten wird nicht nur örtlich umgestellt, sondern auch in der Anordnung so modifiziert, dass der zukünftige Arbeitsablauf leichter und schneller von der Hand geht. Dafür sollte neben den Fertigwarenbahnen ein ausreichend großer Bereich vorgesehen werden. An diesem Platz sind die Wege vom Leergutlager zu der Logistikzelle und von dieser zum Lagerplatz für Fertigware am geringsten. Der relativ wenig gebrauchte Folienwickelautomat ist nicht kritisch in der Aufstellung. Der Palettenwechsler wird auch im neuen Prozess bei fast jeder Palette zweimal benötigt werden. Um die Bedienung zu erleichtern, sollten die Stapel für Kunststoff- und Holzpaletten in einem rechten Winkel stehen. Dadurch wird der Prozess ein schneller und einfacher gestaltet.

Um diese Übersiedlung durchzuführen, sollen in dem Bereich der neuen Logistikzelle Bodenmarkierungen für die Palettenplätze geschaffen werden. In diesem Zug ist gleich die Bodenmarkierung für die Pufferlagerplätze des FTS einzuzeichnen. Falls nicht vorhanden ist für den Palettenwechsler ein Druckluftanschluss vorzusehen.

Um die Einführung des FTS vorzubereiten, ist der Übergabebereich vor der Produktion anzupass. Die aktuell vorhandenen Pufferplätze werden in Zukunft in der jetzigen Menge nicht mehr benötigt werden. Es muss für das FTS sichergestellt werden, dass die Palettenwagen der Produktion immer am selben Platz stehen. In Gesprächen mit Lieferanten und Werks internen Mitarbeitern hat sich herausgestellt, dass die wohl beste und einfachste Lösung am Boden montierte Rahmen in Form eines U sind. Diese rechteckigen zu einer Seite offenen Führungen

sollen so gefertigt sein, dass der Palettenwagen leicht eingeschoben werden kann und gleichzeitig in einer auf 5mm genau definierten Position steht. Solche Rahmen müssen im Boden verankert werden, können allerdings von der internen Schlosserei gefertigt werden. Vor dem Beginn des Umsetzungsschritts ist abzuklären, wie lange die Bodenmarkierungsarbeiten und das Anfertigen der Rahmen dauern. Diese Platzierungshilfe könnte auch dafür verwendet werden, um eine eventuell notwendige Konsole mit Tastern oder anderen Steuerungselementen des FTS aufzunehmen und nahe den Paletten in einer ergonomischen Höhe anzubringen.

Sind diese Vorbereitungen alle getroffen, kann das fahrerlose Transportsystem installiert und in Betrieb genommen werden. Für das System von Jungheinrich müssen zuerst die Laserreflektoren im gesamten Fahrbereich aufgestellt werden. Danach werden diese eingemessen und die Fahrstrecke digital abgebildet. Die Implementierung und Projektplanung wird von Jungheinrich übernommen. Es wird vom Lieferanten auch noch einmal die technische Machbarkeit überprüft, besonders die Schnittstellen an Aufnahme- und Übergabepunkten sowie zu anderen Einrichtungen, wie dem Feuerschutztor und dem Schnellauftor im Fahrweg. Wichtige Punkte auf welche bei der Inbetriebnahme geachtet werden muss:

- Die neuen Prozesse, welche die Arbeitsabfolge und -inhalte der Mitarbeiter ändern, müssen ausführlich und zeitgerecht kommuniziert werden
- In den Tagen der Einführung und des begleiteten Betriebs muss eine enge Abstimmung mit der Produktion und der Produktionsplanung erfolgen, da in diesen Tagen unter Umständen mit reduzierter Verfügbarkeit gerechnet werden muss und es zu Versorgungsengpässen kommen kann
- Einschulung der Mitarbeiter, vor allem am Übergabepunkt vor der Produktion. Wird an dieser Stelle das falsche Leergut angefordert, kann es zu Problemen im Betrieb kommen, besonders der Wechsel von oder zu Exportverpackung ist kritisch. Es sollten auch zumindest alle Einsteller kurz informiert werden, damit diese ihren Teams das Arbeiten neben dem FTS erklären können. Bezüglich der Sicherheit mit dem autonomen Fahrzeug, darf an dieser Stelle nicht auf den Staplerfahrer, welcher vom Mutterwerk in unser Werk entsendet wird, und auf Leiharbeiter, vergessen werden
- Regelung der Batterielademethode: Vom Hersteller werden unterschiedliche Strategien und Lösungen angeboten, welche den Mitarbeitern erklärt werden müssen, um den reibungslosen Betrieb zu gewährleisten
- Detaillierte Schulung der Materialversorger und Staplerfahrer mit dem System, Wechsel von Automatik- zu Handbetrieb und der neuen Verkehrssituation mit dem FTS
- Von der IT-Abteilung muss zu Beginn der Aufbauphase des FTS bereits das Gerät, bzw. der Server für den Leitreechner zur Verfügung stehen und das WLAN eingerichtet sein

Sind alle diese Schritte umgesetzt sollte der neue Materialflussplan und die neue Flächennutzung wie in Abbildung 24 dargestellt aussehen. Deutlich zu erkennen sind die freien Flächen vor der Produktion und die kürzeren Materialwege vor allem für die Zukaufteile. Das Leergut

und die Fertigware sind konzentriert im rechten Bereich der Halle. Zu sehen sind auch die gebündelten Wege, welche von dem FTS übernommen werden sollen. Diese in grün und schwarz eingezeichnet, haben keine Kreuzungspunkte mehr mit dem Zukaufteilen in rot. Es sind nur mehr parallele Wegstrecken vorhanden.

Im nächsten Kapitel werden zu dem neuen Materialfluss noch Anregungen für die Zukunft und Verbesserungs- oder Optimierungsmöglichkeiten genannt. Es werden Anmerkungen und Ideen für die gesamte Materialflusssituation gegeben, nicht nur auf das FTS bezogen.

9 Ergebnis und Potential für die Zukunft

In diesem Kapitel werden alle wichtigen Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und besprochen. Im Anschluss wird für das ausgearbeitete Materialflusskonzept noch eine Reihe von Optimierungen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt, wodurch der Wertstrom auch an zukünftige Umsatzsteigerungen angepasst werden kann.

9.1 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Das Ergebnis dieser Arbeit ist, dass der Materialfluss unter Berücksichtigung des Lean-Aspekts neu gestaltet werden sollte, ein automatisches Palettentransportsystem allerdings im vorliegenden Fallbeispiel nicht wirtschaftlich ist.

Nach der Untersuchung der Prozesse vor Ort bei Mahle Filtersysteme Austria GmbH hat sich gezeigt, dass der Materialfluss der Fertigware von der Schleuse vor der Produktion bis zur Verlade rampe noch Potential für Optimierungen aufweist. Es können die zu Fuß zurückgelegten Wege reduziert werden und gleichzeitig die Übergabe an andere Mitarbeiter und Transportsysteme verringert werden. Der Arbeitsbereich zu Vorbereitung der Paletten für den Versand, kann kompakter ausfallen und dadurch auch eine Reduzierung der Wegzeiten erreicht werden. Durch ein fahrerloses Transportsystem muss dieser Bereich nicht mehr direkt vor der Produktion angesiedelt sein, sondern kann in die Nähe des Fertigwarenlagers verschoben werden. Dies hilft gleichzeitig dabei, dass die Einlagerung der Waren direkt nach dem Fertig machen erfolgt, ohne den Gabelstapler einsetzen zu müssen. Das FTS überbrückt dabei die etwas weitere Wegstrecke kostengünstiger als der Gabelstapler zuvor. Das Leergut für die Produktion wird ebenfalls von dem autonomen System an die Linien gebracht. Dazu muss dieses in Reichweite für den Mitarbeiter der Fertigware gelagert werden, damit das Leergut ohne Umwege vorbereitet werden kann. Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen wurde der neue Materialfluss und Flächenbelegungsplan gestaltet.

Das fahrerlose Transportsystem wurde bei verschiedenen Herstellern angefragt, unter der Voraussetzung nahtlos in den neuen Materialfluss eingebunden werden zu können. Vier Hersteller haben ein Angebot für ein System abgegeben. Die Lösungen wurden mit Hilfe des analytischen Hierarchieprozesses bewertet. Dabei wurde vor allem der Fokus auf Erweiterbarkeit und Anbindung an das vorhandene SAP-System gelegt, sowie auch technische Reife der Lösung und der Hersteller an sich bewertet. Das Ergebnis ist, dass der Hersteller BeeWaTec das günstige, von Jungheinrich allerdings das passendste Angebote gelegt wurde. Eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde durch Berechnung der Amortisierungsdauer und der Lifecycle-Costs

vorgenommen. Für das System von Jungheinrich hat dies eine Zeitdauer von fast zehn Jahren ergeben, bis die Ausgaben unter Berücksichtigung der Zinsen erwirtschaftet gewesen wären. Selbst das günstigste aller Angebote von BeeWaTec hätte mehr als 3,5 Jahre bis zur Kostenneutralität benötigt. Die Berechnung der Lifecycle-Costs hat dabei ergeben, dass 81% der Kosten alleine auf die Anschaffung der Fahrzeuge und des Leitsystems entfallen. Das Einsparungspotential liegt demnach nicht in den laufenden Kosten oder der Beschaffung sondern alleine am System selbst.

Um ein fahrerloses Transportsystem bei Mahle Filtersysteme Austria GmbH wirtschaftlich einsetzen zu können, muss sich die Situation im Werk ändern. Das Aufkommen an Paletten für Fertigung und Leergut muss um mindestens 30% steigen. Dadurch würde nicht nur das System besser ausgelastet werden, die große Einsparung würde sich dadurch ergeben, dass keine weiteren Mitarbeiter eingestellt werden müssten um den erhöhten Transportbedarf zu decken. Das System würde nicht nur die Lastspitzen reduzieren sondern den Materialfluss gleichmäßiger fließen lassen.

Wichtig für die Bewertung der FTS anhand der AHP Methode ist die technischen Grundlage der Systeme zu verstehen und so die Vor- und Nachteile, allen am Bewertungsprozess beteiligten Personen nahelegen zu können. Die technischen Aspekte waren nur nach genauer Beschäftigung mit den Systemen für das Unternehmen interpretierbar. Dies ist vor allem wichtig, wenn die Anbieter wie in diesem Fall, auf unterschiedliche Techniken zurückgreifen und dem Kunde die Entscheidung obliegt, welche Lösung seine Ansprüche am besten erfüllt. Es haben sich keine allgemein gültigen Aussagen zu bestimmten technischen Lösungen tätigen lassen, für den Fall des FTS ist die verwendete Technik stark vom Einsatzgebiet und der Umgebung abhängig. Nicht jeder Verkäufer von FTS hat auf gültige Normen beim Angebot Rücksicht genommen. In diesem Fall war es als Kunde sehr hilfreich Sicherheitsbestimmungen für Brandschutz, Ladestationen, Fahrwegbreiten und Sicherheitsabstände beim Lastspiel selbst einbringen zu können.

Es zeigt sich, dass der AHP eine geeignete Methode ist um verschiedene FTS zu vergleichen und ein eindeutiges und nachvollziehbares Ergebnis liefert. Das gewählte Programm PriEsT hat den Entscheidungsprozess bestmöglich unterstützt und beschleunigt. Es hat sich auch gezeigt, dass eine wirtschaftliche Betrachtung essenziell ist. Der AHP hat eine eindeutige Lösung gefunden, allerdings keine Aussage treffen können ob diese auch umgesetzt werden sollte. Die Betrachtung der Amortisierung, welche für ein Unternehmen wie Mahle Filtersysteme Austria GmbH essenziell ist, ist mit AHP nicht möglich. Um zu einer Aussage zu kommen hat sich gezeigt, dass die Kombination von LCC und dynamischer Amortisationsrechnung ausreichend ist. Die Jahreszinsen dürfen nicht vernachlässigt werden, dies zeigt das Ergebnis der Amortisationsrechnung, von bis zu 10 Jahren. Es hat sich durch diese Vorgangsweise ein zweistufiger Entscheidungsprozess entwickelt. In einer ersten Berechnung und Analyse wurde das richtige System für den Einsatzzweck ermittelt und dieses anschließend mit anderen Methoden als wirtschaftlich nicht sinnvoll bewertet. Dieser Prozess kann auch für andere teure Investitionsgüter herangezogen werden und ist nicht auf FTS beschränkt.

Es lässt sich abschließend sagen, dass mit dem derzeitigen Umsatz und Transportaufkommen

im Unternehmen ein fahrerloses Transportsystem nicht wirtschaftlich einzusetzen ist. Ändert sich die Situation um mehr als 30% ins Positive muss eine erneute Untersuchung vorgenommen werden, da sich auch der Markt für FTS geändert haben wird und neue Angebote zu bewerten sind.

9.2 Potential für die Zukunft

Um den Materialfluss und das Konzept um das FTS herum länger im Unternehmen aktuell zu halten, wurden bei der Planung schon Überlegungen für zukünftige Ausbaustufen und Erweiterungen angedacht.

Die einfachste Art die Transportkapazität des FTS zu erhöhen, ist ein zusätzliches Fahrzeug einzusetzen. Je nachdem aus welchem Grund das System an seine Grenzen stößt, ist ein zusätzlicher Übergabebahnhof einzurichten oder der vorhandene um Stellplätze zu erweitern. Es können aus der heutigen Sicht zwei mögliche Produktionserweiterungen stattfinden. Der Teil der Mechatronik rund um den heutigen Fertigungsbereich kann erweitert werden. Eine solche Vergrößerung ist bereits in dem neuen Materialflussplan vorgesehen und der vorhandene Übergabepunkt kann weiter verwendet werden, wenn dieser ausgebaut wird. In diesem Fall ändert sich an der Route des FTS nichts und ein weiteres Fahrzeug erhöht nur die Kapazität auf diesen Wegen. Diese Erweiterung ist einfach umsetzbar, da keine neuen Reflektoren aufgestellt werden müssen und die Fahrstrecke großteils schon festgelegt wurde. Eine andere Möglichkeit die Produktion auszubauen, ist gänzlich neue Anlagen in der Halle 52 aufzustellen. In diesem Fall ist der Aufwand wesentlich größer und fast mit der Erstinbetriebnahme vergleichbar. Es sind für eine weitere FTS Route neue Reflektoren aufzustellen und ein zumessen, ein neuer Übergabepunkt und unter Umständen auch Abladepunkt zu definieren. Es werden neue Schnittstellen zu Schnellliften entstehen und neue Fahrwege müssen gefunden werden, da derzeit keine breiten Wege für Fahrzeuge in die Hallen 52 führen.

Wie bereits oben beschrieben, ist die Erweiterung des FTS sehr einfach möglich, dazu muss auch das Materialflusskonzept um das FTS herum so flexibel gestaltet werden, dass dieses so gut wie möglich skaliert. Um den Zufluss der Teile an die Montagelinie zu verbessern, kann auf der Rückseite des Supermarkts, zum Staplerweg hin, ein zweiter, gleich großer, Supermarkt dazu gestellt werden. In der Gasse, welche zwischen den beiden Regalen überbleibt, ist genug Platz um mit einer Ameise und einer 1000mm breiten Palette durchzufahren und beide Regale aufzufüllen. Die Schnelldrehermaterialien können auf der anderen Seite des Staplerwegs angelegt werden und wie bei den vorhandenen Palettschienen das Material für diese gleich dahinter lagern.

Es besteht die Möglichkeit, die nach dem neuen Materialfluss aufgebauten Regale von Arbeitsgangbreite 4 Meter auf 3 Meter zusammenzurücken, indem die Regale durch einen Schubmaststapler bedient werden. Dadurch erreicht man auf der gleichen Fläche, auf welcher derzeit 4 Regalreihen gebaut sind, in Zukunft 5 Reihen zu stellen.

Generell können die Materialversorger und das Kanban-System entlastet und prozesssicherer gestaltet werden, indem die KLT's mit RFID-Chips in den Steckkarten ausgestattet werden. Dadurch wird bei jeder Fahrt in und aus dem Produktionsbereich jeder KLT gescannt. Durch den Umstand, dass in die Produktion nur durch ein Tor mit dem Materialzug gefahren wird, würde sich diese Technik an dieser Stelle anbieten.

Für die Fertigware ist nach dem jetzigen Vorschlag noch Platz. Je nach Volumen der Produktionserweiterung stehen noch 2 lange leere Bahnen zur Verfügung und mehrere kurze Fertigwarenbahnen, welche derzeit nicht verwendet werden. Ein großes Platzpotential bieten auch die Fertigwarenbahnen der Exportpaletten an. Diese werden nur einmal im Monat benötigt, brauchen allerdings aufgrund der Menge sehr viel Platz. Könnte man für die Ware nach China die Abholungen so takten, dass diese nicht gleichzeitig erfolgen, kann die Anzahl der Palettenplätze, welche benötigt werden, halbiert werden indem man die beiden Typen auf der gleichen Bahn sammelt.

Aufgrund der Tatsache, dass in Halle 53 nur Palettenregale stehen und kein Staplerverkehr herrscht, weil in dieser Halle nur wenig benötigte Kartonagen gelagert werden, bietet es sich an, diese in Zukunft mit einem Tunnel mit der Halle 52 zu verbinden und die gesamte Halle durch das FTS bedienen zu lassen. Der überirdische Tunnel könnte im hinteren Bereich des Schmalganglagers den Zugang haben, womit das FTS das Schmalganglager um die Kapazität in Halle 53 erweitert. Ob das FTS die Paletten im Bereich vor dem Schmalganglager aufnimmt und abgibt oder dieser im hinteren Bereich des Lagers an einem Platz für den Schmalganglagerbediengerät zur Verfügung gestellt werden, muss in Zukunft entsprechend der vorherrschenden Situation entschieden werden.

Literatur

- Arnold, Dieter (2008): Handbuch Logistik. 3., neu bearbeitete Aufl. VDI-Buch. Berlin: Springer. ISBN: 978-3-540-72928-0.
- Arnold, Dieter; Furmans, Kai (2009): Materialfluss in Logistiksystemen. 6., erw. Aufl. VDI-Buch. Berlin; Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-642-01404-8.
- Bauer, Jürgen; Hayessen, Egbert (2006): Controlling für Industrieunternehmen: Kompakt und IT-unterstützt - mit SAP-Fallstudie. 1. Aufl. IT-Professional. Wiesbaden: Vieweg. ISBN: 978-3-8348-0067-1.
- Baumeister, Alexander (2008): Lebenszykluskosten alternativer Verfügbarkeitsgarantien im Anlagenbau. 1. Aufl. Bd. 117. Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 978-3-8349-0969-5.
- BeeWaTec-Systems GmbH (19.08.2015): BeeWaTec-Systems- SPURMEISE. URL: <http://www.ant-system.de/de/fts/spurmeise/>.
- Brecht, Ulrich (2012): BWL für Führungskräfte: Was Entscheider im Unternehmen wissen müssen. 2., überarb. und erw. Aufl. 2013. SpringerLink : Bücher. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler. ISBN: 978-3-8349-3850-3.
- Brüggemann, Holger; Bremer, Peik (2015): Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM. 2., überarb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-09221-4.
- Dickmann, Philipp (2007): Schlanker Materialfluss: Mit Lean Production, Kanban und neuen Innovationen. 1. Aufl. VDI. Berlin: Springer. ISBN: 3-540-34337-7.
- Dieter, Arnold (2006): Intralogistik: Potentiale, Perspektiven, Prognosen. 1. Aufl. VDI. Berlin: Springer. ISBN: 3-540-29657-3.
- DIN 30781-1:1989-05 (1989): Transportkette; Grundbegriffe. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 1525 53.060 (1997): Sicherheit von Flurförderfahrzeugen: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 3691-4:2006 (2006): Flurförderzeuge- Sicherheitstechnische Anforderungen und Verifizierung- Teil 4: Fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme. Berlin: Beuth Verlag.
- Erlach, Klaus (2010): Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-89866-5.

- Götze, Uwe (2008): Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. [Online-Ausg. der] 6., durchges. und aktualisierten [gedr.] Aufl. Springer-Lehrbuch. Berlin; Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-540-78872-0.
- Gram, Markus (2010): „Optimierung der Produktionslogistik zur Bestandssenkung mithilfe einer Wertstromanalyse und Wertstromdesign am Beispiel der Prozesskette Extrusion und Konfektion im Bereich der Polymerverarbeitung“. Diss. Montanuniversität Leoben.
- Gudehus, Timm (2012): Logistik. Studienausg. der 4. Auflage. VDI-Buch. Berlin: Springer Vieweg. ISBN: 9783642293764.
- Günther, W. A. (2012): Algorithmen und Kommunikationssysteme für die Zellulare Fördertechnik. Forschungsbericht / Fml, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik, Technische Universität München. Garching b. München: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik (fml) TU München. ISBN: 9783941702264.
- Günthner, Willibald A.; Boppert, Julia (2013): Lean Logistics: Methodisches Vorgehen und praktische Anwendung in der Automobilindustrie. SpringerLink : Bücher. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-642-37325-1.
- Hofmann, Erik; Hornstein, Jens; Maucher, Daniel; Ouden, Rainer den (2012): Investitionsgüterereinkauf: Erfolgreiches Beschaffungsmanagement komplexer Leistungen. Bd. 2. Advanced purchasing et SCM. Berlin; Heidelberg: Springer. ISBN: 978-3-642-22711-0.
- Hompel, Michael ten; Schmidt, Thorsten; Nagel, Lars (2007): Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik ; mit 36 Tabellen. 3., völlig neu bearb. Aufl. Intralogistik. Berlin, Heidelberg; New York: Springer. ISBN: 978-3-540-73235-8.
- Javanbarg, Mohammad Bagher; Scawthorn, Charles; Kiyono, Junji; Shahbodaghkhan, Babak (2012): Fuzzy AHP-based multicriteria decision making systems using particle swarm optimization. In: Expert Systems with Applications 39.1, S. 960–966. ISSN: 09574174. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.07.095.
- Jungheinrich AG (19.08.2015): ERC 215a Jungheinrich. URL: <http://www.jungheinrich.at/automatische-foerderzeuge/fahrerlose-transportssysteme/erc-215a/>.
- Kanagaraj, G.; Ponnambalam, S. G.; Jawahar, N. (2014): Reliability-based total cost of ownership approach for supplier selection using cuckoo-inspired hybrid algorithm. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. ISSN: 0268-3768. DOI: 10.1007/s00170-013-5545-1.
- Klevers, Thomas (2007): Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design: Verschwendung erkennen, Wertschöpfung steigern. München: MI. ISBN: 9783864160707.
- Klug, Florian (2010): Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau. VDI-Buch. Berlin; Heidelberg: Springer. ISBN: 9783642052927.

- Large, Rudolf (2006): Strategisches Beschaffungsmanagement: Eine praxisorientierte Einführung. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler. ISBN: 978-3-8349-9143-0.
- Liker, Jeffrey K. (2004): The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill. ISBN: 0071392319.
- Liu, Hsiang-Hsi; Yeh, Yeong-Yuh; Huang, Jih-Jeng (2014): Correlated Analytic Hierarchy Process. In: Mathematical Problems in Engineering 2014.3, S. 1–7. ISSN: 1024-123X. DOI: 10.1155/2014/961714.
- Maniya, K. D.; Bhatt, M. G. (2011): A multi-attribute selection of automated guided vehicle using the AHP/M-GRA technique. In: International Journal of Production Research 49.20, S. 6107–6124. ISSN: 0020-7543. DOI: 10.1080/00207543.2010.518988.
- Martin, Heinrich (2009): Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik ; mit ... 39 Tab. 7., erw. und aktualisierte Aufl. Praxis. Wiesbaden: Vieweg + Teubner. ISBN: 978-3-8348-0451-8.
- Mueller, Christof (2011): Einsatz fahrerloser Transportsysteme in der Pharmabranche. In: TechnoPharm 2011.2.
- Nyhuis, Peter; Wiendahl, Hans P. (2010): Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3., korr. Aufl. VDI-Buch. Berlin: Springer Berlin. ISBN: 978-3-540-92838-6.
- Poggensee, Kay (2009): Investitionsrechnung: Grundlagen - Aufgaben - Lösungen. 1. Aufl. Lehrbuch. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 978-3-8349-1016-5.
- Prabhakar, Varun J.; Sandborn, Peter (2012): A part total cost of ownership model for long life cycle electronic systems. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing 25.4-5, S. 384–397. ISSN: 0951-192X. DOI: 10.1080/0951192X.2010.531293.
- Römisch, Peter (2012): Materialflusstechnik: Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen der Fördertechnik. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. SpringerLink : Bücher. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden. ISBN: 9783834881960.
- Roos, Daniel; Womack, James P.; Jones, Daniel T. (2007): The machine that changed the world: The story of lean production– toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry. [S.l.]: Free Press. ISBN: 9781416554523.
- Rother, Mike; Shook, John (2003): Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda. Version 1.3. Brookline, MA: Lean Enterprise Institute. ISBN: 9780966784305.
- Saaty, Thomas L. (1990): How to make a decision: The analytic Hierarchy Process. In: European Journal of Operational Research 1990, S. 9–26.
- Saaty, Thomas L. (2008): Decision making with the analytic hierarchy process. In: Int. J. Services Sciences 2008.1, S. 83–98.

- Saaty, Thomas L. (2010): Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process. Pittsburgh: RWS Publications. ISBN: 9781888603156.
- Saaty, Thomas L.; Vargas, Luis G. (2006): Decision making with the analytic network process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. Bd. 95. International series in operations research & management science. New York: Springer. ISBN: 978-0-387-33859-0.
- Schuh, Günther (2013): Lean Innovation. VDI-Buch. Berlin, Heidelberg: Imprint: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-540-76914-9.
- Schwarz, Christoph; Schachmanow, Jurij; Sauer, Jürgen; Overmeyer, Ludger; Ullmann, Georg (2013): Selbstgesteuerte Fahrerlose Transportsysteme: Self Guided Vehicle Systems. In: Logistics Journal.
- Schweiger, Stefan (2009): Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 9783834980946.
- Taschner, Andreas (2013): Business Cases: Ein anwendungsorientierter Leitfaden. 2., überarb. Aufl. 2013. SpringerLink : Bücher. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 978-3-658-00157-5.
- Ullrich, Günter (2013): Fahrerlose Transportsysteme: Ein Leitfaden - mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung. 2., erw. u. überarb. Aufl. 2014. Fortschritte der Robotik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN: 978-3-8348-2591-9.
- VDI (2010): Leitfaden FTS-Sicherheit.
- VDI 2689 (2010): Leitfaden für Materialflussuntersuchungen. Berlin: Beuth Verlag.
- Ventzislavova, Madlen (2013): Betriebswirtschaftliche formelsammlung. [S.l.]: Books On Demand. ISBN: 9783732278671.
- Wang, Ying-Ming; Chin, Kwai-Sang (2011): Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. In: International Journal of Approximate Reasoning 52.4, S. 541–553. ISSN: 0888613X. DOI: 10.1016/j.ijar.2010.12.004.
- Wannenwetsch, Helmut (2007): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 3., aktualisierte Aufl. VDI. Berlin: Springer. ISBN: 978-3-540-29757-4.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T. (2003): Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. 1st Free Press ed., rev. and updated. New York: Free Press. ISBN: 978-0743249270.
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (2007): The machine that changed the world: The story of lean production—Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry. Toronto: Free Press. ISBN: 0743299795.

Zsifkovits, Helmut (2012): Logistik. 1., neue Ausg. Bd. 3673 : Betriebswirtschaftslehre, Technik, Ingenieurwesen. Reihe Grundwissen der Ökonomik: Betriebswirtschaftslehre. Stuttgart: UTB. ISBN: 9783825236731.

Anhang

Der Anhang wird digital auf CD-Rom beigelegt.