

MAGNA HEAVY STAMPING

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ
INSTITUT FÜR TECHNISCHE LOGISTIK
DIPLOMARBEIT**

**Erarbeitung eines Konzepts für die
Automatisierung des innerbetrieblichen
Transportwesens in einem Großpresswerk**

BETREUER

UNIV.PROF. DIPL.-ING. DR.TECHN. GEORG KARTNIG

MARKUS ZWICKL

28.07.2011

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass diese Diplomarbeit mein eigenes Werk ist und auf meinen eigenständigen Untersuchungen basiert. Beiträge Anderer (beispielsweise Ideen, Abbildungen, Textpassagen, Tabellen) sind an den entsprechenden Stellen durch einen Quellverweis gekennzeichnet. Weiters erkläre ich, dass diese Arbeit von mir noch nie als Abschlussarbeit oder zur Erlangung eines akademischen Grads eingereicht wurde.

I declare that this diploma thesis is my own work, based on my original research and expressed in my own words. Any use made within it of works of others in any form (e.g. ideas, figures, text, tables) is properly acknowledged at the point of use. I have not submitted this thesis for any other course or degree.

Weiz, 28. Juli 2011



[Unterschrift]

Danksagung

Ich möchte mich bei der Firma *Magna Heavy Stamping* für die Möglichkeit zur Realisierung dieser Diplomarbeit bedanken. Mein besonderer Dank gilt dabei der Geschäftsführung, Herrn Dipl.-Ing. Joachim Schmiedhofer und Herrn Mag. Manfred Feibel. Weiters möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Technischen Büros und der Logistik bedanken, welche zur Entstehung dieses Werks beigetragen haben.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Jörg Oser und den Mitarbeitern des Instituts für Technische Logistik der Technischen Universität Graz, sowie Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Georg Kartnig für die Betreuung der Diplomarbeit.

Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Erarbeitung eines Konzepts für die Automatisierung des innerbetrieblichen Transportwesens der *Magna Heavy Stamping*. Besonderes Augenmerk wird dabei neben der technischen Realisierung auch auf die Überprüfung der wirtschaftliche Umsetzbarkeit unter Berücksichtigung allgemeiner Konzernrichtlinien gelegt.

Zu Beginn erfolgt eine eingehende Analyse des Istzustandes. Dabei werden die vorhandenen Lagerflächen und Produktionseinrichtungen, sowie die dazugehörigen Warenströme erfasst. Zusammen mit Gewicht und Abmessungen der Transportbehälter ergeben sich somit die Randbedingungen für die Dimensionierung des automatischen Transportsystems. Abschließend wird mit Hilfe der gewonnenen Daten der theoretische Maximalbedarf an Gabelstaplern errechnet und mit dem tatsächlichen Bedarf verglichen.

Es folgt eine Beschreibung mehrerer, für diesen Anwendungsfall in Frage kommender automatischer Transportsysteme. In der anschließenden Systemauswahl werden deren Eigenschaften mit den zuvor bestimmten Randbedingungen in Verbindung gebracht und mittels Nutzwertanalyse bewertet. Das System mit dem besten Ergebnis wird als Basis für alle weiteren Untersuchungen herangezogen.

An dieser Stelle werden Angebote von Herstellern automatischer Transportsysteme eingeholt. Die Ausarbeitung der Konzepte erfolgt dabei in Kooperation mit dem Projektteam der *Magna Heavy Stamping*.

In der abschließenden wirtschaftlichen Betrachtung werden die monetären Aspekte dieser Angebote untersucht. Dabei werden mit Hilfe der Konzernrichtlinien Grenzwerte für die Investitionskosten erstellt und mit den tatsächlich anfallenden Kosten verglichen.

Abstract

Aim of this diploma thesis is the development of a concept for automation of the in-house transport at *Magna Heavy Stamping*. Next to technical implementation, the economical feasibility in consideration of Magna's financial guidelines is of particular importance.

The project starts with an analysis of the common state. Therefore all storage areas and production facilities, as well as the flow of commodities between them are being documented. In combination with dimension and weight of the transport containers they provide boundary conditions for the dimensioning of the automated transport system. Closing the theoretical requirement of fork lifters are being calculated by using the newly gained data.

After this follows a description of several automated transport systems, which might be suited for this application. Their characteristics are being evaluated by a value analysis in consideration of the preassigned boundary conditions. The foremost system is being used as a basis for all further analysis.

At this point, quotations of manufacturers of automated transport systems are being obtained. The concepts are being created in support of *Magna Heavy Stamping's* project team.

Concluding, the monetary aspects of these quotations are being examined at the economical examination. Therefore Magna's financial guidelines are being used as boundary values for the investment costs of this project. All actual costs are being compared to these values.

INHALT

1	UNTERNEHMENSDESCHEIBUNG.....	- 1 -
1.1	Die Geschichte von Magna International.....	- 1 -
1.2	Magna Heavy Stamping.....	- 6 -
1.2.1	Hintergrund	- 6 -
1.2.2	Im Wandel der Zeit	- 7 -
1.2.3	Unternehmensübersicht	- 8 -
1.2.3.1	Presswerk	- 9 -
1.2.3.2	Logistik.....	- 11 -
2	ZIELSETZUNG.....	- 13 -
3	ANALYSE DES IST- ZUSTANDES.....	- 15 -
3.1	WAS? → das zu transportierende Objekt.....	- 17 -
3.2	WO? → die Transportstrecke	- 19 -
3.2.1	WO im Lager → Einteilung der Lagerbereiche.....	- 20 -
3.2.2	WO im Presswerk.....	- 23 -
3.2.3	WO im Überblick → Wegmatrix für Teilautomatisierung	- 25 -
3.3	WELCHE? → die Anzahl der Fahrten.....	- 26 -
3.3.1	VON-NACH-Matrix	- 28 -
3.3.2	Materialflussgrafiken	- 30 -
3.4	WANN? → die Gebindetaktzeit.....	- 34 -
3.4.1	Doppelfallende Bauteile	- 36 -
3.4.2	Losgröße	- 36 -
3.5	Weitere Randbedingungen (Prämissen).....	- 38 -
3.6	WIE? → FÖRDERMETHODE.....	- 41 -
3.6.1	stetiges Förderverfahren	- 41 -
3.6.2	unstetiges Förderverfahren	- 41 -
3.6.3	Auswahl.....	- 42 -
3.7	WIEVIELE? → FAHRZEUGBERECHNUNG	- 43 -
3.7.1	Untersuchung Gabelstapler.....	- 44 -
4	VERSCHIEDENE AUTOMATISIERUNGSSYSTEME.....	- 49 -
4.1	FAHRERLOSES TRANSPORTSYSTEM (FTS).....	- 50 -
4.2	Elektrohängebahn (EHB).....	- 56 -
4.3	Elektrotragebahn (ETB).....	- 57 -

4.4	Staplerleitsystem (SLS)	- 57 -
5	SYSTEMAUSWAHL	- 59 -
5.1	Vergleich im Detail	- 59 -
5.1.1	Elektrotragebahn (ETB).....	- 59 -
5.1.2	Elektrohängebahn (EHB)	- 60 -
5.1.3	Staplerleitsystem (SLS).....	- 61 -
5.1.4	Fahrerloses Transportsystem (FTS).....	- 61 -
5.1.5	Fazit	- 63 -
5.2	Untersuchung des automatischen Fördersystems	- 65 -
6	BESCHREIBUNG VERSCHIEDENER FTS-ANGEBOTE	- 69 -
6.1	TMS Variante 1: Teilautomatisierung	- 71 -
6.1.1	Systempaletten	- 72 -
6.1.2	Fahrzeugaufbau	- 73 -
6.1.3	Navigation	- 73 -
6.1.4	Batteriekonzept	- 76 -
6.1.5	Layout	- 76 -
6.1.6	Kostenaufstellung.....	- 77 -
6.2	TMS Variante 2: Vollautomatisierung A	- 78 -
6.2.1	Layout	- 79 -
6.2.2	Kostenaufstellung.....	- 80 -
6.3	TMS Variante 3: Vollautomatisierung B	- 81 -
6.4	AFT: Teilautomatisierung (BTSic)	- 82 -
6.4.1	Navigation und Energieversorgung	- 82 -
6.4.2	Layout	- 83 -
6.4.3	Kostenaufstellung.....	- 84 -
7	WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG	- 85 -
7.1	Reduktion der Mitarbeiteranzahl	- 85 -
7.1.1	Kostenaufstellung.....	- 86 -
7.2	Wirtschaftlichkeitsrechnung	- 88 -
7.2.1	Kennzahlen und Konzernrichtlinien	- 89 -
7.2.2	Berechnung.....	- 91 -
7.2.2.1	Teilautomatisierung.....	- 92 -
7.2.2.2	Vollautomatisierung.....	- 95 -
7.3	Kostenvergleich	- 97 -
8	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	- 98 -

1 Unternehmensbeschreibung

1.1 Die Geschichte von Magna International

Im Jahre 1954 emigrierte ein junger österreichischer Werkzeugmacher namens Frank Stronach nach Kanada. Bei sich hatte er nicht mehr, als einen Koffer, einige hundert Dollar und einen Hang zu harter Arbeit.

Es war nicht viel, doch es reichte aus, damit er sich bereits drei Jahre nach seiner Ankunft auf dem neuen Kontinent seinen persönlichen Traum vom eigenen Unternehmen erfüllen konnte. In einer gemieteten Garage im Zentrum von Toronto, welche in *Abbildung 1.1* zu sehen ist, richtete Frank Stronach einen kleinen Einmannbetrieb für Werkzeug- und Formenbau ein. Er arbeitete von früh bis spät und schlief auf einem Feldbett zwischen seinen Werkzeugmaschinen. Der Umsatz im ersten Jahr betrug 13.000 Can Dollar.

Sein Fleiß machte sich bezahlt. Das Unternehmen wuchs von Anfang an und beschäftigte am Ende des ersten Jahres bereits zehn Mitarbeiter.

Nur drei Jahre später, erhielt seine Firma - damals hieß sie noch *Multimatik* - ihren

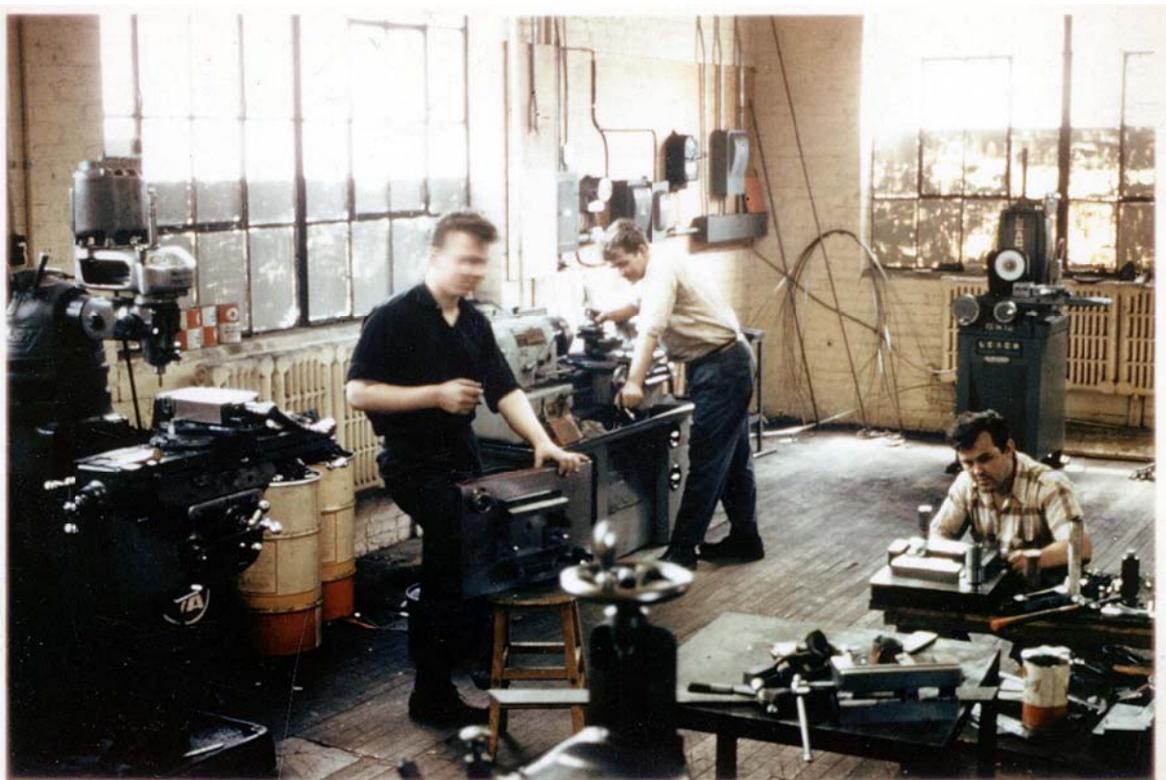


Abbildung 1.1: Frank Stronach (Mitte) und seine ersten beiden Mitarbeiter

ersten Vertrag mit der Automobilindustrie: das Pressen von Sonnenblenden-Halterungen für General Motors.

In den Jahren darauf folgte eine Zeit der stetigen Expansion, die es dem Unternehmen im Jahre 1969 schließlich ermöglichte, sich mit *Magna Electronics* zusammenzuschließen, einem börsennotierten Lieferanten für die Luftfahrt- und Rüstungsindustrie. Nur vier Jahre später übernahm *Multimatik* seinen Partner vollständig und änderte seinen Namen in *Magna International Inc.* Diese Übernahme war es, die dem Unternehmen völlig neue Möglichkeiten eröffnete. Als Vorsitzender einer Aktiengesellschaft konnte Frank Stronach nun sein Gewinnbeteiligungssystem - bekannt unter der Bezeichnung *Fair Enterprise* - verwirklichen, welches allen Mitarbeitern einen fixen Anteil am Firmenprofit zusicherte.

In den 1970ern befand sich vor allem die Automobilsparte des Unternehmens in einer Phase kontinuierlicher Expansion und erweiterte seine Produktpalette um eine Vielzahl kaltverformbarer¹ und elektronischer Komponenten. Jenes Wissen, welches dabei erworben wurde, half *Magna* dabei, sich bis zum Ende des Jahrzehnts einen hervorragenden Ruf aufzubauen, wenn es darum ging, Probleme des Kunden auf innovative Weise zu lösen.

Auch im darauf folgenden Jahrzehnt wurde diese Strategie fortgeführt, wobei der Fokus nun ausschließlich auf dem Automobilsektor lag. Folglich trennte sich *Magna* 1981 von seinen Engagements im Luft- und Raumfahrtbereich.

1984 wurde das Konzept der *Fair Enterprise* erweitert und die *Magna Corporate Constitution* - eine verbindliche Unternehmensverfassung - ins Leben gerufen. Sie regelt bis heute das Anrecht der Mitarbeiter, Investoren und Manager auf Gewinnbeteiligung, sowie die Verpflichtung des Managements, eben diesen Gewinn zu erwirtschaften.

Die 80er waren auch jenes Jahrzehnt, in dem der Umsatz von *Magna* erstmals die magische Grenze von einer Milliarde US-Dollar überschritt. Dabei erreichte das Unternehmen eine Größe, welche eine Neugestaltung der Organisationsstruktur erforderlich machte. Firmen, deren Erzeugnisse derselben Produktgruppe angehörten, wurden auch organisatorisch zu Einheiten - den sogenannten

¹ Hauptsächlich Komponenten für den Karosseriebau

Automotive Systems Operating Groups - zusammengefasst. *Abbildung 1.2* zeigt die Magna International Gruppenstruktur, wie sie heute gültig ist.



Abbildung 1.2: Magna International Gruppenstruktur

Jede dieser Gruppen operierte völlig autonom unter der Leitung einer eigenen Geschäftsführung (jedoch unter Beachtung allgemein gültiger Konzernrichtlinien, wie der Unternehmensverfassung und der Mitarbeitercharta), welche als zentrale Koordinationsstelle für all jene Aufgaben diente, die nur durch ein gemeinsames Vorgehen der einzelnen Unternehmen zufriedenstellend gelöst werden konnten. Beispiele hierfür waren Preisverhandlungen mit Rohstofflieferanten, die Akquisition von Großaufträgen oder die Repräsentation bei internationalen Veranstaltungen wie dem Genfer Autosalon oder der IAA in Frankfurt. Unterstützt wurde die Geschäftsführung dabei von regionalen Management Teams, welche in unmittelbarer Nähe wichtiger Schlüssellieferanten, bzw. –Kunden angesiedelt sind und so einen besonders guten Kontakt zu eben diesen pflegten. Auch wenn die Struktur der *Automotive Systems Operating Groups* in den letzten 20 Jahren immer wieder Veränderungen unterworfen war, so blieb dieses Grundkonzept bis heute erhalten. Die 90er begannen so, wie die 80er endeten- geprägt von geografischer Expansion und technischer Innovation. Beispielsweise wurde 1990 zusammen mit *Ford Motor*

Company das Joint Venture *Conix*², ein Hersteller von Kunststoff- und formgepressten Außenhautteilen³, gegründet. In Folge dessen erhielt *Magna* erstmals einen Großauftrag zur Lieferung kompletter Türmodule.

1995 wurde eine spezielle Variante der Innenhochdruckumformung (Hydroforming) eingeführt - ein Verfahren, bei dem rohrförmige Bauteile mit Hilfe einer Wasser-Öl-Emulsion unter einem Druck von bis zu 10.000 bar verformt werden. Nur zwei Jahre später führte diese Technologie für die *Cosma Gruppe* zu einem der größten Aufträge in ihrer Geschichte: die Produktion von Strukturteilen für Pickup-Trucks und SUV's.

Auch aus wirtschaftlicher Sicht hat sich in den letzten Jahren des vergangenen Jahrhunderts viel ereignet. 1992 wurde *Magna International* an der New Yorker Börse notiert. Folglich wurde die Bilanzwährung auf US-Dollar umgestellt und das Fiskaljahr dem Kalenderjahr angepasst. Zu den größten Veränderungen kam es jedoch in Europa. Bereits in den 80ern hatte Magna hier die ersten Werke errichtet, um die europäischen Automobilhersteller beliefern zu können (Importe aus Amerika kamen auf Grund der hohen Logistikkosten und des in Europa geforderten Qualitätsniveaus auf Dauer nicht in Frage). Doch erst Mitte der 90er begann man damit, massiv auf dem alten Kontinent zu investieren. Dabei wurden nicht nur neue Werke errichtet, sondern auch etliche bereits bestehende Produktionsstandorte von anderen Unternehmen übernommen. Prominentestes Beispiel hierfür ist der Kauf der *Steyr Daimler Puch AG* im Jahr 1998, welche sich zu diesem Zeitpunkt nur noch aus den Produktionssparten Fahrzeugtechnik und Antriebstechnik zusammensetzte⁴. Während Letztere an die deutsche *ZF Friedrichshafen AG* weiterverkauft wurde, verblieb die in Graz angesiedelte *Steyr Daimler Puch Fahrzeugtechnik AG & Co KG* (kurz *SFT*) bei Magna und bereicherte den Konzern um die Entwicklungs- und Produktionskapazität von Gesamtfahrzeugen. Besonders hervorgehoben wurde die Bedeutung des Standortes im Jahr 2001, als die *SFT* mit der *Magna Europe AG* zur

² Im Jahr 2000 wurde *Conix* vollständig von der *Magna Decoma Gruppe* übernommen.

³ Als *Außenhautteile* werden im Automobilbau prinzipiell all jene Komponenten bezeichnet, die von außen sichtbar sind, wie beispielsweise Kotflügel, Dach, oder die Außenseite von Türen und Klappen.

⁴ Die kontinuierliche Ausgliederung von Produktionssparten aus der *Steyr Daimler Puch AG* begann bereits 1987 mit dem Verkauf des Werks in Griechenland (nun als *ELBO* eigenständig). Es folgten die Waffenproduktion (wurde zu *Steyr Mannlicher GmbH & Co KG*), die Fahrradsparte (erhielt der italienische *Bianchi-Konzern*), die Wälzlagersparte (*SKF*), die LKW- Sparte (*MAN AG*), die Traktoren-Produktion (*Case*), die Busproduktion (*Volvo*) und die Produktion schwerer Waffen (*Steyr Daimler Puch Spezialfahrzeug GmbH*). [Wikipedia, 2010]

Magna Steyr AG & Co KG, einer eigenständigen Konzerngruppe, verschmolzen wurde (siehe Abbildung 1.2).

Das Jahr 2000 brachte uns allen nicht nur ein neues Millennium sondern Magna auch einen weiteren Umsatzrekord: Mit Jahresende wurde die Marke von zehn Milliarden US-Dollar überschritten. Gleichzeitig wurde die *Magna Entertainment Corporation (MEC)* gegründet, eine Konzerngruppe, in der all jene Geschäftsfelder zusammengefasst wurden, welche nicht dem Automobilsektor zuordenbar sind. Primär handelt es sich dabei um *Magna's* Engagement im Bereich des Pferderennsports, welches aus der privaten Leidenschaft Frank Stronachs hervorgegangen ist. Die *MEC* ist vor allem in den USA tätig und betreibt dort neun Pferderennbahnen (Stand: 2007), *HorseRacing TV* - einen Fernsehkanal, welcher rund um die Uhr Pferderennen überträgt und diverse Onlinewettplattformen. In Österreich ist sie mit dem im niederösterreichischen Ebreichsdorf gelegenen *Magna Racino* vertreten, einer Kombination aus Pferderennbahn, Casino (allerdings nur Glücksspielautomaten) und Restaurant mit Showbühne.

2002 übernahm *Magna* die *Donnelly Corporation*, den weltweit führenden Lieferanten von Außen- und Innenspiegel im Automobilbau. Zwei Jahre später kaufte *Magna* 80% der Anteile von *New Venture Gear*, einem im Februar 1990 von *General Motors* und der *Chrysler Corporation* gegründeten Joint Venture, welches sich auf die Produktion von Getriebekomponenten spezialisiert hatte. Gleichzeitig überschritt der Konzernumsatz die nächste große Marke von 20 Milliarden US-Dollar und setzte seinen Weg nach oben fort.

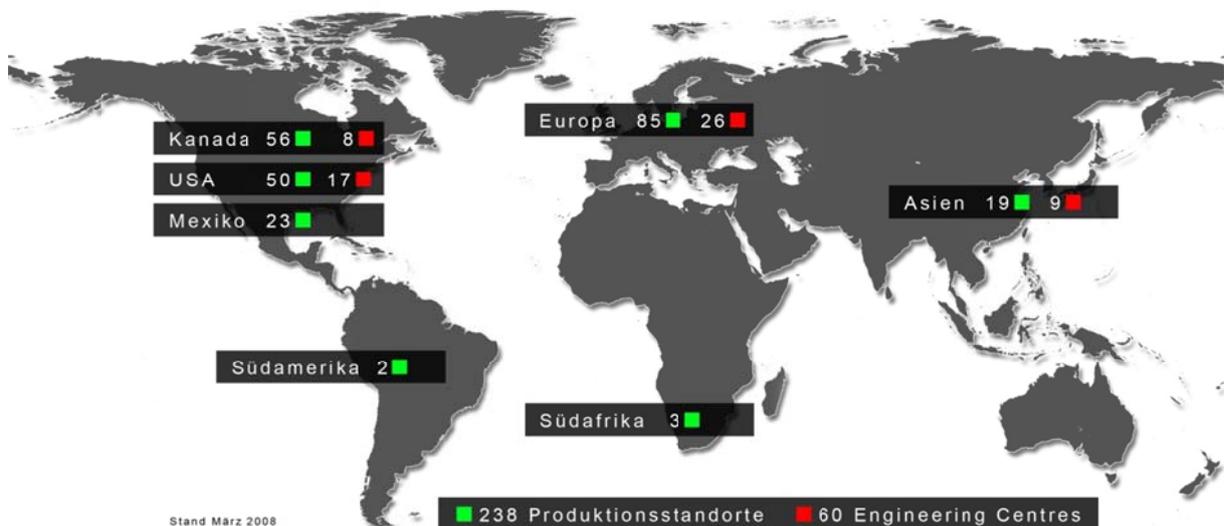


Abbildung 1.3: Magna International - weltweite Präsenz

Was vor 50 Jahren in einer kleinen Garage in Toronto begann, wurde letztendlich zu einem der weltweit größten Zulieferunternehmen der Automobilindustrie. *Magna* beschäftigt heute über 83.000 Mitarbeiter und betreibt Unternehmungen in 24 Ländern. Eine grobe Übersicht über die weltweite Präsenz des Konzerns zeigt *Abbildung 1.3*.

1.2 Magna Heavy Stamping

1.2.1 Hintergrund

Wie bereits auf Seite sechs beschrieben wurde, ist der Import von in Amerika produzierten Automobilkomponenten (bzw. vollständiger Fahrzeuge) für den europäischen Markt mit zum Teil gravierenden Nachteilen, wie niedrigere Qualitätsstandards und hohen Logistikkosten, verbunden.

Als im Jahre 1994 erstmals der Jeep Grand Cherokee bei *Steyr Daimler Puch* in Graz vom Band lief, waren es genau diese beiden Faktoren, welche sich als problematisch erweisen sollten. Sämtliche Karosserieteile wurden damals noch in den USA gefertigt, nach Österreich transportiert und hier zu fertigen Fahrzeugkarosserien assembliert. Dies hatte den Vorteil, dass der gesamte Teilebedarf - sowohl für den amerikanischen Jeep, welcher damals wie heute bei *Chrysler* in Detroit gebaut wurde, als auch für die europäische Produktion in Graz - auf den selben Maschinen produziert werden konnte.

Was man jedoch nicht bedacht hatte, waren die gehobenen Qualitätsanforderungen des europäischen Automobilmarktes. Bereits beim Verlassen der Werkshallen in Amerika hielten die Außenhautteile des Jeeps diesen Anforderungen nicht Stand und der lange Transport in billigen Holzverpackungen über den Seeweg nach Europa verschlechterte den Zustand der Teile zusätzlich. Letztendlich musste ein Großteil der in Graz ankommenden Bauteile zur Nacharbeit⁵, wo die vorhandenen Fehler behoben wurden - eine Maßnahme, welche dem Unternehmen durchschnittlich 20.000.- Schilling⁶ pro Fahrzeug kostete.

⁵ Nach DIN EN ISO 8402, 1995-08, Ziffer 4.19 sind unter dem Begriff **Nacharbeit** alle Maßnahmen zu verstehen, die an einem fehlerhaften Produkt ausgeführt werden, damit es die festgelegten Forderungen erfüllen kann [Quality, 2009]

⁶ Dieser Betrag wurde von mehreren Mitarbeitern unabhängig voneinander genannt. Es gibt jedoch keine offiziellen Aufzeichnungen darüber, weshalb der Betrag eher als Richtwert zu sehen ist.

Eine Lösung musste gefunden werden und so traf es sich gerade richtig, dass Magna zu dieser Zeit an Plänen für ein Großpresswerk in Österreich arbeitete. Dabei standen zehn mögliche Standorte im ganzen Land zur Auswahl, doch die Steiermark machte letztendlich das Rennen - eine Entscheidung, die nicht nur nach rein wirtschaftlichen Kriterien getroffen wurde. Frank Stronach meinte dazu in einem Interview: „*Ich kann mir's leisten, dass ich sag: Wenn ich vielleicht um ein bis zwei Prozent weniger Profit mache, dann mach ich's eben dort, wo ich glaube es soll hingehören und ich glaube, dieses Werk gehört in die Steiermark!*“ [ORF Steiermark, 1997] Und so fand am 1. August 1997 im oststeirischen Albersdorf der Spatenstich für das erste Großpresswerk Österreichs statt. 700 Millionen Schilling kostete dessen Bau, weitere 300 Millionen Schilling wurden bereits zu Beginn für die erste Erweiterungsstufe eingeplant. 300 Mitarbeiter sollten laut damaligen Medienberichten im Endausbau bei *Magna Heavy Stamping* beschäftigt werden [ORF Steiermark, 1997].

1.2.2 Im Wandel der Zeit

Wie sich in den darauf folgenden Jahren herausstellen sollte, waren die anfänglichen Prognosen bezüglich der Unternehmensgröße stark untertrieben. Nach der ersten Erweiterungsstufe im Jahr 2000, bei der die Hallenfläche von anfänglich 31.600 m² auf 42.000 m² erweitert wurde, folgte bereits zwei Jahre später eine zweite Ausbauphase, bei der das Unternehmen seine bislang endgültige Größe von 69.000 m² erreichte. Im Zuge dessen stieg auch die Zahl der Mitarbeiter kontinuierlich an - bis zu ihrem Maximum im Juni 2004 mit 931 Beschäftigten.

Sucht man rückblickend die Gründe für das Wachstum der *Magna Heavy Stamping*, so fallen nicht nur firmenspezifische Faktoren, wie der hohe Qualitätsstandard und das technische Know-how der Mitarbeiter ins Auge, sondern vor allem auch der allgemeine Trend in der Automobilindustrie, immer größere Abschnitte des Wertschöpfungsprozesses an Zulieferunternehmen auszulagern. Anstelle von einzelnen Pressteilen wird heute oft die Lieferung ganzer Module gefordert, etwa fertig verschweißte Türen (bestehend aus Außenblech, Innenblech, Seitenaufprallschutz und diverse Strukturteile), Front- und Heckklappen, oder Bodengruppen.

Für Großpresswerke gewannen somit neben ihrer eigentlichen Kerntätigkeit, dem Umformen von Blechplatinen, andere Aufgabengebiete zunehmend an Bedeutung. Beispielsweise war anfangs bei *Magna Heavy Stamping* nur jeder zehnte Produktionsmitarbeiter im *Rohbau*⁷ beschäftigt, heute liegt der Anteil bei 43 Prozent.

1.2.3 Unternehmensübersicht

In den folgenden Kapiteln soll nun näher auf jene Bereiche der *Magna Heavy Stamping* eingegangen werden, welche für diese Untersuchung von besonderer Bedeutung sind. Einen entsprechenden Überblick bietet *Abbildung 1.4*, welche das Unternehmen in seiner seit 2003 bestehenden Form darstellt.

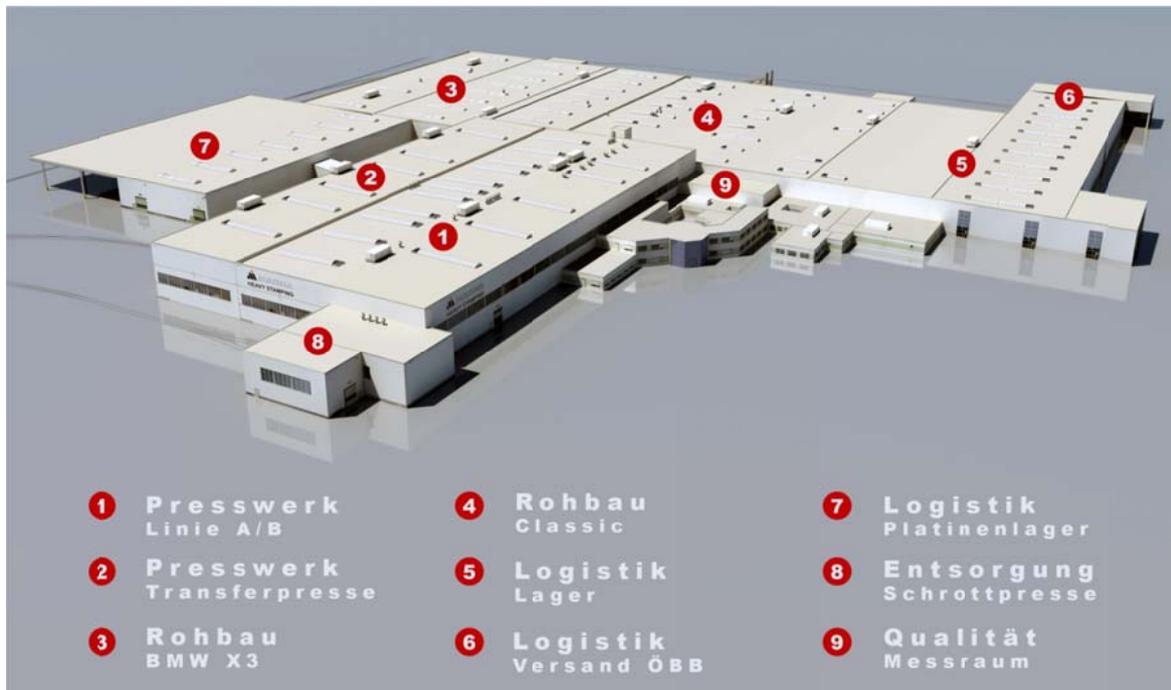


Abbildung 1.4: Unternehmensübersicht

Die Hallenbereiche 1 und 2 im Vordergrund enthalten neben der Abteilung *Presswerk* auch den *Werkzeugbau*, wo die benötigten Presswerkzeuge gewartet und eingestellt werden, sowie einen Werkstättenbereich für die Lehrlingsausbildung. Ein Verbindungstunnel führt in den Bereich 7, wo jene Rohplatinen gelagert werden,

⁷ Jene Abteilung, in der einzelne Pressteile zu vollständigen Baugruppen, etwa durch Schweißen, Kleben oder Falzen, zusammengefügt werden.

welche bereits fertig zugeschnitten angeliefert werden. Der angrenzende überdachte Bereich dient als Lager für Leergebinde⁸.

Die Bereiche 3 bis 5 sind als abteilungsmäßige Schwerpunkte zu verstehen. Tatsächlich ist eine strikte Trennung zwischen *Rohbau* und *Logistik* nicht möglich, da es sich bei Rohbauzellen um sehr produktspezifische Produktionsanlagen handelt. Mit jedem neuen Projekt müssen diese umgestaltet bzw. völlig neu aufgebaut werden, wodurch sich auch deren Platzbedarf ändert. Frei werdende Flächen können so für die Lagerung von Gebinden genutzt werden.

1.2.3.1 Presswerk

Die Umformung von Karosserieblechteilen erfolgt in der Regel per Tiefziehverfahren:

„Tiefziehen ist nach DIN 8584 das Zugdruckumformen eines Blechzuschnitts (auch Ronde, Folie, Platte, Tafel oder Platine genannt) in einen einseitig offenen Hohlkörper oder eines vorgezogenen Hohlkörpers in einen solchen mit geringerem Querschnitt ohne gewollte Veränderung der Blechdicke.“ [Wikipedia, 2009]

Da die Geometrien der in der Automobilindustrie benötigten Bauteile vergleichsweise komplex sind (man denke hier an die geschwungenen Formen moderner Fahrzeuge), werden deren Umformvorgänge generell in mehrere Einzeloperationen aufgeteilt.

Einzelne Pressen, verbunden über automatische Fördersysteme und koordiniert von einer zentralen Steuereinheit, bilden



Abbildung 1.5: Pressenlinie B

somit eine Anlage, die als Pressenstraße, bzw. Pressenlinie bezeichnet wird. *Abbildung 1.5* zeigt eine der beiden Linien der *Magna Heavy Stamping*, welche bis

⁸ Definition siehe Kapitel **3.1**

auf die Anzahl der Folgepressen baugleich sind. Einige der technischen Daten sind in der folgenden

Tabelle 1.1 zusammengefasst:

	Pressenlinie A	Pressenlinie B
Antrieb	hydraulisch	
Presskraft	20.000 kN	
Presskraft	12.500 kN	
Anzahl	5	4
Max. Hubzahl	11 pro Minute	
Tischgröße	4.500 x 2.500 mm	
Max. Platinengröße	4.000 x 1.900 mm	

Tabelle 1.1: Technische Daten der Pressenlinien

Presskraft und Abmessungen sind so dimensioniert, dass selbst die größten Komponenten einer Fahrzeugkarosserie, wie beispielsweise die Seitenwand oder das Dach, in einem Stück gefertigt werden können. Kleinere Bauteile, wie etwa die Türen können sogar doppelfallend produziert werden. Linke und rechte Tür werden hier gleichzeitig im selben Werkzeug geformt.

Bei noch kleineren Komponenten (meist Strukturteile, wie die Federbeinaufnahme oder A/B-Säule innen) lässt sich jedoch eine Pressenlinie nicht mehr wirtschaftlich betreiben. Im Rahmen der zweiten Ausbaustufe erhielt die *Magna Heavy Stamping* daher zusätzlich eine



Abbildung 1.6: Transferpresse

Transferpresse, welche in *Abbildung 1.6* zu sehen ist. Auch hier werden mehrere Umformoperationen benötigt, jedoch sind sämtliche Werkzeuge hintereinander auf einem gemeinsamen Pressentisch montiert. Als Antrieb dient ein Gleichstrommotor mit einer Kombination aus Exzenter und Kniehebelmechanik, die maximale

Presskraft beträgt 30.000 kN. Greifarme, welche mechanisch mit dem Antrieb gekoppelt sind, reichen die Bauteile innerhalb der Presse jeweils von einem Werkzeug zum nächsten weiter, sodass maximal 25 Hübe pro Minute erreicht werden können.

2004 investierte die *Magna Heavy Stamping* schließlich in die Anschaffung einer Platinenschneidanlage. Zusätzlich zu den bereits fertig geschnittenen Platinen können somit auch Coils⁹ mit einem Maximalgewicht von 30 Tonnen als Rohmaterial verwendet werden. Im Prinzip handelt es sich auch hier um eine Exzenterpresse, bei der jedoch das Tiefzieh- durch ein Schnittwerkzeug ersetzt wurde. Somit sind bis zu 60 Hübe pro Minute möglich.

1.2.3.2 Logistik

Nach dem *Presswerk* ist die *Logistik* die personalstärkste Fachabteilung des Unternehmens. Ihre Aufgabengebiete [Magna Intranet, 2010] sind vielfältig und umfasst unter anderem:

- Disposition Produktionsmaterial
- Fertigungssteuerung Rohbau, Presswerk, Bestandskontrolle, Behältermanagement
- Materialwirtschaft
- Planung
- Zoll- und Transportabwicklung

Auch der gesamte innerbetriebliche Warentransport obliegt der Logistik. Hierfür werden ausschließlich elektrisch angetriebene Gabelstapler mit einer Tragfähigkeit von zwei bis fünf Tonnen eingesetzt. Zwei Ausnahmen bilden ein Stapler im



Abbildung 1.7: Transport per Gabelstapler

⁹ Ein Coil (englisch: Rolle, Spule) ist das aufgewickelte Stahlband aus dem Walzwerk. Die Anlieferung der Rollen erfolgt per Eisenbahn oder Sattelschlepper.

Presswerk mit acht und eine dieselbetriebene Variante im Platinenlager mit 12 Tonnen Tragfähigkeit (beide werden jedoch nur zum Transport von Platinen verwendet).

Abbildung 1.7 zeigt einen Gabelstapler im Lager der Magna Heavy Stamping¹⁰. Im Hintergrund sind Gebinde (sogenannte Racks) zu sehen, welche die fertigen Bauteile enthalten¹¹. Sämtliche Lagerbereiche des Unternehmens sind als Blocklager ausgeführt. Bei dieser Form der Lagerung stehen die Güter so eng nebeneinander oder aufeinander, dass nicht auf jeden einzelnen Behälter direkt zugegriffen werden kann. Dadurch wird der vorhandene Platz sehr gut ausgenutzt. [Koether, Taschenbuch der Logistik, 2004]

¹⁰ Zur Orientierung, siehe *Abbildung 1.4*, Bereich (5)

¹¹ Mehr hierzu in Kapitel 3.1

2 Zielsetzung

Ziel dieser Untersuchung ist es herauszufinden, ob das bestehende manuelle Transport- und Lagersystem automatisiert werden kann und welche Fördermittel hinsichtlich Funktionserfüllung und Wirtschaftlichkeit am besten dafür geeignet sind. Hierbei soll nur der Transport vom Presswerk zum Lager (volle Gebinde) und retour (Leergebinde) untersucht werden, da hier der kontinuierliche Massenstrom über mehrere Stunden hinweg am ehesten den Einsatz eines automatischen Systems rechtfertigt.

Zum Vergleich: Im Rohbau besitzt jede einzelne Fertigungszelle mindestens eine Einlege- und eine Entnahmestation - in Summe 74 Stationen¹². Sie alle müssten an das automatische Transportsystem angeschlossen und gleichzeitig versorgt werden. Da es jedoch an den einzelnen Anlagen immer wieder zu Unterbrechungen kommen kann¹³, werden die benötigten Gebinde auf Abruf bereit gestellt. Seit einigen Jahren kommen in diesem Bereich daher Gabelstapler mit zentralem Leitsystem zum Einsatz - dieses System hat sich bewährt.

Im Presswerk hingegen beträgt die Anzahl der gleichzeitig aktiven Stationen maximal drei: Jeweils eine pro Pressenlinie und eine für die Transferpresse. Die Taktzeiten sind hier wesentlich kürzer, als im Rohbau und das Transportaufkommen vergleichsweise höher¹⁴.

Die Untersuchung lässt sich in folgende Abschnitte gliedern¹⁵:

- Analyse des IST-Zustandes und Materialflussanalyse
- Vorauswahl geeignet erscheinender Fördersysteme
- Auswahl des am besten geeigneten Fördersystems
- Dimensionierung des ausgewählten Fördersystems
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

¹² Dem MHS Firmenlayout entnommen

¹³ Z.B. das planmäßige Fräsen der Kupferkappen auf den Punktschweißzangen

¹⁴ Genaue Daten hierzu, siehe Kapitel 3.4.

¹⁵ In Abstimmung mit dem Institut für Technische Logistik getroffen.

Folgende Vorteile sind durch die Automatisierung des Transportaufkommens zwischen Presswerk und Lager, bzw. durch eine generelle Lagerautomatisierung zu erwarten:

1. Steigerung des Transportvolumens

Bereits jetzt ist es kaum noch möglich, die auftretenden Transportspitzen mit Gabelstaplern abzudecken. Die Anschaffung weiterer Fahrzeuge ist auf Grund der beengten Platzverhältnisse (siehe Sicherheit) nicht sinnvoll.

2. Erhöhung der Sicherheit im Werk

Durch die hohe Anzahl an Gabelstaplern auf den vorhandenen Fahrwegen besteht ein erhöhtes Unfallrisiko. Ein langsames automatisches Flurfördersystem, bzw. ein baulich getrenntes Überflursystem könnte dazu beitragen, die Sicherheit im Werk zu erhöhen.

3. Kostensenkung

Ein aus Gabelstaplern bestehendes Transportsystem besitzt einen hohen (dauerhaften) Personalkostenanteil. Bei einem automatisierten System ist dieser Anteil viel geringer (zu beachten sind jedoch die hohen Investitionskosten), weshalb auf längere Sicht eine Senkung der Transportkosten zu erwarten ist.

4. Qualitätsverbesserungen im Prozessablauf

Durch ein automatisches Flurfördersystem in Verbindung mit einem automatischen Hochregallager kann der Status jedes einzelnen Bauteils genau verfolgt werden. Ziel ist es, Einzelfehler der diversen Prozessabschnitte genauer erfassen zu können.

5. Optimierung der Logistikleistungsgrößen, wie

Transportdurchsatz, Flächenausnutzung, Volumennutzungsgrade im Lagerbereich.

3 Analyse des IST- Zustandes

„Bei der Konstruktion und Einsatzplanung von Förder- und Lagereinrichtungen sind zunächst die Aufgabenstellungen und Randbedingungen zu klären, welche die Art der gewählten Einrichtung letztlich bestimmen.

Während des gesamten Planungsablaufes ist das „Warum“ und „Wozu“ einer Förder- und Lagereinrichtung die wichtigste Frage.

Besonders gute Lösungen werden erreicht, wenn es gelingt, Förder- oder Lagervorgänge mit dem Herstellungsprozess zu verbinden. Für die Planung ist insbesondere die Art des Fördergutes maßgebend, wobei Stückgüter und Schüttgüter die beiden wichtigsten Gruppen bilden.

Mengenmäßige, zeitliche und räumliche Vorgaben ergänzen die Förderaufgabe und legen die Art des Förderverfahrens fest. Diese Einsatzkriterien bestimmen Ausführung und Kosten der gewählten Transport- oder Lagereinrichtung.“ [Oser, 2000, Kap. 2, S. 1]

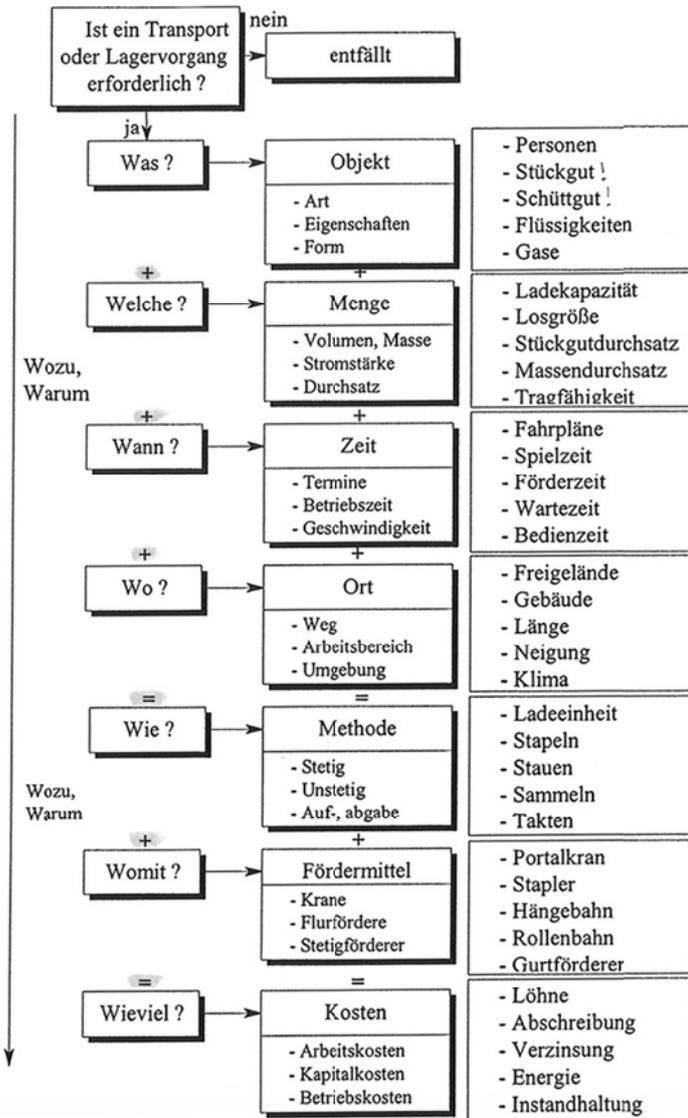


Abbildung 3.1: Planungsablauf (allgemein)
[Oser, 2000, Kap. 2, S. 1]

Wie der Planungsablauf für Förder- und Lagereinrichtungen im Detail aussieht, zeigt *Abbildung 3.1*. Dabei handelt es sich jedoch um eine sehr allgemeine Darstellung,

welche sich nicht vollständig auf dieses Projekt anwenden lässt. Aus diesem Grund wurde eine zusätzliche, für die Bedürfnisse dieser Untersuchung adaptierte Variante des Planungsablaufes erstellt, welche in *Abbildung 3.2* zu sehen ist.

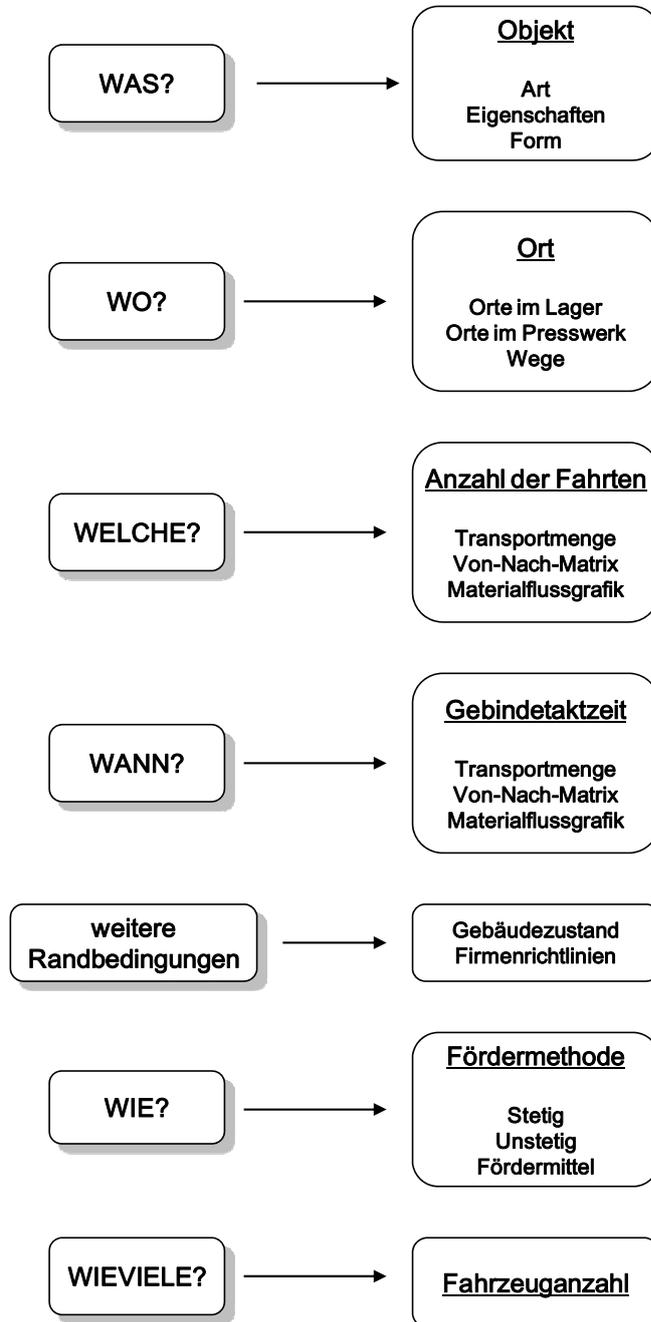


Abbildung 3.2: Planungsablauf bei MHS

3.1 WAS? → das zu transportierende Objekt

Bei den Objekten, deren Transport bei *Magna Heavy Stamping* auf Automatisierbarkeit untersucht werden soll, handelt es sich um Gebinde zum schonenden Transport von Karosserieblechteilen. Der Aufbau dieser Gebinde ist - wie in *Abbildung 3.3* ersichtlich - prinzipiell immer gleich:



Abbildung 3.3: typisches Gebinde mit Pressteilen

Hauptbestandteil ist ein simpler, aus Profilstahlrohren zusammenschweißter Rahmen, welcher mit speziell an das jeweilige Produkt angepassten Haltevorrichtungen versehen wird. Sperrvorrichtungen sorgen dafür, dass die Ladung während des Transportes nicht verrutschen kann und mit Gummi beschichtete Auflageflächen schützen die Bauteiloberfläche. Die Unterseite des Gebindes ist so ausgeführt, dass Gabelstapler es von allen vier Seiten aufnehmen können.

Auch wenn prinzipiell alle Gebindetypen die oben genannten Merkmale aufweisen, so sind die Ausführungen im Detail dennoch höchst unterschiedlich.

Die beiden Hauptgründe dafür sind:

1) Die Bauteilgeometrie

Die bei *Magna Heavy Stamping* produzierten Karosserieblechteile variieren sehr stark in Größe und Form. Beispielsweise verlangt ein Dach ein völlig anderes Haltesystem, als etwa eine Tür, oder ein Kotflügel. Dementsprechend unterschiedlich fallen auch die Gebindeabmessungen aus:

Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]
1,20 bis 3,50	0,75 bis 1,75	0,60 bis 2,00

Auch die Packdichte variiert je nach Stapelbarkeit der Bauteile stark zwischen 6 und 160 Bauteilen pro Gebinde. Das Maximalgewicht beträgt ca. 1500 kg.

2) Die Eigentümer der Gebinde

Beinahe sämtlich bei *Magna Heavy Stamping* verwendeten Gebinde sind Eigentum der Kunden und werden von diesen zur Verfügung gestellt. Einzige Ausnahme bilden dabei eine kleine Anzahl sogenannter ‚inprocess racks‘ - also Gebinde, welche nur firmenintern für den Transport vom Presswerk in den Rohbau zum Einsatz kommen.

Da kein allgemeingültiger Standard für den Bau von Gebinde existiert, werden diese nach den Richtlinien des jeweiligen Kunden entworfen. *Abbildung 3.4* zeigt, wie sich beispielsweise die Unterbauten der Gebinde je nach Hersteller unterscheiden.



Abbildung 3.4: Unterseiten verschiedener Gebindetypen

3.2 WO? → die Transportstrecke

Wie bereits eingangs beschrieben, wird in diesem Projekt der Gebindetransport zwischen Presswerk und Lager betrachtet. Dabei handelt es sich jedoch um eine recht grobe Definition, welche die Frage nach dem „wo?“ nur unzureichend beantwortet. Am deutlichsten wird dies, wenn man sich die Dimensionen, von denen hier gesprochen wird, vor Augen hält: Die gesamte *Magna Heavy Stamping* besitzt, wie in *Kapitel 1.2.2* beschrieben, 69.000 m² überdachte Fläche, wovon - wie *Abbildung 3.5* zeigt - etwa ein Drittel ausschließlich für die Lagerung von Gebinden benötigt wird.

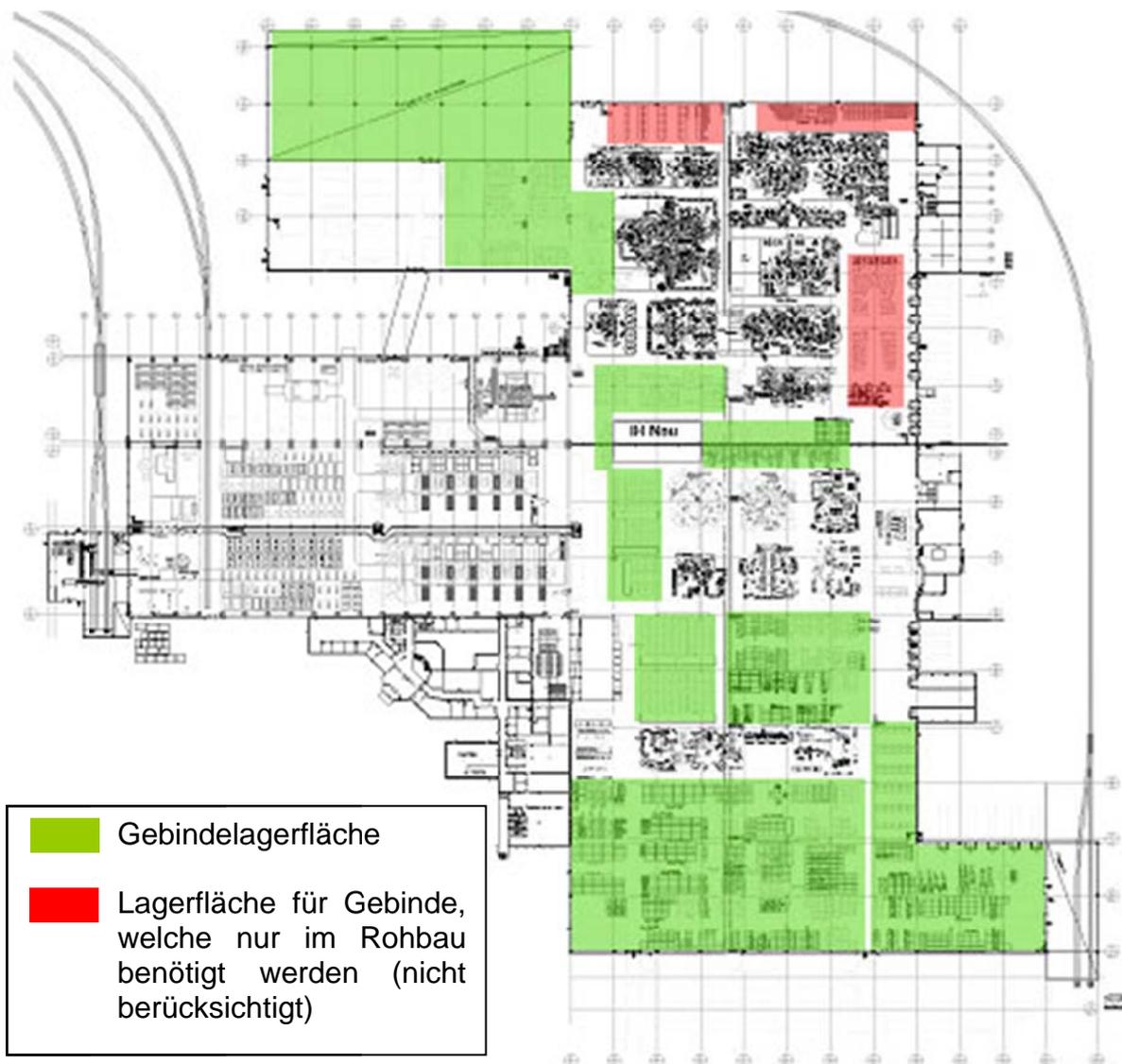


Abbildung 3.5: Gebindelagerfläche

3.2.1 WO im Lager → Einteilung der Lagerbereiche

Wie in *Abbildung 3.5* zu sehen ist, besitzt das Unternehmen keine zusammenhängende Lagerfläche, sondern einzelne Lagerbereiche, welche über das gesamte Areal verteilt sind. Das liegt vor allem daran, dass das Werk nicht von Anfang an in seiner jetzigen Form geplant war, sondern seit seiner Eröffnung stetig vergrößert und um zusätzliche Produktionsanlagen erweitert wurde. Um einen einheitlichen Lagerbereich zu schaffen, hätte man daher die bestehenden Anlagen demontieren und an einer anderen Stelle wieder aufbauen müssen - ein Vorhaben, das während laufender Serienproduktion schlicht undurchführbar ist.

Um die Frage nach dem „Wo“ zu klären, wurden nun diese bereits vorhandenen Lagerbereiche nun nochmals unterteilt. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

Lagerbereiche, welche...

- ... „topografisch“ von den übrigen Bereichen getrennt sind, werden als eigenständige Bereiche definiert.
- ... ausschließlich einem einzigen Projekt dienen (zum Beispiel BMW X3), werden als eigenständige Bereiche definiert.
- ... einem bestimmten Zweck dienen (zum Beispiel Auslieferungslager), werden als eigenständiger Bereich definiert.
- ... deutlich größer sind, als die übrigen Bereiche, werden in mehrere separate Einheiten unterteilt.

Auf diese Weise konnten neun Lagerbereiche definiert werden, welche in *Abbildung 3.6* zu sehen sind und als Grundlage für weitere Analysen dienen.

Eine noch genauere Unterteilung in wesentlich mehr als neun Bereiche erwies sich sowohl für die Dimensionierung der Teil- als auch der Vollautomatisierung als unvorteilhaft, wenn auch aus unterschiedlichen Gründen:

Bei der Teilautomatisierung findet der automatisierte Transport zwischen dem Presswerk und den Übergabepunkten der einzelnen Lagerbereiche statt. Den Rest des Weges sowie das Ein- und Auslagern der Voll- und Leergebinde übernimmt wie bisher ein Gabelstapler.

Was hier vereinfacht als Übergabepunkt bezeichnet wird, ist in Wirklichkeit eine stationäre Fördereinrichtung (beispielsweise eine Rollen- oder Kettenförderanlage) welche bis zu vier Gebinde aufnehmen kann und somit als Puffer zwischen Gabelstapler und automatischem Transportsystem dient. Für eine genauere Beschreibung dieser Einrichtungen sei hier auf *Kapitel 6* (Technische Beschreibung verschiedener FTS Varianten) verwiesen.

Je genauer die Bereichseinteilung nun ausfällt, desto mehr Übergabepunkte werden benötigt, was sich wiederum sowohl auf die Kosten, als auch auf den Platzbedarf der Anlage negativ auswirkt.

Weiters kann man davon ausgehen, dass jeder Lagerbereich auch gleichzeitig den Arbeitsbereich des für die Ein- und Auslagerung zuständigen Gabelstaplers darstellt. Deshalb sollte dieser nach Möglichkeit so gewählt werden, dass die Arbeitsauslastung des Staplers dem Optimum entspricht.

Bei der Vollautomatisierung gibt es mehrere Umsetzungsmöglichkeiten:

- a) Das vorhandene Blocklager wird durch ein zentrales, automatisch gesteuertes Regallager ersetzt, was eine völlige Umstrukturierung der bisherigen Lagereinteilung zur Folge hätte.
- b) Das Blocklager wird beibehalten und mit entsprechend ausgerüsteten Flurtransportfahrzeugen beschickt, welche in der Lage sind, sämtliche Aufgaben eines konventionellen Gabelstaplers zu übernehmen. Die Übergabepunkte würden entfallen.

Eine Unterteilung des Lagers ist bei der Vollautomatisierung somit prinzipiell unnötig.

Anmerkung: Die Einteilung in neun Bereiche ist keineswegs unveränderlich. Es handelt sich dabei viel mehr um eine Ausgangsbasis für alle weiteren Berechnungen, welche im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden.

3.2.2 WO im Presswerk

Obwohl die *Magna Heavy Stamping*, wie bereits in *Kapitel 1.2.3.1* beschrieben, über zwei Pressenstraßen und eine Transferpresse verfügt, wurde letztere nicht in die Untersuchung mit einbezogen.

Begründet kann dieser Schritt damit werden, dass es sich bei den Erzeugnissen der Transferpresse ausschließlich um Kleinteile handelt, welche in Gitterboxen mit sehr hoher Packdichte transportiert werden. Das, und die kurzen Transportwege, sorgen für ein sehr geringes Transportaufkommen (es wird nur ein einziger Gabelstapler benötigt), weshalb sich eine Automatisierung nicht lohnt.

Pressenlinie A & B:

Der Aufbau der beiden Pressenlinien ist im Wesentlichen gleich und wurde bereits in *Kapitel 1.2.3.1* beschrieben. Der einzige Unterschied besteht darin, dass Linie B eine Presse weniger besitzt, als Linie A, nämlich fünf.

Das liegt daran, dass nur Bauteile mit komplizierter Geometrie - wie beispielsweise Seitenteile, oder Kotflügel - tatsächlich sechs Umformoperationen benötigen.

Um die Flexibilität und Effizienz im Presswerk zu steigern, besitzen beide Linien zusätzlich die Möglichkeit, Bauteile nicht nur stirnseitig sondern auch seitlich zwischen den Pressen auszuschleusen¹⁶. *Abbildung 3.7* veranschaulicht dies:

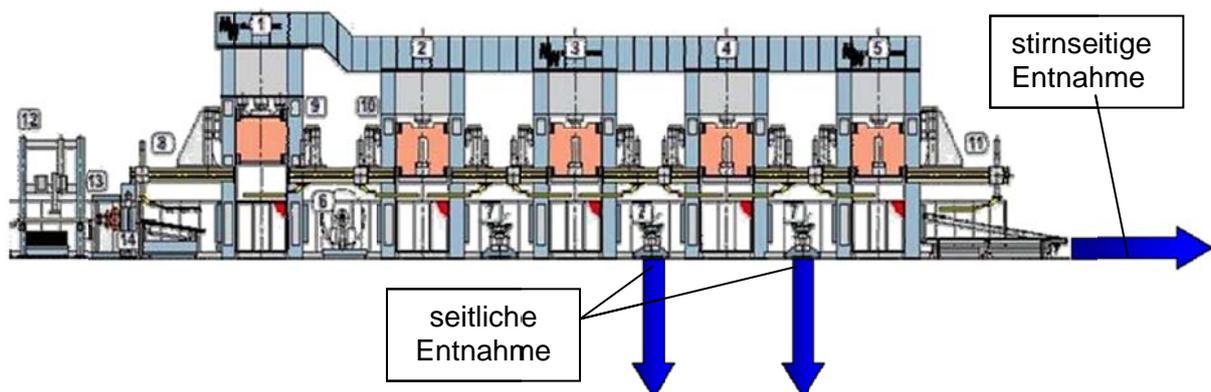


Abbildung 3.7: Entnahmepositionen an Pressenlinie B

¹⁶ Erfahrungsgemäß werden nur die letzten beiden Zwischenräume (bzw. bei Linie B nur der letzte) als Schleuse verwendet.

Auf diese Weise kann die letzte Presse im laufenden Betrieb für anderwärtige Aufgaben eingesetzt werden, wie beispielsweise die Herstellung von Bauteilen, welche nur eine Umformoperation benötigen (das Ein- und Auslegen erfolgt hierbei manuell), oder die Erprobung neuer Werkzeuge.

Einfluss auf die Berechnung:

Für die Berechnung wurde entschieden, die seitlichen Entnahmestationen im Sinne der Übersichtlichkeit zu ignorieren und alle Weglängen von der stirnseitigen Station aus zu messen. Der Fehler, der dadurch entsteht, ist marginal, da der Abstand zwischen den einzelnen Stationen im Vergleich zur restlichen Transportstrecke vernachlässigbar klein ist.

Einfluss auf die Umsetzung:

Nicht zu vernachlässigen ist jedoch der Einfluss der seitlichen Stationen auf die technische Umsetzung, da der hier zur Verfügung stehende Platz sehr beschränkt ist. *Abbildung 3.8* zeigt den Grund dafür:

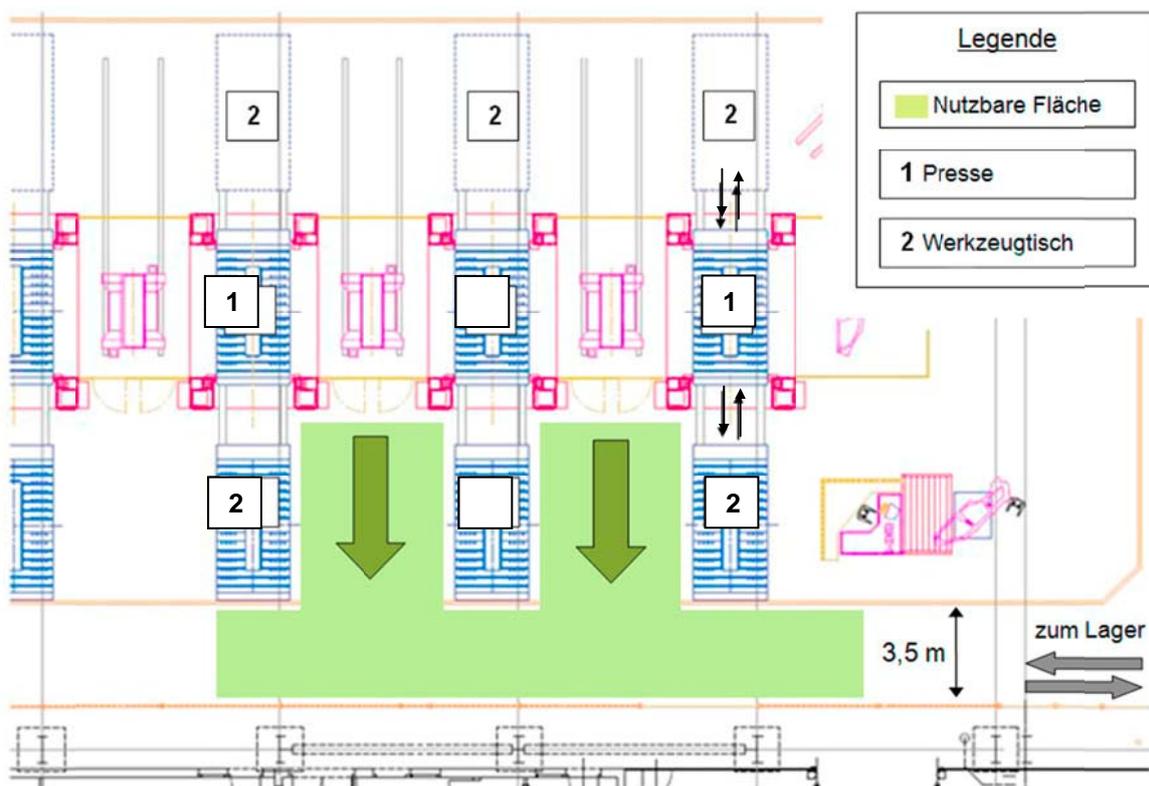


Abbildung 3.8: seitliche Entnahme (Linie A)

Bei den mit **2** gekennzeichneten Objekten handelt es sich um sogenannte Werkzeigtische, welche für den Wechsel der Presswerkzeuge benötigt werden und für die Mitarbeiter frei zugänglich sein müssen.

Vor allem für Überflurtransportsysteme, wie beispielsweise die Elektrohängebahn, stellen die Tische ein besonderes Hindernis dar, da diese nur per Hallenkran mit den bis zu 60 Tonnen schweren Werkzeugen bestückt werden können. Die Gefahr einer Kollision darf dabei nicht außer Acht gelassen werden.

3.2.3 WO im Überblick → Wegmatrix für Teilautomatisierung

Nachdem alle wichtigen Wegpunkte definiert wurden, ist es nun möglich, die Länge der Fahrwege zu ermitteln. Hierfür dient erneut das von *Magna Heavy Stamping* zur Verfügung gestellte AutoCAD-Layout als Vorlage. Da dort bereits alle Fahrwege eingezeichnet sind, können die entsprechenden Längen mit Hilfe der Abfragefunktion des Programms einfach herausgemessen und in eine Wegmatrix eingetragen werden.

Das Ergebnis ist in *Tabelle 3.1* zu sehen:

VON NACH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B
1		0	0	0	0	0	0	0	0	63	103
2	0		0	0	0	0	0	0	0	76	116
3	0	0		0	0	0	0	0	0	92	132
4	0	0	0		0	0	0	0	0	146	186
5	0	0	0	0		0	0	0	0	222	261
6	0	0	0	0	0		0	0	0	21	31
7	0	0	0	0	0	0		0	0	89	102
8	0	0	0	0	0	0	0		0	58	34
9	0	0	0	0	0	0	0	0		117	93
A	63	76	92	146	222	21	89	58	117		0
B	103	116	132	186	261	31	102	34	93	0	

Tabelle 3.1: Wegmatrix (alle Maße in Meter)

Dabei springt sofort die besondere Form der Matrix ins Auge, welche folgendermaßen begründet werden kann:

- Zwischen den einzelnen Lagerbereichen finden keinerlei Transporte statt. Deshalb wurde auf die Ermittlung der entsprechenden Weglängen verzichtet.
- Es wurde angenommen, dass die verwendete Route in beide Richtungen identisch ist, da dies auch beim Transport mit Gabelstaplern der Fall ist.

Die Wegmatrix ist somit vollkommen symmetrisch.

3.3 WELCHE? → die Anzahl der Fahrten

Diese Frage soll vor allem klären, wie sich das Gesamttransportaufkommen auf die einzelnen, in *Kapitel 3.2* definierten Lagerbereiche aufteilt. Auf diese Weise wird die Belastung der einzelnen Streckenabschnitte ersichtlich. Sollte ein automatisches Transportsystem tatsächlich gebaut werden, so wären diese Daten für die Planung der Anlage von großer Bedeutung.

Um den Einfluss von Produktionsschwankungen zu minimieren, wurde als Messzeitraum ein volles Jahr gewählt.

Um herauszufinden, wie oft die Strecke zwischen Lager und Presswerk zurücklegen muss, sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

1. Transportmenge

Jährlich produziert das Presswerk der *Magna Heavy Stamping* über zehn Millionen Karosserieblechteile. Davon entfallen etwa vier Millionen Teile auf die beiden Pressenlinien und der Rest auf die Transferpresse. Um herauszufinden, wie sich diese Menge auf die einzelnen Produkte aufteilt, wurde eine Liste mit allen Bauteilen und ihren Stückzahlen erstellt. Die folgende *Tabelle 3.2* stellt einen Auszug aus dieser Liste dar.

Linie	Bezeichnung	Nummer	Stückzahl
BMW E83			
A	Türaussenhaut vorne li/re	3 330 893/894	126255
A	Türaussenhaut hinten li/re	3 330 959/960	126255
A	Dachaußenhaut	7 052 309	63128
A	Aussenhaut Frontklappe	3 400 349	63128
Chrysler WJ			
A	Pnl Frt Fender LH/RH	551 36 584/5	22084
A	Pnl roof w/lug wo/sunr	551 36 918	13250

Tabelle 3.2: Stückzahlen

2. Packdichte

Wie bereits in *Kapitel 3.1* beschrieben, variiert die Packdichte je nach Gebinde ziemlich stark. Aus diesem Grund wurde analog zur Transportmengen- eine Gebindeliste erstellt, welche alle nötigen Eckdaten enthält. *Tabelle 3.3* ist ein Auszug aus dieser Liste:

Bauteil	Nummer	l [m]	b [m]	h [m]	Gewicht [kg]	Packdichte [Stück]
Porsche Cayenne						
Kotflügel vorne li 7L5	7L5 821 105	2,20	1,20	1,48	315	10
Kotflügel vorne re 7L5	7L5 821 106	2,20	1,20	1,48	315	10
Dach 7L5	7L5 817 111 C	2,40	1,50	1,00	660	13
Seitenteil außen li 7L5	7L5 809 605	3,40	1,20	1,86	585	9
Seitenteil außen re 7L5	7L5 809 606	3,40	1,20	1,86	585	9
Mercedes						
Radeinbau hinten innen LI	203 637 0175	1,60	1,20	1,10	630	132
Radeinbau hinten innen RE	203 637 0275	1,60	1,20	1,10	630	66
BMW X3						
LI Seitenrahmen aus.	7 052 211	3,40	1,20	1,80	498	6
RE Seitenrahmen aus.	7 052 212	3,40	1,20	1,80	498	6

Tabelle 3.3: Packdichte (Bauteile pro Gebinde)

3. Transporteinheiten

Hier wurde die Annahme getroffen, dass prinzipiell nur eine Transporteinheit (bzw. Gebinde) gleichzeitig aufgenommen werden kann. Diese Einschränkung ist erforderlich, um eine allgemein gültige Vergleichsbasis schaffen zu können (sowohl zwischen den einzelnen Gebindetypen, als auch zwischen unterschiedlichen Transportsystemen, wie Gabelstapler, oder Elektrohängebahn).

Hat man diese drei Faktoren bestimmt, so kann die Anzahl der Fahrten pro Bauteil mit folgender *Formel 3.1* bestimmt werden:

$$\text{AnzahlFahrten} = \frac{\text{Transportmenge}}{\text{Packdichte} \cdot \text{Transporteinheiten}}$$

Formel 3.1: Anzahl der Fahrten

Durch Aufsummieren der einzelnen Fahrten pro Bauteil erhält man schließlich die Anzahl an Fahrten für die einzelnen Lagerbereiche, beziehungsweise für das gesamte Lager.

3.3.1 VON-NACH-Matrix

Analog zu Kapitel 3.2.3. lassen sich auch die Ergebnisse aus dem vorhergehenden Kapitel zu einer übersichtlichen Matrix zusammenfassen, wie in *Tabelle 3.4* dargestellt:

NACH \ VON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	LINIE A	LINIE B
1		0	0	0	0	0	0	0	0	42085	0
2	0		0	0	0	0	0	0	0	8130	13470
3	0	0		0	0	0	0	0	0	31173	14313
4	0	0	0		0	0	0	0	0	7938	0
5	0	0	0	0		0	0	0	0	37864	3060
6	0	0	0	0	0		0	0	0	8417	0
7	0	0	0	0	0	0		0	0	2325	1004
8	0	0	0	0	0	0	0		0	10590	5850
9	0	0	0	0	0	0	0	0		10590	24602
LINIE A	42085	8130	31173	7938	37864	8417	2325	10590	10590		0
LINIE B	0	13470	14313	0	3060	0	1004	5850	24602	0	

Tabelle 3.4: Von-Nach-Matrix (alle Werte in "Fahrten pro Jahr")

Um die einzelnen Werte besser mit einander vergleichen zu können, wurde eine weitere Matrix (*Tabelle 3.5*) erstellt, in der die einzelnen Transportströme in Prozent des Gesamttransportaufkommens zwischen Lager und Presswerk dargestellt

wurden. Diese „prozentuelle“ Von-Nach-Matrix wird vor allem im *Kapitel 0* bei der Erstellung der Materialflussgrafiken eine wichtige Rolle spielen.

NACH VON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	LINIE A	LINIE B
1		0	0	0	0	0	0	0	0	19,0	0,0
2	0		0	0	0	0	0	0	0	3,7	6,1
3	0	0		0	0	0	0	0	0	14,1	6,5
4	0	0	0		0	0	0	0	0	3,6	0,0
5	0	0	0	0		0	0	0	0	17,1	1,4
6	0	0	0	0	0		0	0	0	3,8	0,0
7	0	0	0	0	0	0		0	0	1,0	0,5
8	0	0	0	0	0	0	0		0	4,8	2,6
9	0	0	0	0	0	0	0	0		4,8	11,1
LINIE A	19,0	3,7	14,1	3,6	17,1	3,8	1,0	4,8	4,8		0
LINIE B	0,0	6,1	6,5	0,0	1,4	0,0	0,5	2,6	11,1	0	
Alle Werte in: [Prozent des Gesamttransportaufkommens Lager - Presswerk]											

Tabelle 3.5: Prozentuelle Von-Nach-Matrix

Weitere Vorgehensweise:

Laut [Koether, Technische Logistik, 2001] errechnet sich die benötigte Kapazität für die Transporte zwischen zwei Abteilungen i und j aus der Multiplikation von Entfernung und zu transportierender Menge zwischen diesen Abteilungen.

In diesem Fall müssten somit die Matrix-Elemente der Wegmatrix (siehe *Tabelle 3.1*) und der Von-Nach-Matrix (*Tabelle 3.4*) mit einander multipliziert werden. Daraus entstünde die Transport-Matrix, aus der man die benötigte Transport-kapazität für alle Weg-Mengen-Kombinationen direkt ablesen und in weiterer Folge die benötigte Fahrzeuganzahl berechnen könnte.

Leider ist das Verfahren nach [Koether] an diesem Punkt der Untersuchung nicht anwendbar, weshalb hier auf die Erstellung einer Transport-Matrix verzichtet wird. Grund hierfür ist ein weiterer wichtiger Faktor, der bislang noch nicht berücksichtigt wurde: Die Gebindetaktzeit (siehe *Kapitel 3.4*). Es handelt sich dabei um jene Zeitspanne, innerhalb der ein Gebinde an der Pressenlinie gefüllt ist und gegen ein

Leergebinde ausgetauscht werden muss. Die Gebindetaktzeit - und somit auch die benötigte Transportkapazität - ist für jedes Bauteil unterschiedlich, weshalb eine Transportmatrix auf Basis der Lagerbereiche (welche jeweils eine Vielzahl unterschiedlicher Bauteile beinhalten) nicht zweckmäßig ist¹⁷.

Sehr wohl jedoch dienen die Entfernungen der Wegmatrix als Basis für die Fahrzeugberechnungen in den *Kapiteln* 3.7 und 5.2. Die Erkenntnisse, welche aus der Von-Nach-Matrix gewonnen werden konnten, sind im folgenden *Kapitel* 3.3.2 dargestellt.

3.3.2 Materialflussgrafiken

Um einen besseren Überblick über die gewonnenen Daten zu erhalten, ist es sinnvoll, diese in grafischer Form darzustellen. Dabei werden in das bereits aus *Kapitel* 3.2.1 bekannte Layout Materialflusslinien eingezeichnet, welche die Quellen und Senken miteinander verbinden. Ihr Verlauf wird dabei an die bereits bekannten Fahrwege angepasst.

Die Breite der einzelnen Materialflusslinien ist abhängig von dem Transportaufkommen, das sie repräsentieren, sodass einfach zu erkennen ist, welche Transportstrecken am stärksten frequentiert werden. Die Ergebnisse sind in den *Abbildungen* *Abbildung* 3.9 (Linie A) und *Abbildung* 3.10 (Linie B) zu sehen.

Zusätzlich wurde *Abbildung* 3.11 erstellt, welche die Aufteilung des Gesamttransportaufkommens auf die Hauptfahrwege in Form einer Farbskala übersichtlich darstellt.

¹⁷ Das Verfahren kommt jedoch in Kapitel Untersuchung des automatischen Fördersystems 5.2 zum Einsatz, wo es auf die jeweiligen Gebindetaktzeiten der einzelnen Bauteile bezogen wird.

Analyse des IST- Zustandes

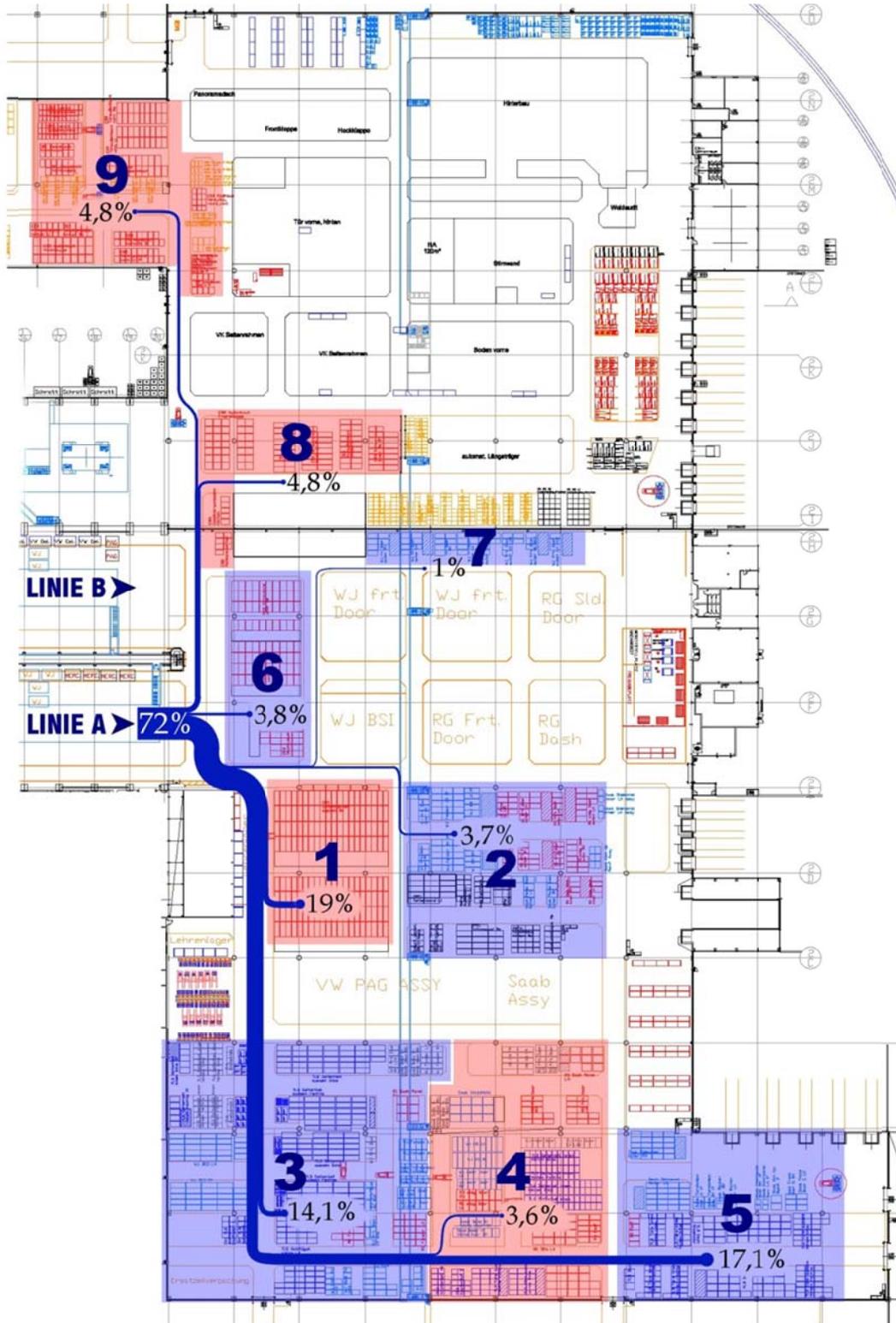


Abbildung 3.9: Materialfluss zwischen Linie A und Lager

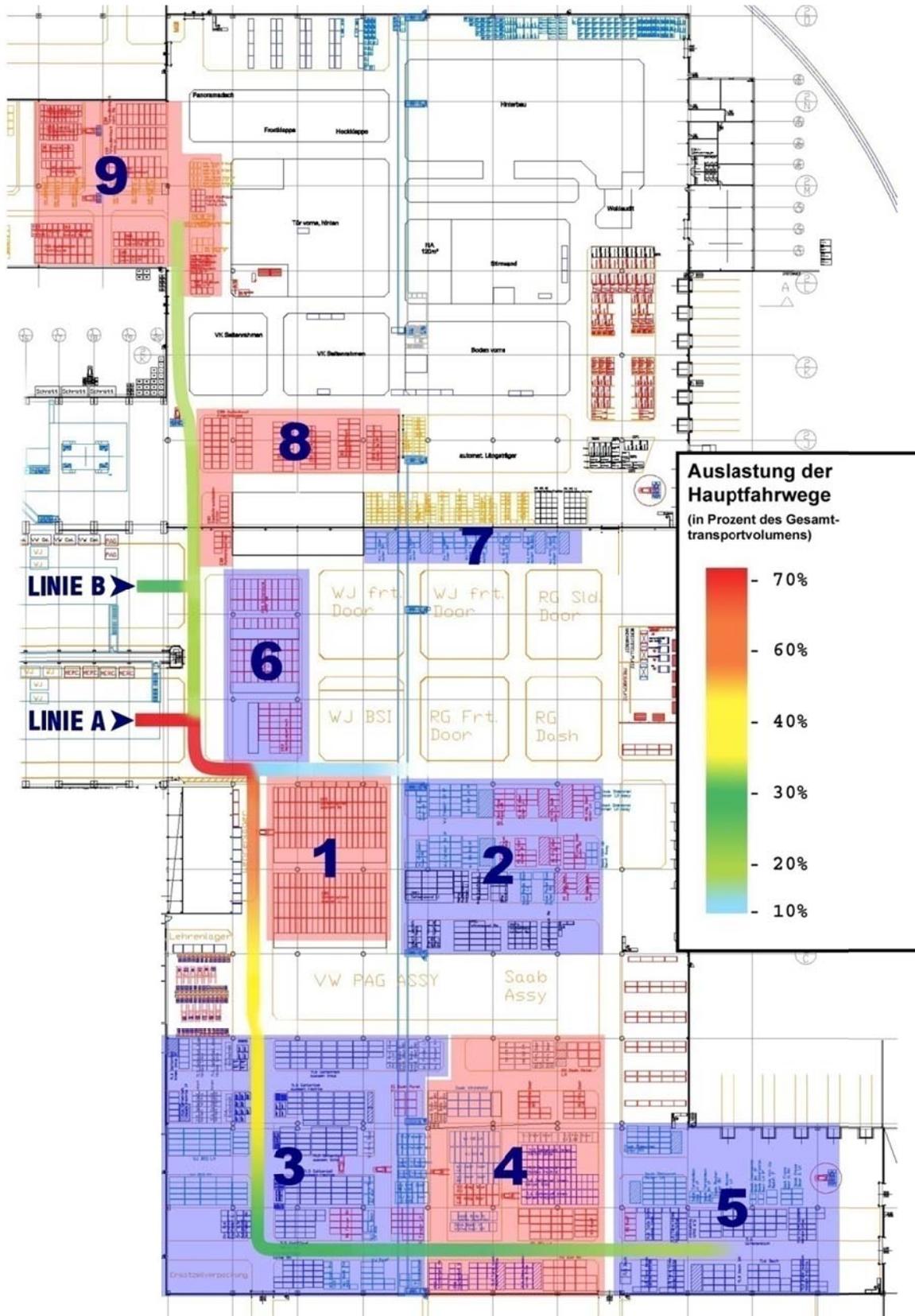


Abbildung 3.11: Auslastung der Hauptfahrwege

Interpretation:

Vergleicht man die *Abbildungen 3.9* und *3.10*, so fällt sofort auf, dass das Transportaufkommen für die beiden Pressenlinien sehr unterschiedlich ausfällt.

Der Grund für diesen Unterschied ist jedoch nicht - wie man auf den ersten Blick annehmen könnte - in unterschiedlichen Produktionsleistungen der beiden Pressenstraßen zu finden, sondern vielmehr in den differenzierten Produktpaletten. Auf Linie B werden nur Bauteile produziert, welche eine einfache Geometrie aufweisen und folglich maximal fünf Umformoperationen benötigen.

In der Regel sind geometrisch einfache Bauteile auch leichter stapelbar, wodurch sich die Gebindepackdichte erhöht und die Anzahl der Fahrten verringert. Somit ist das Transportaufkommen trotz annähernd gleicher Produktionsleistung bei Linie B wesentlich geringer als bei Linie A.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die ungleichmäßige Verteilung des Transportaufkommens auf die einzelnen Lagerbereiche. Aus rein technischer Sicht sind dadurch zwar keine Probleme zu erwarten, doch bei wirtschaftlicher Betrachtungsweise stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, Lagerbereiche mit sehr geringem Transportaufkommen bei der Automatisierung überhaupt zu berücksichtigen.

3.4 WANN? → die Gebindetaktzeit

Wie bei allen Produktionsbetrieben ist die Gebindetaktzeit eine gegebene Größe, welche von der Arbeitsgeschwindigkeit der verwendeten Produktionsmaschinen und dem Fassungsvermögen der Gebinde bestimmt wird. Periphere Bereiche, wie beispielsweise die Logistik, müssen sich an diese Geschwindigkeit anpassen und sicherstellen, dass es zu keinen Verzögerungen kommt.

Im Presswerk der *Magna Heavy Stamping* wird die Gebindetaktzeit von folgenden Faktoren bestimmt:

1) Hubzahl

Sie gibt an, wie oft sich das Werkzeug einer Presse innerhalb eines bestimmten Zeitraumes auf und ab bewegt (im Prinzip handelt es sich dabei

um den Kehrwert der Pressentaktzeit) und somit auch, wie viele Bauteile in diesem Zeitraum produziert werden. Die Einheit ist Hübe pro Minute.

2) Packdichte

Wie bereits in *Kapitel 3.1* beschrieben, können sich die Packdichten der einzelnen Gebindetypen stark voneinander unterscheiden. Folglich variiert auch die Zeit, die für die Befüllung eines Gebindes benötigt wird.

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren berechnet sich die Gebindetaktzeit nach *Formel 3.2*:

$$t = \frac{\text{Packdichte}}{\text{Hubzahl}} \left[\frac{\text{Stück} \cdot \text{Minute}}{\text{Stück}} \right]$$

Formel 3.2: Gebindetaktzeit

Auch diese Ergebnisse wurden in einer zentralen Liste zusammengefasst.

Ein Ausschnitt daraus ist die folgende *Tabelle 3.6*:

Linie	Bezeichnung	Nummer	Hubzahl [1/min]	Packdichte [Stk./Gebinde]	Taktzeit [min]	Gebindetaktzeit [sec]
	BMW E83					
A	Dachaußenhaut	7 052 309	6	8,00	1,3	80
A	Aussenhaut Frontklappe	3 400 349	7	16,00	2,3	133,3
A	Dachaußenhaut SHD	7 052 310	6	15,00	2,5	150
A	Seitenrahmen außen re	7 052 212	5,5	6,00	1,1	65,5
A	Seitenwand vorn li/re	3 400 545/546	5,5	12,00	2,2	65,5
	Chrysler RG					
A	Pnl Roof Outer SWB	048 60 969	8	13,00	1,6	97,3
B	Pnl BSA RR SWB RT/LT	048 60 818/819	5,5	15,00	2,7	81,8
B	Pnl Front Fender RT/LT	048 60 880/881	8	20,00	2,5	75

Tabelle 3.6: Gebindetaktzeiten

Die kürzeste im Zuge dieser Untersuchung gemessene Gebindetaktzeit betrug 52 Sekunden.

3.4.1 Doppelfallende Bauteile

Bei den bisherigen Untersuchungen wurde angenommen, dass pro Pressenhub jeweils ein Bauteil gefertigt wird. Wie jedoch bereits in *Kapitel 1.2.3.1* beschrieben, gibt es auch die Möglichkeit, zwei (allerdings kleinere) Bauteile gleichzeitig zu fertigen. In diesem Fall spricht man von doppelfallenden Bauteilen. Beispiele hierfür sind die Türen oder der Kotflügel, wo jeweils das linke und das rechte Exemplar gleichzeitig abgepresst werden.

Für die Transportberechnungen stellen diese Bauteile einen Sonderfall dar, da es nicht möglich ist, die Taktzeit auf Grund doppelter Stückzahl einfach zu halbieren. Tatsächlich kann man gar nicht von einer Stückzahlverdoppelung sprechen, da beide Bauteile eine zum jeweils anderen Bauteil spiegelsymmetrische Geometrie besitzen und daher unterschiedliche Gebinde benötigen.

Im weiteren Verlauf der Berechnung werden daher beide Seiten eines doppelfallenden Bauteils getrennt voneinander betrachtet, jedoch weiterhin unter der Annahme, dass sie beide gleichzeitig auf einer Pressenlinie gefertigt werden.

3.4.2 Losgröße

Als Losgröße bezeichnet man die Anzahl identischer Bauteile, welche ohne Unterbrechung durchgehend hergestellt werden. In einem Presswerk wird dieser Wert von folgenden Überlegungen bestimmen:

- Je kleiner die Losgröße ist, desto öfter wird das zu fertigende Bauteil gewechselt. Damit verbunden sind höhere Stillstandszeiten, da die Pressen jedes Mal entsprechend umgerüstet werden müssen (Werkzeugwechsel, Feederwechsel, Bestückung mit Platinen).
- Je höher die Losgröße ist, desto seltener kommt es zu einem Produktionswechsel und desto mehr Zeit vergeht zwischen den einzelnen Abpressungen eines Bauteils. Dadurch wird mehr Lagerfläche benötigt und die Lagerkosten steigen.
- Zusätzlich ist die Losgröße von der benötigten Stückzahl eines Bauteils abhängig. Die folgende *Tabelle 3.7* zeigt diesen Zusammenhang exemplarisch:

Projekt	Bezeichnung	Stück/Jahr	Losgröße
Opel	Seitenwand LI	8735	600
SAAB	Windshildframe	22480	800
Chrysler RG	Pnl Front Fender RT/LT	34934	1000
BMW X3	Türaussenhaut vorne li/re	126255	2400
BMW X3	Seitenwand vorn li/re	126255	1800

Tabelle 3.7: verschiedene Losgrößen

Eine Untersuchung aller auf den beiden Pressenstraßen produzierten Bauteile ergab, dass die Losgröße zwischen 600 und 2400 Stück schwankt. Berücksichtigt man zusätzlich die Packdichte, so kann man ermitteln, wie viele Gebinde pro Los transportiert werden müssen. *Tabelle 3.8* zeigt einen Ausschnitt aus der entsprechenden Liste:

Bezeichnung	Gebinde / Los
Seitenwand LI	47
Windshildframe	50
Pnl Front Fender RT/LT	50
Türaussenhaut vorne li/re	64
Seitenwand vorn li/re	150

Tabelle 3.8: Gebindeanzahl pro Los

Auswirkung auf die Automatisierung

Im Zuge dieser Arbeit kam von Seiten der Anlagenbauer die Frage auf, ob es möglich sei, im Presswerk einen Gebindepuffer einzurichten. Die Untersuchung der Losgrößen zeigte, dass dies nicht möglich ist, da, wie bereits in *Abbildung 3.8* zu erkennen war, nicht genügend Platz für einen derart großen Puffer vorhanden ist. Daher muss ein automatisches Transportsystem so ausgelegt werden, dass es selbst bei der minimalen Taktzeit von 52 Sekunden kein Puffersystem benötigt.

3.5 Weitere Randbedingungen (Prämissen)

Zusätzlich zu den in den *Kapiteln 3.1 bis 3.4* definierten allgemeinen Randbedingungen müssen noch weitere, firmenspezifische Bedingungen erfüllt werden:

1) Veränderungen am Gebäude

Sowohl der gesamte Hallenbereich, als auch das Bürogebäude sind Eigentum von *MID (Magna International Development bzw. Magna Liegenschaftsverwaltung)* und wurden an die *Magna Heavy Stamping* lediglich vermietet¹⁸.

Größere Veränderungen am Gebäude (wie beispielsweise Hallenerweiterungen, Verstärkung der Hallendecke, oder Unterkellerung bestehender Fläche) müssen daher von *MID* genehmigt werden. Dabei handelt es sich lediglich um eine Formalität, die hier jedoch nicht unerwähnt bleiben soll.

2) Tragfähigkeit der Hallendecke

Bei schienengebundenen Überflurfördermethoden, wie beispielsweise der Elektrohängebahn, ist es üblich die Förderstrecke am Hallendach zu befestigen. Dadurch entfällt der Bau kostspieliger und platzraubender Stützsysteme.

Das Hallendach der *Magna Heavy Stamping* ist jedoch nicht für derartige Traglasten ausgelegt.

3) Freihalten der Fahrwege

Da die Automatisierung nur das Transportaufkommen zwischen Lager und Presswerk betrifft, werden auch weiterhin Gabelstapler im Werk tätig sein. Deshalb dürfen die Fahrwege nicht durch stationäre Fördereinrichtungen (beispielsweise die Schienen einer Elektrotragebahn) blockiert werden.

Automatische Fahrzeugsysteme können die Fahrwege mitbenutzen.

¹⁸ Es handelt sich hierbei um eine konzernweit einheitliche Regelung. Beispielsweise sind auch sämtliche Gebäude der *Magna Steyr Fahrzeugtechnik* in Graz Eigentum von *MID*.

4) Fahrwegbreite

Die vorhandene Fahrwegbreite von vier Metern sollte nach Möglichkeit beibehalten, beziehungsweise verringert werden. Eine Fahrwegverbreiterung hätte eine Reduktion der nutzbaren Fläche zur Folge und sollte unbedingt vermieden werden.

5) Hallenboden

Wie im Hallenbau üblich, besteht der Boden aus Beton, in den zur Bewährung ca. 10 cm lange Stahlflocken untergemischt wurden. Magnetische Systeme, wie beispielsweise die bei fahrerlosen Transportsystemen eingesetzten Wegfindungssysteme, können von diesen Flocken beeinflusst werden, weshalb deren Vorhandensein im Falle einer Umsetzung berücksichtigt werden muss.

6) Dauerbetrieb

Im Presswerk herrscht für gewöhnlich Dreischichtbetrieb. Automatische Systeme, welche ihre Energie aus Batterien beziehen (wie beispielsweise fahrerlose Transportsysteme) haben somit nicht die Möglichkeit, die dritte Schicht zum Aufladen zu nutzen.

7) Ergonomie

Die Beladung der Gebinde an den beiden Pressenlinien wird weiterhin von Hand durchgeführt. Zwar wäre eine Automatisierung dieses Vorgangs prinzipiell möglich, jedoch ginge dadurch die von den Mitarbeitern gleichzeitig durchgeführte Qualitätskontrolle verloren.

Bei Beladung von Hand ist zu beachten, dass die Gebinde bislang am Boden standen. Sollte dies bei einem automatischen System nicht mehr der Fall sein, so sind die Arbeitsplätze im Sinne der Ergonomie entsprechen an die neue Arbeitshöhe anzupassen.

8) Arbeitssicherheit

Durch die Integration einer automatischen Anlage in ein bestehendes manuelles System kommt es zwangsläufig zum Kontakt zwischen Mensch und Maschine. Eine völlige Abschottung der Anlage ist nicht möglich.

Aus diesem Grund müssen alle Bereiche, die für die Mitarbeiter zugänglich sind, mit entsprechender Sicherheitstechnik ausgestattet werden. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Übergabestationen im Presswerk zu legen.

9) Flexibilität und Erweiterbarkeit

Die Automobilindustrie ist ein schnelllebiger Wirtschaftszweig. Produktzyklen von nur wenigen Jahren sorgen vor allem bei Zulieferbetrieben, welche eine Vielzahl unterschiedlicher Projekte gleichzeitig betreuen, für eine ständige Veränderung der Produktionslandschaft.

Flexibilität und Erweiterbarkeit sind daher zwei äußerst wichtige Kriterien.

3.6 WIE? → FÖRDERMETHODE

Die erste grundsätzliche Entscheidung betrifft die Wahl des Förderverfahrens.

3.6.1 stetiges Förderverfahren

„Es wird für Schütt- und Stückguttransport, aber auch für die Beförderung von Personen eingesetzt. Stetigförderer bewegen Gut und Personen mit konstanter Geschwindigkeit über meist größere Entfernungen. Schüttgut wird von der Aufgabe- zur Abgabestelle, Stückgut von der Belade- zur Entladestelle befördert, Personen vom Einstieg zum Ausstieg. Der Zeitanteil für Anfahren und Stillsetzen der Anlage ist vernachlässigbar klein gegenüber der Bewegung mit konstanter Fördergeschwindigkeit. Daraus folgt, dass Stetigförderer vorzugsweise eingesetzt werden, wenn gleichbleibendes Transportgut über längere Zeit gefördert werden muss. Der Fördervorgang kann in einem ununterbrochenen Massen- oder Volumenstrom, wie zum Beispiel auf Förderbändern oder Förderschnecken erfolgen.“



Abbildung 3.12: Schrottförderband bei MHS

[Oser, 2000, Kap. 2, S. 11]

Abbildung 3.12 zeigt den Einsatz eines Förderbandes für die Schrottsorgung im Presswerk.

3.6.2 unstetiges Förderverfahren

„Hierbei wird das Fördergut in einzelnen aufeinander folgenden Arbeitsspielen von der Aufgabe- zur Abgabestelle gefördert. Fördermittel hierfür sind Krane, Hebezeuge, Flurförderer, Aufzüge, Seilbahnen und so weiter.“

Zwischen den einzelnen Bewegungsvorgängen liegen Pausen vor. Diese Stillstandszeiten beeinflussen die Dauer eines Arbeitsspieles erheblich und liegen in der selben Größenordnung wie die eigentliche Arbeitsbewegung.“ [Oser, 2000, S. 2.13]

3.6.3 Auswahl

Bislang wurden bei *Magna Heavy Stamping* für den Transport zwischen Presswerk und Lager Gabelstapler eingesetzt, welche zu den un stetigen Förderern zählen (siehe *Abbildung 1.7, S.- 11 -*).

Betrachtet man nun die Gegebenheiten im Werk, so erkennt man schnell, dass ein Wechsel auf ein stetiges Fördersystem wenig sinnvoll ist. Vor allem die in *Kapitel 3.5* definierten Randbedingungen 2, 3 und 9 zeigen, dass die Montage stationärer Fördereinrichtungen über die gesamte Transportlänge (wie beispielsweise bei einem Förderband) prinzipiell unmöglich ist. Somit ist die logische Wahl der Einsatz eines un stetigen Förderverfahrens.

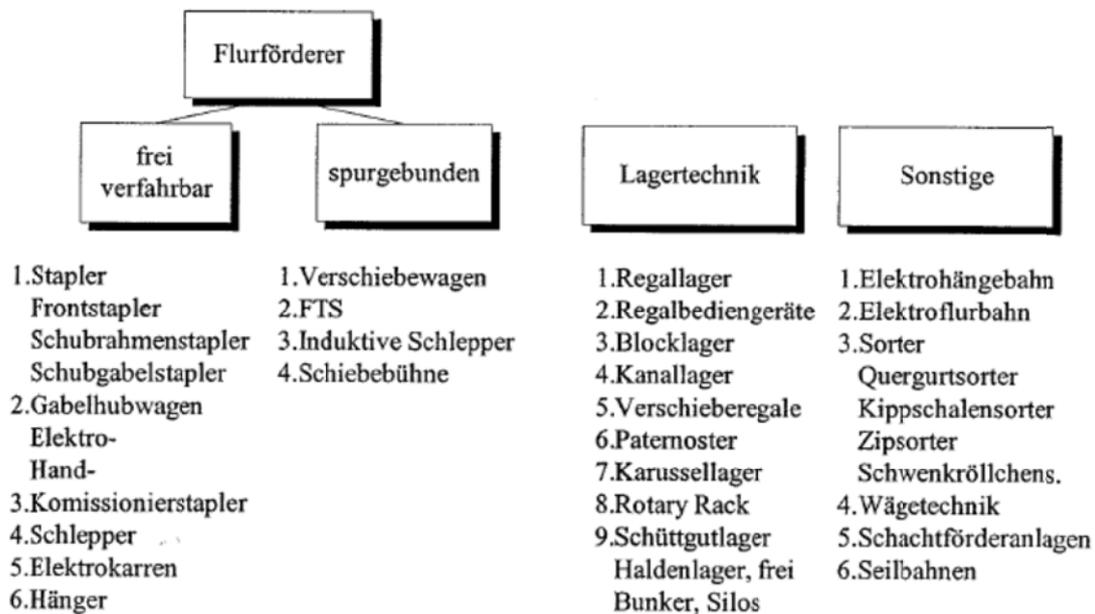


Abbildung 3.13: Einteilung der Flurförderer [Oser, 2000, Kap. 2, S. 15]

Arten unstetiger Förderverfahren

Hat man sich erst einmal für diesen Zweig der Fördertechnik entschieden, so gilt es, ein geeignetes System auszuwählen. Wie *Abbildung 3.13* zeigt, ist die Auswahl vielfältig. In Abstimmung mit den Mitarbeitern der Magna Heavy Stamping wurden folgende Systeme für eine nähere Untersuchung ausgewählt:

- Fahrerloses Transportsystem (FTS)
- Elektrohängebahn (EHB)
- Elektrotragebahn (ETB)
- Gabelstapler mit automatischem Leitsystem

Eine genauere Beschreibung dieser Systeme ist nicht Bestandteil der Ist-Zustandsanalyse, weshalb an dieser Stelle darauf verzichtet werden soll. Es sei hier auf die *Kapitel 4* und *5* verwiesen, welche sich eingehend mit diesem Thema befassen.

3.7 WIEVIELE? → FAHRZEUGBERECHNUNG

Zum Abschluss der Ist- Zustandsanalyse soll nun untersucht werden, wie viele Fahrzeuge zur Bewältigung des gegebenen Transportaufkommens eingesetzt werden müssen. Wie sich bereits in den *Kapiteln 3.1 bis 3.4* gezeigt hat, ist dies eine Aufgabe, die auf Grund unterschiedlicher Ausgangsdaten (wie Transportweg, Hubzahl, Packdichte, etc.) für jedes Bauteil einzeln durchgeführt werden muss.

Da jedoch für die Auslegung einer Förderanlage nur jene Bauteile mit dem höchsten Transportaufkommen von Interesse sind, wurde beschlossen, auf die Untersuchung der gesamten, 80 Bauteile umfassenden, Produktpalette der *Magna Heavy Stamping* zu verzichten.

Stattdessen wurden nur jene Bauteile ausgewählt, welche zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

- Packdichte kleiner als 20 Teile pro Gebinde
- Taktzeit kleiner als 1,5 Minuten

Dadurch konnte die Anzahl der zu untersuchenden Bauteile auf 28 reduziert werden.

3.7.1 Untersuchung Gabelstapler

Für die Untersuchung der Gabelstapler wurde die "methodes-time measurement"-Methode (kurz: MTM-Methode) angewandt. Worum es sich dabei handelt, erklärt folgender Abschnitt:

Die **Arbeitsablauf-Zeitanalyse (AAZ;** engl. methodes-time measurement, daher abgekürzt auch **MTM**) ist eine Methode zur Analyse von Arbeitsabläufen. Sie gehört zu den "Systemen vorbestimmter Zeiten".

Ursprünglich befasste sich der Amerikaner Frank Bunker Gilbreth um 1910 mit dem Thema des menschlichen Bewegungsablaufes. Dies führte dann später zu MTM und wurde um 1950 in Schweden und 1957 mit der Gründung der Schweizerischen MTM Vereinigung in der Schweiz erstmals in der Industrie systematisch eingesetzt. Einige Jahre später wurde die Deutsche MTM Vereinigung gegründet.

Die MTM-Methode wird - hauptsächlich im industriellen Umfeld - zur Planung manueller Arbeitsabläufe eingesetzt. Besonders für die Massenfertigung ist es wichtig, schon während der Planungsphase zu ermitteln, wie lange ein Mensch für bestimmte Tätigkeiten benötigt.

Dazu werden sämtliche vom Menschen ausgeführten Bewegungen auf bestimmte Grundbewegungen zurückgeführt, für die die benötigte Zeit bekannt ist. Die kleinsten Bewegungseinheiten sind dabei in der Methode **MTM-1** erfasst, die den Arbeitsablauf in Abschnitte wie "Hinlangen", "Greifen", "Bringen", "Loslassen", "Gehen" etc. aufteilt. Zu diesen Grundbewegungen sind in Tabellen empirisch ermittelte Zeiten hinterlegt, meist noch in Abhängigkeit weiterer Parameter, wie der mit der Bewegung zurückgelegten Entfernung.

Die bei MTM-Analysen verwendete Zeiteinheit ist TMU. 1 TMU entspricht 0,036 Sekunden, ist also eine hunderttausendstel Stunde. [Wikipedia, 2005]

MTM ist eine bei *Magna Heavy Stamping* etablierte Methode, welche zur Analyse sämtlicher manueller Arbeitsabläufe verwendet wird. Haupteinsatzgebiet sind dabei taktzeitgebundene Arbeitsplätze, wie beispielsweise Einlege- oder Entnahmestationen im Robbau und im Presswerk.

Durch einen Vergleich der Anlagentaktzeit mit der Summe der vom Mitarbeiter auszuführenden Grundbewegungen, ist es beispielsweise möglich, die Auslastung des Mitarbeiters zu bestimmen und so dessen Arbeitsabläufe gegebenenfalls zu optimieren.

Auch beim Betrieb von Gabelstaplern handelt es sich prinzipiell um eine manuelle Tätigkeit, welche mit Hilfe der MTM-Methode analysiert werden kann. Die folgende *Tabelle 3.9* enthält eine Auflistung der für Gabelstapler ermittelten Grundbewegungen und Zeiten:

	Wege:	mit Last [sec]	ohne Last [sec]	Erklärung
A	50 Meter	21	17,4	mit Beschleunigung/Verzögern
B	10 Meter	6,6	5,88	mit Beschleunigung/Verzögern
C	1 Meter	0,36	0,288	bei voller Fahrgeschwindigkeit
D	Kurvenzuschlag	3,9	2,16	pro Kurve

	Tätigkeiten:	TMU	sec	Erklärung
E	Heben	85 TMU	3,06	pro Meter
F	Aufnehmen	145 TMU	5,22	Gebinde steht am Boden, keine Hubhöhe
G	Abstellen	145 TMU	5,22	Gebinde steht am Boden, keine Hubhöhe
H	Positionieren	167 TMU	6,01	Genaueres Plazieren des Gebindes

	Sonstiges:	TMU	sec	Erklärung
I	Start/Stop	42 TMU	1,51	extra losfahren
J	Gebinde umdrehen	454 TMU	16,34	Gebinde abstellen und von der anderen Seite wieder aufnehmen (komplett)
K	Austauschen	1080 TMU	38,88	Volles gegen leeres Gebinde austauschen (z.B. im Presswerk)
L	Batteriewechsel	24126 TMU	868,54	

Tabelle 3.9: MTM- Grundbewegungen

Mit Hilfe dieser Werte kann nun die durchschnittliche Taktzeit eines Gabelstaplers für jedes Bauteil ermittelt werden. *Tabelle 3.10* zeigt exemplarisch die Vorgehensweise an Hand der BMW X3 Dachaußenhaut:

Analyse des IST- Zustandes

Projekt	Linie	Bauteil	Bezeichnung	Lagerbereich	Länge Fahrweg
BMW X3	A	7 052 309	Dachaußenhaut	9	134 m

Presswerk → Lager		Lager → Presswerk	
Zeit [sec.]	Tätigkeit	Zeit [sec.]	Tätigkeit
5,22	F	5,88	B (Fahrt zum Leergebinde / 10m Durchschnitt)
6,6	B (10m)	10,71	E (mittlere Höhe/ 3,5m)
44,64	C (124m)	5,22	F
7,8	D (2 Kurven)	10,71	E (mittlere Höhe/ 3,5m)
10,71	E (mittlere Höhe/ 3,5m)	6,6	B (10m)
6,01	H	44,64	C (124m)
10,71	E (senken der Gabel)	7,8	D (2 Kurven)
		5,22	G
91,7	Summe	96,2	Summe
Gesamttaktzeit: 188,5 Sekunden			

Tabelle 3.10: Berechnung der Taktzeit für einen Gabelstapler

Nun, da die Taktzeit eines einzelnen Gabelstaplers bekannt ist, kann die Anzahl der benötigten Fahrzeuge mit Hilfe der in *Kapitel 3.4.* bestimmten Zeitwerte für Gebinde ermittelt werden.

Linie	Bauteil	DF	Gebindetaktzeit [min]	[sec/TE]	Gabelstapler-Taktzeit [s]	Anzahl Fahrzeuge	
						Exakt	Gerundet
BMW E83							
A	7 052 309		1,33	80,00	188,5	2,36	3
A	3 400 349		2,29	133,33	195,0	1,46	2
A	7 052 212		1,09	65,45	153,7	2,35	3
A	3 400 545	DF	2,18	130,8	122,2	0,93	1
	3 400 546		2,18	130,8	122,2	0,93	1
Chrysler RG							
A	048 60 969		1,63	97,30	288,8	2,97	3
B	048 60 818	DF	0,68	163,60	298,3	1,82	2
	048 60 819		0,68	163,60	298,3	1,82	2
Chrysler WJ							
A	551 36 584	DF	1,74	102,86	237,0	2,3	3
	551 36 585		1,74	102,86	237,0	2,3	3

Tabelle 3.11: Anzahl benötigter Gabelstapler

Tabelle 3.11 zeigt einen Ausschnitt aus der Untersuchung, welche für alle 28 - entsprechend der in *Kapitel 3.7* definierten Bedingungen - kritischen Bauteile durchgeführt wurde. **TE** steht hierbei für ‚Transporteinheit‘ und entspricht einem einzelnen Gebinde. Bei den mit **DF** gekennzeichneten Bauteilen handelt es sich um doppelfallende Produkte, wie sie in *Kapitel 3.4.1* beschrieben wurden. Die Anzahl der Fahrzeuge für das jeweils linke und rechte Bauteil müssen hier noch addiert werden, um die Gesamtfahrzeuganzahl pro Linie zu erhalten. *Tabelle 3.12* zeigt einen Ausschnitt aus der entsprechenden Auflistung:

Linie	Bauteil	Anzahl Fahrzeuge
A	3 400 545/6	2
B	048 60 818/9	4
B	048 60 880/1	4
A	551 36 584/5	6

Tabelle 3.12: Anzahl benötigter Gabelstapler bei doppelfallenden Bauteilen

Für die Ermittlung der obigen Werte wurden folgende Annahmen getroffen:

- Als Messzeitraum wurde ein Gebinde- / bzw. Gabelstaplertakt gewählt.
Grund dafür ist das Fehlen eines Puffers (bzw. Zwischenlagers) an den Übergabestationen, weshalb ein Gebinde sofort ausgetauscht werden muss, sobald es voll ist. Ein längerer Messzeitraum (beispielsweise eine ganze Stunde) würde zu Rundungsfehlern führen.
- Jeweils eine Transporteinheit pro Gabelstapler

Um nun zu ermitteln, wie viele Gabelstapler man insgesamt auf der Strecke zwischen Presswerk und Lager benötigt, müssen beide Pressenlinien gleichzeitig betrachtet werden. Dabei ist jedoch folgendes zu beachten:

Die Zuteilung der Bauteile zu jeweils einer der beiden Pressenlinien ist - auch wenn das bislang stillschweigend vorausgesetzt wurde - nicht unveränderlich. Bis auf die Anzahl der Pressen (Linie A besitzt 6, Linie B 5) sind beide Linien völlig identisch, weshalb es prinzipiell möglich ist, alle Bauteile, welche nicht mehr als fünf Umformoperationen benötigen, auf beiden Pressenlinien herzustellen.

Nicht möglich ist es jedoch, ein bestimmtes Bauteil *gleichzeitig* auf Linie A und B herzustellen, da man zu diesem Zweck auch zwei Werkzeugsätze benötigen würde (angesichts einer Investitionssumme von bis zu 5,5 Millionen Euro pro Satz eine mehr als unrealistische Vorstellung). Die gleichzeitige Betrachtung beider Pressenlinien erfolgt auf übersichtliche Weise in Form einer weiteren Tabelle.

LINIE A		LINIE B	
Teil	Stapler	Teil	Stapler
551 36 584/5	6	048 60 818/819	4
7L5 821 105/106	5	048 60 880/881	4
048 60 818/819	4	551 36 946	3
048 60 880/881	4	551 36 947	3
SA12830093	4	SA12830098	3
SA12830092	4	SA12830099	3

Tabelle 3.13: Extremwerte

Wie in *Tabelle 3.13* zu sehen ist, handelt es sich bei den transportintensivsten Kombinationen ausschließlich um doppelfallende Bauteile (erkennbar an den durch einen Schrägstrich getrennten Nummernpaaren).

Fazit: Insgesamt werden maximal **10 Gabelstapler** benötigt.

Anmerkung: Die hier ermittelte theoretische Fahrzeuganzahl erwies sich in der Praxis als durchaus treffsicher. Die Abweichung betrug lediglich plus/minus ein Fahrzeug, was sich auf geringfügige (und zum, Teil analytisch nicht erfassbare) Änderungen im Arbeitsablauf zurückführen ließ.

4 VERSCHIEDENE AUTOMATISIERUNGSSYSTEME

„Fahrzeugsysteme werden bei nicht stetigen, außer- und innerbetrieblichen und unregelmäßig anfallenden Transport- und Hubaufgaben von Stückgut eingesetzt. Gabelhubwagen bewerkstelligen den Palettentransport zwischen den Arbeitsplätzen, Schlepper ziehen mit Paketen beladene Anhänger im Bahn- und Postbereich, Elektrokarren verbinden Fertigungsabteilungen mit Zwischenlagern, Gabelstapler manipulieren Behälter oder Paletten in Regale. Überall dort ist der Einsatz von Flurförderern gegeben, wo sich die Förderwege laufend ändern, kleine oder mittlere Entfernungen zu überwinden sind, Trag- und Zuglasten bis 20t und mehr bewegt werden müssen und besonders, wo Ladeeinheiten (Paletten, Behälter) zu transportieren und zu manipulieren sind.“ [Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 1]

Die Vorteile frei verfahrbarer Flurförderer sind nach [Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 2] freizügiger Einsatz in allen Betriebsbereichen

- weder ortsfest, noch an Schienen gebunden
- große Beweglichkeit und Wendigkeit (Drehen auf der Stelle)
- vielseitige Verwendbarkeit des gleichen Gerätes
- Fahren in schmalen Gängen und kleinen Kurven
- keine Störung durch festverlegte Gleise (verminderte Unfallgefahr)
- verhältnismäßig niedrige Betriebskosten bei großen Hubhöhen, Tragfähigkeiten und Zugfähigkeiten
- bei Verwendung von Ladeeinheiten Ersparnis an Umladevorgängen
- geringe Anlagekosten
- leichtes Anpassen an Betriebsumstellungen
- durch Stapler gute Ausnutzung hoher Räume
- durch zusätzliche Anbaugeräte (Stapler) ergeben sich fahrbare Arbeitsmaschinen

Ihre Nachteile sind:

- beschränkte Ladefähigkeit
- größerer Fahrwiderstand der Räder verglichen mit Schienenfahrzeugen
- ungeeignet zur stetigen Förderung

- Aufzüge mit hoher Tragfähigkeit und großen Abmessungen bei Stockwerksbauten erforderlich
- Einsatz ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und –belastbarkeit
- Jedes Fahrzeug muss eigens ausgebildetes Personal haben

4.1 FAHRERLOSES TRANSPORTSYSTEM (FTS)¹⁹

Fahrerlose Transportsysteme bestehen, wie alle Flurfördersysteme für Stückgutförderung, aus zwei Systemkomponenten:

- Fahrzeug
- Strecke

Gegenüber anderen automatischen Stückgutfördersystemen sind hier die meisten Funktionen im Fahrzeug integriert. Die Strecke dient nur noch zur Steuerung des Fahrzeugs auf der Fahrroute. Dazu wird meist ein elektrischer Leiter, der in den Boden eingelassen ist, verwendet. Dieser Leiter kann darüber hinaus Informationen zwischen Fahrzeug und zentralem Steuerungsrechner übermitteln.

Im Fahrzeug sind

- Antrieb
- Lenkung und
- Energieversorgung

Integriert. Dadurch ist ein sehr flexibler, weil dezentral organisierter Einsatz der FTS-Fahrzeuge möglich.

FTS bieten folgende Vorteile:

- Flexible Streckenführung
 - leichte Anpassung an vorhandenes Layout
 - leichte Änderung der Streckenführung
 - geringe Investitionen für Strecken
- Verzweigung und Zusammenführung ohne bewegliche Teile
- Eignung für netzartige Materialflüsse, z.B.
 - Verkettung in flexiblen Fertigungs- und Montagesystemen

¹⁹ Kapitel: [Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 17 ff]

- Verteilung von Materialien

Die Nachteile von FTS sind:

- aufwendige Vorbereitung des Bodens (Sauberkeit, Ebenheit)
- begrenzte Ladekapazität der Batterie
- relativ hohe Investitionskosten für Fahrzeuge
- hoher Wartungsaufwand für Fahrzeuge
- exakte Positionierung der Fahrzeuge nur durch mechanische Hilfe (z.B. Zentrierkegel)

FTS sind deshalb für folgende Transportprobleme besonders geeignet:

- relativ kleines Transportvolumen
- komplizierter, vernetzter Fahrkurs
- häufige Änderung des Fahrkurses
- Integration vieler Übergabepunkte

FTS sind die flexibelsten automatischen Fördersysteme und deshalb oft automatisierte Alternativen zu Staplern und Schleppzügen. Wegen der hohen Investitionskosten und den vielen Freiheitsgraden sind bei der Auslegung eines FTS-Systems die einzelnen Systemkomponenten genau aufeinander abzustimmen.

Strecken- und Fahrkurssteuerung

Der Begriff „Fahrerlose Transport- Systeme“ FTS wird vorwiegend für Fördersysteme ohne mechanische Spurführung verwendet.

Berührungslose Spurführungen sind:

- Induktive Systeme
 - aktiv: stromdurchflossener elektrischer Leiter
 - passiv: Metallband, in das vom FTS- Fahrzeug Spannung induziert wird
- optische Systeme
- freie Systeme
- Koppelnavigation (Verbindung aus inkrementellem Wegmesssystem und in den Boden eingelassenen Referenzmagneten)

Am weitesten verbreitet ist die aktiv induktive Fahrzeugführung. Sie ist eng an den Verlauf der Fahrdrähte gebunden. Kurven im Fahrkurs werden im Fahrdraht realisiert.

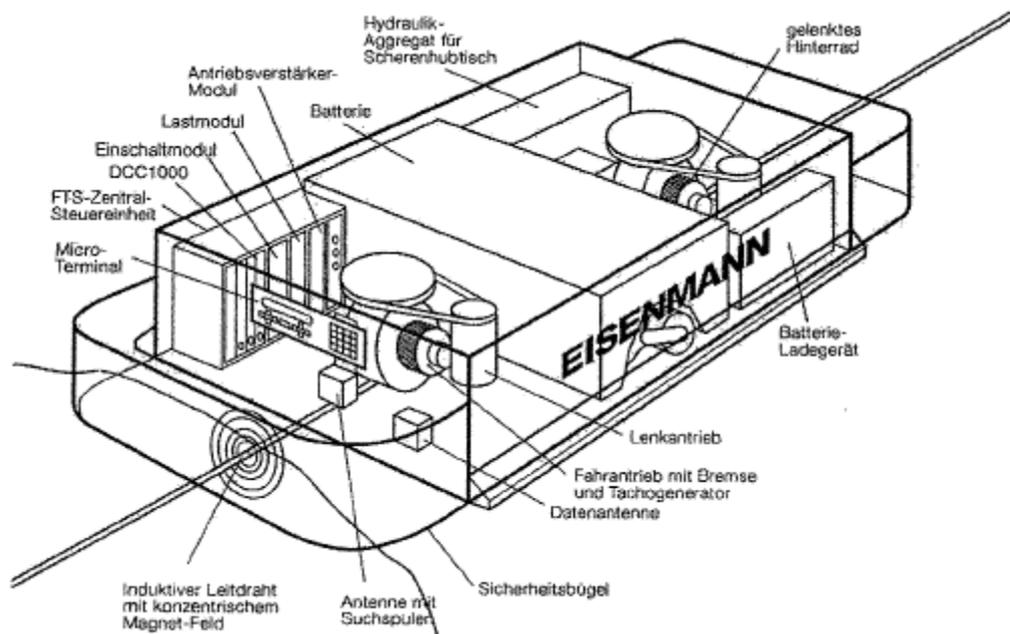


Abbildung 4.1: Induktive Spurführung und Fahrzeuglenkung in einem FTS- Fahrzeug [Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 19]

Die Streckenführung der FTS- Fahrzeuge erfolgen mittels magnetischer Induktion, wie in

Abbildung 4.1 dargestellt. Im Hallenboden werden elektrische Leiter verlegt, die von einem Wechselstrom durchflossen werden.

Ein mit Wechselstrom durchflossener Leiter umgibt sich mit einem pulsierenden Magnetfeld, dessen Stärke abnimmt, je weiter man vom Leiter entfernt ist (Induktion). Bringt man eine Spule in das Magnetfeld, so wird in ihr eine elektrische Spannung proportional zur Stärke des Magnetfeldes induziert.

Wie in *Abbildung 4.2* ersichtlich, werden im Fahrzeug typischerweise zwei Spulen rechts und links von der Induktionsspur eingesetzt. Der Unterschied der induzierten Spannung beider Spulen dient als Regelsignal für die Fahrzeuglenkung. Dieses Regelsystem hält das FTS-Fahrzeug über dem Induktionsdraht.

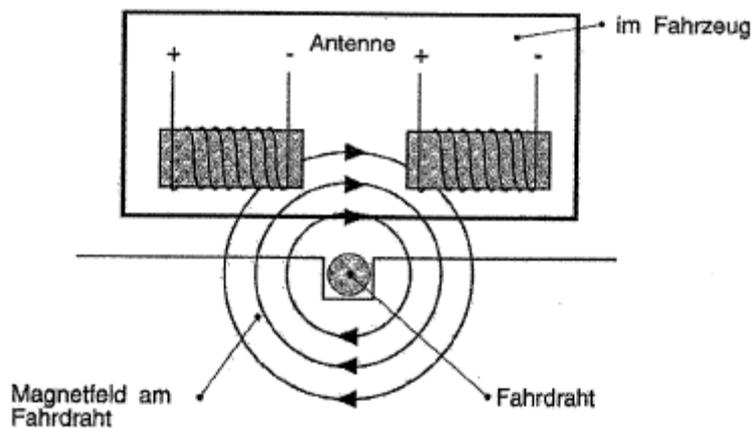


Abbildung 4.2: Prinzip der induktiven Spurführung
[Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 19]

Der Fahrdrabt ist in der Regel ein kunststoffisolierter ca. 1,5 mm² dicker elektrischer Leiter. Dieser wird in einer schmalen Nut, die durch eine Betonsäge mit Hartmetallblatt ausgefräst wurde, im Boden verlegt und mit Kunststoff vergossen.

Fahrzeug

Das technische Prinzip der berührungslosen Spurführung kann in unterschiedlichen Fahrzeugen realisiert werden:

- Schleppfahrzeug
- Fahrzeuge mit Tragfähigkeit, Lastübergabe durch
 - Gabel (Lastaufnahme vom Boden)
 - Rollenbahn, Tragbahn etc. (Lastaufnahme auf gleicher Höhe)
 - Hubtisch (Lastaufnahme durch Unterfahren)
- Hochregalstapler, Spurführung im Regalgang
- Sonderfahrzeuge, z.B.
 - mobile Roboter
 - Montageplattformen

Die Größe der Last und die Anzahl der gleichzeitig zu transportierenden Behälter oder Werkstücke bestimmt wesentlich die Größe des Fahrzeugs.

Manövrierbarkeit des FTS- Fahrzeugs

Das Lenksystem ist Teil des Systems zur Spurführung.

Je nach Einsatzzweck des Fahrzeugs sind eine oder mehrere Räder lenkbar. Dazu hat das Fahrzeug nicht lenkbare oder mitlaufende Räder (Teewagenrollen) zum Abstützen der Last. Die verschiedenen Varianten sind in *Abbildung 4.3* dargestellt.

- Nur Vorwärtsfahren: ein gelenktes Rad oder Achse.
- Vorwärts- und Rückwärtsfahren: zwei gelenkte Räder oder Differentiallenkung (Räder einer Achse werden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten angetrieben)
- Vorwärts-, Rückwärts- und Seitwärtsfahrt: vier gelenkte Räder

Der Antrieb wird meist über ein gefedertes Antriebssystem (definierte Anpresskraft) übertragen. Stützräder sind nicht angetrieben, sondern dienen nur zum Abstützen der Last. Das Antriebsrad kann auch eines der Lenkräder sein.

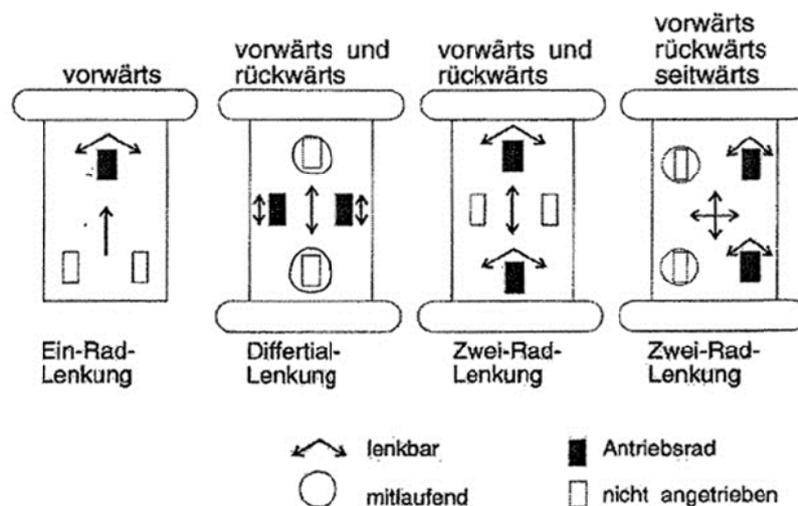


Abbildung 4.3: Lenkung von FTS-Fahrzeugen
[Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 19]

Energieversorgung

Nahezu ausschließlich werden aufladbare Batterien (Akkumulatoren) benutzt:

- Autobatterien
- Spezialbatterien
 - Panzer-Batterie (Bleiakku): geringer Wartungs- und Überwachungsaufwand
 - Nickel-Cadmium-Batterie (NiCd): schnelles Nachladen

Die Batterien können nach insgesamt drei Prinzipien nachgeladen werden:

- Batterietausch, Nachladen in einer speziellen Station
- Nachladen im Fahrzeug
 - während der Nachtschicht
 - während des laufenden Betriebes für kurze Auffrisch-Ladungen

Kommunikation zwischen Fahrzeug und Leitsystem

Zur Übermittlung von Steuerinformationen zwischen Carrier und zentraler Transportsteuerung sind in der Praxis unterschiedliche Übertragungssysteme im Einsatz:

- Induktivsysteme: oft über zweiten Draht längs des Fahrdrahtes oder über feste Übertragungsorte
- Funksysteme: laufende Übertragung möglich, Initiative liegt beim Leitsystem oder Carrier
- Infrarotsysteme: stationäre Übertragungseinrichtungen (siehe *Abbildung 4.4*)

Induktive Systeme sind bei induktiver Spurführung am einfachsten zu realisieren und sind deshalb für FTS-Anlagen am weitesten verbreitet.

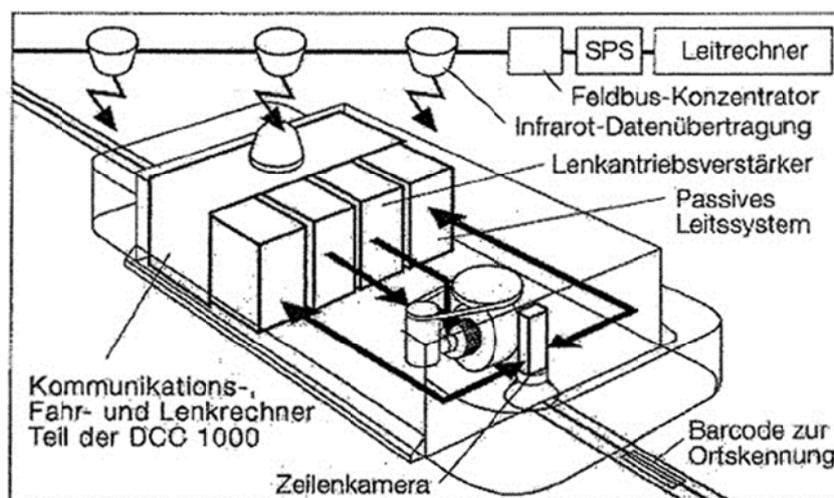


Abbildung 4.4: FTS-Fahrzeug mit optischem, passiven Leitsystem und Infrarot-Datenübertragung [Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 21]

4.2 Elektrohängebahn (EHB)

Elektrohängebahnen haben sich als rationelle, flurfreie Fördersysteme bestens in der Industrie bewährt. In anderweitig nicht nutzbaren Hallenebenen angebracht (z.B. unter der Decke), ermöglichen sie ein geräuscharmes und effizientes Transportieren, Sortieren, Speichern, Puffern und Bereitstellen von Gütern und Waren - und das auch über Steigungen und Gefällstrecken. Zudem lassen sich die EHB-Fahrzeuge auf Wunsch exakt positionieren.

Die Bodenflächen bleiben bei dieser Art der Fördertechnik frei und stehen damit komplett als Produktions- und Arbeitsflächen zur Verfügung. Für die reibungslose Anbindung an Fertigungsanlagen und Montagelinien sorgen z.B. Hub-Senkstationen oder Bauteileheber.

Derartige Vorrichtungen können, wie in

Abbildung 4.5 dargestellt, direkt in die EHB-Fahrzeuge integriert werden und sorgen so für ein Maximum an Flexibilität (im Rahmen der EHB-Streckenführung).



Abbildung 4.5: EHB mit integrierter Hubvorrichtung

Eckdaten laut [AFT- Group, 2004]:

- Geschwindigkeit bis 120 m/min
- Hohe Tragfähigkeit bis 5000 kg
- Steigungen und Gefälle bis 60° ohne Schleppeinrichtung
- Hohe Verfügbarkeit
- Optimaler wirtschaftlicher Materialfluss
- Kompatibel mit allen Fördersystemen, Lager-, Fertigungs- und Montageeinrichtungen

4.3 Elektrotragebahn (ETB)

Die Elektrotragbahn ist im Grunde genommen eine am Boden platzierte, umgedrehte Elektrohängebahn. Sie findet Einsatz bei eingeschränkten Platzverhältnissen (sowohl in der Höhe wie auch in der Breite) und eignet sich insbesondere für den Transport von kleinen bis mittleren kompakten Bauteilen. *Abbildung 4.6* zeigt den Einsatz einer ETB in einem Motorenwerk.



Abbildung 4.6: ETB in einem Motorenwerk
[AFT- Group, 2004]

Eckdaten laut [AFT- Group, 2004]:

- Nutzlast bis 500 kg
- Fahrgeschwindigkeit bis 120 m/min
- Steigung/ Gefälle max. 3° (5%)
- Hohe Verfügbarkeit durch bewährte Systemkomponenten
- Flexibel und anpassungsfähig
- Kompatibel mit allen Fördersystemen, Lager- Fertigungs- und Montageeinrichtungen

4.4 Staplerleitsystem (SLS)

Im Gegensatz zu allen bisherigen in Kapitel 4 besprochenen Varianten handelt es sich beim Gabelstapler an sich nicht um ein automatisches Transportsystem. Das Fahrzeug wird manuell von einem Fahrer gelenkt, welcher im Rahmen seiner Vorgaben eigenverantwortlich entscheiden kann, wie er Aufträge bearbeitet, bzw. falls mehrere Aufträge zur Auswahl stehen, welchen er priorisiert.

Mit steigender Komplexität von Logistiksystemen wird es somit für die einzelnen Fahrer immer schwieriger, den Überblick zu behalten, die für das Gesamtsystem

bestmöglichen Entscheidungen zu treffen und einen möglichst effizienten Ablauf zu gewährleisten.

Ein Staplerleitsystem greift in diese Problematik ein, indem es sämtliche Transportaufträge zentral verwaltet und an die einzelnen Gabelstapler bestmöglich verteilt. Jedes Fahrzeug besitzt ein, wie in

Abbildung 4.7 beispielhaft dargestelltes, Terminal, welches die vom SLS disponierten Aufträge anzeigt und dem Fahrer die Möglichkeit zur Statusrückmeldung gibt.



Abbildung 4.7: SLS-Terminal
[Prologistik, 2009]

Durch ein SLS ergeben sich folgende Vorteile:

- Wegoptimierung: Aufträge werden immer an den nächstgelegenen freien Stapler vergeben.
- Auslastungsoptimierung: Freie Stapler erhalten ohne Verzögerung neue Aufträge. Leerläufe können dadurch minimiert werden.
- Optimierung der Verfügbarkeit: Durch eine Koppelung mit den Produktionsanlagen kann der Fahrzeugbedarf automatisch angepasst werden.
- Optimierung des Warenumschlags in Verbindung mit der Lagerplatzverwaltung.
- Erhöhung der Transparenz: Sämtliche Gabelstapleraktivitäten sind auf einen Blick ersichtlich; Auslastungen werden erfasst und können statistisch ausgewertet werden.

5 Systemauswahl

In *Kapitel 4* wurden die Funktionsweisen, sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen automatisierten Fahrzeugsysteme detailliert beschrieben. Dabei handelte es sich jedoch um größtenteils allgemeine Beschreibungen, welche sich nicht vollständig auf die bei der *Magna Heavy Stamping* vorherrschenden Gegebenheiten anwenden lassen.

In diesem Kapitel wird daher auf die Vorteile und Probleme, welche sich beim Einsatz der unterschiedlichen Automatisierungsvarianten in diesem speziellen Fall ergeben können, näher eingegangen.

5.1 Vergleich im Detail

5.1.1 Elektrotragebahn (ETB)

Der größte Nachteil der Elektrotragebahn ist die Tatsache, dass sie ein stationäres Schienensystem benötigt, welches normalerweise am Hallenboden verlegt wird und damit die vorhandenen Fahrwege blockiert.

Wie jedoch bereits in *Kapitel 3.5* erwähnt, kommen sowohl im Rohbau, als auch in Teilen des Presswerks weiterhin Gabelstapler zum Einsatz, sodass diese Wege frei gehalten werden müssen.

Eine mögliche Lösung wäre, die Schienen nicht am Boden, sondern über Kopf auf einem Gerüst aus Stahlträgern zu verlegen, wodurch sich folgende Vor- und Nachteile ergeben würden:

Vorteile:

- Der automatische Gebindetransport zwischen Presswerk und Lager wäre vollständig vom restlichen Gabelstapler- und Personenverkehr getrennt
- Der Hallenraum oberhalb der Fahrwege würde erstmals genutzt werden
- Erhöhte Sicherheit im Werk

Nachteile:

- Die Tragfähigkeit der Hallendecke ist zu gering, weshalb die ETB nicht an dieser aufgehängt werden kann. Daher wäre eine wesentlich teurere Stützkonstruktion erforderlich.
- Um die Höhendifferenz zwischen Hallenboden und Transportebene zu überwinden, müssten Rampen, bzw. Hebevorrichtungen vorgesehen werden. Rampen benötigen - trotz ihrer mittlerweile beachtlichen Steigung von bis zu 60° (ohne Schleppeinrichtung) - vor allem im Pressenbereich zu viel Platz, sodass nur die teureren Hubvorrichtungen in Frage kommen.
- Die Flexibilität ist bei der ETB auf Grund der hohen Streckenkosten stark eingeschränkt.
- Im Bereich der seitlichen Entnahme an den beiden Pressenlinien behindert die ETB den Hallenkran.

5.1.2 Elektrohängebahn (EHB)

Grundsätzlich treten bei der Elektrohängebahn die selben Vor- und Nachteile auf, wie bei der „Überkopf-Variante“ der Elektrotragebahn. Unterschiede ergeben sich jedoch in folgenden Punkten:

- Bei der EHB kann die Hubvorrichtung bereits in das Fahrzeug integriert werden. Dadurch ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:
 - + keine stationären Hubvorrichtungen notwendig
 - + höhere Flexibilität als bei der ETB, da das Gebinde unterhalb der Fahrstrecke jederzeit abgesetzt werden kann (Sicherung der entsprechenden Stelle vorausgesetzt)
 - höhere Fahrzeugkosten
- Gebinde zum Transport von Karosserieblechteilen werden grundsätzlich für die Aufnahme per Gabelstapler konzipiert. Für die Aufnahme „von oben“, wie es bei der EHB der Fall ist, sind keine Vorrichtungen vorhanden. Um solche Gebinde dennoch aufnehmen zu können, gibt es zwei Möglichkeiten:

- 1) Umbau der Gebinde: Diese Variante ist nicht nur aus Kosten- sondern auch aus rechtlichen Gründen nicht durchführbar, da es sich bei einem Großteil der Gebinde um Kundeneigentum handelt, welches von Seiten der *Magna Heavy Stamping* nicht ohne weiteres verändert werden darf.
- 2) Adapter: Ebenso wie bei den anderen Automatisierungsvarianten könnte auch hier eine universelle Adapterplatte zum Einsatz kommen, welche für alle Gebindearten geeignet ist. Zusätzlich müsste diese jedoch noch über Träger verfügen, welche die Platte mit dem Hubwerk der Hängebahn verbinden und so eine Art „Käfig“ bilden, in den das Gebinde per Gabelstapler hineingestellt werden kann.

5.1.3 Staplerleitsystem (SLS)

Der große Vorteil des Staplerleitsystems ist, wie bereits in *Kapitel 4.4* beschrieben, dessen im Vergleich zu allen anderen Systemen absolut höchste Flexibilität. Ein Vorteil, der jedoch gerade im Presswerk nicht genutzt werden kann, da dort über mehrere Stunden hinweg ein und dasselbe Bauteil produziert wird und sich somit die Fahrroute nicht ändert. Auch die Auslastungssituation und die benötigte Verfügbarkeit sind für jedes Bauteil bekannt und über den gesamten Produktionszeitraum konstant.

Die Investition in ein Staplerleitsystem wäre daher im Bereich Presswerk - Lager wenig sinnvoll.

5.1.4 Fahrerloses Transportsystem (FTS)

Auch das fahrerlose Transportsystem ist mit seiner, im Vergleich zu allen anderen vollautomatischen Systemen hohen Flexibilität, im Vorteil. Da beinahe alle wichtigen Funktionen in die Fahrzeuge selbst integriert sind, ist es vergleichsweise einfach, den Streckenverlauf innerhalb kurzer Zeit zu erweitern, bzw. zu verändern.

Betrachtet man die in *Kapitel 3.5* festgehaltenen Rahmenbedingungen, ergeben sich **weitere Vorteile:**

- Hallenkran: Da der Transport am Boden stattfindet, kommt es zu keiner Behinderung des Hallenkranes. Die FTF müssen jedoch in der Lage sein, rückwärts zu fahren, da im Fall der seitlichen Entnahme (siehe *Kapitel 3.2.2*) nicht genügend Platz zum Reversieren vorhanden ist.
- Minimale stationäre Einrichtungen: Im Vergleich zu EHB und ETB sind nur wenige stationäre Einrichtungen, wie beispielsweise Übergabevorrichtungen, Batterieladestationen und Wartungsbereiche erforderlich. Energieversorgungs- und Leitsysteme werden in den Hallenboden eingearbeitet, weshalb sie für den restlichen Betrieb kein Hindernis darstellen. Stattet man die Fahrzeuge zusätzlich mit Hubgabeln aus, so kann auf die stationären Übergabevorrichtungen verzichtet werden.
- Einfache Gebindehandhabung: Wie bereits in *Kapitel 3.1* beschrieben wurde, sind alle Gebinde für den Transport mit Gabelstaplern ausgelegt. Ein FTF mit Hubgabeln und entsprechender Sensorik kann diese Aufgabe problemlos übernehmen. Systeme, bei denen die Gebinde huckepack transportiert werden, sind zusätzlich auf eine Adapterplatte angewiesen, welche zwischen dem Hubtisch und dem Gebinde platziert wird. Nur so kann gewährleistet werden, dass alle momentan verwendeten und auch zukünftigen Gebindebauarten transportiert werden können (siehe dazu *Abbildung 3.4*).

Folgende Nachteile sind zu erwarten:

- Fahrzeugkosten: Da beinahe alle Funktionen in die Fahrzeuge integriert sind, steigen die Anschaffungskosten für selbige stark an.
- Verkehr: Zwar ist es prinzipiell möglich, Gabelstapler und FTF das selbe Streckennetz nutzen zu lassen, jedoch erhöht sich dabei die Gefahr von Unfällen und gegenseitiger Behinderung. Hersteller von automatischen Flurfördersystemen raten daher von einer Mischung beider Systeme ab.

5.1.5 Fazit

Die *Kapitel 5.1.1* bis *5.1.4* haben gezeigt, dass jede der vorgestellten Automatisierungsvarianten sowohl Vor- als auch Nachteile besitzt. Diese können nun mit Hilfe der Nutzwertanalyse nach [Pahl, 2007, S. 175] in übersichtlicher Form dargestellt und bewertet werden. Die Werteskala nach Richtlinie VDI 2225 ist in *Tabelle 5.1* dargestellt:

0	1	2	3	4
unbefriedigend	gerade noch tragbar	ausreichend	gut	sehr gut (ideal)

Tabelle 5.1: Werteskala nach VDI 2225 [Pahl, 2007, S. 172]

Die Bewertung erfolgt dabei größtenteils subjektiv, da die meisten Kriterien nicht in Zahlen gefasst werden können. Dabei sind die Übergänge fließend: Ob beispielsweise ein Ergebnis gerade noch *gut* ist, oder doch eher *ausreichend*, lässt sich nicht mit Bestimmtheit festlegen. Somit entspricht das Ergebnis der Nutzwertanalyse allgemein eher einem Trend, als einem mathematisch exakten Wert.

Betrachtet man nun die *Tabelle 5.2* auf der folgenden Seite, so sieht man, dass die Ergebnisse der einzelnen Automatisierungsvarianten mit Ausnahme der bodengebundenen ETB relativ nahe beieinander liegen. Der Sieg des FTS nach Punkten ist somit nur bedingt aussagekräftig. Was jedoch für dieses System spricht (im Gegensatz zu allen anderen), sind seine konstant guten bis sehr guten Eigenschaften in allen Bereichen.

Das SLS ist nicht in der Lage die Erwartungen gemäß *Kapitel 2* zu erfüllen, kann jedoch als Referenz bei den Flexibilitätskriterien gesehen werden. Umgekehrt erweisen sich letztere als Stolperstein für die EHB und die Überkopfvariante der ETB auf Grund der kostspieligen und aufwändigen Streckenführung (siehe *Kapitel 5.1.1 – Nachteile*). Die bodengebundene ETB wiederum kann weder mit dem vorhandenen Gabelstaplerverkehr kombiniert, noch während laufendem Betrieb installiert werden. Somit fällt die Wahl letztendlich auf das fahrerlose Transportsystem (FTS).

		ETB		EHB	SLS	FTS
		am Boden	über Kopf	mit Hub		
Kompatibilität mit²⁰	Gabelstapler	0	4	4	4	2
	Hallenkran	4	1	1	4	4
	Fußgängern	1	4	4	2	3
Zwischensumme		5	9	9	10	7
<i>Erwartete Vorteile gegenüber IST-Zustand entsprechend Kapitel 2 Zielsetzung:</i>						
1. Steigerung des Transportvolumens		3	3	3	0	2
2. Erhöhung der Sicherheit im Werk		4	4	4	0	3
3. Senkung Betriebskosten		2	2	2	0	3
4. Qualitätsverbesserung im Prozessablauf		3	3	3	1	3
5. Flächenausnutzung		0	4	4	0	1
Zwischensumme		17	25	25	11	19
<i>Flexibilitätskriterien:</i>						
Kompatibilität mit Gebinden²¹		2	2	2	4	4
Einfache Erweiterbarkeit der Strecke		1	0	0	4	3
Installation während laufendem Betrieb²²		0	1	1	4	3
Streckenkosten		1	0	0	4	3
Summe		21	28	28	27	32

Tabelle 5.2 Nutzwertanalyse

²⁰ Im Sinn von gemeinsamer Raumnutzung ohne gegenseitige Behinderung

²¹ Die Fähigkeit jedes bestehende und zukünftige Gebinde transportieren zu können, so lange es maximale Abmessungen und Gewicht nicht überschreitet.

²² Unter der Annahme, dass ein Großteil der Installationsarbeiten parallel zum laufenden Betrieb durchgeführt werden kann und nur die finale Anbindung an die bestehenden Systeme (z.B. Übergabestationen) einen Produktionsstillstand erfordern (eventuell durchführbar während Betriebsferien)

5.2 Untersuchung des automatischen Fördersystems

Nachdem in *Kapitel 3.7.1* berechnet wurde, wie viele Gabelstapler für den Gebindetransport zwischen Presswerk und Lager eingesetzt werden müssen, stellt sich nun die Frage, wie viele Fahrzeuge- bzw. Fördermittel- wohl ein fahrerloses Transportsystem für die selbe Aufgabe benötigen würde²³.

Zwar wird diese Frage in *Kapitel 6* von den Anbietern derartiger Systeme im Rahmen der Angebotslegung beantwortet, jedoch wird dabei nur die fertige Lösung präsentiert, ohne auf die dazugehörige Berechnung näher einzugehen. Um die Angebote von Fremdherstellern bewerten zu können, ist ein eigenes Berechnungsmodell daher zwingend erforderlich.

Auf die in *Kapitel 3.7.1* verwendete MTM-Analyse kann hierbei jedoch nicht zurückgegriffen werden, da für automatische Fahrzeuge keine MTM-Werte vorhanden sind.

Aus diesem Grund kommt hier nun ein allgemein gültiges, mathematisches Modell zur Auslegung von Fahrzeugsystemen zum Einsatz, welches für jede Art von unstetigem Fördermittel angewendet werden kann.

Theorie:

„Die benötigte Kapazität für die Transporte zwischen zwei Abteilungen i und j errechnet sich aus der Multiplikation von Entfernung und zu transportierender Menge zwischen diesen Abteilungen.

*Bei der Darstellung im Matrix-Schema müssen die Matrix-Elemente der Materialfluss- und Entfernungs- Matrix multipliziert werden. Daraus entsteht die Transport-Matrix $[TE^*m]$. Zur Berechnung der gesamten Transportkapazität werden die Zeilen- oder Spaltensummen der Transportmatrix summiert.“ [Oser, 2000, Logistik, Kap. 4, S. 5]*

Anwendung:

Auf Grund der großen Bauteilvielfalt, wird an dieser Stelle auf die Matrix- Darstellung verzichtet und ein einzelnes Bauteil ausgewählt, für welches die gewünschte Berechnung repräsentativ durchgeführt werden soll:

²³ Hierbei wird nur die in *Kapitel 6* beschriebene „Teilautomatisierte Lösung“ untersucht, bei der das fahrerlose Transportsystem die Gebinde bis zu einer Übergabevorrichtung im Lager transportiert, der Vorgang des Ein- und Auslagerns jedoch weiterhin von Gabelstaplern durchgeführt wird.

GM SAAB					
Linie	Nummer	Bezeichnung	Transporteinheiten pro Stunde	Weglänge	Bereich
A	SA12830093	Side Panel outer RH	44	222	5

Will man nun die erforderliche Transportkapazität berechnen, so ist zu berücksichtigen, dass der Wert *Transporteinheiten* auf einen Zeitraum von einer Stunde bezogen ist. Somit lautet die Gleichung in veränderter Form:

$$\text{erforderliche Transportkapazität} \left[\frac{TE}{h} \cdot m \right] = \frac{\text{Transporteinheiten}}{\text{Stunde}} \cdot \text{Weglänge}$$

hier :

$$\text{erforderliche Transportkapazität}_{SAAB} = 44 \cdot 222 = 9768 \left[\frac{TE}{h} \cdot m \right]$$

Formel 5.1: erforderliche Transportkapazität

Nun stellt sich die Frage, wie viel Zeit ein einzelnes Fahrzeug benötigen würde, um diese Transportkapazität zu bewältigen. Dabei ist es sinnvoll, zuerst den *Netto Zeitbedarf*- also den idealisierten Zeitbedarf- wie in *Formel 5.2* zu ermitteln:

$$\text{Netto Zeitbedarf} = \frac{\text{erforderliche Transportkapazität} \left[\frac{TE}{h} \cdot m \right]}{\text{Geschwindigkeit} [m/s] \cdot \text{Anzahl TE pro Fahrzeug} [TE / Fz]}$$

Formel 5.2: Netto Zeitbedarf

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Fördergeschwindigkeit beträgt durchschnittlich 0.75 m/s (entspricht der üblichen Geschwindigkeit fahrerloser Transportfahrzeuge)
- Pro Fördermittel kann jeweils eine Transporteinheit geladen werden.

Somit ergibt sich *Formel 5.3*:

$$\text{Netto Zeitbedarf} = \frac{9768 \left[\frac{TE}{h} \cdot m \right]}{0,75 [m/s] \cdot 1 [TE / Fz]} = 13024 \left[\frac{Fz \cdot s}{h} \right]$$

Formel 5.3: Netto Zeitbedarf in Zahlen

Zu diesem idealisierten Wert sind nun alle weiteren Zeiten entsprechend *Formel 5.4* hinzuzufügen:

$$\text{Brutto Zeitbedarf} = \text{NettoZeitbedarf} + \text{Be \& Entladezeit} + \text{Wartezeiten} + \text{ZeitfürLeerfahrten}$$

Formel 5.4: Brutto Zeitbedarf

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Zeit für Be- und Entladung beträgt 120 Sekunden
- Auf Grund des Pendelverkehrs ist der Zeitbedarf für Leerfahrten identisch dem Netto Zeitbedarf.
- Zusätzlich wurde ein Behinderungsfaktor von 25% festgelegt, in dem alle Steh- und Wartezeiten zusammengefasst sind.

Somit ergibt sich *Formel 5.5*:

$$\text{Brutto Zeitbedarf} = (\text{NettoZeitbedarf} \cdot 2 + \text{Be \& Entladezeit}) \cdot \text{Behinderungsfaktor}$$

hier :

$$\text{Brutto Zeitbedarf} = (13024 \cdot 2 + 120) \cdot 1,25 = 32710 \left[\frac{s \cdot Fz}{h} \right]$$

Formel 5.5: Brutto Zeitbedarf in Zahlen

Die Anzahl der benötigten Fahrzeuge erhält man nun, indem man den *Brutto Zeitbedarf* mit der vorhandenen Betriebszeit entsprechend *Formel 5.6* vergleicht:

$$\text{Anzahl Fördermittel} = \frac{\text{Brutto Zeitbedarf}}{\text{Betriebszeit des Fördermittel}}$$

Formel 5.6: Anzahl der benötigten Fördermittel

Als Betriebszeit wurden 3240 Sekunden pro Stunde angenommen, was einer Verfügbarkeit von 90% entspricht. Somit ergibt sich *Formel 5.7*:

$$\text{Anzahl Fördermittel} = \frac{32710}{3240} \left[\frac{\frac{s \cdot Fz}{h}}{\frac{s}{h}} \right] = 10,09 \text{ Fz}$$

Formel 5.7: Anzahl Fördermittel in Zahlen

Da für den Betrieb nur „ganze“ Fahrzeuge in Frage kommen, erhält man somit einen Wert von **11 Einheiten**, um das gegebene Transportaufkommen im angegebenen Zeitraum zu bewältigen.

Interpretation des Ergebnisses:

Die gezeigte Rechenmethode ist sehr stark von den getroffenen Annahmen abhängig, weshalb diese mit besonderer Sorgfalt gewählt werden sollten. Im Rahmen dieses Projektes wurden daher alle Annahmen in Absprache mit dem Institut für Fördertechnik, beziehungsweise mit Vertretern von FTS-Herstellern getroffen.

Ein Vergleich mit der Firma *TMS*, welche im Rahmen der Angebotslegung die selbe Aufgabe mit firmeninternen Berechnungsmethoden durchführte und dabei zu einem Ergebnis von zehn Fahrzeugen²⁴ kam, zeigt, dass die vorherigen Annahmen sinnvoll gewählt wurden.

Der Fahrzeugbedarf für andere Bauteile ist auszugsweise in *Tabelle 5.3* dargestellt.

Linie	Bauteil	Fahrzeuganzahl FTS
BMW E83		
A	7 052 309	6
A	3 400 349	2
A	7 052 310	2
A	7 052 211	4
A	7 052 212	4
A	3 400 545/546	2
GM SAAB		
A	SA12831534	6
A	SA12830093	11
A	SA12830092	11
B	SA12830098	10
B	SA12830099	10
VW / Porsche		
A	7L6 809 605	4
A	7L6 809 606	4
A	7L5 821 105/106	8
A	7L5 817 111c	10
A	7L5 817 111 H	10
A	7L5 817 111 E	10

Tabelle 5.3: Anzahl benötigter Fahrzeuge für diverse Bauteile

²⁴ Für Linie A

6 Beschreibung verschiedener FTS-Angebote

Nachdem in *Kapitel 5* gezeigt wurde, dass als Ersatz für den manuellen Staplerverkehr nur ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) in Frage kommt, wird nun auf dieses näher eingegangen.

Dabei ist vor allem die Frage zu klären, wie eine FTS-Anlage unter Berücksichtigung der in *Kapitel 3.5* angegebenen Randbedingungen im Detail aussehen könnte. Zu diesem Zweck wurden diverse Hersteller von FTS-Anlagen kontaktiert und gebeten, in Zusammenarbeit mit der *Magna Heavy Stamping* geeignete Konzepte auszuarbeiten.

Folgende Firmen wurden im Laufe dieser Untersuchung kontaktiert:

1) **EISENMANN Fördertechnik GmbH & Co.KG**

Der Eisenmann-Konzern beschäftigt weltweit in etwa 2800 Mitarbeiter. Die Produktpalette umfasst Anlagen für die Oberflächentechnik, Materialfluss-Automation, Umwelttechnik, Brennlagen für Keramik und Spezialanlagen für Beschichtung, Recycling, thermische Behandlung und Energierückgewinnung. Die für Fördertechnik zuständige Zweigstelle ist im süddeutschen Holzgerlingen angesiedelt, etwa fünf Kilometer südlich von Sindelfingen.

Eisenmann hat in der Vergangenheit bereits erfolgreich Projekte für *Magna* umgesetzt, wie beispielsweise die Lackieranlage für Rohkarossen bei *Magna Steyr Fahrzeugtechnik*.

2) **TMS Automotion GmbH**

Die Firma TMS war früher Bestandteil der VA Tech AG, wurde jedoch im Jahre 2001 von der französischen GTIE, einem Unternehmen der VINCI-Gruppe, übernommen. Zu den Produkten zählen Anlagen für Karosseriebau, Fördertechnik (FTS, EHB und Skid-Rollenförderer) und Montagesysteme.

Die Kunden kommen vorrangig aus der Automobilindustrie, wie beispielsweise Audi, BMW, DaimlerChrysler, Ford, oder VW.

Auch für die *Magna Steyr Fahrzeugtechnik* war TMS bereits tätig.

3) AFT Automatisierungs- und Fördertechnik GmbH

Seit ihrer Gründung im Jahre 1985 wuchs die AFT-Gruppe stetig an und umfasst heute 330 Mitarbeiter, welche in neun, weltweit verteilten Niederlassungen tätig sind. Die Produktpalette ist vielfältig und umfasst alle Arten von Förder-, Lager- und Kommissioniertechniken, wie beispielsweise EHB, ETB, FTS, Skid-Rollenförderer, Traggurttförderer und Kommissionierroboter.

Die Kunden kommen aus den verschiedensten Bereichen, angefangen von der Automobilindustrie über die Kosmetikindustrie bis hin zu Krankenhäusern.

4) ROCLA Robotruck Oy

Dieses Unternehmen entstand aus einer strategischen Allianz zwischen ROCLA Oyi (Anbieter von FTS-Anlagen aus Finnland) und der Swisslog Management Holding AG) und ist in der Schweiz beheimatet.

Die Kontaktaufnahme mit jenen Firmen führte zu folgendem Ergebnis:

Eisenmann: Keine Lösungsvorschläge erhalten, kein weiterer Kontakt

TMS: Detaillierte Ausarbeitung mehrerer Lösungsvarianten (Kapitel 6.1. – 6.3.)
Teil- und Vollautomatisierung

AFT: Detaillierte Ausarbeitung einer Lösungsvariante (Kapitel 6.4.)
Nur Teilautomatisierung

ROCLA: Es konnte keine Lösungsvariante erstellt werden, welche die vorgegebenen Randbedingungen erfüllt.

6.1 TMS Variante 1: Teilautomatisierung

Bei der Teilautomatisierung übernehmen die FTF ausschließlich den Transport der Gebinde zwischen Presswerk und Lager. Alle weiteren Operationen, wie das Ein- und Auslagern, oder das Puffern an den Übergabepositionen, werden von Gabelstaplern, bzw. von stationären Fördereinrichtungen übernommen. Auf diese Weise kann die Konstruktion der FTF weitgehend vereinfacht werden, da diese bis auf einen relativ kostengünstigen Hubmechanismus keine weiteren Be- und Entladevorrichtungen benötigen.

Der Ablauf eines Transportzyklus kann dabei folgendermaßen beschrieben werden:

Einer der im Lagerbereich tätigen Gabelstapler nimmt das benötigte Leergebinde auf und bringt es zum Übergabepunkt, wo es an die stationären Fördereinrichtung übergeben

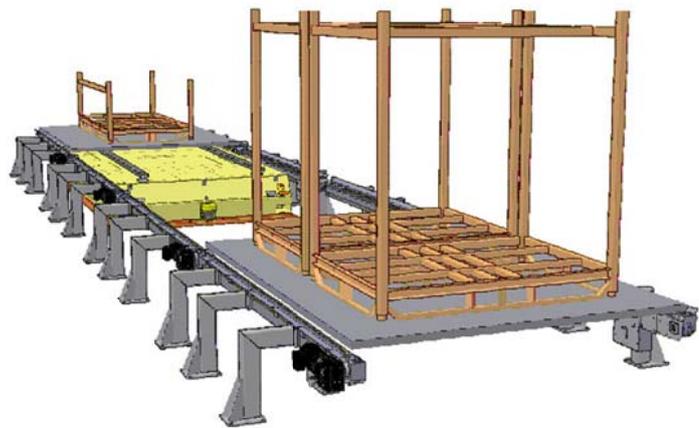


Abbildung 6.1: Übergabestation als Kettenförderanlage ausgeführt [TMS Automotion, 2004]

wird. Dabei handelt es sich um eine Kettenförderanlage, welche drei bis vier Transporteinheiten aufnehmen kann und somit als Puffer dient. Zusätzlich ist die Anlage mit einem Eingabeterminal ausgestattet, mit dessen Hilfe der Fahrer des Gabelstaplers festlegen kann, wo das Leergebinde hingebacht werden soll. Dieser Vorgang muss nur einmal zu Beginn jedes Produktionsloses durchgeführt werden, da sich das Ziel nicht verändert.

Sobald alle Daten in das Terminal eingegeben wurden, wählt der Leitreehner der Flurförderanlage ein freies FTF aus und schickt es zum Übergabepunkt. Dort angekommen, unterfährt dieses - wie in *Abbildung 6.1* dargestellt - die Kettenförderanlage bis zu jenem Punkt, an dem sich das zu transportierende Leergebinde befindet, hebt es mittels Hubmechanismus an und bringt es zum Zielort - dem Presswerk.

Um zu verhindern, dass das FTF während jener Zeit, in der das Gebinde befüllt wird, warten muss, hat *TMS* entschieden, auch an den beiden Pressenlinien stationäre Fördertechnik einzusetzen. Das FTF setzt dabei das Leergebinde auf den

Förderketten ab, unterfährt jenen Bereich, in dem das Gebinde befüllt wird und nimmt das bereits wartende, volle Gebinde am anderen Ende der Anlage wieder auf. Danach kehrt es mit diesem wieder zum Übergabepunkt im Lager zurück.

6.1.1 Systempaletten

Wie bereits in *Kapitel 3.1* erwähnt wurde, unterscheiden sich die einzelnen Gebindetypen sehr stark voneinander, weshalb eine einheitliche Transportbasis für alle Gebinde kaum zu realisieren ist. Bedenkt man noch zusätzlich die Möglichkeit, dass zukünftige Projekte wiederum völlig neuartige Gebindetypen erfordern könnten, erweist sich dieses Vorhaben als schlichtweg unmöglich.

Die Lösung für dieses Problem liegt darin, es mit Hilfe einer Systempalette zu umgehen.

Wie in *Abbildung 6.1* ersichtlich, handelt es sich dabei um eine simple Stahlplatte mit den Abmessungen des größten zu transportierenden Gebindes, welche als Adapter zwischen der Kettenförderanlage und dem Gebinde positioniert wird.

Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

- Einfacherer und somit kostengünstigerer Hubmechanismus des FTF
- Einfachere und somit kostengünstigere Kettenförderanlage
- Erhöhte Flexibilität, auch bei zukünftigen Projekten
- Die Gebinde doppelfallender Bauteile sind klein genug, um zusammen auf einer Systempalette transportiert werden zu können.

Dem gegenüber stehen die zusätzlichen Investitionskosten für die Systempaletten in der Höhe von 4.000 Euro pro Stück²⁵.

²⁵ Siehe hierzu *Tabelle 6.1: Angebot TMS Variante 1*

6.1.2 Fahrzeugaufbau

Beim Fahrwerk der FTF handelt es sich um eine Dreiradkonstruktion, wobei das mittlere, vordere Rad sowohl den Antrieb als auch die Steuerung beinhaltet. Bei den beiden anderen Rädern handelt es sich um nicht angetriebene Stützräder.

Das Sicherheitssystem der FTF besteht, wie in *Abbildung 6.2* dargestellt, aus mehreren unabhängigen Komponenten:

- Laserscanner: Er wird in Fahrtrichtung auf das Fahrzeug montiert und dient zur Erkennung von Hindernissen, welche bis zu sieben Meter²⁶ entfernt sein können. Auf diese Weise kann die Fahrgeschwindigkeit abhängig von der Entfernung zum Hindernis gesteuert werden.
- Trittschutzleiste: Sie umgibt das Fahrzeug in Bodennähe vollständig und leitet bei Berührung einen sofortigen Stopp des Fahrzeuges ein.
- Not- Aus- Schalter: Stoppt das FTF manuell.

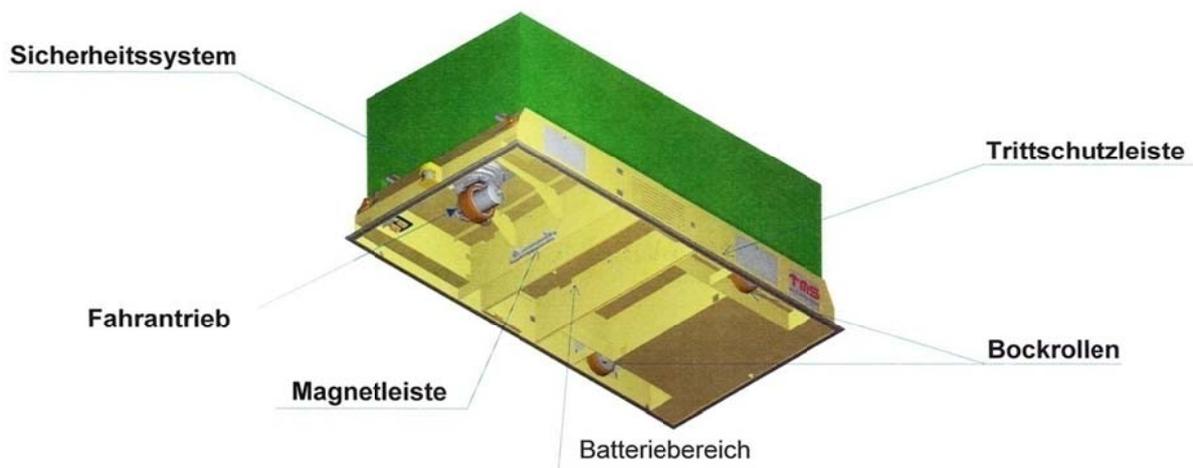


Abbildung 6.2: Sicherheitssysteme [TMS Automotion, 2004]

6.1.3 Navigation

Bei allen Fahrzeugen der Firma TMS kommt das Prinzip der Koppelnavigation zum Einsatz, welches folgendermaßen definiert werden kann:

²⁶ Quelle: www.sick.de

„**Koppelnavigation** oder **Koppelung** (koppeln, verbinden), engl. *dead reckoning*, ist die laufende Ortsbestimmung (Ortung) eines bewegten Objekts durch Messen der Bewegungsrichtung (Kurs), der Geschwindigkeit (*Fahrt*) und der Zeit.“ [Wikipedia, 2010]

Umgelegt auf das FTF bedeutet das, dass das Fahrzeug die Messdaten aus mehreren Informationsquellen miteinander kombiniert, um dadurch seine Position bestimmen zu können. Informationsquellen sind:

- **Faseroptischer Drehratensensor (Kreisel)**

Dabei handelt es sich um einen Sensor, der die Drehbewegung des Fahrzeuges misst. Als Messprinzip dient hierbei die Wirkung des Sagnac-Effektes (Interferenz von Laserstrahlen in einem aufgerollten Glasfaserkabel). *Abbildung 6.3* zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Sensors.

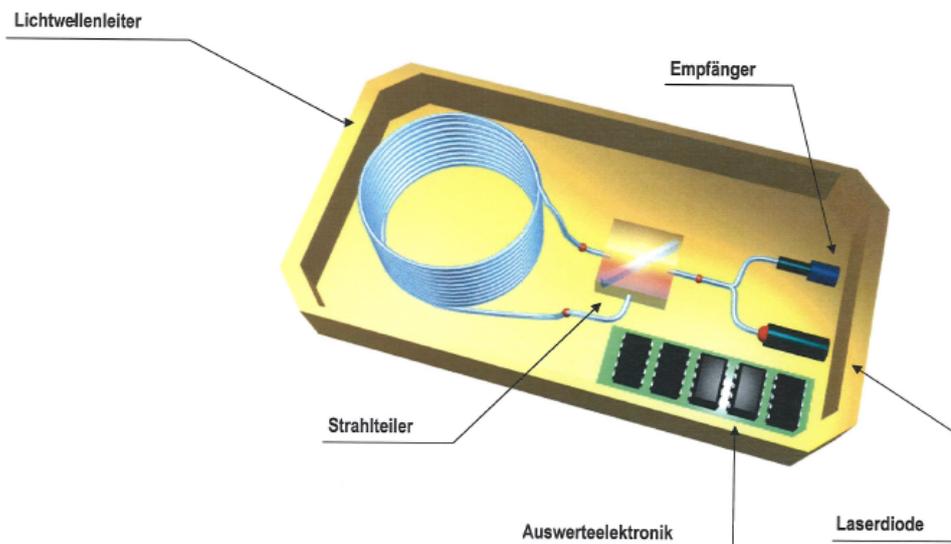


Abbildung 6.3: Drehratensensor [TMS Automotion, 2004]

- **Messradeinheit**

An jedem der beiden Stützräder ist ein, wie in *Abbildung 6.4* dargestellter, Inkrementalgeber montiert. Dieser misst die Anzahl der Radumdrehungen, aus der die Steuereinheit des FTF bei gegebenem Radumfang die zurückgelegte Wegstrecke berechnet. Dabei wird immer vom letzten Referenzpunkt gemessen (Begründung siehe nächster Punkt).

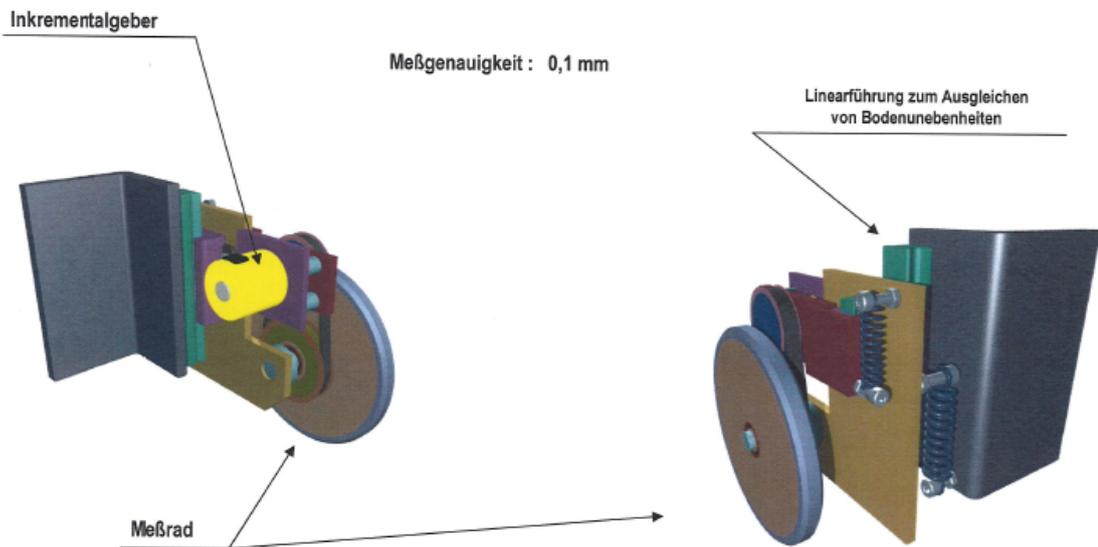


Abbildung 6.4: Aufbau der Messradeinheit [TMS Automation, 2004]

- **Korrektur der Messfehler per Referenzmagnet**

Wie bei allen Messsystemen treten auch beim Drehratensensor und bei der Messradeinheit Abweichungen auf. Ursachen hierfür können unter anderem Bodenunebenheiten, Verschmutzung und Verschleiß beim Rad sein, sowie eine prinzipielle Ungenauigkeit von bis zu vier Grad pro Stunde beim Kreisel. Da es sich hierbei um inkrementelle Systeme handelt, summieren sich die Fehler im Laufe der Zeit auf - das Fahrzeug weicht immer weiter vom vorgegebenen Kurs ab.

Aus diesem Grund sind im Hallenboden in regelmäßigen Abständen Referenzmagnete eingelassen, deren Position bei der Montage exakt vermessen und in einen virtuellen Lageplan eingetragen wurde. Jedes FTF besitzt eine Kopie dieses Plans und kann nun mittels der in *Abbildung 6.2* dargestellten Magnetleiste seine relative Abweichung zu diesen SOLL-Positionen und somit seine tatsächliche IST-Position ermitteln. Der Bordcomputer nimmt darauf hin eine entsprechende Kurskorrektur vor.

6.1.4 Batteriekonzept

Im Gegensatz zu der weit verbreiteten induktiven Stromversorgung über eine im Boden eingelassene Leiterschleife, beziehen die Fahrzeuge von *TMS* ihre Energie aus Batterien. Zum Einsatz kommen dabei Blei-Gel-Akkumulatoren, welche für eine Betriebsdauer von zwei Schichten - also etwa 16 Stunden - ausgelegt sind.

Der Ladestatus wird dabei ständig vom Leitreechner überwacht, welcher die Fahrzeuge bei Bedarf automatisch zur Batteriewechselstation schickt.

Der Wechselvorgang selbst - durchgeführt von einem Arbeiter mit Handwagen - dauert laut *TMS* in etwa zwei bis drei Minuten. Danach ist das Fahrzeug wieder voll aufgeladen und einsatzbereit.

Zwar wurde ursprünglich auch über die Möglichkeit einer vollautomatischen Wechselvorrichtung nachgedacht, wie sie beispielsweise beim Papierhersteller *SAPPI* in Andritz im Einsatz ist, jedoch wurde diese Idee auf Grund der hohen Investitionskosten von etwa € 300.000,-²⁷ wieder verworfen.

6.1.5 Layout

Bei der Zusammenarbeit mit externen Partnern zeigt sich, dass diese Probleme oft anders interpretierten und lösen, als man es im eigenen Unternehmen gewohnt ist. Ein Beispiel für einen solchen Lösungsansatz ist *Abbildung 6.5*, welche einen Ausschnitt des ersten Anlagenlayouts zu Variante 1 darstellt. Gut zu erkennen sind die violett eingezeichneten Fahrwege, welche um die Pressenlinie A herum angelegt wurden. Dadurch können die FTF sämtliche grün dargestellten Übergabestationen versorgen²⁸, ohne über einen Rückwärtsgang zu verfügen, was deren Komplexität und somit auch deren Kosten reduziert.

Auch wenn dieser Lösungsansatz prinzipiell möglich ist, so ist er dennoch nicht zu empfehlen, da jener Bereich zwischen Linie A und B, welcher in *Abbildung 6.5* die Retourstrecke beinhaltet, zur Lagerung von Presswerkzeugen genutzt wird²⁹.

²⁷ Schätzwert der Firma *TMS Automotion*

²⁸ siehe hierzu *Abbildung 3.8*: seitliche Entnahme (Linie A)

²⁹ Lagerplatz für Presswerkzeuge ist äußerst knapp und sollte daher nach Möglichkeit nicht anderwärtig genutzt werden.

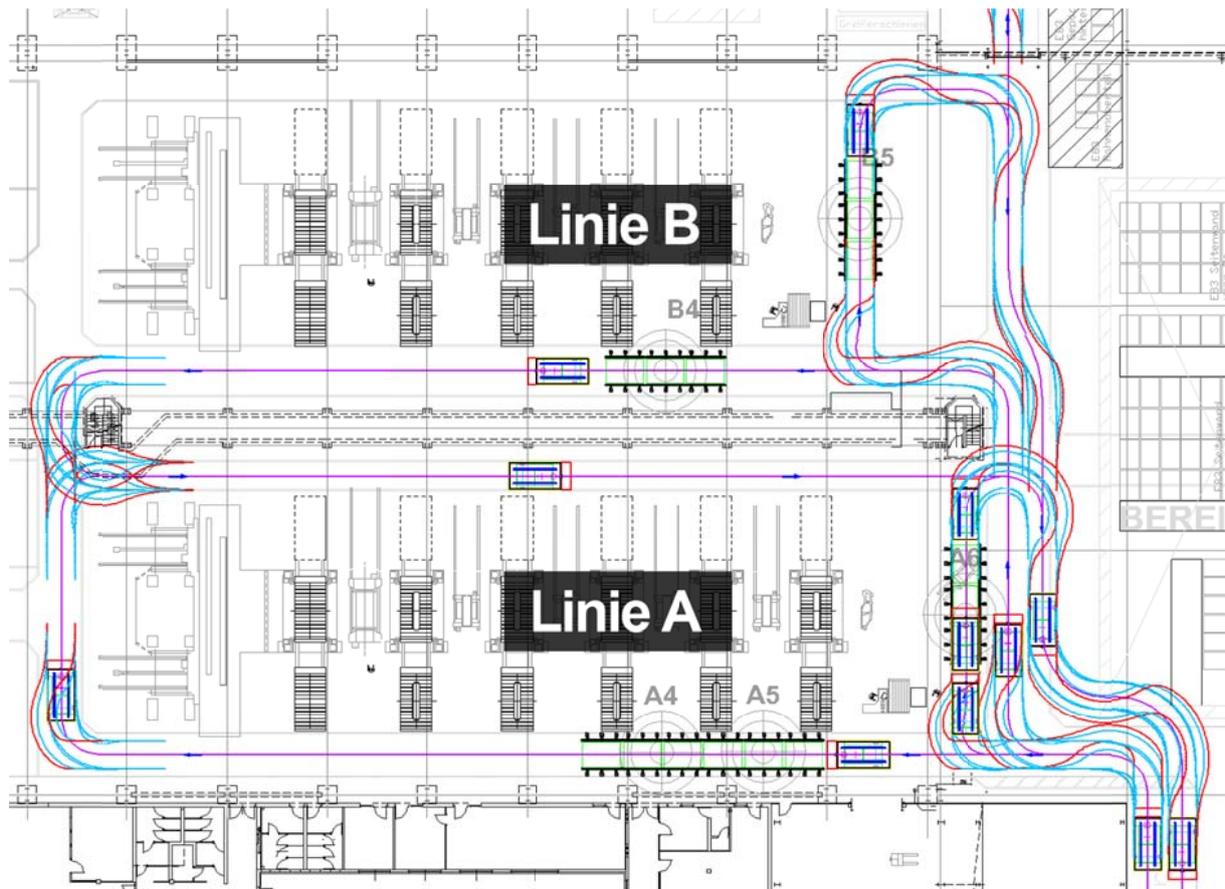


Abbildung 6.5: Ausschnitt des Anlagenlayouts TMS Variante 1 im Bereich Presswerk
[TMS Automotion, 2004]

6.1.6 Kostenaufstellung

Wie bereits in *Kapitel 5.2* erwähnt, errechnete die Firma TMS ein Maximum von zehn Fahrzeugen für Pressenlinie A und neun für Pressenlinie B³⁰. Die in *Tabelle 6.1* angegebenen 20 Stück ergeben sich aus der Summe dieser beiden Werte plus ein zusätzliches Reservefahrzeug.

Die Anzahl der Systempaletten wurde von TMS auf 35 festgelegt und ist als Richtwert zu verstehen. Erst eine genaue Untersuchung des Zusammenspiels zwischen Gabelstapler, Puffervorrichtung und FTF an den Übergabestationen würde den tatsächlichen Bedarf zeigen. Folgende *Tabelle 6.1* zeigt die Kostenaufstellung des Angebots:

³⁰ Beide Werte auf ganze Fahrzeuge aufgerundet

Komponente	Stückzahl	Gesamtpreis [€]
Fahrzeuge (FTF)	20	1.800.000.-
Kettenförderanlagen	8	156.000.-
Systempaletten	35	140.000.-
Batterien (Blei- Gel)	30	80.000.-
Ladegeräte	10	27.000.-
FTF- Zubehör	3	21.000.-
Bodenanlage	1	60.000.-
Anlagensteuerung	1	80.000.-
Anlagenelektrik (Terminals, etc...)	1	70.000.-
Schulung	1	21.000.-
Dokumentation	1	19.000.-
Projektleitung	1	60.000.-
Summe:		2.633.000.-

Tabelle 6.1: Angebot TMS Variante 1

6.2 TMS Variante 2: Vollautomatisierung A

Bei dieser Angebotsvariante werden sowohl der Transport zwischen Presswerk und Lager, als auch sämtliche Lageraktivitäten von FTF ausgeführt. Die vergleichsweise simplen Fahrzeuge mit Hubtisch, wie sie in *Kapitel 6.1* beschrieben wurden, sind für diese Aufgabe nicht ausgerüstet und müssten mit einem zweiten Fahrzeugtyp, wie etwa speziellen Gassenfahrzeugen zur Bestückung des Regallagers kombiniert werden. Auch hier wären Übergabevorrichtungen an den Randzonen des Lagers erforderlich.

TMS schlug daher für diesen Anwendungsfall den Einsatz von FTF mit Seitenschubgabel vor.

Wie in *Abbildung 6.6* zu sehen ist, unterscheidet sich deren Aufnahmevorrichtung nicht von herkömmlichen Gabelstaplern, weshalb



Abbildung 6.6: FTF mit Seitenschubgabel
[TMS Automotion, 2004]

sämtliche Gebindevarianten ohne zusätzliche Systempalette aufgenommen werden können. Ein weiterer Vorteil (vor allem im Bereich der Pressenlinien) ist der Entfall stationärer Fördereinrichtungen, da die Gebinde nun bei Bedarf einfach am Boden abgestellt werden können.

Mit der integrierten Hubgabel sind Hubhöhen von bis zu 16 Meter realisierbar, sodass sämtliche Bereiche eines Regallagers bei *MHS* erreichbar wären³¹. Jedoch ist zu beachten, dass Hubhöhen über zwei Meter den Fahrzeugpreis sprunghaft erhöhen, da in diesem Bereich anstelle der kostengünstigen Einfachmasten die teureren Teleskophubgerüste eingesetzt werden müssen.

Navigationssystem und Batteriekonzept sind identisch mit Variante 1.

6.2.1 Layout

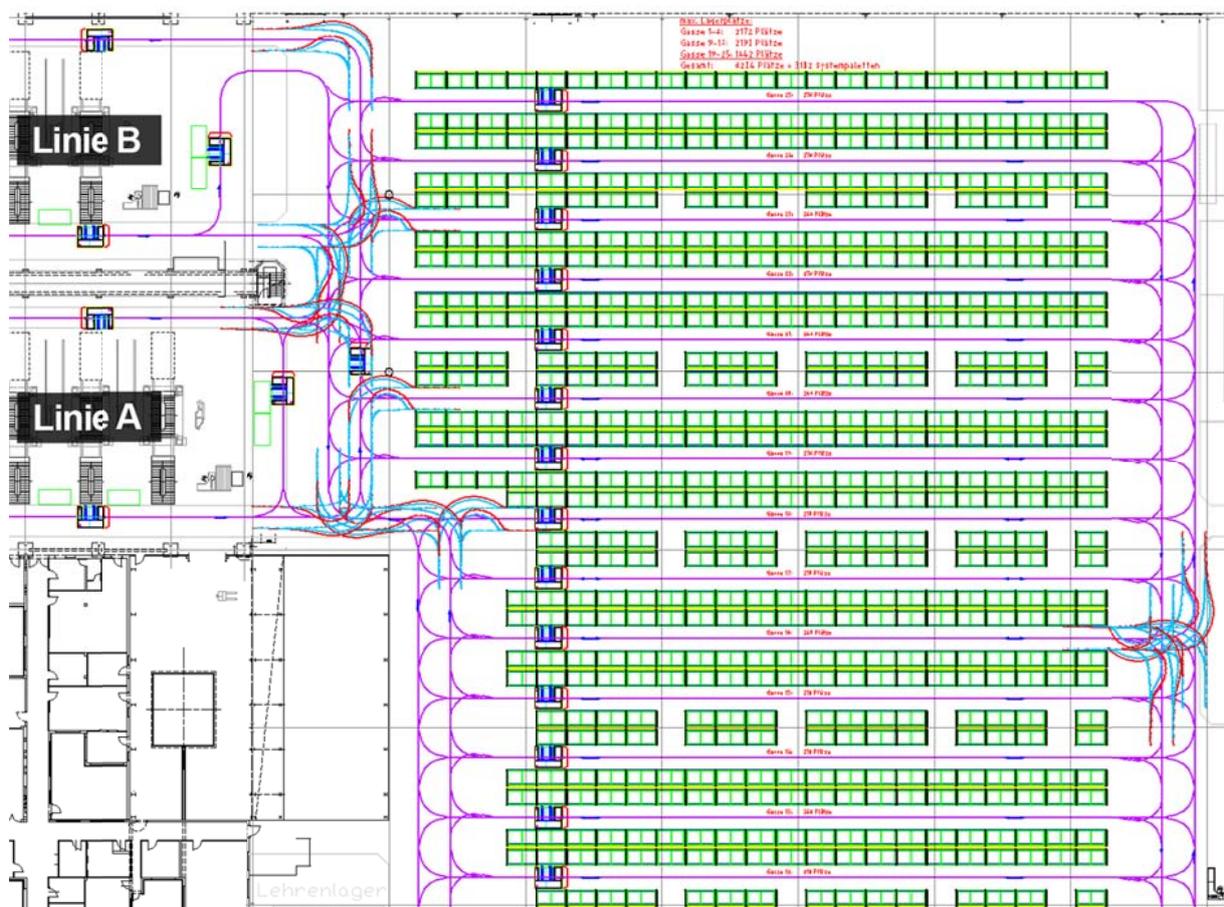


Abbildung 6.7: Ausschnitt des Anlagenlayouts TMS Variante 2 [TMS Automotion, 2004]

³¹ Die Hallenhöhe beträgt im Rohbau und Lagerbereich 11 Meter.

Die Verwendung von Regalen für sämtliche Gebinde in der vollautomatischen Variante macht die Einteilung des Lagers in einzelne Bereiche - wie sie in *Kapitel 3.2.1* getroffen wurde - überflüssig. Stattdessen gibt es eine zusammenhängende, in *Abbildung 6.7* grün dargestellte Lagerfläche, wo die Gebinde softwareoptimiert angeordnet werden.

Diese Optimierung im Lagerbereich wirkt dem zusätzlichen Zeitaufwand für Ein- und Auslagerung entgegen, sodass laut *TMS* für die Vollautomatisierung ebenfalls nur 20 Fahrzeuge benötigt werden.

6.2.2 Kostenaufstellung

Der im Vergleich zu *Kapitel 6.1* kompliziertere Aufbau der Fahrzeuge findet sich auch in der Kostenaufstellung (*Tabelle 6.2*) wieder: Mit 180.000 Euro pro Einheit sind diese doppelt so teuer, wie in Variante 1.

Komponente	Stückzahl	Gesamtpreis [€]
Fahrzeuge (FTF)	20	3.600.000.-
Batterien (Blei-Gel)	30	140.000.-
Ladegeräte	10	80.000.-
FTF-Zubehör	3	27.000.-
Bodenanlage	1	90.000.-
Anlagenelektrik (Terminals, etc...)	1	70.000.-
Anlagensteuerung (inkl. LVR)	1	150.000.-
Schulung	1	21.000.-
Dokumentation	1	19.000.-
Projektleitung	1	80.000.-
Stako Lager (3102 Fächer= max.6204 Stellplätze)	1	3.800.000.-
Summe:		8.077.000.-

Tabelle 6.2: Angebot TMS Variante 2

Die Regale sind so dimensioniert, dass jedes Regalfach sämtliche Gebindegrößen aufnehmen kann. Wie bereits in *Kapitel 3.1* beschrieben wurde, sind die minimalen Gebindeabmessungen nicht einmal halb so groß wie die maximalen - das Maximum von 6204 Stellplätzen ergibt sich daher unter der theoretischen Annahme, dass jedes Regalfach doppelt belegt ist.

Die Kosten für die Lagerregale sollten jedoch nur als Richtwert gesehen werden, da diese im Vergleich zu allen anderen Positionen wesentlich stärker vom momentanen Stahlpreis abhängig sind.

6.3 TMS Variante 3: Vollautomatisierung B

Bei dieser Variante handelt es sich um ein völlig neues Konzept, welches von *TMS* bislang erst einmal eingesetzt wurde und zu Projektbeginn noch nicht zur Verfügung stand.

Wie in Variante 2 kommen auch hier FTF mit Seitenschubgabel zum Einsatz, die Positioniergenauigkeit der Fahrzeuge wurde jedoch so weit verbessert, dass sie in der Lage sind, ähnlich einem Gabelstapler Gebinde selbständig zu stapeln. Somit ist es erstmals möglich, eine vollautomatisierte Lösung zu realisieren, ohne dafür periphere Einrichtungen, wie etwa Regale, Systempaletten, oder stationäre Fördertechnik einsetzen zu müssen.

Kostenaufstellung

Von Seiten *TMS* wurde für diese Variante kein neues Layout erstellt, da die Annahmen von Variante 2 auch weiterhin gültig sind. Somit können sämtliche Kostenpositionen aus *Tabelle 6.2* übernommen werden, mit Ausnahme der Stahlkonstruktion.

Der Gesamtrichtpreis für diese Variante beträgt somit: 4.277.000.- €

HINWEIS zu den BETRIEBSKOSTEN:

Für sämtliche Angebote der Firma *TMS* gelten Betriebskosten in der Höhe von 1,8% der Anschaffungskosten. Dieser Wert wurde von *TMS* zur Verfügung gestellt.

6.4 AFT: Teilautomatisierung (BTSic)

Rein äußerlich besteht beim Bodentransportsystem (BTS) von AFT große Ähnlichkeit zur Variante 1 von TMS. Auch hier sind die Übergabestationen im Lagerbereich als Podeste ausgeführt, welche vom BTS unterfahren werden können. Da jedoch ein großflächiger Hubtisch zum Einsatz kommt und die Podeste keine Pufferfunktion besitzen, kann auf den Einsatz von Kettenfördertechnik verzichtet werden³². Im Bereich der Pressenlinien verbleiben die Gebinde während des Beladevorgangs auf dem Fahrzeug. Wie in *Abbildung 6.8* zu sehen ist, beträgt der Abstand zwischen Gebinde und Boden bei gesenktem Hubtisch nur 250mm, sodass laut AFT ein Befüllen ohne zusätzliche Podeste für die Mitarbeiter möglich wäre³³.

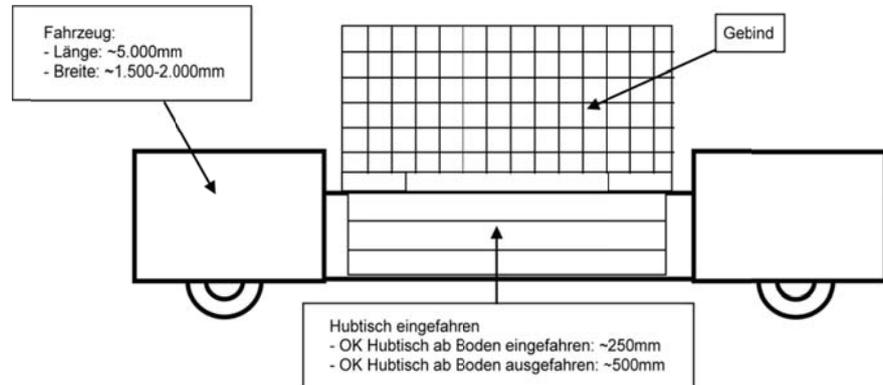


Abbildung 6.8: Schematische Seitenansicht eines BTS Fahrzeuges [AFT- Group, 2004]

6.4.1 Navigation und Energieversorgung

Ähnlich dem in *Kapitel 4.1* beschriebenen System werden auch beim BTSic elektrische Leitungen im Hallenboden verlegt. Diese dienen jedoch nicht nur zur Spurführung, sondern versorgen das Fahrzeug auch mit Energie. AFT beschreibt das BTSic-System folgendermaßen:

„Die zugrundeliegende Technik ist eine Kombination aus induktiver Einspeisung und Energiepufferung per Kondensator. Befindet sich das Fahrzeug auf der induktiven Spur, so werden die Kondensator-Pakete geladen. Abseits der induktiven Spur wird das Fahrzeug vom Kondensator-Paket versorgt. Die Versorgung der Antriebstechnik

³² Da der Hubtisch jedoch prinzipiell schmaler als das dazu gehörige Podest sein muss, wäre hier noch die Frage der Kippsicherheit zu klären. Alternativ kann auch beim BTS ein Kettenfördersystem zum Einsatz kommen.

³³ Ob dies tatsächlich der Fall ist, ließe sich jedoch erst durch eine entsprechende arbeitsphysiologische Untersuchung feststellen.

auf dem Fahrzeug erfolgt jedoch jederzeit durch das Kondensator-Paket, unabhängig davon, ob sich das Fahrzeug auf der induktiven Spur befindet oder nicht.

Abseits der induktiven Spur ist das Fahrzeug in der Lage, mit den gegebenen Lastverhältnissen, eine Strecke von ca. 50m zurückzulegen. Über diese max. Strecke könnte ein bestimmter Lagerbereich also flexibel gestaltet werden“. [AFT-Group, 2004]. Die Buchstaben „ic“ in BTSic beziehen sich somit auf die induktiv-kapazitive Kombination des Systems.

6.4.2 Layout

Folgende

Abbildung 6.9 zeigt einen Ausschnitt des Anlagenlayouts von AFT.

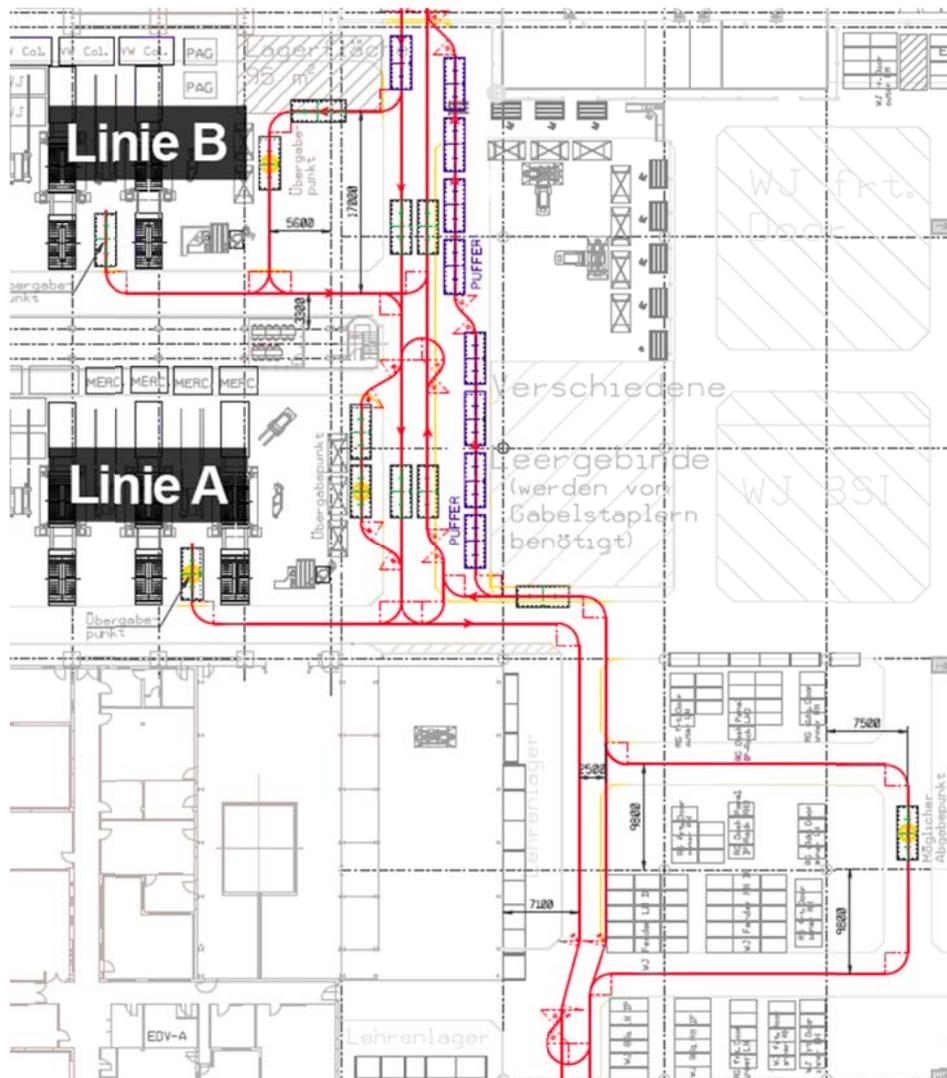


Abbildung 6.9: Ausschnitt des Anlagenlayouts AFT [AFT- Group, 2004]

Im Unterschied zu den Konzepten von TMS müssen die beiden Pressenlinien nicht umrundet werden, da die Fahrzeuge sowohl vorwärts als auch rückwärts fahren können. Im Bereich der seitlichen Entnahme genügt daher theoretisch eine einfache Sackgasse. Zu bedenken ist jedoch, dass die Pressenlinien während eines Gebindewechsels kontinuierlich weiterarbeiten, weshalb entweder ein Puffer für die produzierten Bauteile nötig wäre, oder aber der Wechselvorgang selbst möglichst schnell vonstatten gehen müsste. Letzteres wäre beispielsweise mittels einer Warteposition für Fahrzeuge mit Leergebinde auf der linken Seite der seitlichen Entnahmestationen realisierbar.

6.4.3 Kostenaufstellung

Die folgende Aufstellung ist dem Angebot 9814_2 entnommen:

a) BTSic-Fahrzeuge (39St.):	GP: 1.787.180,- €
b) Anlagenseitige Komponenten:	GP: 443.279,- €
c) Sonstiges:	GP: 239.575,- €
d) Gesamtpreis:	GP: 2.470.034,- €

Sämtliche Preise zuzüglich Umsatzsteuer.

Das komplette Angebot in Originalform enthält eine detaillierte Preisaufstellung, sowie sämtliche technische Parameter und Konditionen und ist im Anhang unter XXX zu finden. Zusätzlich wurden noch folgende Punkte besprochen, welche im Angebot nicht enthalten sind:

- **Anzahl der Backupfahrzeuge**

Laut AFT sind zwei Reservefahrzeuge ausreichend, wobei grundsätzlich die Frage gestellt werden muss, ob nicht auch alternative Lösungen, wie die Lagerhaltung von Ersatzteilen, oder die Beschaffung eines Komplettfahrzeuges zum „Ausschlachten“ in Frage kommen.

7 Wirtschaftliche Betrachtung

Magna Heavy Stamping besitzt bereits ein funktionierendes manuelles Transportsystem, dessen Ersatz durch ein automatisches System entsprechende Vorteile mit sich bringen muss, welche eine derartige Investition rechtfertigen.

In *Kapitel 2* wurden diese (erwarteten) Vorteile bereits aufgezählt, wobei einem Punkt ganz besondere Bedeutung zukommt: *Kostenreduktion*. Die Automobilindustrie ist eine schnelllebige, auf kurzfristigen Profit ausgerichtete Branche in der eine Ersatzinvestition, welche diesen einen Punkt nicht erfüllt - möge sie auch sonst noch so viele Vorteile mit sich bringen - zum Scheitern verurteilt ist³⁴.

Im Vergleich zur manuellen Variante kommt es bei einem automatischen Transportsystem zu einer Reduktion der Betriebskosten, welche hauptsächlich auf einer Verringerung des Personalkostenanteils beruht. Somit lautet die erste und zugleich wichtigste Frage, wie viele Mitarbeiter durch eine Automatisierung eingespart werden können.

7.1 Reduktion der Mitarbeiteranzahl

Um hier eine Aussage treffen zu können, bedarf es einer vollständigen Erfassung sämtlicher Gabelstapleraktivitäten in den Abteilungen Presswerk und Logistik. Da dies jedoch den Umfang dieser Untersuchung übersteigen würde, wurden Mitarbeiter der *Magna Heavy Stamping* aus dem Bereich Logistikverwaltung gebeten, die benötigten Zahlen zur Verfügung zu stellen. Unter der Annahme dreischichtiger Produktion lautet das Einsparungspotential (Begründung siehe folgende Seite) somit:

- 6 Mitarbeiter und 2 Gabelstapler bei Teilautomatisierung
- 15 Mitarbeiter und 4 Gabelstapler bei Vollautomatisierung

Betrachtet man die Ergebnisse in *Kapitel 3.7.1*, wo noch von maximal zehn Gabelstaplern (und somit theoretisch 30 Mitarbeitern) gesprochen wurde, so stellt

³⁴ Natürlich unter der Annahme, dass das zu ersetzende System ebenfalls funktioniert und die Anforderungen erfüllt.

sich bei den obigen Zahlenwerten sofort die Frage, warum das Einsparungspotential so gering ausfällt.

Die Antwort liegt in der unübertroffenen Flexibilität des manuellen Transportsystems und wie diese bei *Magna Heavy Stamping* genutzt wird: Auslastungsspitzen treten nicht nur im Presswerk, sondern auch im Logistikbereich, speziell bei der Auslieferung, auf. Ein Beispiel hierfür wäre die Beladung des als *Touareg-Express*³⁵ bezeichneten Eisenbahntransports, welcher fünfmal wöchentlich das Volkswagen-Werk in Bratislava mit Karosserieblechteilen aus der Steiermark versorgt.

Durch Erstellung entsprechender Produktionspläne wird sichergestellt, dass es zu keiner zeitlichen Überschneidung der Auslastungsspitzen in den verschiedenen Bereichen des Unternehmens kommt, sodass die vorhandenen Logistikressourcen über den gesamten Produktionszeitraum hinweg flexibel und effizient eingesetzt werden können. Somit kann selbst eine Vollautomatisierung des Transportaufkommens zwischen Presswerk und Lager zu keiner vollständigen Einsparung der in *Kapitel 3.7.1* berechneten Gabelstapler führen.

Bei der Teilautomatisierung ist zusätzlich der Verbleib manueller Transportmittel im Lager zu berücksichtigen. Das Minimum beträgt hier ein Fahrzeug pro Presselinie, da die Bauteile in der Regel in unterschiedliche Lagerbereiche gebracht werden. Dies ist mit der Halbierung des Einsparungspotentials auf nur zwei Gabelstapler berücksichtigt.

7.1.1 Kostenaufstellung

Um das Einsparungspotential aus *Kapitel 7.1* finanziell bewerten zu können, bedarf es einer Aufstellung der entsprechenden Kosten, welche von Mitarbeitern der Abteilung Finanz/ Controlling zur Verfügung gestellt wurden. Es handelt sich dabei um standardisierte Werte, welche für sämtliche unternehmensinternen Berechnungen herangezogen werden und daher auch für diese Untersuchung zu verwenden sind³⁶:

³⁵ Länge: ~650m, Anzahl der Wagons: 29, Tonnage: ~1.060t Zuggewicht- davon ~250t Fracht. Namensgebend war die Lieferung von Pressteilen für die Produktion des VW Touareg in Bratislava.

³⁶ Sämtliche Werte sind auf das Jahr 2005 bezogen.

- **Personalkosten**

Ein Fahrer für Gabelstapler wird bei *Magna Heavy Stamping* mit **€ 37.000.-** pro Jahr berechnet.

- **Leasingkosten Gabelstapler**

Sämtliche elektrischen Fahrzeuge des Unternehmens sind geleast. Als Basis für die Berechnung dient eine Leasingrate von 6% vom Anschaffungspreis (€ 30.000.-). Bei dreischichtigem Betrieb geht man von einem vergleichsweise hohen Verschleiß aus, sodass die Leasingdauer konzernintern auf vier Jahre festgelegt wurde.

Die jährlichen Kosten können nun mit Hilfe der Annuitätenmethode ermittelt werden. Die entsprechende

Formel 7.1 lautet :

$$R = K_0 \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} = K_0 \cdot ANF$$

Formel 7.1: Annuitätsrechnung

R ist die zu zahlende Rate, K_0 die Höhe des Darlehens, i die Verzinsung/100 und n die Laufzeit in Jahre. ANF steht für den Annuitätenfaktor und kann mit dieser Formel berechnet, oder fertigen Tabellen entnommen werden und beträgt für $i=0,06$ und $n=4$: $0,28859$.

Die jährlichen Leasingkosten betragen somit **€ 8.657,7.-** pro Fahrzeug.

- **Betriebskosten Gabelstapler**

7% vom Anschaffungspreis (€ 30.000.-), somit jährlich **€ 2.100.-** pro Fahrzeug.

7.2 Wirtschaftlichkeitsrechnung

Für die wirtschaftliche Bewertung der Investition in ein automatisches Flurförder-system steht eine Fülle unterschiedlicher Berechnungsmethoden zur Auswahl. Grob können diese in statische und dynamische Methoden unterteilt werden, wobei der generelle Unterschied in der Berücksichtigung des Zeitfaktors liegt:

„Das Wesen der statischen Investitionsrechnung besteht darin, die wirtschaftlichen Kriterien, die für die gesamte Nutzungsdauer Geltung haben, auf ein Nutzungsjahr zu beziehen (z.B. kalkulatorische Abschreibung und Zinsen), um daraus Kosten, Gewinn, Rentabilität und Amortisationsdauer eines Projektes zu berechnen.“ [Bauer, 2003]

Für den wirtschaftlichen Erfolg eines Investitionsprojekts ist jedoch von wesentlicher Bedeutung, zu welchem Zeitpunkt diese Kriterien auftreten, da immer die laufende Verzinsung des Kapitals berücksichtigt werden muss. Somit sind beispielsweise Einnahmenüberschüsse, welche gegen Ende der Nutzungsdauer erwirtschaftet werden, für ein Unternehmen weniger positiv, als jene zu Beginn.

Dieser Tatsache tragen dynamische Methoden Rechnung, indem sämtliche Positionen des Cash-Flows eines Investitionsobjekts entsprechend ihrem Zeitpunkt wertberichtigt werden (Details hierzu im nächsten Kapitel).

Es gibt unterschiedliche Verfahren um dies zu bewerkstelligen, wie etwa:

- **Barwertmethoden**
Kapitalwert-, Annuitäten-, und Interne Zinssatzmethode
- **Endwertmethoden**
Vermögensendwert- und Sollzinssatzmethode
- **dynamische Amortisationszeit**

Die Frage, welches dieser Verfahren nun für die Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet werden soll, stellt sich im Rahmen dieser Untersuchung nicht, da auch hier Konzernvorgaben eingehalten werden müssen. Außerdem kann man die firmeninterne Berechnungsmethode nicht exakt einer der oben aufgelisteten Methoden zuordnen. Vielmehr handelt es sich um eine Kombination der selbigen, wie im nächsten Kapitel gezeigt wird.

7.2.1 Kennzahlen und Konzernrichtlinien

Es folgt nun ein Überblick über die betriebswirtschaftlichen Kennzahlen, welche im Magna-Konzern für die Investitionsentscheidung von Bedeutung sind und deren Grenzwerte. Die Einheit sämtlicher Zeitwerte ist Jahre.

- **Internal Rate of Return (IRR) > 20%**

Investitionen liefern oft schwankende, über die Laufzeit unregelmäßig verteilte Erträge, sodass sich deren Erfolg oder Misserfolg kaum abschätzen lässt. Der IRR stellt nun einen durchschnittlichen, internen Zinssatz³⁷ dar, mit dem sich die jeweils gebundenen Kapitalbeträge über den Betrachtungszeitraum verzinsen und bildet somit einen Vergleichswert für Investitionsentscheidungen. Berechnet wird er mithilfe der Interne-Zinssatzmethode³⁸ entsprechend *Formel 7.2*:

$$KW = -I + \sum_{t=1}^T C_t \cdot (1 + i)^{-t} = 0$$

Formel 7.2: Kapitalwert

C_t steht hierbei für den Cashflow (Einnahmenüberschuss bzw. –fehlbetrag) zum Zeitpunkt t . Die Summe aller auf den Bezugszeitpunkt abgezinster Cashflows minus der Investitionskosten ergibt den Kapitalwert KW , wobei der interne Zinssatz i nun genau jener Wert ist, bei dem der KW gleich Null wird. Prinzipiell gilt: Je größer i ist, desto besser. Der vom Magna-Konzern geforderte Mindestwert beträgt 0,2 (20%).

- **Return on Funds Employed (ROFE) > 30%**

Dieser Wert stellt eine Beziehung zwischen dem bei einer Investition eingesetzten Kapital (funds employed) und dem erzielten $EBIT$ ³⁹ her. Die entsprechende *Formel 7.3* lautet:

³⁷ Alternativ: interner Zinsfuß

³⁸ Siehe *Kapitel 7.2*, Barwertmethoden

³⁹ EBIT: *earnings before interest and taxes*

$$ROFE = \frac{\sum_{t=1}^T EBIT}{\sum_{t=1}^T \text{funds employed}} \cdot 100$$

Formel 7.3: Return on Funds Employed

Wie beim *IRR* wird auch beim *ROFE* ein längerer Zeitraum (z.B. Projektlaufzeit) herangezogen, was sich in der Formel als Summen der einzelnen Jahreswerte widerspiegelt.

Wie im Rahmen dieser Untersuchung noch zu sehen sein wird, ist es durchaus möglich, dass der *EBIT*- Wert über die Jahre konstant bleibt, da dieser sich aus dem jährlichen Cashflow minus die kalkulatorischen Abschreibungen a_k ergibt (beide Werte sind konstant). Die Formel für a_k lautet:

$$a_k = \frac{I_A + I_F - L}{ND}$$

Formel 7.4: kalkulatorische Abschreibung

I_A steht hierbei für die Anfangsinvestition, I_F für die Folgeinvestition, L für den Liquidationserlös und ND für die Nutzungsdauer. Beim eingesetzten Kapital kommt es zu einer jährlichen Abnahme durch Aufsummierung der Abschreibungsraten.

Der vom Magna- Konzern geforderte Mindestwert für *ROFE* beträgt 30%.

- **Dynamische Amortisationszeit < 6 Jahre**

Wie bereits zu Beginn von *Kapitel 7* erwähnt, handelt es sich bei der Automobilindustrie um eine schnelllebige Branche, was sich auf die Laufzeit von Investitionsprojekten und somit auch auf deren Amortisationszeit auswirkt. Dabei handelt es sich um jene Zeitdauer, die vergeht, bis die anfänglichen Investitionsausgaben durch zurückfließende Einnahmenüberschüsse refinanziert wurden. *Formel 7.5* stellt dies dar:

$$I = \sum_{t=0}^{T_A} C_t \cdot (1 + i_k)^{-t}$$

Formel 7.5: Dynamische Amortisationszeit

Auch hier wird jeder Cashflow entsprechend seines Abstandes t zum Bezugszeitpunkt $t=0$ mit dem Kalkulationszinssatz i_k abgezinst und aufsummiert, wobei dies nur so lange geschieht, bis die Summe aller Cashflows gleich groß ist, wie die Anfangsinvestition I .

Konzernrichtlinien besagen, dass die Amortisationszeit für Investitionsprojekte maximal drei Jahre betragen darf. Größere Projekte, wie etwa die Anschaffung einer neuen Pressenlinie, oder wie in diesem Fall eines automatischen Flurfördersystems, können diesen Grenzwert jedoch unmöglich einhalten, weshalb für sie eine Sonderregelung von sechs Jahren gilt⁴⁰.

- **Kalkulationszinssatz $i_k = 5\%$**

Investitionskapital kann alternativ immer auch am Kapitalmarkt angelegt werden, wo es entsprechend verzinst wird. Investoren erwarten sich somit auch für ihre Projekte eine zumindest gleichwertige Vergütung, was bei der dynamischen Amortisationsrechnung mit Hilfe des Kalkulationszinssatzes i_k berücksichtigt wird. Dieser Zinssatz wird vom Magna-Konzern selbst festgelegt, wobei in Europa der EURIBOR (Euro InterBank Offered Rate) als Ausgangsbasis dient. Im Jahr 2005, als diese Berechnungen durchgeführt wurden, betrug dieser im Jahresdurchschnitt 2,33 Prozent⁴¹. Hinzu kommen laut Mitarbeitern der Finanzabteilung diverse Aufschläge, was letztendlich einen internen Kalkulationszinssatz von 5% ergibt.

7.2.2 Berechnung

Anstatt nun für jedes einzelne in *Kapitel 6* aufgelistete Angebot die obigen Kennwerte zu berechnen, soll hier ein allgemeiner auch für mögliche weitere Angebote gültiger Ansatz gewählt werden: Gesucht werden jene maximalen Investitionskosten, bei denen die im vorherigen Kapitel definierten Konzernrichtlinien gerade noch eingehalten werden.

⁴⁰ Diese sechs Jahre gelten generell als maximale Projektlaufzeit für sämtliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und können daher auch als Basis für die Berechnung des IRR und des ROFE gewählt werden, selbst wenn die dynamische Amortisationszeit letztendlich davon abweicht.

Die Sonderregelung bedarf der Genehmigung durch den Vorstand der COSMA- Gruppe.

⁴¹ Siehe hierzu die Tabellen der Österreichischen Nationalbank:

<http://www.oenb.at/isaweb/report.do?report=2.6>

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Investitionen dieser Größenordnung in der Regel nicht auf einmal, sondern in Raten getätigt werden. Beispielsweise gab *AFT Group* im Rahmen der Angebotslegung folgende Zahlungskonditionen bekannt:

- 30% nach Auftragsbestätigung
- 30% nach Lieferung
- 30% nach Montageende
- 10% nach Endabnahme, spätestens jedoch 8 Wochen nach Montageende

Jedoch wurde in Ermangelung genauer Projektlaufzeiten in Absprache mit dem Finanzmanagement der Magna Heavy Stamping folgende vereinfachte Annahme getroffen: 60% der Investitionskosten müssen zu Projektbeginn bezahlt werden, die restlichen 40% am Ende des ersten Jahres bei Produktionsstart.

Da von Seiten *TMS Automotion* keine vergleichbaren Zahlungskonditionen bekannt sind, wurde diese Aufteilung für die allgemeine Berechnung übernommen.

7.2.2.1 Teilautomatisierung

Wie bereits in *Kapitel 7.1* beschrieben, können bei der Teilautomatisierung sechs Mitarbeiter eingespart werden:

$$E_{pers} = 6 \cdot 37.000 = 222.000. - [Euro pro Jahr]$$

Das jährliche Einsparungspotential bei zwei Gabelstaplern ergibt sich aus der entsprechenden Leasingrate:

$$E_{leas} = 2 \cdot 8.657,7 = 17.315,4. - [Euro pro Jahr]$$

Und den Betriebskosten der Fahrzeuge:

$$E_{betr} = 2 \cdot 2.100 = 4.200. - [Euro pro Jahr]$$

Dem gegenüber stehen die Betriebskosten⁴² des Flurtransportsystems, abhängig vom Investitionsbetrag *I*:

$$A_{trans} = I \cdot 0,018$$

Formel 7.6: Betriebskosten FTS

⁴² Siehe hierzu *Kapitel 6.3*, Betriebskosten

Somit ergibt sich in *Formel 7.7* der jährliche Cashflow:

$$C_t = E_{ges} - A_{trans} = E_{pers} + E_{leas} + E_{betr} - A_{trans} = 243.515,4 - I \cdot 0,018$$

Formel 7.7: jährlicher Cashflow

- **Internal Rate of Return**

Dieser Cashflow wird nun in die Formel für den IRR eingesetzt, zusammen mit der in *Kapitel 7.2.2* definierten Aufteilung der Investitionssumme. Als Betrachtungszeitraum wird die maximal mögliche dynamische Amortisationszeit von sechs Jahren gewählt, wobei im ersten Jahr während der Projektrealisierung keine Rückflüsse zu erwarten sind. Der interne Zinssatz i beträgt die mindestens geforderten 20%:

$$0 = -I \cdot 0,6 - I \cdot 0,4(1+i)^{-1} + \sum_{t=2}^6 C_t \cdot (1+i)^{-t}$$

$$0 = -I \cdot 0,6 - I \cdot 0,4(1,2)^{-1} + \sum_{t=2}^6 (243.515,4 - I \cdot 0,018) \cdot (1,2)^{-t}$$

Formel 7.8: maximale Investitionssumme IRR

Die Lösung der Formel 7.8 ergibt eine maximale Investitionssumme von **620.413 Euro**.

- **Return on Funds Employed (ROFE)**

Wie beim IRR wird auch hier ein Betrachtungszeitraum von sechs Jahren angenommen. Die kalkulatorische Abschreibung a_k wird mit Hilfe der zu Beginn des *Kapitels 7.2.2* getroffenen Aufteilung des Investitionskapitals berechnet (siehe *Formel 7.4*):

$$a_k = \frac{I_A + I_F - L}{ND}$$

Als Anfangsinvestition I_A werden jene 60% der Gesamtinvestition definiert, welche zu Projektbeginn anfallen. Die Folgeinvestition I_F entspricht somit den restlichen 40% am Ende des ersten Jahres. Es gibt keinen Liquidationserlös L , da die Anlage über den Betrachtungszeitraum hinaus weiterhin benutzt wird. Als

Nutzungsdauer werden jedoch die obligatorischen sechs Jahre herangezogen, beginnend mit der Anfangsinvestition.

Will man nun unter der Randbedingung des minimalen ROFE von 30% die maximal mögliche Investitionssumme ermitteln, so ergibt sich das Problem, dass diese von a_k abhängig ist und umgekehrt, weshalb sich als Berechnungsmethode eine iterative Vorgehensweise anbietet. Folgende *Tabelle 7.1* zeigt die entsprechende Umsetzung in *Microsoft Excel*:

Jahr	0	1	2	3	4	5	6
Anfangswert	0,00	361,66	502,30	401,84	301,38	200,92	100,46
Investment	361,66	241,10					
Cashflow			232,67	232,67	232,67	232,67	232,67
Abschreibungen		-100,46	-100,46	-100,46	-100,46	-100,46	-100,46
EBIT	0,00	-100,46	132,21	132,21	132,21	132,21	132,21
Funds employed	361,66	502,30	401,84	301,38	200,92	100,46	0,00

Tabelle 7.1: Aufstellung der Kapitalwerte [in 1000 Euro]

Die jeweiligen Summen der letzten beiden Spalten, eingesetzt in die *Formel 7.3* des ROFE:

$$ROFE = \frac{\sum_{t=0}^6 EBIT}{\sum_{t=0}^6 funds\ employed} \cdot 100 = \frac{560,57}{1.868,56} \cdot 100 = 30\%$$

Diese Werte ergeben sich bei einer maximalen Investition von **602.760 Euro**.

- **Dynamische Amortisationszeit**

Wie die beiden vorhergehende Abschnitte gezeigt haben, ergeben sich bei der Berechnung von IRR und ROFE unterschiedliche Grenzwerte. Da jedoch beide Kennzahlen eingehalten werden müssen, ist von den beiden Investitionssummen prinzipiell nur die niedrigere des ROFE von Bedeutung (was letztendlich auch für die Amortisationszeit von Vorteil ist).

Der jährliche Cashflow C_t wurde bereits zu Beginn des Kapitels berechnet:

$$C_t = 243.515,4 - I \cdot 0,018$$

Für die Abzinsung kommt der Kalkulationszinssatz i_k von 5% zum Einsatz und für die Investitionssumme gilt wieder die Aufteilung von 60% zu Beginn und 40% am Ende des ersten Jahres. Somit lautet *Formel 7.5* in veränderter Form:

$$0 = -I \cdot 0,6 - I \cdot 0,4 \cdot (1 + i_k)^{-1} + \sum_{t=0}^{T_A} C_t \cdot (1 + i_k)^{-t}$$

$$0 = -I \cdot 0,6 - I \cdot 0,4(1,05)^{-1} + \sum_{t=2}^{T_A} (243.515,4 - I \cdot 0,018) \cdot (1,05)^{-t}$$

Vereinfachung durch Einsetzen der Investitionssumme von **602.760.-** ergibt:

$$0 = -361.656,2 - 229.622,8 + \sum_{t=2}^{T_A} (232.665,7) \cdot (1,05)^{-t}$$

Auch hier bietet sich die numerische Lösung an, wie in der folgenden *Tabelle 7.2* dargestellt:

Jahr	0	1	2	3	4	5	6
Cashflow	-361,66	-241,10	232,67	232,67	232,67	232,67	232,67
Barwerte (Zinsatz p.a.)	-361,66	-229,62	211,03	200,99	191,41	182,30	173,62
Kumulierte Barwerte	-361,66	-591,28	-380,24	-179,26	12,16	194,46	368,07

Tabelle 7.2: Aufstellung der Kapitalwerte [in 1000 Euro]

Die dynamische Amortisationszeit ist nun jene Zeitspanne, bis der kumulierte Barwert Null wird. Ein genaues Ergebnis liefert die lineare Interpolation:

$$T_A = 3,94 \text{ Jahre}$$

7.2.2.2 Vollautomatisierung

Die Berechnungsmethoden der Vollautomatisierung sind mit jenen der Teilautomatisierung in *Kapitel 7.2.2.1* völlig identisch, weshalb an dieser Stelle auf entsprechende Details verzichtet wird. Lediglich das Einsparungspotential ändert sich, wie in *Kapitel 7.1* angegeben, auf 15 Mitarbeiter und vier Gabelstapler:

$$E_{pers} = 15 \cdot 37.000 = 555.000. - [\text{Euro pro Jahr}]$$

$$E_{leas} = 4 \cdot 8.657,7 = 34.630,8. - [\text{Euro pro Jahr}]$$

$$E_{betr} = 4 \cdot 2.100 = 8.400. - [\text{Euro pro Jahr}]$$

Auch der Betriebskostensatz des Flurtransportsystems, abhängig vom Investitionsbetrag I bleibt gleich (siehe *Kapitel 7.2.2.1*):

$$A_{trans} = I \cdot 0,018$$

Somit ergibt sich der jährliche Cashflow:

$$C_t = E_{ges} - A_{trans} = E_{pers} + E_{leas} + E_{betr} - A_{trans} = 598.030,8 - I \cdot 0,018$$

- **Internal Rate of Return**

Auch für die Vollautomatisierung gilt der interne Zinssatz von 20%:

$$0 = -I \cdot 0,6 - I \cdot 0,4(1,2)^{-1} + \sum_{t=2}^6 (598.030,8 - I \cdot 0,018) \cdot (1,2)^{-t}$$

Die maximale Investitionssumme beträgt: **1.523.624,9 Euro**.

- **Return on Funds Employed (ROFE)**

Analog zur Teilautomatisierung zeigt die folgende *Tabelle 7.3* die Kapitalwerte in Tabellenform:

Jahr	0	1	2	3	4	5	6
Anfangswert	0,00	888,17	1.233,57	986,85	740,14	493,43	246,71
Investment	888,17	592,11					
Cashflow			571,39	571,39	571,39	571,39	571,39
Abschreibungen		-246,71	-246,71	-246,71	-246,71	-246,71	-246,71
Funds employed	888,17	1.233,57	986,85	740,14	493,43	246,71	0,00
EBIT	0,00	-246,71	324,67	324,67	324,67	324,67	324,67

Tabelle 7.3: Aufstellung der Kapitalwerte Vollautomatisierung [in 1000 Euro]

Die maximale Investitionssumme beträgt: **1.480.280 Euro**.

- **Dynamische Amortisationszeit**

Auch hier gibt es keinen Unterschied zu den Berechnungen in *Kapitel 7.2.2.1*. Tatsächlich ist sogar das Ergebnis dasselbe, da als Ausgangsbasis wieder die Investitionssumme des ROFE herangezogen wird, welche auch hier mindestens 30% betragen muss. Das Verhältnis aus Einnahmen und Ausgaben bleibt somit unverändert und somit auch die dynamische Amortisationszeit:

$$T_A = 3,94 \text{ Jahre}$$

7.3 Kostenvergleich

Wie bereits zu Beginn von *Kapitel 7* erwähnt wurde, ist beim möglichen Einsatz eines automatischen Transportsystems die Kosteneinsparung das entscheidende Kriterium. Die folgende Tabelle 7.4: **Vergleich der Angebotskosten** stellt einen Überblick über die Hauptkostenpunkte sämtlicher Angebotsvarianten, sowie die in *Kapitel 7.2* berechneten Grenzwerte dar⁴³. Deutlich zu erkennen ist dabei, dass das Kostenkriterium unter den gegebenen Bedingungen unmöglich eingehalten werden kann. Aus rein wirtschaftlicher Sicht ist eine Automatisierung daher abzulehnen.

	TMS 1	AFT	TMS 2
	Teilautomatisierung		Vollautomatisierung
Investitionskosten	2.633.000.-	2.470.034.-	4.277.000.-
Grenzwert IK	602.760.-		1.480.280.-
Betriebskosten p.a.	47.394.-	44.460,6.-	76.986.-
Einsparung p.a.	243.615,4.-		598.030,8.-
Amortisationsdauer	25 Jahre	21 Jahre	13 Jahre
Grenzwert AD	6 Jahre		

Tabelle 7.4: Vergleich der Angebotskosten

⁴³ Von den beiden Vollautomatisierungsvarianten der Firma TMS Automotion wurde die Variante 3 gewählt, da diese sowohl in finanzieller, als auch technischer Hinsicht eine Verbesserung zu Variante 2 darstellt.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Gegensatz zu all den automatisierten Produktionseinrichtungen der *Magna Heavy Stamping* erfolgt der innerbetriebliche Warentransport vollständig manuell per Gabelstapler, weshalb im Unternehmen die Frage aufkam, ob nicht auch dieser Bereich zumindest teilweise automatisiert werden könnte.

Wie sich im Rahmen dieser Untersuchung gezeigt hat, gibt es mit der Elektrotragebahn, der Elektrohängebahn, dem Fahrerloses Transportsystem und dem Staplerleitsystem sowohl in technischer, als auch in wirtschaftlicher Hinsicht höchst unterschiedliche Lösungsansätze und es ist immer eine Frage des jeweiligen Anwendungsfalls, welches System am besten geeignet ist.

Besonderes Augenmerk wurde daher auf die Analyse des Istzustandes und die Definition der Randbedingungen gelegt. Die Anwendung dieser Bedingungen auf die einzelnen Transportsysteme im Rahmen der Systemauswahl führte letztendlich dazu, dass das Fahrerlose Transportsystem zur am besten geeigneten Automatisierungsvariante gewählt wurde.

Mit Hilfe der gesammelten Daten konnte ein konkretes Anforderungsprofil definiert und Kontakt mit Systemlieferanten aufgenommen werden, welche in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der Magna Heavy Stamping zahlreiche Angebote erstellten. Dabei zeigte sich, dass für viele Aspekte des Projektes unterschiedliche Lösungsansätze existieren.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde bewusst auf eine Wertung dieser Ansätze verzichtet (sehr wohl jedoch die zu erwartenden Vor- und Nachteile aufgezeigt), da die Entscheidung über die Form der Projektumsetzung letztendlich bei der Unternehmensleitung liegt. Sie ist sie, welche die für ein derartiges Investitionsprojekt benötigten finanziellen Mittel freigibt und somit das entsprechende Risiko trägt.

Die wirtschaftliche Betrachtung hat gezeigt, dass diesem Risiko im Magna-Konzern ganz klare Grenzen in Form von Finanzkennzahlen gesetzt sind, welche von keinem der dargelegten Angebote eingehalten werden konnten. Die Abweichung war dabei so groß, dass auch die übliche Ausnutzung des Verhandlungsspielraums daran nichts ändern konnte.

Angesichts dieser Ergebnisse steht fest, dass eine Automatisierung des innerbetrieblichen Transports bei *Magna Heavy Stamping* (unter Beachtung gegebener Rahmenbedingungen) aus wirtschaftlicher Sicht nicht möglich ist.

Entscheidend hierfür sind jedoch nicht die Finanzkennzahlen, sondern vielmehr ist es der außerordentlich flexible Einsatz der Gabelstapler im Unternehmen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Frank Stronach (Mitte) und seine ersten beiden Mitarbeiter	- 1 -
Abbildung 1.2: Magna International Gruppenstruktur	- 3 -
Abbildung 1.3: Magna International - weltweite Präsenz	- 5 -
Abbildung 1.4: Unternehmensübersicht	- 8 -
Abbildung 1.5: Pressenlinie B	- 9 -
Abbildung 1.6: Transferpresse	- 10 -
Abbildung 1.7: Transport per Gabelstapler	- 11 -
Abbildung 3.1: Planungsablauf (allgemein)	- 15 -
Abbildung 3.2: Planungsablauf bei MHS	- 16 -
Abbildung 3.3: typisches Gebinde mit Pressteilen	- 17 -
Abbildung 3.4: Unterseiten verschiedener Gebindetypen	- 18 -
Abbildung 3.5: Gebindelagerfläche	- 19 -
Abbildung 3.6: Lagerbereiche	- 21 -
Abbildung 3.7: Entnahmepositionen an Pressenlinie B	- 23 -
Abbildung 3.8: seitliche Entnahme (Linie A)	- 24 -
Abbildung 3.9: Materialfluss zwischen Linie A und Lager	- 31 -
Abbildung 3.10: Materialfluss zwischen Linie B und Lager	- 32 -
Abbildung 3.11: Auslastung der Hauptfahrwege	- 33 -
Abbildung 3.12: Schrottförderband bei MHS	- 41 -
Abbildung 3.13: Einteilung der Flurförderer	- 42 -
Abbildung 4.1: Induktive Spurführung und Fahrzeuglenkung im FTS- Fahrzeug	- 52 -
Abbildung 4.2: Prinzip der induktiven Spurführung	- 53 -
Abbildung 4.3: Lenkung von FTS-Fahrzeugen	- 54 -
Abbildung 4.4: FTS-Fahrzeug mit optischem, passiven Leitsystem und Infrarot-Datenübertragung	- 55 -
Abbildung 4.5: EHB mit integrierter Hubvorrichtung	- 56 -
Abbildung 4.6: ETB in einem Motorenwerk	- 57 -
Abbildung 4.7: SLS-Terminal	- 58 -
Abbildung 6.1: Übergabestation als Kettenförderanlage ausgeführt	- 71 -
Abbildung 6.2: Sicherheitssysteme	- 73 -
Abbildung 6.3: Drehratensensor	- 74 -
Abbildung 6.4: Aufbau der Messradeinheit	- 75 -
Abbildung 6.5: Ausschnitt des Anlagenlayouts TMS Variante 1 im Presswerk	- 77 -
Abbildung 6.6: FTF mit Seitenschubgabel	- 78 -
Abbildung 6.7: Ausschnitt des Anlagenlayouts TMS Variante 2	- 79 -
Abbildung 6.8: Schematische Seitenansicht eines	- 82 -
Abbildung 6.9: Ausschnitt des Anlagenlayouts AFT	- 83 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Technische Daten der Pressenlinien	- 10 -
Tabelle 3.1: Wegmatrix (alle Maße in Meter)	- 25 -
Tabelle 3.2: Stückzahlen	- 27 -
Tabelle 3.3: Packdichte (Bauteile pro Gebinde)	- 27 -
Tabelle 3.4: Von-Nach-Matrix (alle Werte in "Fahrten pro Jahr")	- 28 -
Tabelle 3.5: Prozentuelle Von-Nach-Matrix	- 29 -
Tabelle 3.6: Gebindetaktzeiten	- 35 -
Tabelle 3.7: verschiedene Losgrößen	- 37 -
Tabelle 3.8: Gebindeanzahl pro Los	- 37 -
Tabelle 3.9: MTM- Grundbewegungen	- 45 -
Tabelle 3.10: Berechnung der Taktzeit für einen Gabelstapler	- 46 -
Tabelle 3.11: Anzahl benötigter Gabelstapler	- 46 -
Tabelle 3.12: Anzahl benötigter Gabelstapler bei doppelfallenden Bauteilen	- 47 -
Tabelle 3.13: Extremwerte	- 48 -
Tabelle 5.1: Werteskala nach VDI 2225 [Pahl, 2007, S. 172]	- 63 -
Tabelle 5.2 Nutzwertanalyse	- 64 -
Tabelle 5.3: Anzahl benötigter Fahrzeuge für diverse Bauteile	- 68 -
Tabelle 6.1: Angebot TMS Variante 1	- 78 -
Tabelle 6.2: Angebot TMS Variante 2	- 80 -
Tabelle 7.1: Aufstellung der Kapitalwerte [in 1000 Euro]	- 94 -
Tabelle 7.2: Aufstellung der Kapitalwerte [in 1000 Euro]	- 95 -
Tabelle 7.3: Aufstellung der Kapitalwerte Vollautomatisierung [in 1000 Euro]	- 96 -
Tabelle 7.4: Vergleich der Angebotskosten	- 97 -

Literaturverzeichnis

AFT- Group. (2004). Angebot.

Bauer, U. (2003). *Betriebswirtschaftslehre*. TU Graz.

Koether, R. (2004). *Taschenbuch der Logistik*. Fachbuchverlag Leipzig.

Koether, R. (2001). *Technische Logistik*. Carl Hanser Verlag München Wien.

Magna Intranet. (9. 7 2010). Abgerufen am 16. 8 2010 von Magna Intranet/ Standort Albersdorf/ Fachabteilung Logistik

ORF Steiermark. (1. 8 1997). Steiermark Heute.

Oser, J. (2000). *Förder- und Lagertechnik, Logistik*. TU Graz.

Pahl, G. (2007). *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. Springer-Verlag.

TMS Automotion. (2004). Angebot.

Internetquellen:

Österreichische Nationalbank. (2010). Abgerufen am 19. 8 2010 von <http://www.oenb.at/isaweb/report.do?report=2.6>

Prologistik. (2009). Abgerufen am 2009 von Prologistik: <http://www.prologistik.com>
Quality. (2009). Abgerufen am 2009 von www.quality.de/lexikon/nacharbeit.htm

Wikipedia. (2005). Abgerufen am 2008 von http://de.wikipedia.org/wiki/Methods-Time_Measurement

Wikipedia. (2009). Abgerufen am 2009 von Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Tiefziehen>

Wikipedia. (10. 9 2010). Abgerufen am 14. 10 2010 von http://de.wikipedia.org/wiki/Steyr_Daimler_Puch