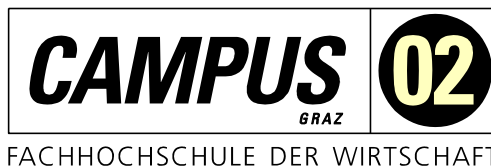


Masterarbeit

FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEME ZUR RATIONALISIERUNG DER INTRALOGISTIK

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Markus Haister, BSc

1810322030

betreut und begutachtet von
FH-Prof. DI Dieter Lutzmayr

Graz, im Juli 2020

.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

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

.....
Unterschrift

DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei meiner Partnerin für die moralische Unterstützung bedanken. Auch meine Eltern haben mich ebenfalls stets motiviert weiterzumachen und meinen Studienkollegen danke ich für den guten Zusammenhalt während der letzten Semester.

Besonders möchte ich Herrn FH-Prof. DI Dieter Lutzmayr danken, der diese Arbeit nicht nur betreut, sondern auch die Mühe auf sich genommen hat eine Präsentation des von der FH CAMPUS 02 entwickelten fahrerlosen Transportfahrzeuges im Unternehmen Anton Paar GmbH durchzuführen.

Des Weiteren danke ich Herrn Ing. Johann Scherfranz, der es überhaupt ermöglicht hat, dass ich diese Arbeit zu einem Thema der Anton Paar GmbH schreiben kann. Zu guter Letzt danke ich Frau DI (FH) Petra Wimmer für die kompetente Unterstützung und Hilfe in allen Belangen.

KURZFASSUNG

Diese Arbeit befasst sich mit der Implementierung von fahrerlosen Transportsystemen in ein bestehendes Logistiksystem. Das System besteht aus traditionellen Regallagern, einem automatischen Kleinteilelager, Anlieferregalen und einer manuellen Intralogistik.

Es wurde der Stand der Technik, sowie aktuelle Problemstellungen bezogen auf die Rahmenbedingungen, betrachtet. In Anlehnung an diese Recherche wurde ein Konzept erstellt. Dieses umfasst Standard-Anwendungen im Innenbereich für Kleinladungsträger und Paletten bis Sonderlösungen für den Außenbereich, sowie die notwendigen Änderungen an der Infrastruktur. Basis dafür ist eine umfassende Materialflussanalyse und die zugrunde liegende Primärdatenerhebung.

Bezogen auf gegebene Restriktionen wurden unterschiedliche Ansätze des Konzepts so vergleichbar wie möglich bewertet und schlussendlich wurde eine qualifizierte Empfehlung gegeben.

ABSTRACT

This thesis deals with the implementation of autonomous guided vehicles within an existing logistics system. The system consists of traditional storage racks, an automated mini-load system, delivery racks and manually operated intralogistics.

The state of the art as well as current problem formulations regarding the boundary conditions have been considered. Based on that research a concept has been created that embraces indoor standard applications for small load carriers and pallets as well as special outdoor applications and necessary infrastructure changes. The fundament is a comprehensive analysis of the material flow and the affiliated primary data.

Regarding the boundary conditions all approaches within the concept have been rated as comparable as possible and finally a qualified recommendation was provided.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Fahrerlose Transportsysteme und Anton Paar	1
2	Das Unternehmen Anton Paar	2
3	Materialflussanalyse.....	3
3.1	Durchsatz allgemein	3
3.2	Darstellung des Materialflussmodells	6
3.3	Anzahl der Fahrzeuge	10
4	Fahrerlose Transportsysteme	12
4.1	Allgemeine Definition und Erklärung	13
4.2	Fahrerlose Transportfahrzeuge	14
4.3	FTS Leitsteuerung	23
4.4	Navigation	26
4.5	Sicherheit	29
4.6	Fördertechnische Anwendungen	30
5	Grundlagen der Konzeptionierung	34
5.1	Groblayout	34
5.2	Logistik bis dato	35
5.3	Bedarfs- und Primärdatenerhebung	42
6	Konzept zur Implementierung	56
6.1	Strategie zur Umsetzung	56
6.2	Einführung eines FTS im Montagezentrum inklusive Teststellung vorab	56
6.3	Erweiterung des FTS um die mechanische Fertigung und Pendelverkehr	74
6.4	Anbindung des Altbaus und Bürogebäudes	77
7	Zusammenfassende Empfehlung	78
	Literaturverzeichnis	79
	Abbildungsverzeichnis.....	81
	Tabellenverzeichnis.....	84

1 FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEME UND ANTON PAAR

Diese Arbeit befasst sich mit den Möglichkeiten der Implementierung von fahrerlosen Transportsystemen (folgend nur mehr als FTS bezeichnet) im Unternehmen Anton Paar am Standort Graz, allerdings ist diese Arbeit ebenso relevant für weitere produzierende Unternehmen der Anton Paar Gruppe unter der Prämisse ähnlicher intralogistischer Prozesse.

Anton Paar ist ein sehr innovatives Unternehmen und sucht stets nach neuen Technologien um Prozesse effektiver zu gestalten. Bereits 2014 wurde ein automatisches Kleinteilelager gebaut. Bei diesem Projekt wurde entschieden nicht das gesamte Gebäude mit Fördertechnik auszustatten, sondern Transporte manuell durchzuführen. Nun hinterfragt man diese Maßnahme und es soll untersucht werden, ob eine fördertechnische Anbindung des Standortes Graz Sinn macht, nicht zuletzt auch aufgrund des stetigen Wachstums.

Ziel ist es ein Konzept in Kooperation mit Herstellern von FTS zu erstellen und zu analysieren. Anfangs wird hierbei der Stand der Technik erhoben, sowie ein Überblick über den Materialfluss und der mögliche Grad der Automatisierung bezogen auf Vollzeitäquivalente, also der Rationalisierung einer Vollzeitmitarbeiterin bzw. eines Vollzeitmitarbeiters durch die Automatisierung, gegeben.

Aufgrund der erhobenen Daten erfolgt eine Aufteilung des Konzeptes in Teilschritte. Es werden Vor- und Nachteile der einzelnen Ansätze kritisch betrachtet und verglichen. Diese Ansätze werden zu einem Konzept zusammengefasst, welches dann auf sinnvolle Umsetzung geprüft wird.

Das Konzept beinhaltet neben dem Mengengerüst der fahrerlosen Transportfahrzeuge eine Fahrkurstopologie, periphere Einrichtung und ähnliches.

Auslegung und Entscheidung ist von den vielen unternehmensspezifischen Faktoren beeinflusst, z.B. das enorme Wachstum des Unternehmens, sowie die damit verbundene Flexibilität. Auch der Nutzen des Konzeptes wird kritisch hinterfragt und letztendlich erfolgt eine zusammenfassende Empfehlung.

2 DAS UNTERNEHMEN ANTON PAAR

Im Jahr 1922 wurde von Anton Paar eine Schlosserei in Graz gegründet. Nachdem die Tochter Margarete Platzer das Unternehmen übernahm wurde der Fokus auf Präzisions- und Feinmechanik gesetzt und so kam es schlussendlich 1957 zur Produktion des ersten wissenschaftlichen Messgerätes des Unternehmens: Die Kratky-Röntgen-Kleinwinkelkamera. Daraufhin folgte 1967 das erste digitale Dichtemessgerät für die Laborarbeit mit Biegeschwingertechnologie: das DMA 02C. Durch den Einstieg in weitere Technologien wie Rheometrie, Viskosimetrie und chemische Aufschlusstechnologien stellte man sich am Markt breiter auf. Nachdem Dr. Friedrich Santner die Geschäftsführung übernahm begann man ab 2007 auch durch Unternehmens- und Technologiezukäufe den Markt weiter zu penetrieren.

Im Lauf der Jahrzehnte ist Anton Paar zu einem Unternehmen von beachtlicher Größe gewachsen. Mit Stichtag 1. Juli 2019 arbeiten 3.385 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen bei Anton Paar. Im Geschäftsjahr 2018 wurde ein Umsatz von 366 Mio. Euro erwirtschaftet. 20 % des Umsatzes der Anton Paar GmbH werden in Forschung & Entwicklung investiert. 95 % der Messlösungen gehen in den internationalen Export. Der Erfolg basiert zu einem Großteil auf eigener Produktion. Alle kritischen Bauteile werden selbst hergestellt und es wird versucht, die interne Wertschöpfung zu maximieren. Dies geschieht sowohl durch ständige Optimierung, Einsatz von innovativen Technologien, als auch Automatisierung der Prozesse. Die Fertigungstechnologien umfassen:

- 7-Achsen-Doppelspindel-Drehzentren und 5-Achsen-Fräszentren zur hochpräzisen Produktion von Bauteilen aus Metallrohlingen und zum vollautomatischen Werkzeugwechsel durch Unterstützung mehrerer Roboter in der Grazer Fertigung.
- Metall-3D-Druck: In der Grazer Produktion seit 2014 im Einsatz, zur Produktion von Bauteilen, die mit klassischen Technologien (Drehen und Fräsen) nicht zu produzieren sind.
- SMD-Technologie (Surface mounted device) mit vollautomatischer Platinenbestückung.
- Laserschneiden, Laserschweißen und selektives Lötten.

Anton Paar ist ein internationales Unternehmen. Insgesamt verfügt man über acht produzierende Standorte: Drei in Deutschland (Anton Paar ProveTec, Anton Paar OptoTec, AXO DRESDEN), einen in der Schweiz (Anton Paar TriTec), einen in den USA (Anton Paar QuantaTec) sowie Anton Paar ShapeTec in Wundschuh und in Bosnien und auch die Grazer Zentrale.

Um alle internationalen Märkte beliefern und servicieren zu können, wurden 31 internationale Vertriebstöchter (inklusive Taiwan und Spanien, die am 1. Jänner 2019 gestartet haben) gegründet und man kooperiert mit 50 Vertriebspartnern.

Eigentümer der Firma ist die "Gemeinnützige Santner Privatstiftung". Sie hat zwei Stiftungszwecke: Die Förderung der gemeinnützigen Wissenschaft und Forschung und die Vorbeugung und Bekämpfung von Drogenabhängigkeit bzw. das Unterstützen von Projekten zur Suchtbekämpfung.

3 MATERIALFLUSSANALYSE

Um einen Überblick zu schaffen über die genauen Anforderungen, die es zu bewältigen gilt, folgt nun ein kurzer Überblick relevanter Daten und wie sie berechnet werden.

3.1 Durchsatz allgemein

Um ein Konzept zu erstellen muss zuerst der Durchsatz klar definiert werden. Der Durchsatz gibt an wie viele Fördereinheiten (FE) unbehindert mit einer Geschwindigkeit v auf einer Förderstrecke mit Länge l von einer Quelle (Q) zu einer Senke (S) transportiert werden.¹

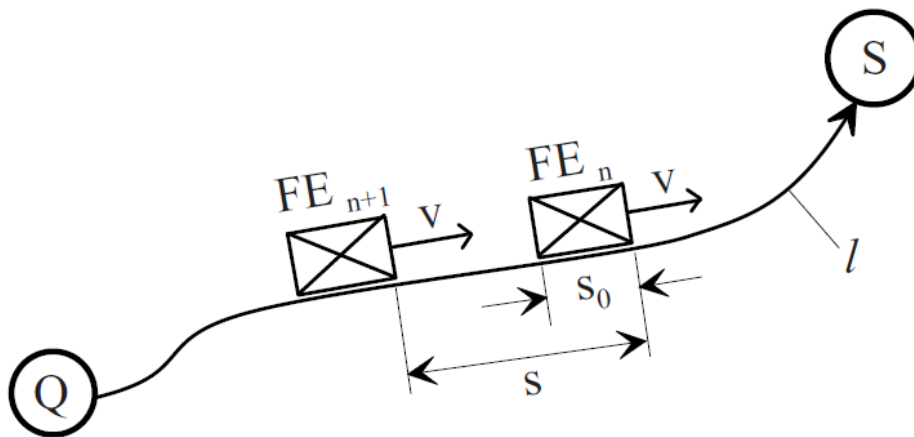


Abb. 1: Darstellung des Durchsatzes, Quelle: D. Arnold (2009), S. 11.

Der Durchsatz gibt lediglich an wie viele Fördereinheiten innerhalb einer definierten Zeit einen beliebigen Punkt entlang der Förderstrecke passieren unter der Prämisse der konstanten Fördergeschwindigkeit. Die Anzahl der Fördereinheiten, die sich auf dem Fördermittel befinden oder die Transportdauer ist für die Durchsatzbetrachtung unerheblich, genauso wie (z.B. mit stetigen oder unstetigen Fördermitteln, etc.) oder wodurch (z.B. aktive Förderstrecke, FTS, etc.) die Fördereinheiten transportiert werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich unstetige Fördermittel auf passiven Förderstrecken (z.B. Schienen, Wege, etc.) höchstwahrscheinlich nicht mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegen, daher sind alle geschwindigkeitsbeschränkenden Gegebenheiten zu berücksichtigen. Sollte das nicht exakt möglich sein wird eine durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit angenommen. Zusammenfassend berechnet sich der Durchsatz nun wie auf der folgenden Seite beschrieben.²

¹ Vgl. D. Arnold (2009), S. 11; Vgl. D. Arnold (2007), S. 615.

² Vgl. D. Arnold (2009), S. 12; Vgl. Martin (2009), S.27 f.

$$\lambda = \frac{v}{s} \quad (3.1)$$

λ/s^{-1}	Durchsatz
v/ms^{-1}	Geschwindigkeit
s/m	Abstand der Fördereinheiten

Da Unstetigförderer diese Voraussetzungen in der Regel nicht erfüllen wird hier der Durchsatz über die Spielzeit berechnet:³

$$\lambda = \frac{1}{t_s} \quad (3.2)$$

λ/s^{-1}	Durchsatz
t_s/s	Spielzeit

Die Spielzeit ergibt sich aus allen Tätigkeiten, die damit verbunden sind eine Fördereinheit von der Quelle zur Senke zu transportieren, sowie der Rückkehr der leeren Fördereinheit zur Quelle. Diesem vorhandenen Durchsatz steht nun der technisch maximal mögliche Grenzdurchsatz des Fördermittels gegenüber. Über den Durchsatz und den Grenzdurchsatz kann nun auch der Auslastungsgrad ermittelt werden.⁴

$$\rho = \frac{\lambda}{\gamma} \leq 1 \quad (3.3)$$

$\rho/1$	Auslastungsgrad
λ/s^{-1}	Durchsatz
γ/s^{-1}	Grenzdurchsatz

Ebenso kann es notwendig sein die Taktzeit oder Zwischenankunftszeiten zu berechnen. Da sich diese Arbeit mit Unstetigförderern befasst und diese Verluste bereits bei der Berechnung der Spielzeit berücksichtigt werden, folgt nur ein kurzer Überblick ebendieser.

Die Taktzeit ist prinzipiell der Kehrwert des Durchsatzes. Nicht zuletzt aufgrund determinierter Arbeitsphasen des Betriebes ist es immer seltener möglich und sehr oft nicht sinnvoll die Taktzeit zu definieren. Aus diesem Grund kann es notwendig sein die Zwischenankunftszeit zu ermitteln. „Die Zwischenankunftszeit t_n ist [...] die Zeitspanne zwischen Ankunft der (n-1)-ten und der n-ten Fördereinheit an einer beliebigen festen Markierung auf der Förderstrecke.“⁵ In der Praxis ist dies vor allem zusammen mit der realen zeitlichen Verteilung sehr aufwändig, allerdings auch oft notwendig.

³ Vgl. D. Arnold (2007), S. 615.

⁴ Vgl. D. Arnold (2009), S.13.

⁵ D. Arnold (2009), S.14.

Da ein reales System nicht dem oben beschriebenen Ideal entspricht, gilt es hier noch etwaige Verluste durch den nicht linearen Materialfluss zu berücksichtigen. Es gibt hier drei Grundfunktionen, die sogenannten Materialflusselemente:

- Fördern,
- Verzweigen und
- Zusammenführen.

Diese drei Grundfunktionen lassen sich allerdings in einem Materialflusselement vereinen, dem sogenannten universellen Materialflusselement bzw. Komplexknoten.

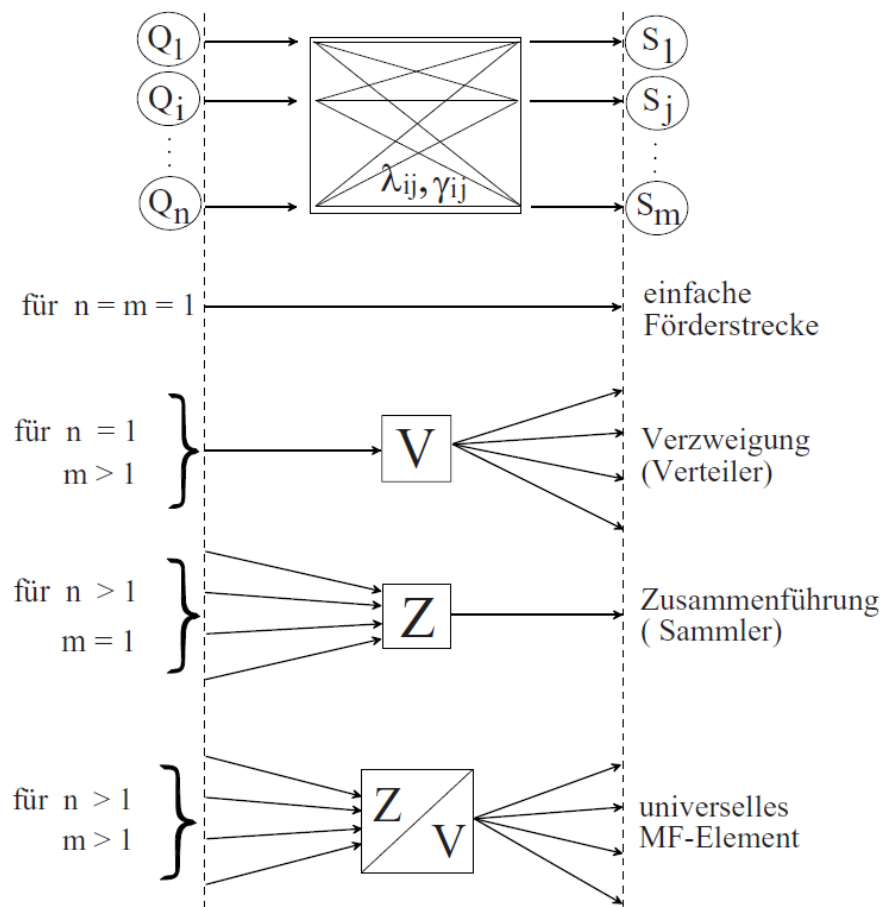


Abb. 2: Materialflusselemente, Quelle: D. Arnold (2009), S. 42.

Aufgrund der Verzweigungen kann man hier den Durchsatz für das universelle Materialflusselement in allgemeiner Form berechnen wie auf der nachfolgenden Seite beschrieben.⁶

⁶ Vgl. D. Arnold (2007), S.616.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \quad (3.4)$$

λ/s^{-1}	Gesamtdurchsatz
$n/1$	Anzahl der zu verteilenden Förderstrecken
$m/1$	Anzahl der zusammenzuführenden Förderstrecken
λ_{ij}/s^{-1}	Durchsatz der einzelnen Förderstrecken

Weiter ist die Durchsatzbedingung wie folgt zu ermitteln. Hier ist zu beachten, dass der Schaltverlust für un stetige und teilstetige Elemente gleich null ist, da alle Verluste bereits in der Durchsatzberechnung über die Spielzeit berücksichtigt sind.⁷

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_{ij}}{\gamma_{ij}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m v_{ij} t_{s_{ij}} \leq 1 \quad (3.5)$$

$n/1$	Anzahl der zu verteilenden Förderstrecken
$m/1$	Anzahl der zusammenzuführenden Förderstrecken
λ_{ij}/s^{-1}	Durchsatz der einzelnen Förderstrecken
γ_{ij}/s^{-1}	Grenzdurchsatz der einzelnen Förderstrecken
v_{ij}/s^{-1}	Schaltfrequenz der einzelnen Förderstrecken
$t_{s_{ij}}/s$	Schaltverlust der einzelnen Förderstrecken

3.2 Darstellung des Materialflussmodells

Aleine über den Durchsatz kann noch keine Aussage zum eigentlichen Materialfluss getroffen werden. Es muss zumindest eine grobe Vorstellung von der technischen Realisierung bestehen. Dies kann zum Beispiel in Form eines Groblayouts erfolgen. Zur Grobplanung gibt es verschiedene Methoden, sowohl zweidimensionale, räumliche, als auch mathematische. Ein typisches Beispiel für eine zweidimensionale Darstellung ist das Sankey-Diagramm, eine spezielle Form des Flussdiagramms bei dem die Intensität des Materialflusses über die Strichstärke der Verbindungen visualisiert wird. Über zweidimensionale und räumliche Methoden kann der Materialfluss jedoch nie quantitativ, sondern nur qualitativ dargestellt werden.⁸

Durch das Layout werden Geschwindigkeiten, Wege und alle Verlustzeiten ermittelt. Diese sind zwingend notwendig, um die mittlere Spielzeit und somit auch den Grenzdurchsatz der Unstetigförderer zu berechnen.⁹

⁷ Vgl. D. Arnold (2009), S.43.

⁸ Vgl. D. Arnold (2007), S. 317 – 319; Vgl. Pawellek (2014), S. 201; Vgl. D. Arnold (2009), S. 251 – 253.

⁹ Vgl. D. Arnold (2009), S. 49 f.

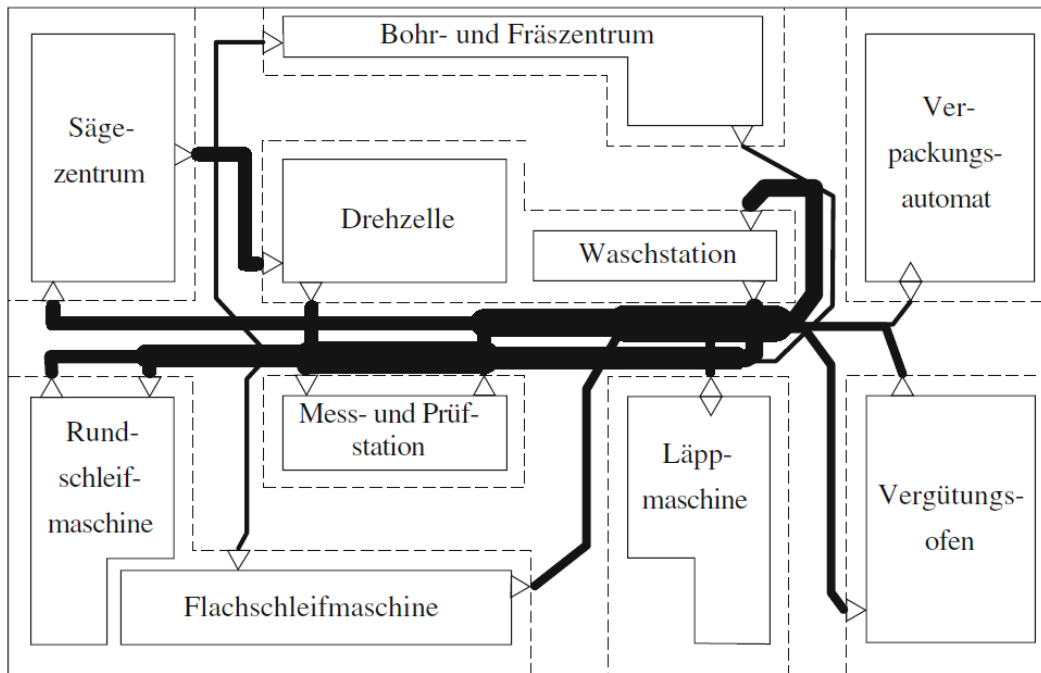


Abb. 3: Beispiel eines Sankey-Diagramms, Quelle: D. Arnold (2009), S. 252.

Um den Materialfluss einfach darzustellen, werden die gewonnenen Erkenntnisse in einem Graphen dargestellt. Ein Graph besteht aus Knoten und Kanten bzw. Pfeilen. Der Graph kann sowohl gerichtet als auch ungerichtet sein. Ein einfaches Beispiel eines Graphen ist in der Darstellung unterhalb ersichtlich.¹⁰

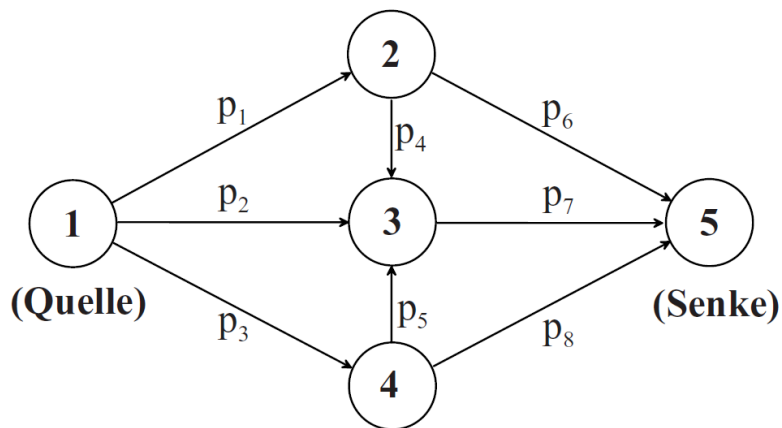


Abb. 4: Einfaches Beispiel eines Graphen, Quelle: D. Arnold (2009), S. 52.

Um eine quantitative Aussage treffen zu können, werden Knoten und Pfeile bewertet. Dies geschieht durch Materialflussmatrizen. Es gibt verschiedene Matrizen und Bewertungsmethoden für verschiedene Problemstellungen.¹¹

¹⁰ Vgl. D. Arnold (2007), S. 44.

¹¹ Vgl. D. Arnold (2009), S. 53.

Die Adjazenzmatrix beschreibt die Struktur und die Flussrichtung des Graphen und spiegelt die Beziehung der Knoten zueinander wider. Die Adjazenzmatrix gibt allerdings auch keine Information über die Intensität der Beziehung der einzelnen Knoten.¹²

		nach				
		j	1	2	3	4
von	i					
	1	0	1	1	1	0
	2	0	0	1	0	1
	3	0	0	0	0	1
	4	0	0	1	0	1
5	0	0	0	0	0	

Abb. 5: Beispiel einer Adjazenzmatrix, Quelle: D. Arnold (2009), S. 54.

Eine weitere Form ist die Bewertungsmatrix. Hier wird zu den Beziehungen der Knoten noch ein Bewertungskriterium hinzugefügt, ein Element c . Wenn keine Beziehung zwischen Knoten besteht wird als Platzhalter das Zeichen ∞ eingesetzt. Für alle Elemente $i = j$ gilt $c_{ij} = 0$.¹³

Zur Neuplanung eines Produktionslayouts kann auch eine „Kürzeste-Wege“-Matrix genutzt werden. Es wird in der Matrix ein Element d hinzugefügt, welches den kürzesten Weg zwischen den Knoten beschreibt, sofern eine Beziehung zwischen den Knoten besteht. Weitere Methoden zur Erfassung der kürzesten Wege wären die Entscheidungsbaumanalyse, der Tripel-Algorithmus oder der DIJKSTRA-Algorithmus, wobei hier nicht weiter auf diese Verfahren eingegangen wird.

„Eine spezielle Form der Bewertungsmatrix $C(G)$ [...] wird Belastungsmatrix $B(G)$ genannt, wenn ihre Elemente die „Belastung“ eines Materialflussnetzwerks mit den im Betrieb von Knoten (i) nach Knoten (j) zu liefernden Fördergütern (z.B. Rohmaterial, Werkstücke, Fertigprodukte) angeben.“¹⁴ Die Belastungen entsprechen den Fördergütern, die über einen gewissen Zeitraum zu transportieren sind. Die Zeilen- oder Spaltensumme gibt die Mindestkapazität des Fördermittels an. In dieser Matrix ist die Zusammenfassung der Fördergüter in Ladeeinheiten noch nicht berücksichtigt.

Um nun auch die Fördereinheiten mitzuberechnen empfiehlt sich die Darstellung durch die Transportmatrix. Sie ist ähnlich wie die Belastungsmatrix, allerdings entsprechen die Werte in der Matrix nicht der Belastung, sondern den Fördereinheiten. Des Weiteren berücksichtigt die Transportmatrix den Rückfluss leerer Behälter. Dieser Rückfluss entspricht meistens dem Fluss der vollen Ladungsträger. Zu berücksichtigen ist, dass die Werte aller Matrizen einen durchschnittlichen Wert widerspiegeln und hier keine Spitzendurchflüsse ersichtlich sind.¹⁵

¹² Vgl. D. Arnold (2009), S. 53 f.

¹³ Vgl. D. Arnold (2009), S. 54 – 65.

¹⁴ D. Arnold (2009), S. 65 f.

¹⁵ Vgl. D. Arnold (2009), S.69.

		nach					H_Q	N	A
		1	2	3	4	5			
von	i \ j								
		1	0	60	10	60	0	130	130
	2	0	0	20	0	40	60	0	0
	3	0	0	0	0	60	60	0	0
	4	0	0	30	0	30	60	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	130
	H_S	0	60	60	60	130			

Abb. 6: Beispiel einer Transportmatrix, Quelle: D. Arnold (2009), S. 69.

Da man über die Transportmatrix sehr einfach die Leerfahrten ermitteln kann, die im günstigsten Fall auftreten, wird in der Regel die Quellenhäufigkeit H_Q , Senkenhäufigkeit H_S , Nachfrage N , und Angebot A ebenfalls angeführt. Die Senkenhäufigkeit entspricht der Spaltensumme, die Quellenhäufigkeit der Zeilensumme. Angebot und Nachfrage der Fördermittel berechnen sich wie folgt.¹⁶

$$(H_{Qi} - H_{Si}) \begin{cases} > 0 \rightarrow \text{Nachfrage } N_i = |H_{Qi} - H_{Si}| \\ < 0 \rightarrow \text{Angebot } A_i = |H_{Qi} - H_{Si}| \end{cases} \quad (3.6)$$

H_{Qi}/s^{-1} Quellenhäufigkeit

H_{Si}/s^{-1} Senkenhäufigkeit

N_i/s^{-1} Nachfrage

A_i/s^{-1} Angebot

Um nun zu verifizieren, dass die Soll-Vorgaben des Materialflusses erfüllt werden müssen noch die Grenzdurchsätze der eingesetzten Fördermittel, die Bereitstellungs- und Abfertigungsstrategie inklusive der Auslastung, sowie die Einhaltung geplanter Verfügbarkeiten der Betriebsmittel und der Ausgleich zwischen be- und entladenen Ladungsträgern untersucht werden.¹⁶

¹⁶ Vgl. D. Arnold (2009), S. 69 f.

3.3 Anzahl der Fahrzeuge

Um die Anzahl der notwendigen Fahrzeuge bestimmen zu können, vor allem bei unabhängig voneinander arbeitenden Fördermitteln, gilt es noch weitere Aspekte zu berücksichtigen um eine optimale Nutzung ebendieser zu gewährleisten. Grundsätzlich hängt es von folgenden Faktoren ab:

- „der Ladekapazität eines einzelnen Fahrzeugs
- der Zahl erforderlicher Lastfahrten
- der Zahl erforderlicher Leerfahrten
- der Reihenfolge der Fahraufträge
- den Weglängen für Last- und Leerfahrten
- den Stillstandszeiten der Fahrzeuge im System
- dem Auslastungsgrad der Fahrzeuge und des Systems“¹⁷

Um nun die Anzahl der notwendigen Fahrzeuge ermitteln zu können, werden weitere Prämissen aufgestellt. Die Kapazität eines Fahrzeuges entspricht genau einer Fördereinheit. Die Durchsatzschwankungen der Leer- und Lastfahrten gleichen sich aus und es kommt dadurch zu keinen produktionsgefährdenden Materialflussengpässen. Die Reihenfolge der Fahraufträge ist so gewählt, dass sie in der vorgegebenen Zeit abgewickelt werden können. Es werden die kürzesten Wege zwischen den Knoten zurückgelegt. Die Stillstandszeiten beim Be- und Entladen sind konstant. Kein Auslastungsgrad ρ ist größer als 1.¹⁸

Nun kann der gesamte Durchsatz λ des Systems in erster Näherung durch die Anzahl der Fahrzeuge und den Erwartungswert der Spielzeit $E(t_s)$ wie folgt ermittelt werden.¹⁸

$$\lambda = z * \frac{1}{E(t_s)} \quad (3.7)$$

λ/s^{-1}	Durchsatz des Systems
$z/1$	Anzahl der Fahrzeuge
$E(t_s)/s$	Erwartungswert der Spielzeit t_s

Um den Erwartungswert der Spielzeit eines Fahrzeuges zu berechnen geht man wie folgt vor.¹⁸

$$E(t_s) = t_0 + E(t_B) + E(t_L) \quad (3.8)$$

$E(t_s)/s$	Erwartungswert der Spielzeit t_s
t_0/s	konstante Zeitanteile (z.B. Be- und Entladen)
$E(t_B)/s$	Erwartungswert der beladenen Fahrzeiten
$E(t_L)/s$	Erwartungswert der leeren Fahrzeiten

¹⁷ D. Arnold (2009), S. 78.

¹⁸ Vgl. D. Arnold (2009), S.79; Vgl. Martin (2009), S. 27 f.

Da die konstanten Zeitanteile in der Regel vorgegeben sind, berechnet man nun die Erwartungswerte der Fahrzeit des beladenen (3.9) und leeren (3.10) Fahrzeuges wie folgt.¹⁹

$$E(t_B) = \frac{1}{v} * \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (d_{ij} \lambda_{ij})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}^{(L)}} + \frac{v}{a} \quad (3.9)$$

$$E(t_L) = \frac{1}{v} * \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (d_{ij} \lambda_{ij}^{(L)})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}^{(L)}} + \frac{v}{a} \quad (3.10)$$

$E(t_B)/s$	Erwartungswert der beladenen Fahrzeiten
$E(t_L)/s$	Erwartungswert der leeren Fahrzeiten
v/ms^{-1}	Geschwindigkeit des fahrenden, beladenen Fahrzeuges
d_{ij}/m	Kürzeste Wege zwischen den Knoten
λ_{ij}/s^{-1}	Durchsatz zwischen den einzelnen Knoten
$\lambda_{ij}^{(L)}/s^{-1}$	Durchsatz der Leerfahrten zwischen den einzelnen Knoten
$n/1$	Anzahl der zu verteilenden Förderstrecken
$m/1$	Anzahl der zusammenzuführenden Förderstrecken
a/ms^{-2}	mittlere Beschleunigung

Hier ist zu beachten, dass die Zeit für das Anfahren und Bremsen, also der Quotient aus v dividiert durch a , meist entfällt. Des Weiteren ist das Verhältnis zwischen dem Grenzdurchsatz und der Anzahl der Fahrzeuge maßgeblich um ein effektives System zu betreiben. Wenn bei gleichbleibendem betrieblichem Durchsatz mehr Fahrzeuge eingesetzt werden steigt vorerst der Grenzdurchsatz und die Auslastung (siehe 3.1) sinkt. Sobald dies jedoch ein verträgliches Maß übersteigt, kommt es zu Staubildungen und zusätzlichen Wartezeiten. Gleiches gilt bei Auslastungsgraden $\rho < 0,5$. Generell kann dieses Phänomen wie unten dargestellt beschrieben werden.¹⁹

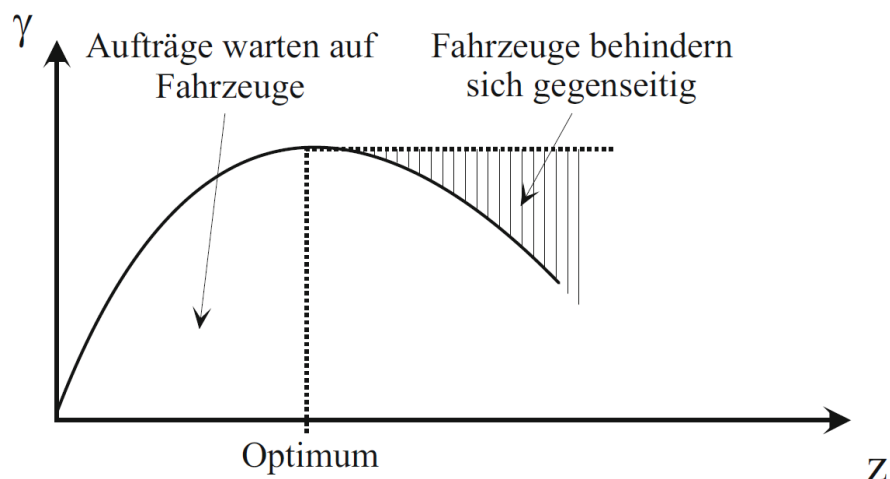


Abb. 7: Verhältnis von Grenzdurchsatz und Anzahl der Fahrzeuge, Quelle: D. Arnold (2009), S. 80.

¹⁹ Vgl. D. Arnold (2009), S. 79 f.

4 FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEME

Fahrerlose Transportsysteme gibt es bereits seit Jahrzehnten, heute sind sie aus der Intralogistik nicht mehr wegzudenken. Der Startschuss für FTS fiel bereits in den 1950er Jahren in den USA. Es entsprang aus der Idee den Menschen, der den Schleppwagen fuhr durch einen Automaten zu ersetzen. Die Technik zu diesem Zeitpunkt war allerdings auf einfachste Spurfolgetechniken und taktile Sensoren, wie beispielsweise mechanische Bumper, beschränkt. 1954 wurde dieser Schleppwagen erstmalig bei der Mercury Motor Freight Company für wiederkehrende Sammeltransporte über große Strecken installiert. Zuvor wurde dies manuell und über Schienen bewerkstelligt. Die Spurführung findet noch heute Verwendung und ist als induktive Spurführung bekannt. Die Sicherheit wurde durch sogenannte Bumper gewährleistet, welche vor allem für FTS im Außenbereich heutzutage noch immer Verwendung finden. Generell waren elementare Merkmale heutiger FTS wie das Leitsystem, die Steuerung inkl. Personenschutzeinrichtungen und das Spurführungssystem bereits zu dieser Zeit zu finden.²⁰

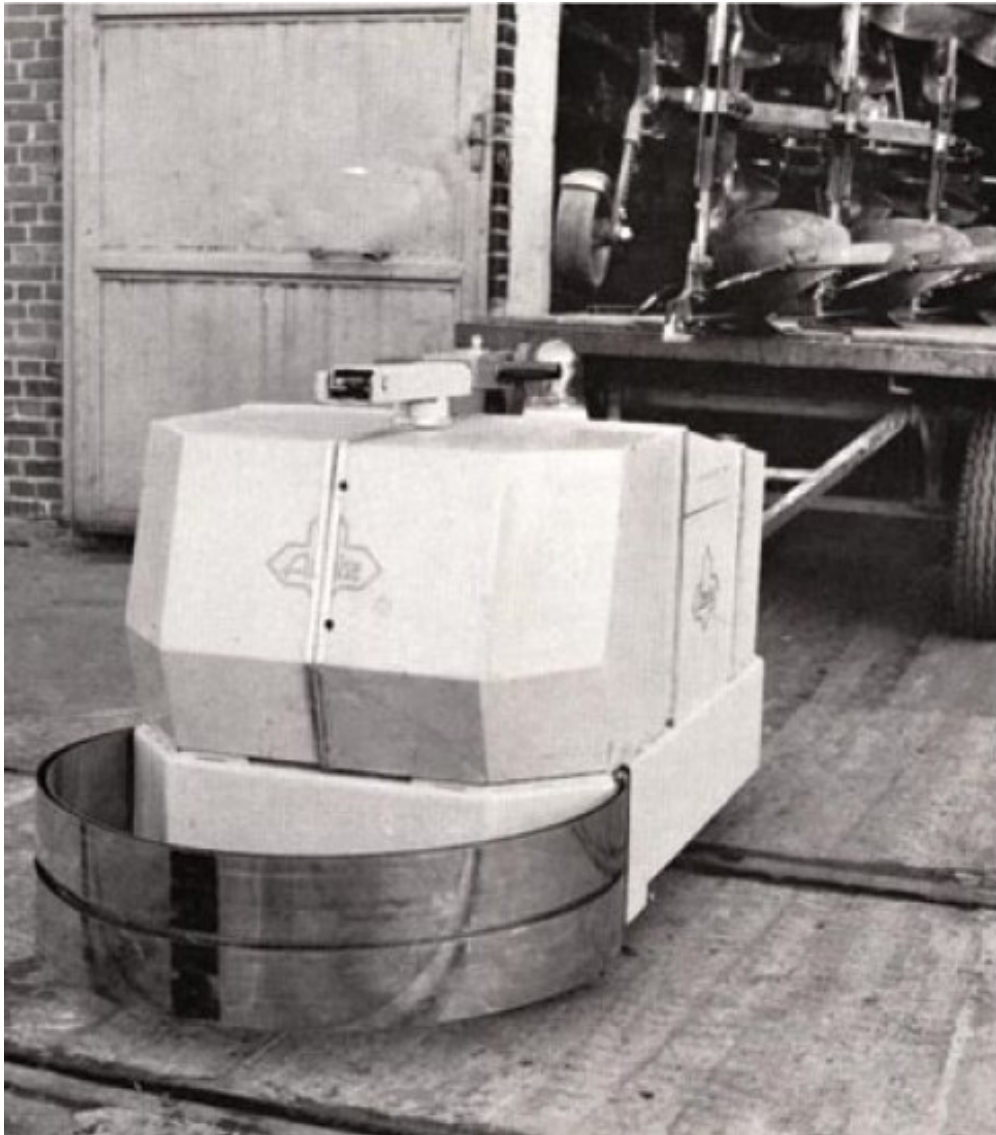


Abb. 8: Einer der ersten Schlepper mit automatischer Kupplung, Quelle: Ullrich (2014), S. 5.

²⁰ Vgl. Ullrich (2014), S. 1 – 4.

In den 1960er Jahren wurde das FTS dank Fortschritten der Elektronik weiterentwickelt. Es wurde statt Röhrentechnik, Relais und „Hubdrehwähler-Schrittschaltwerken“ für die Fahrzeugsteuerung Halbleitertechnik verwendet. Es gab auch bereits FTS mit automatischer Kupplung, die Rückwärtsfahren und Anhänger abstellen konnten.²¹

Das klassische FTS, wie es heute allgemein bekannt ist, entstand in den 1970er Jahren. Der Fortschritt zu dieser Zeit hängt mit der großen Nachfrage der Automobilindustrie zusammen, die sehr oft große Anlagen automatisierten. Schlussendlich kam es in den 1980er Jahren jedoch zu einer vorübergehenden Rezession, da FTS im wirtschaftlichen Tief und der Durchsetzung des Toyota-Produktionssystems keinen Platz mehr fanden. Es wurde auf kompetentere Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen und weniger Fehler, als auf Automatisierung gesetzt.²²

Ab Mitte der 1990er Jahre eröffneten sich neue Möglichkeiten durch neue Technologien, wie z. B. Speicherprogrammierbare Steuerungen, Microrechner, WLAN als Datenübertragungsmittel, verbesserte Sensorik und neue Navigationstechniken. Jegliches Stückgut kann mit FTS transportiert werden und vor allem in der Kliniklogistik wird das FTS immer öfter eingesetzt. Folglich liegt das Haupteinsatzgebiet, bis auf viele Sonderanwendungen, im Transport von Material bzw. in der Intralogistik.²³

4.1 Allgemeine Definition und Erklärung

In Anlehnung an den Verein Deutscher Ingenieure sind „Fahrerlose Transportsysteme (FTS) [...] innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist.“²⁴ Sie werden sowohl im Innen- und Außenbereich eingesetzt und bestehen aus folgenden grundlegenden Komponenten: Mindestens einem fahrerlosem Transport- oder Flurförderfahrzeug, einer Leitsteuerung, Einrichtungen zur Standortbestimmung, Lageerfassung, Datenübertragung und Personenschutz, sowie Infrastruktur und peripheren Einrichtungen, wie automatischen Übergabe- und Übernahmestationen.²⁵

²¹ Vgl. Ullrich (2014), S. 1 – 4.

²² Vgl. Ullrich (2014), S. 7 – 9; Womack/Jones/Roos (1991), o.S.

²³ Vgl. Ullrich (2014), S. 10 – 17.

²⁴ VDI 2510 (2005), S. 6.

²⁵ Vgl. Ullrich (2014), S. 17 – 19; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 6 f.

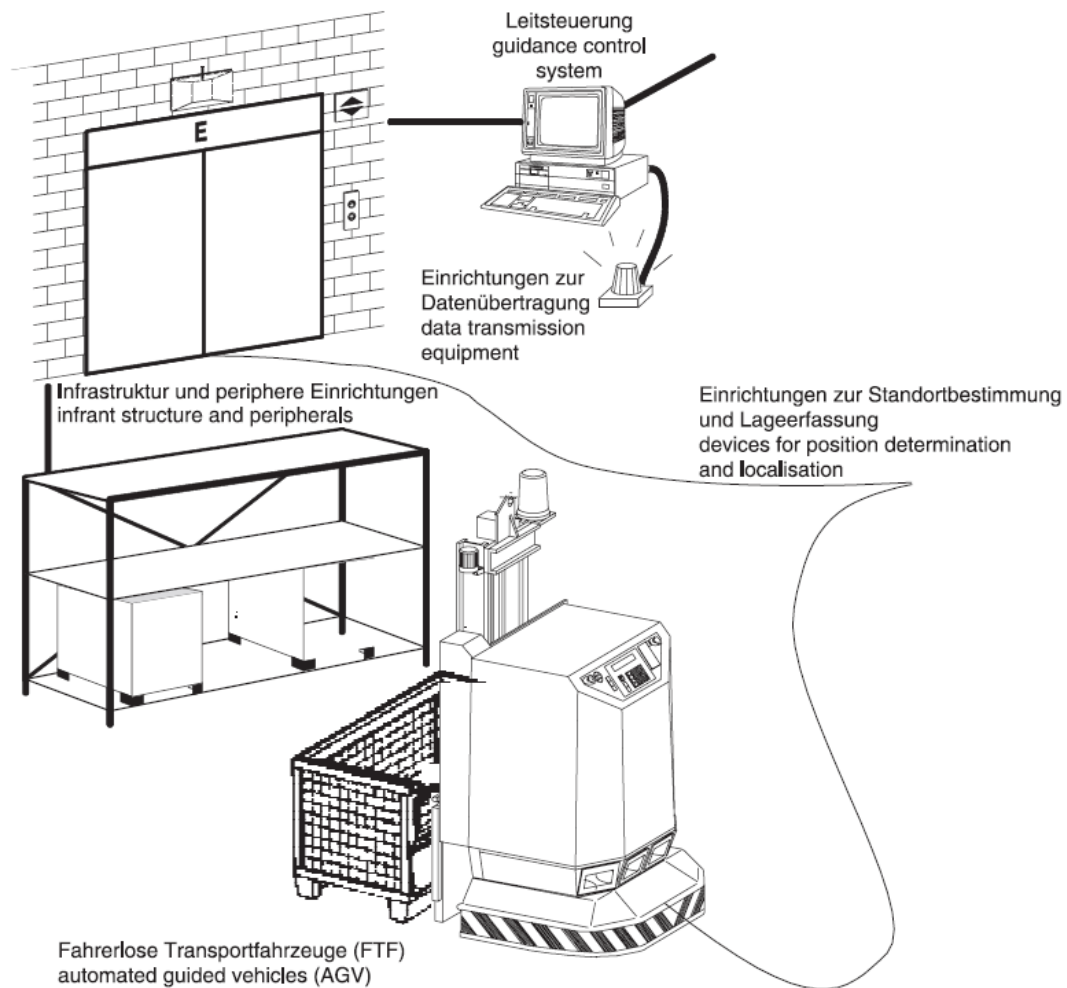


Abb. 9: Schematische Darstellung der FTS Komponenten, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 6.

Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzgebiete variieren auch die Möglichkeiten der FTS. Die Anzahl der FTF (im Folgenden nur mehr FTF genannt) für ein einzelnes System variiert von einem einzigen bis mehreren hundert. Am Markt sind Transportfahrzeuge für wenige Kilogramm bis zu Sonderlösungen für mehrere Tonnen vorhanden. FTF können im Personenbereich mit einem Meter pro Sekunde fahren und die Länge des Fahrkurses kann, in Abhängigkeit von der technischen Möglichkeit, wenige Meter bis mehrere Kilometer betragen. Es können nahezu unbegrenzt viele Knoten im System angefahren werden und die Steuerung der Transportaufträge reicht von manuell bis vollautomatisch. Die Geräte können in bereits aktiven Materialflusssystemen oder autark, sowohl sporadisch, als auch durchgehend betrieben werden.²⁶

4.2 Fahrerlose Transportfahrzeuge

Fahrerlose Transportfahrzeuge gibt es in verschiedensten Bauformen. Je nach Anwendung und Rahmenbedingung muss die am besten passende gefunden werden. Im Wesentlichen sind FTF flurgebunden und navigieren berührungslos. Die größten konstruktiven Unterschiede entstehen durch

²⁶ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 5.

den unterschiedlichen Transport der Last und der unterschiedlichen Lastaufnahme. Fördergut kann sowohl getragen als auch gezogen werden. Übergabe und Übernahme sind sowohl passiv als auch aktiv möglich.

Komponenten des FTF

Ein FTF besteht in der Regel aus Fahrwerk, Rahmen, Lastaufnahmemittel, Warn- und Sicherheitseinrichtungen, Fahrzeugsteuerung, Energieversorgung, Bedienelementen, Systemen zur Standort- und Lageerfassung, sowie Systemen zur Datenübertragung.²⁷

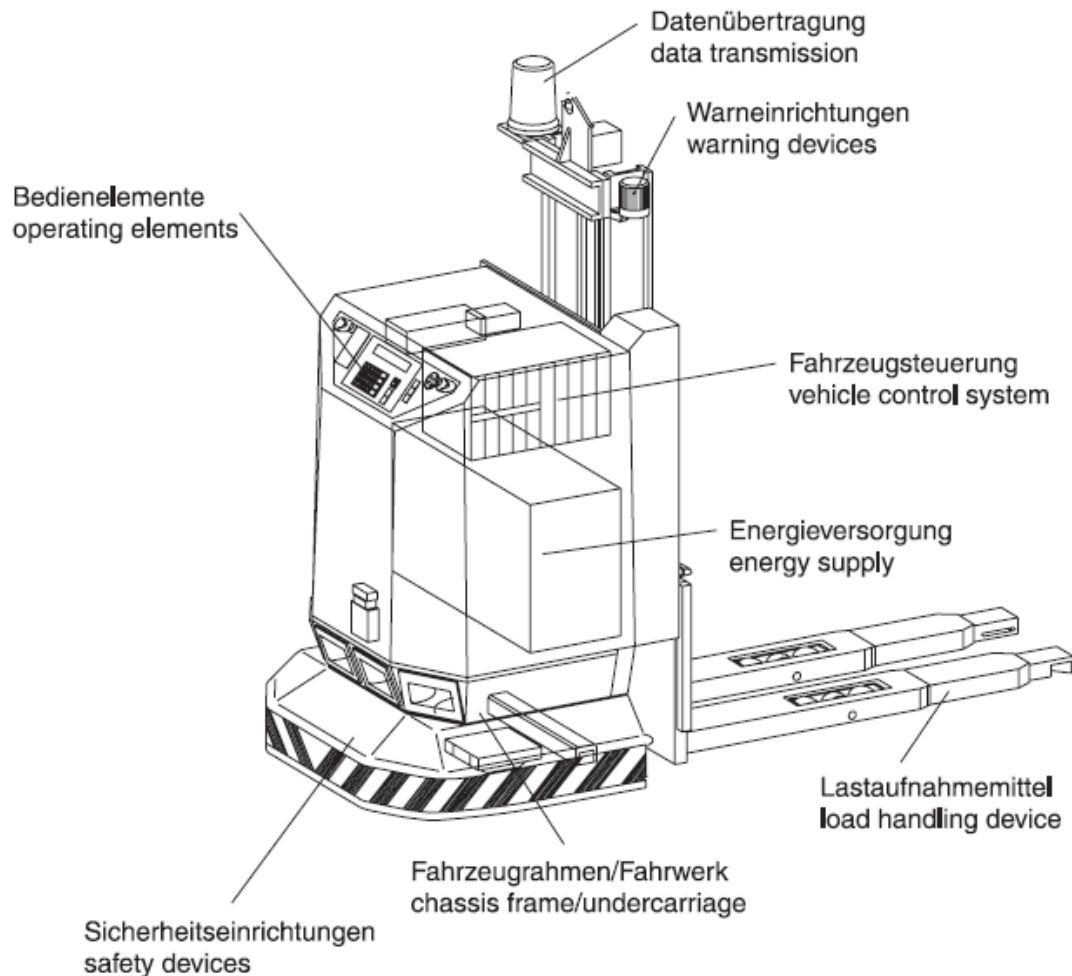


Abb. 10: Komponenten eines FTF, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 14.

²⁷ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 14 – 26; Vgl. Ullrich (2014), S. 155 – 163; Vgl. Schrecker (2000), S. 7 f.

Fahrwerk

Das Fahrwerk des FTF bestimmt maßgeblich das Bewegungsverhalten des Fahrzeuges. Aufgrund unterschiedlicher Freiheitsgrade sind die Fahrzeuge für unterschiedliche Anwendungsfälle sinnvoll. Prinzipiell unterscheidet man hier zwischen Fahrzeugen mit zwei und drei Freiheitsgraden. Fahrzeuge mit zwei Freiheitsgraden sind an sich rein linienbeweglich und haben einen weitaus größeren Kurvenradius bzw. eine ungünstigere Hüllkurve als flächenbewegliche FTF. Der Nachteil flächenbeweglicher Fahrzeuge ist der höhere konstruktive und fertigungstechnische Aufwand und der damit verbundene höhere Preis.²⁸

Weiter besteht das Fahrwerk aus mindestens drei bis sechs Rädern, Radaufhängung, Antrieb, Lenkung und Bremsen. Bei mehr als drei Rädern ist das Fahrwerk statisch unbestimmt. Um ein Aufliegen aller Räder zu gewährleisten muss die Radaufhängung dementsprechend konzipiert sein. Bei Fahrzeugen mit drei Rädern ist das Kippmoment bzw. die Standsicherheit zu berücksichtigen. Bis zu einer Hubhöhe von 1,8 m ist es zulässig die Standsicherheit rechnerisch zu gewährleisten. Bei einer Hubhöhe größer 1,8 m müssen Standsicherheitsversuche durchgeführt werden. In der Praxis werden oft frei bewegliche, gefederte Stützräder angebracht um sowohl Standsicherheit, als auch maximale Traglast des FTF zu erhöhen. Die Räder selbst bestehen aus Kunststoff, Vulkollan oder Polyamid und sind in der Regel nicht kreidend ausgeführt. Auch für ESD-geschützte Bereiche gibt es spezielle Räder. Das Lenksystem kann sowohl mit, als auch ohne geometrischen Lenkeinschlag ausgeführt sein. Ohne geometrischen Lenkeinschlag erfolgt die Lenkung zum Beispiel über unterschiedliche Drehzahlen der Antriebsräder. Man spricht hier von einem Differentialantrieb. Die Bremsen müssen nach Norm mechanisch ausgeführt sein. Außerdem müssen sie bei Unterbrechung der Energiezufuhr oder bei Verlust der Kontrolle der Steuereinrichtung für die Geschwindigkeit wirksam sein und das FTF innerhalb des Wirkbereiches des Personenerkennungssystems zum Stillstand bringen. Weiter darf die maximal zulässige Neigung von FTF und Last beim Bremsen nicht überschritten werden. Beim Bremsvorgang müssen Last, Fahrgeschwindigkeit, Reibung, Gefälle und Verschleiß berücksichtigt werden. Dies geschieht meist durch Vorgaben der Hersteller, die für den Betrieb des FTS gewährleistet sein müssen.²⁹

Fahrzeugsteuerung

Das Fahrzeug wird über zwei Einrichtungen gesteuert: Zum einen die Leitsteuerung, die Fahraufträge vergibt, zum anderen die Fahrzeugsteuerung, die einzelne Steuerungsfunktionen übernimmt. Diese Funktionen werden vom sogenannten Manager koordiniert und umfassen Kommunikation, Fahren, Lastaufnahme, Energiemanagement und Sicherheitsschnittstelle bzw. Überwachung. Auch Navigation und Standortbestimmung erfolgt durch die Fahrzeugsteuerung.³⁰

²⁸ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 15 – 18; Vgl. Ullrich (2014), S. 155 – 158; Vgl. Schrecker (2000), S. 8.

²⁹ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 15 – 18; Vgl. Ullrich (2014), S. 122 – 125, S. 155 – 158; Vgl. Schrecker (2000), S. 8; Vgl. DIN EN 1525 (1997), S. 5 f.

³⁰ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 19 ff; Vgl. VDI 4451 (1998), S. 8 – 16; Vgl. Ullrich (2014), S. 150 – 155; Vgl. EN 954-1 (1997), S. 5 f.

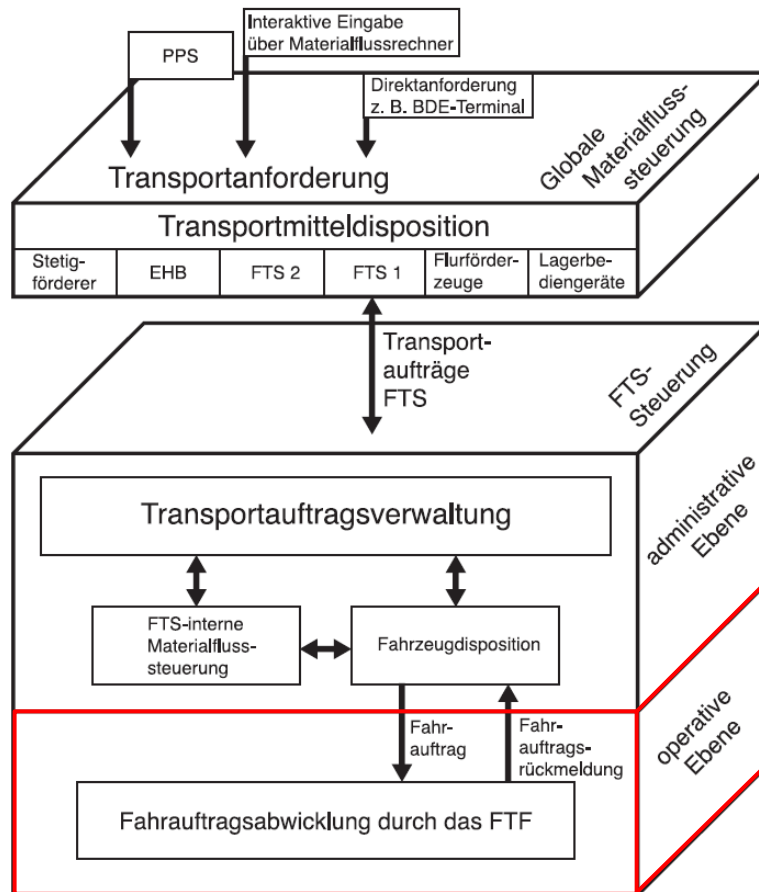


Abb. 11: Beispiel einer FTS-Leitsteuerung mit Kennzeichnung der FTF-Steuerung in Rot, Quelle: VDI 4451-5 (2005), S:2.

Die Leitsteuerung erteilt lediglich die Fahraufträge. Neben den Funktionen gibt es Schnittstellen die mit anderen peripheren Einrichtungen interagieren, wie zum Beispiel Lastaufnahmestationen, Gebäudeeinrichtungen und anderen FTF. Die Komplexität und Art der Steuerungsstruktur wird von der Betriebsart stark beeinflusst. In der Regel entsprechen die Betriebsarten eines FTF dem Automatik-, Halbautomatik- und Handbetrieb, sowie einem Lern- und einem Diagnose- und Servicemodus. Diese Komplexität beeinflusst natürlich auch die notwendige Hardware und somit die Kosten der FTF, sodass in der Regel dem Anwendungsfall angepasste Lösungen vorzufinden sind. Die Hardware kann aus einem Einplatinenrechner, einer speicherprogrammierbaren Steuerung, Microcontrollern oder einem Mehrplatinenrechner bzw. Industrie PC bestehen. Die Anforderung an sicherheitsrelevante Teile von Steuerungen ist im nächsten Punkt beschrieben.³¹

Warn- und Sicherheitseinrichtungen

Für den sicheren Betrieb sind in Bereichen mit Personenverkehr Warn- und Sicherheitseinrichtungen unabdinglich.

³¹ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 19 ff; Vgl. VDI 4451 (1998), S. 8 – 16; Vgl. Ullrich (2014), S. 150 – 155; Vgl. EN 954-1 (1997), S. 5 f.

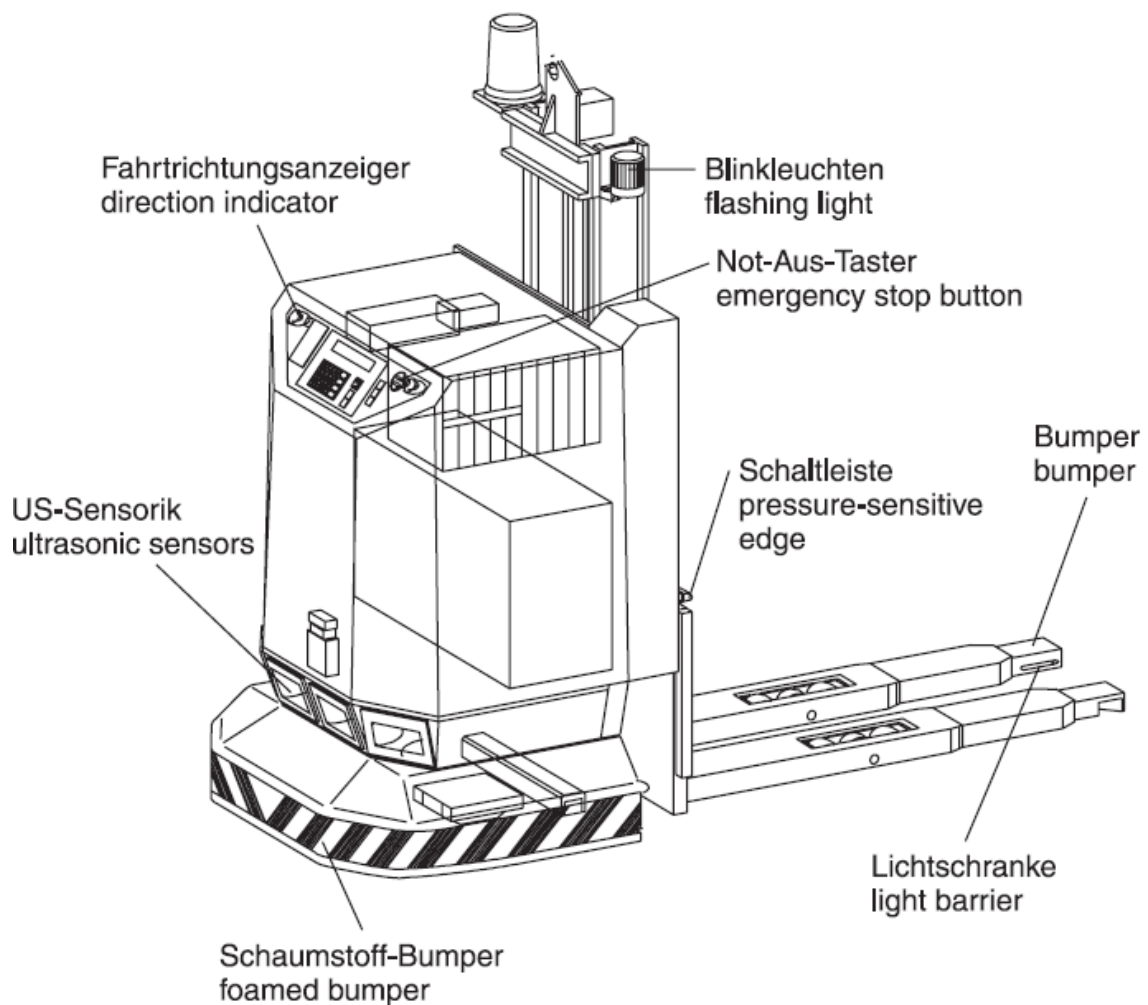


Abb. 12: Warn- und Sicherheitseinrichtungen am FTF, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 18.

Warneinrichtungen umfassen Blink- oder Blitzleuchten, Fahrtrichtungsanzeiger, wie beispielsweise blaues Licht, in Fahrtrichtung oder akustische Signalgeber. Diese visuellen Warnsysteme sind vorgeschrieben sobald das Fahrzeug eine Geschwindigkeit von 0,3 Meter pro Sekunde überschreitet. Die Fahrtrichtung des FTF muss gut sichtbar sein. Ein akustisches Warnsignal muss gegeben werden, sobald sich das FTF in eine Richtung bewegt, die nicht durch das Personenschutzsystem abgesichert ist. Warneinrichtungen müssen Abschnitt 5.3 der EN 292-2: 1991, Tabelle 1, sowie Kategorie 1 nach EN 954-1 entsprechen. Die zwingend vorgeschriebenen Sicherheitseinrichtungen sind grundsätzlich zur Erkennung von im Fahrweg befindlichen Personen vorgeschrieben. Diese Sicherheitseinrichtungen müssen für die volle Breite des Fahrzeuges und der Last für alle Fahrtrichtungen gewährleisten, dass das FTF anhält bevor feste Teile ebendieses auf Personen treffen. Des Weiteren müssen sicherheitsbezogene Teile dieser Einrichtungen Kategorie 3 nach EN 954-1 entsprechen und einen senkrecht zur Fahrtrichtung liegenden Prüfkörper mit einem Durchmesser von 200 mm und einer Länge von 600 mm erkennen. Die Betätigungskraft bei dieser Prüfung darf 750 N nicht überschreiten. Außerdem muss ein Prüfkörper mit einem Durchmesser von 70 mm und einer Höhe von 400 mm erkannt werden. Hier darf die Betätigungskraft 250 N nicht überschreiten.

Steuerungssystem		Kategorie
Geschwindigkeitskontrolle (5.4)	allgemein	1
	sofern die Stand-sicherheit beeinflusst wird	2
	sofern die Wirkung des Personenerkennungssystems beeinflusst wird	3
Batterieladesystem (5.5)		
Lasthandhabung (5.6)	allgemein	1
	sofern die Stand-sicherheit beeinflusst wird	2
Lenkung (5.7)	allgemein	1
	sofern die Stand-sicherheit beeinflusst wird	2
Warnzeichen (Lampen etc.) (5.9.3)		1
NOT-AUS (5.9.4)		3
Personenerkennungssystem (5.9.5.1 und 5.9.5.2)		3
Seitenschutz (5.9.5.3)		2
Umgehen des Hindemiserkennungssystems		2
Anhalten des Flurförderzeuges vom Lastende		2

Abb. 13: Kategorien sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen nach EN 954-1, Quelle: DIN EN 1525 (1997), S. 6, zitiert nach EN 954-1 (1997), o.S.

Systeme zum Personenschutz werden auch als Auffahrschutz bezeichnet und können sowohl berührend, als auch berührungslos ausgeführt sein. Im Innenbereich werden zumeist berührungslose Systeme, wie Ultraschall- oder Laserscanner, verwendet. Diese Scanner erlauben es dem Fahrzeug nicht nur einen fixen Schutzbereich, sondern auch Warnbereiche zu erfassen. Im Falle von Hindernissen innerhalb des Warnbereichs kann das Fahrzeug bereits die Geschwindigkeit reduzieren und leichter anhalten. Im Außenbereich empfiehlt sich zumindest ein zusätzliches berührendes System, da die Außenbedingungen die korrekte Arbeitsweise der berührungslosen Systeme behindern können. Zu den Sicherheitseinrichtungen gehören auch zwei Not-Aus-Taster, jeweils ein Taster pro Fahrzeugseite, die der Kategorie 0 nach EN 418 entsprechen müssen. Die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungssystemen müssen Kategorie 3 nach EN 954-1 entsprechen. Zuletzt gibt es noch Schaltleisten, wie Lichtschranken oder Näherungssensoren, welche die Fahrzeugseiten bei Kurvenfahrten absichern. Sie müssen mindestens einen Prüfkörper mit 70 mm Durchmesser und 400 mm Höhe im Fahrweg des FTF erkennen. Ihre sicherheitsbezogenen Teile müssen Kategorie 2 nach EN 954-1 entsprechen. Sollte ein Fahrzeug aufgrund einer Person anhalten darf es nicht sofort weiterfahren, sollte sich die Person entfernt haben. Erst nach 2 Sekunden Stillstand und einem akustischen Signal darf das FTF erneut den Betrieb aufnehmen. Sollte es an Lastübergabestellen oder anderen Bereichen dazu kommen, dass die Personenschutzeinrichtungen nicht in alle Fahrtrichtungen über die volle Breite des Fahrzeuges und der Last wirksam sind und es keine Fluchtmöglichkeit für eingeschlossene Personen gibt, muss die Geschwindigkeit in diesen Bereichen auf 0,3 Meter pro Sekunde beschränkt werden und es sind

Einrichtungen vorzusehen, die von einer Seite des Fahrzeuges in maximal 600 mm Abstand erreichbar sind.³²

Energieversorgung

Es können zum Antrieb verschiedene Konzepte genutzt werden, dementsprechend muss auch die Energieversorgung angepasst sein. Hier wird rein das elektromotorische Antriebskonzept behandelt. Es wäre auch möglich im Außenbereich einen Verbrennungsmotor zu nutzen.

Die elektrische Energieversorgung kann prinzipiell auf verschiedene Arten erfolgen: Über einen Akkumulator, durch induktive Energiezuführung oder durch eine Kombination beider, also Hybrid. Batteriebetriebene FTS können kapazitiv, mit Zwischenladung oder im Taktbetrieb betrieben werden. Hier sind die FTF-Einsatzdauer, der Energieverbrauch und weitere Aspekte zu beachten. In der Regel werden Blei-Säure-Akkumulatoren und alkalische Akkumulatoren eingesetzt. Die Blei-Säure-Akkumulatoren sind besonders gut geeignet für den kapazitiven Einsatz ohne Zwischenladung, da sie auch besonders kostengünstig sind. Nickel-Cadmium-Akkumulatoren dagegen sind zwar teurer, aber besonders gut geeignet für den Taktbetrieb, da die Ladezeiten sehr gering sind und dementsprechend kleine Baugrößen möglich sind. Mittlerweile haben sich jedoch die moderneren Lithium-Ionen-Akkumulatoren als Stand der Technik etabliert.³³

Weitere Komponenten

Jedes FTF ist außerdem noch mit Systemen zur Datenübertragung, Bedienelementen und gegebenenfalls einem Handsteuergerät, sowie Systemen zur Standortbestimmung und Lageerfassung ausgestattet.³⁴

Die Bedienelemente werden benötigt, falls das FTS manuell betrieben werden muss, sowie zur Kommunikation als direkte Schnittstelle zum Menschen. Bei der Inbetriebnahme muss das FTF zumindest an einen Ort im Fahrkurs gebracht werden, dazu kann auch eine Handsteuerung genutzt werden. Des Weiteren können am Bedienelement Aufträge eingegeben und quittiert werden und es dient als Anzeige beispielsweise für Störmeldungen, Statusanzeigen oder Hinweise für das Personal vor Ort.³⁵

Auf die Datenübertragung wird im Kapitel 4.3 und auf die Standortbestimmung und Lageerfassung im Kapitel 4.4 weiter eingegangen.

Bauarten

Fahrerlose Transportfahrzeuge können in lastziehende und lasttragende FTF unterteilt werden. Für beide Arten gibt es verschiedenste Ausführungen abhängig von den zu erfüllenden Aufgaben, Lasten, etc. Außernatürlich gibt es zusätzlich noch Sonderbauarten, die hier allerdings nicht behandelt werden.

³² Vgl. VDI 2510 (2005), S. 18 f; Vgl. Ullrich (2014), S. 121 – 129; Vgl. Schrecker (2000), S. 8; Vgl. DIN EN 1525 (1997), S. 6 f.

³³ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 21 – 25; Vgl. Ullrich (2014), S. 158 – 163.

³⁴ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 25 – 26.

³⁵ Vgl. Ullrich (2014), S. 156 f; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 26.

Lastziehende FTF

In der Regel handelt es sich hier um reine Schlepper oder Unterfahrschlepper. Sie werden zum Ziehen von rollenden Ladungsträgern bzw. Ladeeinheiten verwendet. Die Verriegelung bzw. Aufnahme kann sowohl manuell, als auch automatisch erfolgen. Vor allem bei Unterfahrschleppern ist in der Praxis eigentlich nur die automatische Variante anzufinden. Eine Besonderheit des Betriebes mit Anhängern stellt die Gefahr dar, die von ebendiesen ausgeht. Dadurch, dass sich das FTF inklusive Warn- und Sicherheitssystemen an der Spitze des Zuges befindet, ist es schwer möglich Personen davor zu schützen vom Anhänger verletzt zu werden. Aus diesem Grund ist vorgeschrieben, dass vor dem Anfahren für mindestens 2 Sekunden ein akustisches Signal gegeben werden muss. Des Weiteren ist die Fahrgeschwindigkeit nach dem Anfahren für 5 Sekunden auf 0,3 m/s limitiert und die Anhängerdeichsel muss farblich gekennzeichnet sein.³⁶



Abb. 14: Beispiel eines Unterfahrschleppers, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 8.

Lasttragende FTF

Grundlegend unterscheidet man bei lasttragenden FTF zwischen aktiver und passiver Lastaufnahme. Bei der passiven Lastaufnahme ist am FTF lediglich eine Vorrichtung angebracht zum Transport des Förderguts. Das Be- und Entladen erfolgt manuell oder automatisch. In der Praxis werden FTS mit passiver Lastaufnahme auch in der Hotellerie für den Zimmerservice genutzt. Dies ist besonders rentabel für große Anlagen mit weiten Strecken. Einen Nachteil hat die automatische, passive Lastaufnahme allerdings: Durch die benötigte Infrastruktur ist das System unter Umständen nicht mehr flexibel. Bei jeder

³⁶ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 8 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 141 – 148, Vgl. DIN EN 1525 (1997), S. 5.

Änderung des Layouts müssen auch Übergabe- und Übernahmestationen geändert werden, sofern Übergabe und Übernahme nicht manuell passieren.³⁷



Abb. 15: FTF mit aktiver Lastaufnahme, Quelle: Smart Robotics Austria GmbH (Hrsg.) (2019), o.S.

Die aktive Lastaufnahme wird auf vielfältige Art gelöst. Hier kommt es ganz auf die zu befördernde Last an. Bewährte Mittel zur Lastaufnahme sind: Gabel, Hub- oder Teleskopisch, Rollenbahn, Klammer, Ketten- und Gurtförderer. Diese sind in der Praxis sehr oft in Kombination anzufinden. Sehr oft wird ein Hub- oder Teleskopisch in Verbindung mit einer angetriebenen Rollenbahn oder einem Gurtförderer eingesetzt. Diese Kombination kann die Last nicht nur aktiv aufnehmen und abgeben ohne die Notwendigkeit einer zusätzlichen Automatisierung an den Übernahme- und Übergabestationen, sondern sie kann dies auch auf unterschiedlichen Höhen. Mit diesem Prinzip lassen sich FTS sehr einfach in bestehenden Prozessen mit etablierten Layouts implementieren.³⁸

³⁷ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 8 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 141 – 148.

³⁸ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 8 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 141 – 148.

4.3 FTS Leitsteuerung

„Eine FTS-Leitsteuerung besteht aus Hard- und Software. Kern ist ein Computerprogramm, das auf einem oder mehreren Rechnern abläuft. Sie dient der Koordination mehrerer fahrerloser Transportfahrzeuge und/oder übernimmt die Integration des FTS in die innerbetrieblichen Abläufe.“³⁹ Die Funktion kann unterteilt werden in Benutzer-Interface, interne Materialflusssteuerung, Transportauftragsabwicklung und Service Funktionen. Die Transportaufträge kommen in der Regel von einer übergeordneten Software oder ähnlichem. Sollte dies nicht der Fall sein, da es keine expliziten oder nur unvollständige Transportaufträge gibt, kommt die interne Materialflusssteuerung zum Einsatz. Dies kann beispielsweise das Rückführen von Leerbehältern sein. Der Trigger für die Erstellung eines Auftrages wäre zum Beispiel ein Laserscanner in einem Regal, der mit der Leitsteuerung verbunden ist.⁴⁰

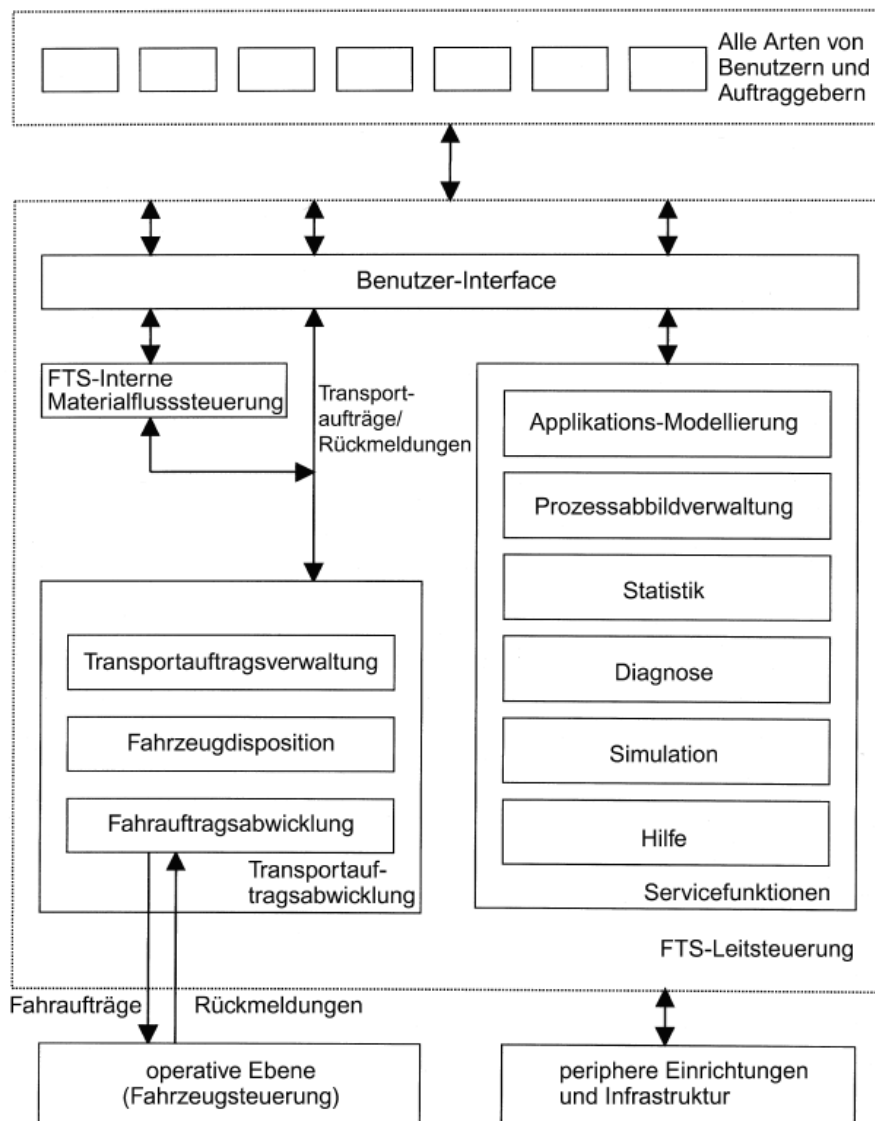


Abb. 16: Funktionsbausteine eines FTS, Quelle: VDI 4451-7 (2005), S. 18.

³⁹ VDI 4451-7 (2005), S. 3.

⁴⁰ Vgl. Ullrich (2014), S. 130 ff; Vgl. VDI 4451-7 (2005), S. 2 – 4; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 26 ff.

Transportauftragsabwicklung

Zur Abwicklung der Transportaufträge übernimmt die Leitsteuerung drei wesentliche Aufgaben: Die Transportauftragsverwaltung, Fahrzeugdisposition unter Berücksichtigung der kürzesten Wege und Fahrauftragsabwicklung inklusive Rückmeldung an das Benutzer-Interface oder übergeordnetes System.

In der Transportauftragsverwaltung werden die erhaltenen Transportaufträge in der Regel nach dem Zeitpunkt ihrer Entstehung gereiht, in Prioritäten eingestuft und auf Ausführbarkeit getestet. Gegebenenfalls werden auch Statusinformationen an das übergeordnete System übermittelt.⁴¹

Sobald ein Auftrag ausführbar ist wird er für die Fahrzeugdisposition freigegeben. Diese ermittelt anhand verschiedener Kriterien ein FTF zur Ausführung. Je nach System kann es sein, dass ein willkürliches freies Fahrzeug herangezogen wird, es kann jedoch auch anhand kürzester Wege, Fahrkursproblemen oder ähnlichem entschieden werden. Bei der Disposition muss allgemein auch das Handling von Leerfahrzeugen und die Batterieladestrategie berücksichtigt werden. Leere Fahrzeuge werden in der Regel zu Wartepositionen oder Ladestationen geschickt. Bei der Ladestrategie gibt es an sich zwei Ansätze: Entweder werden die Fahrzeuge im laufenden Betrieb je nach Ladezustand oder zu einem gewissen Zeitpunkt, beispielsweise bei Schichtende, zu den Batterielade- oder Batteriewechselstationen geschickt.⁴¹

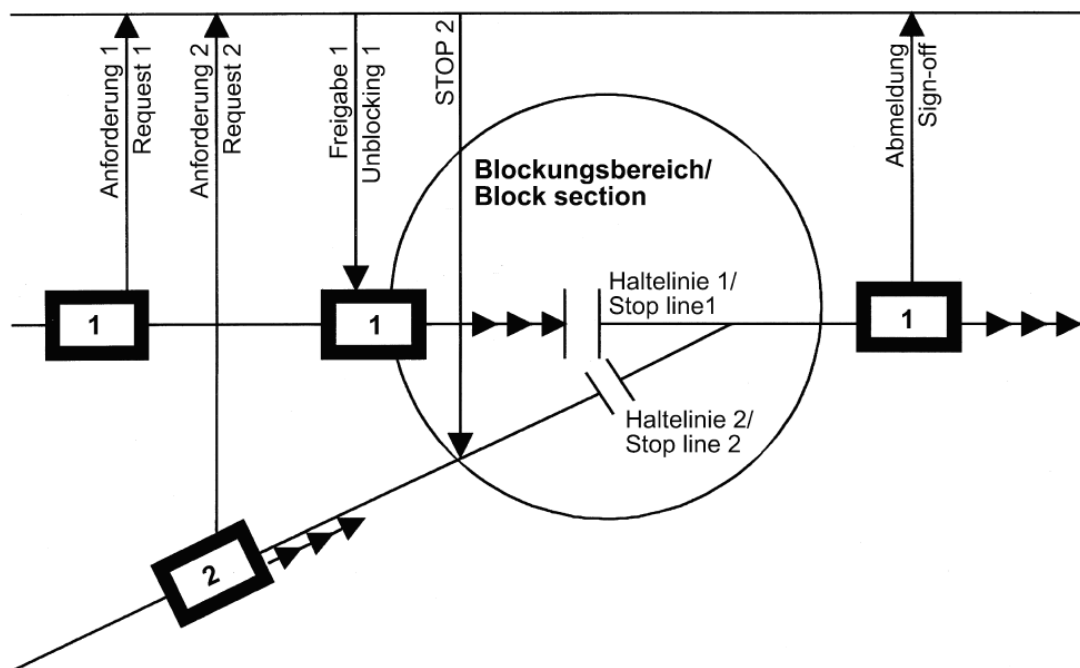


Abb. 17: Beispiel eines Blockungsbereiches, Quelle: VDI 4451-7 (2005), S. 12.

Bei der Fahrauftragsabwicklung werden Transportaufträge vollständig oder geteilt an das FTF weitergegeben. Ein Beispiel hierfür wäre der Transport eines Förderguts von Quelle zu Senke. Der Auftrag wird geteilt in einen Fahrauftrag zur Quelle um das Fördergut aufzunehmen und einen von der Quelle zur Senke um das Fördergut abzugeben. An relevanten Positionen wiederum meldet das FTF den Auftragsstatus zurück, gleiches gilt bei Abschluss des Auftrages. Ein wesentlicher Aspekt der

⁴¹ Vgl. VDI 2510 (2005), S. 26 ff; Vgl. VDI 4451-7 (2005), S. 5, 9 – 12.

Fahrauftragsabwicklung bei mehreren Fahrzeugen im FTS ist die Verkehrsleitsteuerung. Durch die Verkehrsleitsteuerung wird verhindert, dass es zu Kollisionen oder Staubildungen zwischen FTF untereinander und mit personengesteuerten Fahrzeugen bzw. Personen selbst kommt. Dies geschieht in der Regel ähnlich wie im Schienenverkehr über Blockungsbereiche. Es gibt also einen oder mehrere Bereiche in die das FTF nur einfahren darf, wenn es frei ist. Die FTF melden sich normalerweise über den gleichen Kommunikationsweg an, wie sie die Transportaufträge erhalten und Rückmelden. Personen und von ihnen gesteuerte Fahrzeuge können beispielsweise über Lichtschranken erfasst werden. Des Weiteren steuert die Verkehrsleitsteuerung auch Türen, Tore oder ähnliches.⁴²

Interne Materialflusssteuerung

Die interne Materialflusssteuerung kommt dann zum Einsatz, wenn unvollständige oder gar keine Transportaufträge vorhanden sind bzw. kein übergeordnetes System den Transportauftrag erzeugt. Die Transportbeziehungen bzw. der Materialfluss inklusive festgelegter Logik muss der Leitsteuerung dementsprechend bekannt sein. Es müssen also sowohl Materialstandorte als auch Materialtransporte bekannt sein. Die Erstellung eines Transportauftrages kann durch ein BDE-System wie z.B. einem manuellen Taster, aber auch Sensoren oder einen anderen übergeordneten Sensor entstehen. Die Senke kann gleichermaßen ermittelt werden, es ist ebenfalls möglich eine fixe Route festzulegen.⁴³

Ein sehr gutes Beispiel für einen einfachen Fall der internen Materialflusssteuerung ist das Rückführen von Leerbehältern. Diese Leerbehälter werden in einem Regal gesammelt und von einem Sensor überwacht. Sobald ein Leerbehälter ins Regal gestellt wird erkennt dies der Sensor und löst die Generierung eines Transportauftrages aus. Die Leitsteuerung wiederum kennt den Standort des Regals und weiß, dass die Senke immer der gleiche Ort zur Sammlung der Leerbehälter ist, somit sind alle notwendigen Informationen vorhanden um den Transportauftrag zu erstellen.⁴³

Benutzer-Interface und Servicefunktion

Das Benutzer-Interface umfasst die Schnittstelle des FTF sowohl zum Mensch, als auch zu anderen Maschinen. Dieses Interface kann unter anderem dazu genutzt werden Transportaufträge über die interne Materialflusssteuerung zu erstellen, aber auch um Fehlermeldungen oder Störungen anzuzeigen.⁴⁴

Die Servicefunktionen fungieren als Schnittstelle des gesamten FTS zum Menschen. Diese beinhalten unter anderem Applikationsmodelle, Prozessveranschaulichungen, Statistiken und Diagnosen, Simulationen, sowie Hilfsfunktionen. Die sogenannten Applikationsmodelle dienen als Basis für die Umsetzung des Konzeptes. Es umfasst allgemein das Layout des Systems inklusive Fahrzeug- und Peripheriemodellen. Simulationen hingegen befassen sich mit den Prozessen und Wechselwirkungen des FTS an sich. Auch sie dienen der Planung des Gesamtsystems und können je nach Komplexität des Projektes und Notwendigkeit variieren. Ein wichtiger Punkt hierbei sind unter anderem auch die

⁴² Vgl. VDI 2510 (2005), S. 26 ff; Vgl. VDI 4451-7 (2005), S. 5, 9 – 12.

⁴³ Vgl. Ullrich (2014), S. 133 – 137; Vgl. VDI 4451-7 (2005), S. 8 f.

⁴⁴ Vgl. Ullrich (2014), S. 133; Vgl. VDI 4451-7 (2005), S. 9.

zugehörigen Hüllkurvensimulationen um zu gewährleisten, dass ausreichend Platz für das FTF beim Befahren des Kurses vorhanden ist. Die Darstellung der Prozesse dient der Kontrolle des Systems. Es können Status der Fahrzeuge, Fehlerprotokolle, sowie weitere Systemparameter dargestellt und verwaltet werden. Dazu benötigt es natürlich Statistik und Diagnose.⁴⁵

4.4 Navigation

Das FTF bewegt sich in einem ortsfesten Koordinatensystem, wobei die Grundfläche dem Bereich entspricht, auf dem sich das FTF bewegt. Dieses Koordinatensystem kann auch als globales Koordinatensystem bezeichnet werden. Auch das Fahrzeug selbst besitzt ein eigenes Koordinatensystem inklusive Ursprung wie beispielsweise der Mittel- oder Schwerpunkt. Das mobile, zweite Koordinatensystem wird benötigt um Lastbewegungen und weitere Bewegungen relativ zum Fahrzeug abzubilden. In der Regel gibt es keine Änderungen entlang der Z-Achse. Sollte es notwendig sein mehrere Ebenen darzustellen werden die Ebenen oft der Einfachheit halber mit derselben Z-Koordinate dargestellt und nummeriert. Diese Darstellung entspricht natürlich nicht ganz der Realität, ist aber ausreichend.⁴⁶

Um Transportaufträge auszuführen, muss dem FTF neben dem Standort der Quelle und Senke natürlich auch der eigene Standort bekannt sein. Technisch werden derzeit sowohl bewährte, aber veraltete Verfahren durch physische Hilfsmittel, als auch moderne Technologien genutzt, die ohne der starken Rechenleistung moderner Computer gar nicht realisierbar wären. Dem zugrunde liegen immer die translatorischen Koordinaten des globalen Koordinatensystems, sowie eine rotatorische Koordinate zur Bestimmung der Position des FTF. Zur Bestimmung ebendieser müssen sowohl das Verfahren des Koppelns, als auch des Peilens angewendet werden, daher spricht man hier auch von einer Koppelnavigation. Unter dem Begriff Koppeln bzw. Odometrie versteht man die Positions- und Orientierungsschätzung anhand von internen Sensoren, z.B. die Messung der Radumdrehungen. Diese Form der Navigation ist jedoch immer fehlerbehaftet und nicht ausreichend genau, daher muss zusätzlich das Verfahren des Peilens eingesetzt werden. Die Peilung erfolgt anhand von Referenzmarken, welche sowohl „natürlich“, als auch „künstlich“ sein können. Es wird als die geschätzte Position verifiziert durch die Ermittlung des Winkels zwischen der Richtung der gepeilten Referenzmarke und der Bezugsrichtung.⁴⁶

Um nun den Standort des FTF zu bestimmen, können neben der Position noch weitere Informationen notwendig sein. Darunter fallen die Information zur Änderung der Geschwindigkeit, Warnsignale, zeitliche Kriterien etc.⁴⁷

⁴⁵ Vgl. Ullrich (2014), S. 137 ff; Vgl. VDI 4451-7 (2005), S. 12 ff.

⁴⁶ Vgl. Ullrich (2014), S. 107 ff.

⁴⁷ Vgl. Ullrich (2014), S. 108.

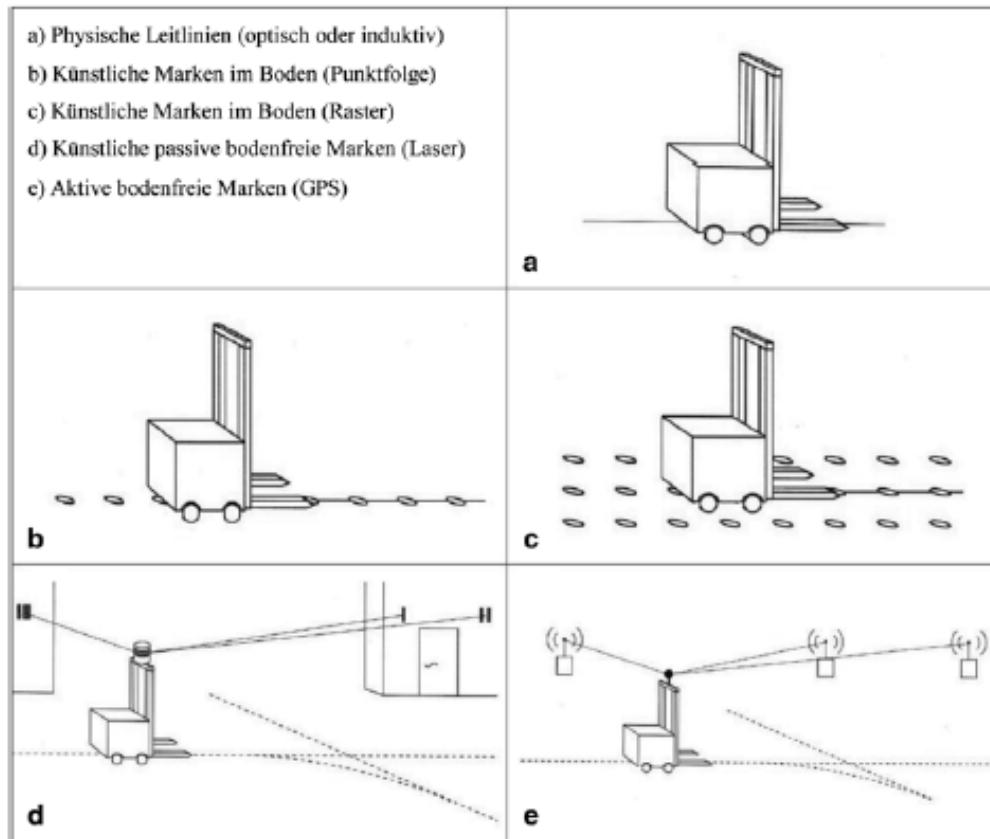


Abb. 18: Visualisierung der gängigsten Navigationsverfahren, Quelle: Ullrich (2014), S. 109.

Im Bild oben sind die gängigsten Navigationsverfahren außer Konturnavigation bzw. Navigation durch natürliche passive bodenfreie Marken beschrieben. Generell kann man die Verfahren nach Referenzmarken gliedern: Physische Leitlinie, künstliche Bodenmarken, künstliche (und natürliche) passive bodenfreie Marken und künstliche aktive bodenfreie Marken.

Physische Leitlinie

Ein Verfahren ist die induktive Leitspur, welche sowohl aktiv als auch passiv möglich ist. Bei der aktiven Variante sind stromdurchflossene Leiterabschnitte im Boden eingelassen, welche je nach gewünschtem Fahrkurs ein- und ausgeschaltet werden können. Das FTF selbst besitzt zwei Spulen, die im rechten Winkel zum Leitdraht angebracht sind. In diesen Spulen wird Strom durch den Leitdraht induziert und die Stromdifferenz der zwei Spulen dient zur Bestimmung der Abweichung vom Leitdraht. Es ist auch möglich das FTF induktiv mit Strom zu versorgen und benötigt dadurch keinen oder nur einen sehr kleinen zusätzlichen Energiespeicher. Bei der passiven Variante wird ein Metallstreifen auf dem Boden angebracht und die Feldänderung dient zur Bestimmung des Fahrkurses.⁴⁸

Vor allem die aktiv induktiven Verfahren sind zwar sehr einfach und haben sich bereits bewährt, allerdings sind sie auch sehr störanfällig, unflexibel, aufwändig und veraltet. Die häufigste Anwendung finden diese Verfahren noch in der Serienmontage, sofern kein flexibles Layout gefordert ist, da Änderungen sehr teuer sind.⁴⁸

⁴⁸ Vgl. Ullrich (2014), S. 109 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 119; Vgl. VDI 4451 - 6 (2003), S. 10 ff; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 28 ff.

Die optische Spurführung folgt ähnlich der passiv induktiven Spurführung einer Leitlinie am Boden, der das FTF durch optische Sensoren folgt. Durch moderne Technik ist es mittlerweile sogar möglich stark beschädigten Leitlinien zu folgen, dennoch gilt die Technik der physischen Leitlinie als veraltet. Diese Form der Spurführung findet aber noch immer Anwendung, da es sich um besonders preiswerte Technik handelt und das Layout sehr einfach in Betrieb genommen werden kann. Der große Nachteil ist aber auch hier geringe Flexibilität und die Störanfälligkeit, besonders bei der passiv induktiven Spurführung.⁴⁹

Künstliche Bodenmarken

Die Bodenmarken können sowohl passiv als auch aktiv ausgeführt werden. In jedem Fall gilt hier bereits, dass das Verfahren der Navigation frei ist und die Fahrspur virtuell berechnet werden muss. Die Marken können sowohl als Raster als auch in Punktfolge verlegt werden, je nach Anwendungsfall. Erkannt werden die Marken optisch, über die Änderung des Magnetfeldes oder im Falle von Transpondern über eine Antenne.⁵⁰

Generell sind künstliche Bodenmarken im Gegensatz zu dem Verfahren der physischen Leitlinie deutlich flexibler. Es ist auch eine weitaus modernere Technik und durch die freie Navigation können vielfältigere Einsätze realisiert werden. Hier sticht lediglich das Verfahren mit Transpondern hervor, da die Sensoren nicht von Sonneneinstrahlung oder anderen Umwelteinflüssen gestört werden und im Gegensatz zu GPS nicht nur bei Satellitensichtbarkeit funktionieren. Dieses Verfahren ist daher auch im Außenbereich sehr gut anwendbar.⁵⁰

Künstliche (und natürliche) passive bodenfreie Marken

Zumeist spricht man hierbei von der Lasernavigation, da sie am weitesten verbreitet ist. Es können sowohl entlang des Fahrkurses reflektierende Marken angebracht werden, welche auch über große Distanzen von einem rotierenden Laserscanner genau vermessen werden können, als auch rein natürliche Marken genutzt werden. Hierbei werden die Konturen der Umgebung wie z.B. Säulen, Kanten, etc. vermessen bzw. angelernt und als natürliche Referenzmarke verwendet. Zur funktionierenden Peilung mit künstlichen Marken muss die genaue Position dieser Reflektoren natürlich bekannt sein. Es ist weiter möglich diese Laserscanner auch zur Erkennung statischer Hindernisse oder zur Personenerkennung zu nutzen. Ein ähnliches Prinzip findet bei der Deckennavigation Verwendung. Hier werden jedoch fixe Marken oder Konturen entlang der Decke genutzt. Mittlerweile setzt man immer öfter auf rein natürliche Marken, da keine Reflektoren oder andere künstliche Marken erforderlich sind. Durch den technischen Fortschritt ist auch der erhöhte Softwareaufwand leicht zu bewältigen. Der bekannteste Vertreter der Konturerkennung ist derzeit die Simultaneous Localization and Mapping Technologie, kurz SLAM.⁵¹

Ein großer Vorteil ist hier wieder die freie Navigation, welche sehr flexibel ist und leicht zu installieren und zu ändern ist. Sollten Reflektoren notwendig sein, sind auch diese sehr schnell installiert. Moderne

⁴⁹ Vgl. Ullrich (2014), S. 109 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 119; Vgl. VDI 4451 - 6 (2003), S. 10 ff; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 28 ff.

⁵⁰ Vgl. Ullrich (2014), S. 111 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 119; Vgl. VDI 4451 - 6 (2003), S. 10 ff; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 28 ff.

⁵¹ Vgl. Ullrich (2014), S. 114 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 119; Vgl. VDI 4451 - 6 (2003), S. 10 ff; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 28 ff.

Laserscanner ermöglichen des Weiteren sehr hohe Genauigkeiten und erleichtern dadurch ein exaktes Positionieren. Da dieser rotierende Laserscanner rundum freies Sichtfeld benötigt wird er in der Regel an einem Mast angebracht. Um hier keine zu große Neigung des Masts zu gewährleisten sind die Anforderungen an den Boden dementsprechend hoch. Bei kleineren FTF findet man sehr oft zwei Laserscanner am Fahrzeug vor, die jeweils 180° abdecken, doch das spiegelt sich im Preis wider. Auch die Sensibilität gegenüber Lichteinflüssen und das Beschlagen der Sensoren durch Temperaturunterschiede schränkt das Einsatzgebiet ein und gestaltet den Außeneinsatz sehr schwer. Die Navigation durch natürliche Marken ist außerdem anfällig für Veränderungen im Fahrkurs.⁵²

Künstliche aktive bodenfreie Marken

Der Vollständigkeit halber wird auch dieses Verfahren genannt. In der Regel erfolgt die Peilung hierfür durch GPS bzw. differential GPS oder ähnlichem. Normalerweise findet diese Form der Navigation nur im Außenbereich Verwendung, da GPS nur bei Satellitensichtbarkeit bzw. einem freien Sichtkegel von 15° nach oben funktioniert.⁵³

Diese Form der Navigation ist zwar für den Außenbereich sehr gut geeignet, ein exaktes Positionieren wird aber auch nur mit sehr hohem technischem Aufwand bzw. Einsatz von differential GPS oder realtime kinematic GPS möglich.⁵³

4.5 Sicherheit

Grundsätzlich muss der Hersteller alle sicherheitsrelevanten Normen umsetzen, jedoch liegen neben der generellen Bewertung der Risiken auch ein paar weitere Dinge in der Verantwortung und dem Interesse des Betreibers.

Brandschutz

Dass bei Brandalarm kein FTF in den Brandtorbereich einfährt, muss von der FTS-Leitsteuerung gewährleistet werden. Des Weiteren muss die Schließung des Brandtores mit einer gewissen Verzögerung erfolgen um dem FTF ein Verlassen des Bereiches möglich zu machen. Es muss also eine Kommunikation zwischen Brandmeldezentrale und FTS-Leitsteuerung stattfinden. Des Weiteren müssen diese Bereiche im Layout des Fahrkurses gekennzeichnet werden.⁵⁴

Bodenbeschaffenheit

Da sich der Boden direkt auswirkt auf Kippsicherheit, Brems- und Beschleunigungsvorgänge, etc. müssen Normvorgaben eingehalten werden. Die genauen Anforderungen werden hier nicht weiter aufgezählt.⁵⁵

⁵² Vgl. Ullrich (2014), S. 114 ff; Vgl. Ullrich (2014), S. 119; Vgl. VDI 4451 - 6 (2003), S. 10 ff; Vgl. VDI 2510 (2005), S. 28 ff.

⁵³ Vgl. Ullrich (2014), S. 118.

⁵⁴ Vgl. VDI 2510 - 1 (2009), S. 19.

⁵⁵ Vgl. DIN EN 1525 (1997), S. 9; Vgl. VDI 2510 - 1 (2009), S. 19.

Sicherheitsabstände entlang des Fahrkurses

Es muss mindestens ein seitlicher Sicherheitsabstand von 0,5 m vom Fahrzeug bzw. der Lastbreite, sowie 2,1 m Höhe auf beiden Seiten vorhanden sein. Bei Gegenverkehr müssen zwischen den Fahrzeugen bzw. Lasten 0,4 m Abstand, sowie 0,5 m Abstand von den Fahrzeugen nach Außen vorhanden sein. Abweichungen hiervon sind nur zulässig, wenn das Personenerkennungssystem die volle Höhe und Last absichert, an festen geschlossenen Gebilden, sowie an Lastaufnahmestationen.⁵⁶

4.6 Fördertechnische Anwendungen

Nachfolgend werden grundlegende fördertechnische Anwendungen für FTS bezogen auf das Arbeitsprinzip und die Rahmenbedingungen beschrieben. Sofern dies möglich ist werden die FTS ebenfalls mit anderen Fördersystemen verglichen.

Taxiprinzip – FTS als Ver- und Entsorger

Das Taxiprinzip beschäftigt sich nicht direkt mit dem Materialfluss in der Montagelinie, also den einzelnen Stationen, sondern rein mit dem Transport von Fördergut zwischen Quellen und Senken (siehe 3.1). Die Fördereinheiten werden sozusagen an einer Quelle erzeugt und der Materialtransport beginnt. Das Ende des Transportes ist die Senke. Dazwischen stehen die Förderstrecken, die von einem FTS bewältigt werden müssen. Da sich der Anwendungsfall in dieser Arbeit rein auf den Transport beschränkt, ist dieses Prinzip auch das relevanteste.⁵⁷

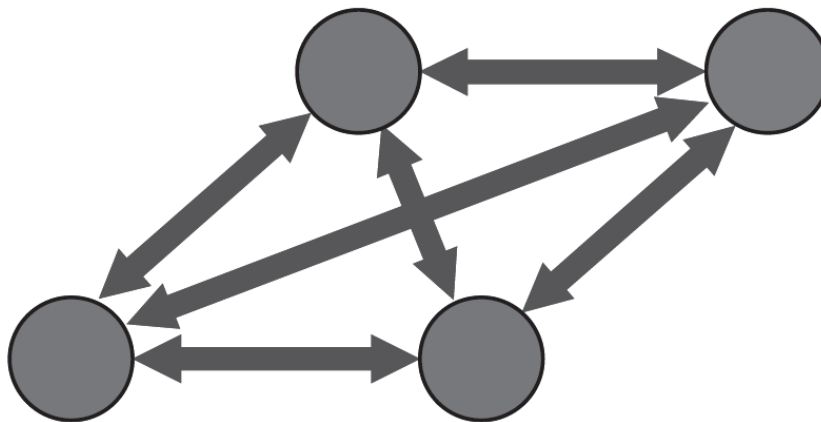


Abb. 19: Schematische Darstellung des Taxiprinzips, Quelle: VDI 2710 - 1 (2007), S. 5.

Im Gegensatz zu einer fest installierten Fördertechnik können Quellen und Senken flexibel miteinander verknüpft werden. Wichtig ist hier jedoch die Leitsteuerung, die alle Fahrzeuge koordiniert und alle Randbedingungen wie Termine, Prioritäten, kürzeste Wege und Layouteinschränkungen berücksichtigt. Typische Anwendung dieses Prinzips ist die Ver- und Entsorgung bzw. die Verkettung von Lager-, Wareneingangs-, Versand- und Produktionsbereichen. Hier ist zu berücksichtigen, dass der Transport einer Fördereinheit zwischen Quelle und Senke unproblematisch ist. Sobald Fördergut von mehreren

⁵⁶ Vgl. DIN EN 1525 (1997), S. 8; Vgl. VDI 2510 - 1 (2009), S. 10.

⁵⁷ Vgl. Ullrich (2014), S. 21; Vgl. VDI 2710 - 1 (2007), S. 5; Vgl. D. Arnold (2009), S. 11.

Quellen gesammelt zu einer Senke (Sammelfahrt) oder von einer Quelle zu mehreren Senken (Verteilerfahrt) gebracht wird, verschärft dies die Anforderung an die Leitsteuerung sehr. Im Gegenzug ist das FTS bei geringem Durchsatz und einer Vielzahl von Quellen und Senken am attraktivsten gegenüber den anderen Fördersystemen. Zusammenfassend kann man weiter behaupten, dass FTS für die reine Transporttätigkeit verhältnismäßig teuer sind und der größte Konkurrent der manuelle Transport ist.⁵⁸

Fließlinienprinzip – FTS in der Serienmontage

Das Fließlinienprinzip kommt in der Regel in der Serienmontage zum Einsatz. Es gibt hier drei Hauptanwendungen: Montieren, Kommissionieren und Transport. Beim Montieren findet zwischen Start- und Endpunkt die eigentliche Tätigkeit statt. Dies kann sowohl linear, als auch verzweigt erfolgen.⁵⁹

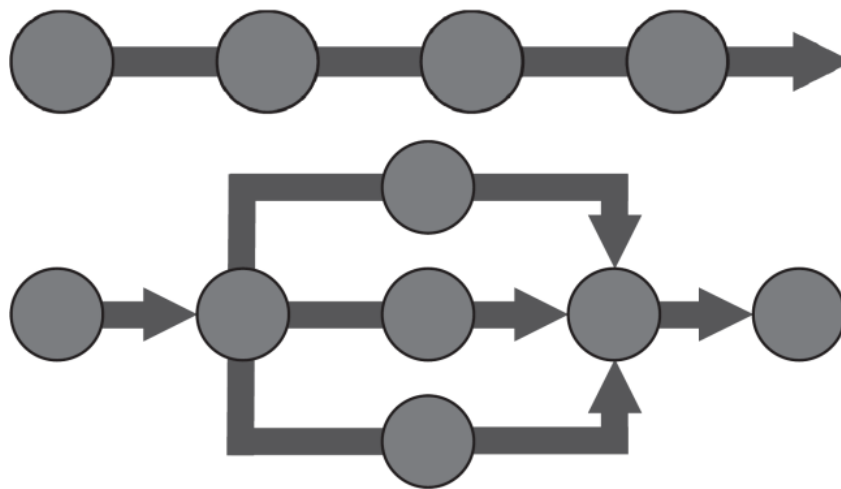


Abb. 20: Schematische Darstellung der linearen (oben) und verzweigten (unten) Fließlinie, Quelle: VDI 2710 - 1 (2007), S. 4.

Besonders in der Serienmontage kann es Sinn machen eine zeitliche Unterteilung des Transportes in der Montagelinie vorzunehmen. Dies kann auf drei verschiedene Arten geschehen: Kontinuierlich, diskontinuierlich und in Form einer Kombination beider Arten. Beim kontinuierlichen Transport bewegt sich das FTS langsam mit konstanter Geschwindigkeit von einer Station zur nächsten. Von einem diskontinuierlichen Transport spricht man, wenn das FTS das Fördergut innerhalb der Fließlinie mit Unterbrechungen bewegt. Es ist auch möglich die Stoppzeiten der einzelnen Stationen variabel zu gestalten. Bei der Kombination beider Arten wird das Fördergut sowohl mit, als auch ohne Unterbrechung transportiert.

⁵⁸ Vgl. Ullrich (2014), S. 21; Vgl. VDI 2710 - 1 (2007), S. 5; Vgl. Schrecker (2000), S. 11 – 12; Vgl. Jüngling/Unruh (2008), Online-Quelle [07.11.2019], o.S.

⁵⁹ Vgl. Ullrich (2014); S. 22 ff; Vgl. VDI 2710 - 1 (2007), S. 3 ff.

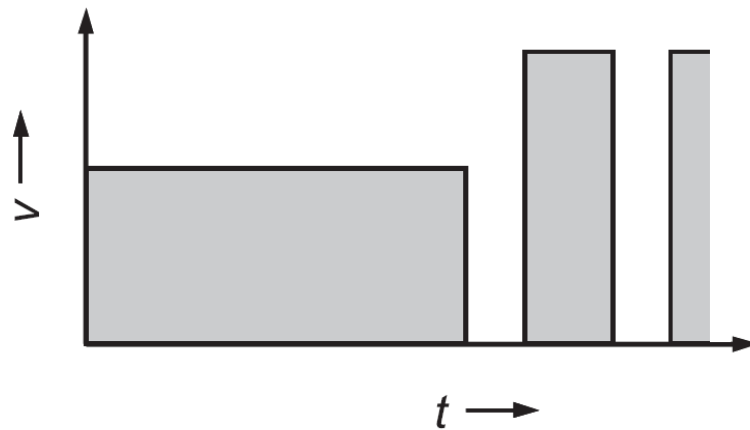


Abb. 21: Kombination aus kontinuierlichem und diskontinuierlichem Transport, Quelle: VDI 2710 - 1 (2007), S. 5.

Bei der Kommissionierung werden in einer separaten Kommissionierzone Teile für die Montage typengerecht zusammengestellt. Die Notwendigkeit ergibt sich in der Regel aus einer zu geringen Lagerfläche in der Montage und einer zu großen Teilevielfalt. Um die Kommissionierbehälter in die Montage zu bringen werden nicht zwangsläufig die gleichen Transportsysteme, wie beim Kommissionieren verwendet. In diesem Fall gibt es noch ein weiteres System zum Transport.⁶⁰

Praktische Anwendung von FTS in der Serienmontage

In der Praxis konkurrieren die FTS in allen Anwendungsbereichen mit einer Hauptkonkurrentin bzw. einem Hauptkonkurrenten. In der Gegenüberstellung werden Einschienenhängebahnen (im Folgenden nur mehr EHB genannt) ebenfalls vernachlässigt. Die Sinnhaftigkeit der EHB hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten wie Deckenbeschaffenheit und Platzverhältnissen ab, daher nimmt die EHB eine schwer vergleichbare Sonderstellung ein.⁶¹

In der Montage ist der größte Konkurrent das starre Montageband (folgend nur mehr SMB genannt). Der klare Vorteil von FTS ist hier die Flexibilität. Sollte hier eine einfache Linie ohne Verzweigungen benötigt werden ist allerdings das SMB eindeutig besser geeignet. Gleiches gilt für sehr genaue Automatikstationen in der Linie. Eine eindeutige Empfehlung kann ohne Anwendungsfall also nicht gegeben werden.⁶¹

Beim Transport ist das manuelle Flurförderfahrzeug (im Folgenden nur mehr FFZ genannt) der größte Widersacher. Das FTS ist nahezu gleich flexibel und hat qualitative Vorteile. Fehllieferungen und Beschädigungen, sowohl am Transportgut, als auch an der Peripherie, sind nahezu ausgeschlossen. Auch die positive Wirkung auf Kundinnen und Kunden, aber auch Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist ein wichtiger Aspekt. Entscheidungskriterium ist hier eindeutig die Wirtschaftlichkeit und die notwendige Kapazität.⁶¹

Bei der Kommissionierung wird das FTS mit dem FFZ bzw. einer konventionellen, manuellen Variante mittels Handwagen verglichen. Hier ist noch anzuführen, dass automatische Kleinteilelager in der Regel

⁶⁰ Vgl. Ullrich (2014); S. 22 ff; Vgl. VDI 2710 - 1 (2007) S. 3 ff.

⁶¹ Vgl. Ullrich (2014); S. 22 ff.

keine Anwendung in der Serienmontage finden. Auch wenn Kleinteile in der Serienmontage Verwendung finden, werden sehr große Mengen benötigt, die in Paletten gelagert werden können. Automatische Palettenhochlager könnten zwar Anwendung finden, da diese in der Praxis jedoch sowohl mit Regalbediengeräten als auch FTS realisiert werden, fällt die Variante mit dem Regalbediengerät prinzipiell als Konkurrent weg. Sollten FTS für den Transport genutzt werden, macht ein Regalbediengerät strategisch und wirtschaftlich keinen Sinn. Des Weiteren können die FTS im Lager meist die Aufgabe des Transportes ebenfalls übernehmen. Sollte für den Transport weiterhin die manuelle Variante angedacht sein, macht die Automatisierung höchstwahrscheinlich keinen Sinn. Prinzipiell ist die Entscheidung ebenso wirtschaftlich zu treffen.⁶²

	Montagelinie	Kommissionierung	Transport
SMB	+	O	O
FTS	+	+	+
EHB	O	O	O
FFZ	-	O	+

Abb. 22: Vergleich der Lösungen, Quelle: Ullrich (2014), S. 24 (Legende: Nicht geeignet –, bedingt geeignet O, sehr geeignet +).

Im Bild oben ist kurz zusammengefasst welche Fördertechnik geeignet für die jeweilige Aufgabe in der Serienmontage ist. Generell kann die Aussage getroffen werden, dass die Flexibilität der Produktionslayouts das maßgebliche Kriterium für den Einsatz von FTS widerspiegelt.⁶³

⁶² Vgl. Ullrich (2014); S. 22 ff.

⁶³ Vgl. Ullrich (2014), S. 27 f.

5 GRUNDLAGEN DER KONZEPTIONIERUNG

Um überhaupt Konzepte erstellen zu können bedarf es einer genauen Datenerhebung, die als Grundlage der Auslegung dient. Da diese Daten auch keinem exakten Simulationsmodell entsprechen wird vorab der Materialfluss erklärt, auf dem sich wiederum mehrere Annahmen stützen und mit dessen Hilfe bereits eine Strategie zur möglichen Umsetzung des FTS erstellt werden kann. Alle Konzepte beziehen sich rein auf den Standort Graz und nur auf die Gebäude der Anton Paar Straße.

5.1 Groblayout

Der Standort Graz ist in 10 Gebäude unterteilt, wobei das zehnte Gebäude das Parkhaus ist und hier nicht mitberücksichtigt wird. Zum leichteren Verständnis werden die Häuser namentlich benannt, zusammengefasst und im Folgenden nur mehr namentlich genannt:

- Haus 1 ist das Bürogebäude,
- Haus 2 das Montagezentrum,
- Haus 3-8 ist der Altbau und
- Haus 9 die mechanische Fertigung.

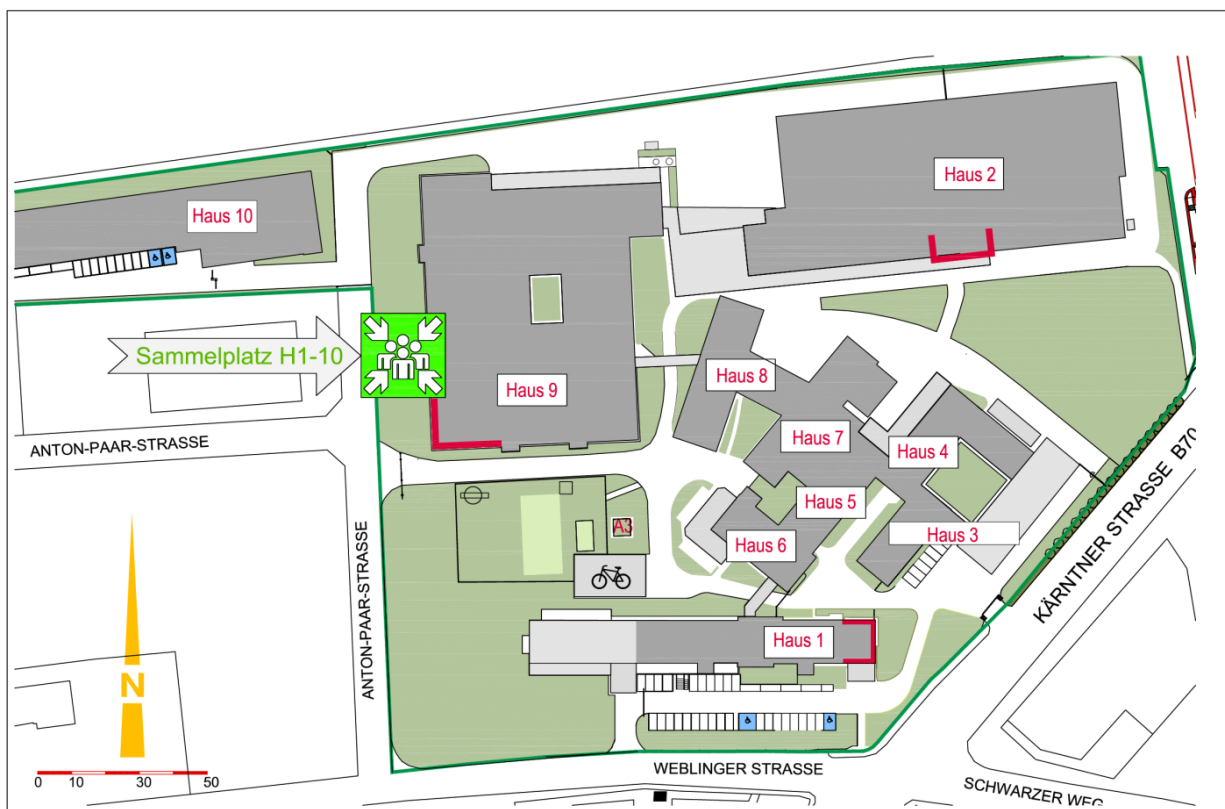


Abb. 23: Übersichtsplan, Quelle: Eigene Darstellung.

Das Bürogebäude, das Montagezentrum und die mechanische Fertigung sind die modernsten und strukturiertesten Gebäude. Der Altbau ist leider sehr unstrukturiert, da hier über die Jahre immer wieder Erweiterungen und Anbauten stattgefunden haben. Es ist auch bereits ein neues Gebäude an Stelle des

Altbaus geplant, der Umbau ist aber noch lange nicht spruchreif. Die Montagebereiche, sowie der Großteil der Logistik befinden sich im Montagezentrum. In der mechanischen Fertigung findet man die gesamte Halbzeugproduktion außer der Glasfertigung. Sowohl im Montagezentrum, als auch in der mechanischen Fertigung gibt es eine Warenannahme bzw. einen Wareneingang, wobei der Großteil an das Montagezentrum geliefert wird. Generell ist das Wechseln zwischen den vier genannten Bereichen nur über das Freie möglich und die Wege sind nur teilweise überdacht.

5.2 Logistik bis dato

Da sich das größte Dreh- und Angelkreuz der Logistik im Montagezentrum befindet, wird dies als Anfangspunkt gewählt. Auch der Großteil der Waren wird hier angeliefert. Unten ist ein Übersichtsplan des Erdgeschosses zu sehen. Hier befindet sich auch die komplette Logistik.



Abb. 24: Erdgeschoss des Haus 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Alles außer Metallrohlingen und Gefahrstoffen wird von der Warenannahme im Montagezentrum von zwei Mitarbeiterinnen bzw. Mitarbeitern empfangen und bereits vorsortiert. Die Kriterien ergeben sich zum einen aus der direkten Anschrift (z.B. z.H. Herr Max Mustermann, etc.) als auch der Differenzierung durch den jeweiligen Lieferanten. Bestellungen für die IT-Abteilung werden direkt weitergegeben, da eine Identifizierung der Ware nur durch fachkundiges Personal erfolgen kann. Auch Retoursendungen werden direkt in der Warenannahme vereinnahmt, da hier unter besonderer Vorsicht zu handeln ist. Es könnte sich um gefährliche, kontaminierte Geräte handeln. Retoursendungen werden über die Software Customer Relationship Management des Unternehmens SAP bearbeitet und gehen direkt an die

zuständigen Abteilungen, welche im Montagezentrum platziert sind. Alle Lieferungen zu Händen der IT-Abteilung werden in das Bürogebäude geliefert und auch dort vereinnahmt, da sich die Abteilung, sowie der eigene Lagerort dort befinden. Der Warenfluss teilt sich also bereits in der Warenannahme, der Großteil geht jedoch weiter in den Wareneingang. Reklamierte Ware fließt gegen den eigentlichen Materialfluss und kann hier zugunsten der Übersichtlichkeit vernachlässigt werden. Nachfolgend ist der Materialfluss schematisch dargestellt. Die Pfeilstärke spiegelt die Intensität des Materialflusses wider, ist aber nicht maßstabsgetreu.

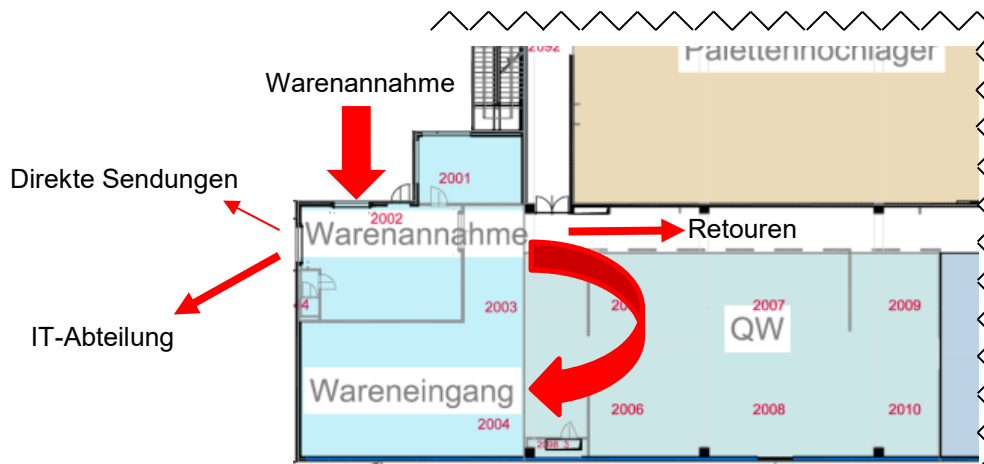


Abb. 25: Warenfluss der Warenannahme, Quelle: Eigene Darstellung.

Im Wareneingang werden von zwei Mitarbeiterinnen bzw. Mitarbeitern Lieferungen geöffnet und die Übereinstimmung der gelieferten Ware mit dem Lieferschein und der zugehörigen Bestellung wird überprüft. Unter Umständen kann es auch notwendig sein Rücksprache mit der zuständigen Einkaufsabteilung zu halten. Bei positivem Resultat werden die gelieferten Artikel über die ERP-Software SAP vereinnahmt. Dabei wird das Material auch durch ein Materiallabel gekennzeichnet. Auf diesem finden sich alle relevanten Daten, sowie der vorgegebene Bestimmungslagerort. In manchen Fällen geht das Material auch direkt an eine Person oder Abteilung weiter, dann wird auch ein Materialbegleitschein gedruckt. Für die Verteilung am Standort ist der interne Transportdienst bzw. die Intralogistik zuständig. Die meisten Artikel gehen weiter zur Wareneingangsprüfung oder werden im Hauptlager eingelagert. Dazu werden sie an das Qualitätswesen, die sogenannte Umpackzone oder direkt ins Palettenhochlager geliefert. Die Umpackzone wird benötigt, da Materialien nur in einem genormten Kleinladungsträger (im Folgenden nur mehr als KLT bezeichnet) oder zugehörigem Einsatzkasten im automatischen Kleinteilelager eingelagert werden können. Hier wird eine Mitarbeiterin bzw. ein Mitarbeiter eingesetzt. Das Umpacken ist notwendig um die einzelnen Gebinde vor evtl. Beschädigungen durch die Bewegungen der Fördertechnik zu schützen. Nach positiv absolvierter Wareneingangsprüfung kommen die Artikel ebenfalls weiter zur Einlagerung bzw. Umpackzone. Eine grafische Darstellung dazu findet man auf der nächsten Seite.



Abb. 26: Warenfluss ausgehend vom Wareneingang, Quelle: Eigene Darstellung.

Da im ERP-System kein Volumen der Teile gepflegt ist, erfolgt die Aufteilung der Ware zwischen AKL und Palettenhochlager nach dem Ermessen der Mitarbeiterinnen bzw. Mitarbeiter im Wareneingang. Hier werden zwei bis drei Angestellte eingesetzt, je nach Bedarf. Nichts desto trotz können im AKL nur Materialien eingelagert werden, die in einem Standardbehälter mit einem Maß von 600 mm * 400 mm * 270 mm oder 600 mm * 400 mm * 170 mm bzw. einem zugehörigen Einsatzbehälter Platz finden. Die höheren KLT werden in der Regel durch Vierteileinsätze geteilt, die Niedrigeren durch Achteleinsätze. An sich sind die Gebinde am gesamten Standort einheitlich, eine Ausnahme bildet hier jedoch das Palettenhochlager und die mechanische Fertigung. Das Palettenhochlager beinhaltet nicht nur sortenreine Paletten, sondern jegliche Art von Gebinden, die auf Paletten geschichtet eingelagert werden. Eine Auslagerung findet jedoch nur in den üblichen KLT-Formaten oder in ganzen Europaletten statt.



Abb. 27: Links sieht man die Lagersituation im Palettenhochlager, rechts Ladungsträger die in der mechanischen Fertigung, die neben den Kleinladungsträgern verwendet werden, Quelle: Eigene Darstellung.

Nun sind die Artikel bereit zur Einlagerung. Beim AKL wird dazu eine eigene Transaktion in SAP aufgerufen und alle einzulagernden Materialien inklusive ihrer Behälter vorerfasst. Die Datensätze werden dann an die Warehouse-Management-Software (im Folgenden nur mehr als WMS bezeichnet) WAMAS C der SSI Schäfer Automation GmbH übergeben. Die Einlagerung erfolgt dann chaotisch an einer beliebigen Kommissionierstation durch Austauschen mit Leerbehältern. Im Palettenhochlager erfolgt die Einlagerung manuell durch die Zuordnung eines Lagerplatzes über SAP. Jeder Palettenstellplatz ist mit einer Nummer und einem Barcode gekennzeichnet. Durch Scannen des Barcodes erfolgt die Verknüpfung. Im Palettenlager sind jeweils zwei bis drei und bei den Kommissionierstationen drei Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt.

Die Kommissionierung der Waren erfolgt beim AKL durch das Ware-zum-Mann, sowie das First-In-First-Out-Prinzip. Die Lagerware befindet sich in einem separaten Raum (siehe Abb. 28). Dort erfolgen Ein- und Auslagerungen über ein Regalbediengerät und die Ware wird über konventionelle Fördertechnik zu den vier Kommissionierstationen gebracht (siehe Abb. 28). Größtenteils handelt es sich um angetriebene Rollenförderbahnen, die teilweise über den Köpfen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter angebracht ist. Die Kommissionierung erfolgt dann softwareunterstützt. Damit es überhaupt zu einer Kommissionierung kommen kann, bedarf es einer Schnittstellenanbindung zwischen WAMAS C und SAP. Die vorrangige Software ist hier SAP, da jegliche Transportaufträge im oder durch SAP erstellt und in weiterer Folge an WAMAS C inklusive aller relevanten Informationen zu Material und Bestimmungsort übergeben werden. Das Abarbeiten der Aufträge obliegt dem WMS. Nach Abschluss eines Transportauftrages wird dieser an SAP als erledigt rückgemeldet und die Ware wird mit einem Materialbegleitschein versehen. Weiter wird bei jedem Pick ein Materialetikett gedruckt und auf das ausgegebene Gebinde geklebt. Das Palettenhochlager fungiert im Mann-zur-Ware Prinzip, aber wegeoptimiert. Gesteuert wird das Lager direkt über SAP, es wurde lediglich eine Maske speziell an die Prozesse bei Anton Paar angepasst. Am Materialetikett findet man die relevanten Informationen, wie den Bestimmungsort.

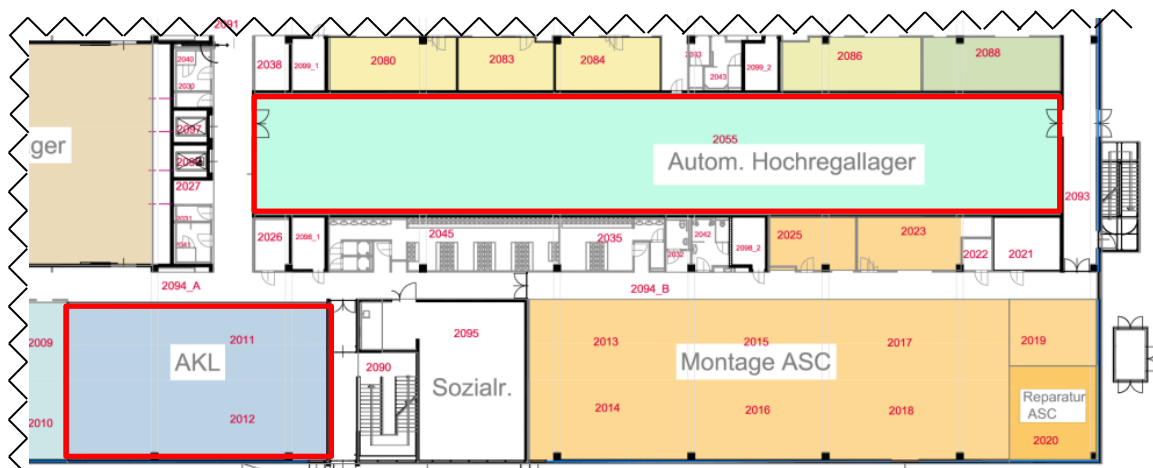


Abb. 28: Die Kommissionierstationen befinden sich im Bereich mit der Beschriftung "AKL", das Lager an sich im separierten Raum mit der Beschriftung "Autom. Hochregallager", Quelle: Eigene Darstellung.

Der Materialbegleitschein bzw. das Materialetikett im Falle des Palettenhochlagers dient dem internen Transportdienst zur Identifizierung des Bestimmungsortes des Transportauftrages. Sowohl Kommissionen aus dem AKL, als auch dem Palettenlager werden in KLT oder Viertel- bzw. Achteleinsätzen zum Transport bereitgestellt und in Kommissionierwägen vorsortiert. Bei den

Kommissionierstationen gibt es jeweils einen Etagenwagen für alle drei Etagen des Montagezentrums, für das Bürogebäude, den Altbau, sowie die mechanische Fertigung. Insgesamt findet man dort also 6 Kommissionierwägen. Ausgehend von dieser Position erfolgen also alle Lieferungen.



Abb. 29: Kommissionierstationen und Kommissionierwägen für die Intralogistik, Quelle: Eigene Darstellung.

Im Palettenlager sind ebenfalls Wägen für den Transport abgestellt. Lediglich Transportaufträge, die das Montagezentrum verlassen, werden zu den Kommissionierstationen gebracht. Die Auslieferung der restlichen Ware erfolgt direkt durch eine Mitarbeiterin bzw. einen Mitarbeiter aus dem Palettenhochlager. Die bzw. der Angestellte ist schätzungsweise den halben Arbeitstag damit beschäftigt. Das entspricht also einem Vollzeitäquivalent von ca. 0,5. Dem zugrunde liegt der geringere Durchsatz im Vergleich zum AKL. Die Transportaufträge aus dem AKL, die für den Altbau, die mechanische Fertigung oder das Bürogebäude bestimmt sind werden von einer Mitarbeiterin bzw. einem Mitarbeiter zugestellt. Gleiches gilt für Lieferungen innerhalb des Montagezentrums, das entspricht insgesamt zwei Vollzeitäquivalenten. Da es in der Intralogistik sehr viele Materialströme gibt wurde zugunsten der Übersichtlichkeit darauf verzichtet diese Darstellung mit Pfeilen durchzuführen. Die einzelnen Bereiche sind in Abb. 32 und Abb. 39 ersichtlich. Das AKL bildet jedoch das Dreh- und Angelkreuz der Intralogistik.

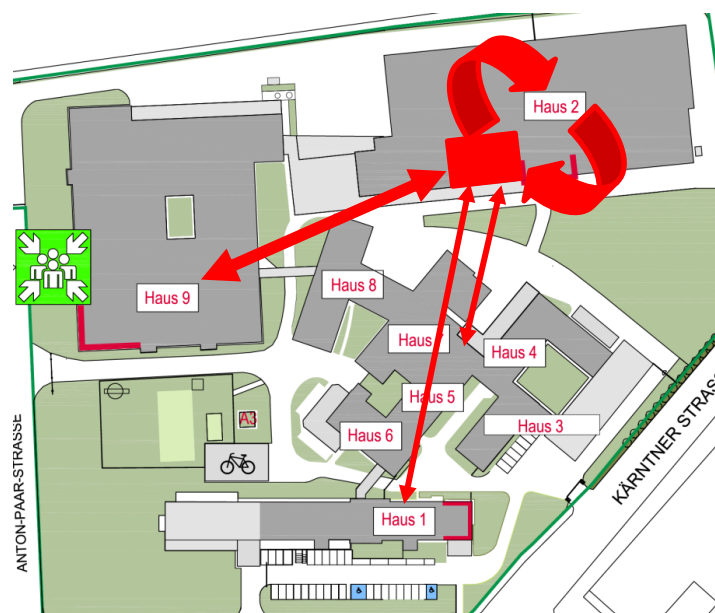


Abb. 30: Schematische, allgemeine Darstellung des Materialflusses ausgehend vom AKL (rot), Quelle: Eigene Darstellung.

Um hier einen sicheren Prozess zu gestalten, gibt es am gesamten Standort definierte Anliefer-, aber auch Abholplätze. Dazu hat jeder Raum, jeder Arbeitsplatz und jeder Produktionslagerort eine eindeutige Kennung bestehend aus vier Ziffern. Für manche Anlieferplätze gibt es, besonders im Montagezentrum, einen Sammelplatz in Form eines Regals, jedoch ist hier zur effizienten Auslieferung die Erfahrung der jeweiligen Mitarbeiterin bzw. des jeweiligen Mitarbeiters sehr wichtig.

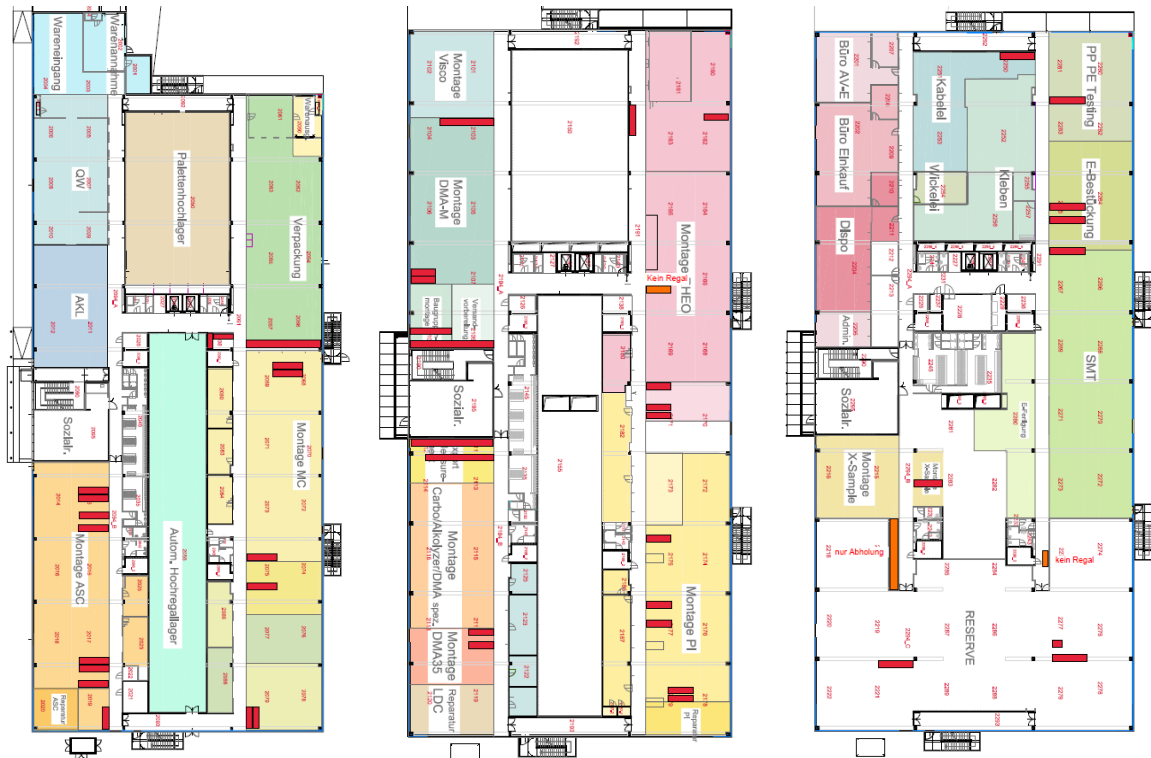


Abb. 31: Anlieferplätze (Rot und Orange dargestellt) im Montagezentrum beginnend mit dem Erdgeschoss (Links) über das erste Obergeschoss (Mitte) bis zum zweiten Obergeschoss (Rechts), Quelle: Eigene Darstellung.

In der mechanischen Fertigung gibt es zwar ebenfalls Sammellieferplätze, jedoch sind die Arbeitsplätze hier relevanter. Lediglich die Abteilungen Oberflächenbehandlung, nachfolgend mit „Oberfl.“ beschriftet, und Laser, sowie die Verbindungstechnik im ersten Obergeschoss benötigen ein An- und Abholregal. Alle Lieferungen zwischen der mechanischen Fertigung und dem Hauptlager bzw. AKL gehen von einem zentralen Punkt aus und finden in Form eines eigens dafür abgestellten Kommissionierwagens oder Paletten statt. Das Halbzeug wird vom Zuschnitt bearbeitet, bereitgestellt und von der zuständigen Logistikmitarbeiterin bzw. dem zuständigen Logistikmitarbeiter zu den Arbeitsplätzen gebracht. Außerhalb der üblichen Geschäftszeiten bzw. generell je nach Bedarf erfolgt dies durch die Arbeiterinnen und Arbeiter der mechanischen Fertigung selbst.

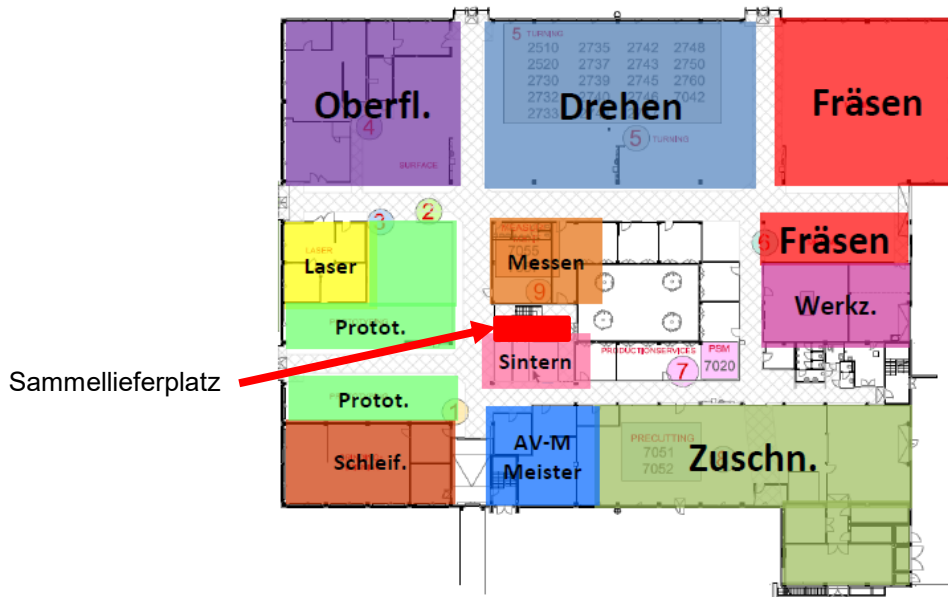


Abb. 32: Abteilungen innerhalb des Erdgeschosses der mechanischen Fertigung; Der Sammellieferplatz für Lieferungen zum und vom AKL ist gekennzeichnet, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Intralogistik ist auch zuständig für das Transportieren von Lieferungen an die oder von den verschiedenen Produktionslagern oder zwischen einzelnen Personen oder Abteilungen. Sie bedient also alle internen Kunden. Des Weiteren werden Leergebinde zurück zum AKL gebracht und dort gesammelt bzw. wiederverwendet.

Des Weiteren ist der Materialfluss der fertigen Produkte noch erwähnenswert. Im Montagezentrum hat jeder Produktbereich eine eigene Versandstelle. Von dort aus werden Zubehör, Ersatzteile und die fertigen Produkte versandt. Dies geschieht ebenfalls über Kommissionierwägen. Diese auszuliefernden Waren passen teilweise in die KLT, ein großer Teil der fertigen Produkte allerdings nicht.

Zu guter Letzt werden Waren zwischen Kunden und Lieferanten im Großraum Graz und dem Tochterunternehmen Anton Paar ShapeTec in Wundschuh über einen eigenen Kurierdienst geliefert bzw. abgeholt. Im Montagezentrum gibt es zu diesem Zweck ein eigenes Regal.

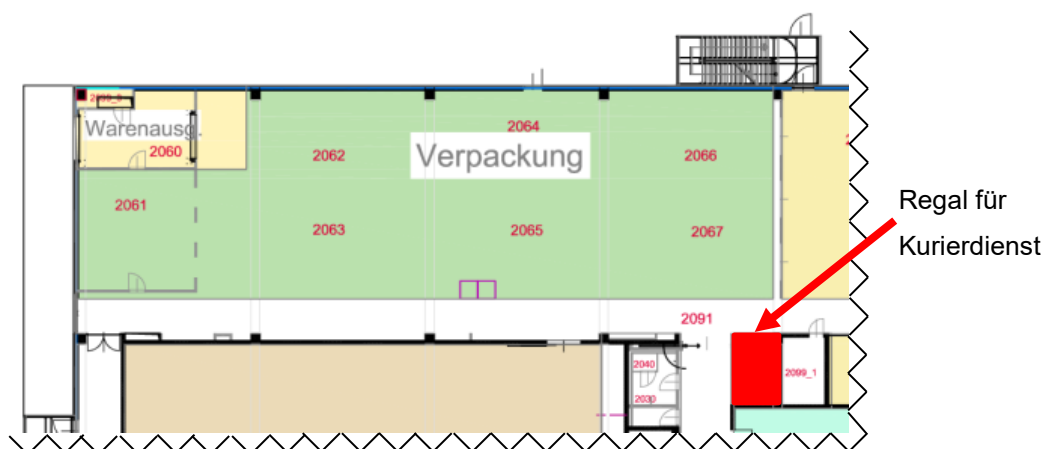


Abb. 33: Standort des Regales für den Kurierdienst, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3 Bedarfs- und Primärdatenerhebung

Bevor überhaupt Konzepte erstellt werden können, müssen nicht nur der Materialfluss evaluiert werden, sondern auch die grundlegenden Kennzahlen zur Auslegung des fahrerlosen Transportsystems bestimmt werden. Im Gegensatz zur üblichen Primärdatenerhebung werden keine Interviews geführt, sondern es wird über mehrere Wochen aktiv mitgearbeitet um alle Kennzahlen validieren zu können. Weiter werden Probleme und Verbesserungspotenzial bestimmt, sowie untersucht ob es überhaupt einer automatisierten Lösung bedarf.

Automatisierung als Firmenphilosophie

Das Unternehmen stammt an sich von einem kleinen Schlosserbetrieb ab und es wurden schon immer sehr viele Artikel intern gefertigt, sofern möglich und sinnvoll. Man ist darauf so stolz, dass man es sogar auf dem Übersichtsblatt zum Unternehmen zusammen mit den wichtigsten Kennzahlen anführt (siehe unten). Wenn man sich den Standort Graz ansieht erkennt man sehr schnell, dass es wenig freien Platz gibt, sowohl in den Produktbereichen, als auch in der mechanischen Fertigung. Im urbanen Gebiet gibt es kaum Möglichkeiten mehr Platz zu schaffen. Gleichzeitig vertreibt Anton Paar hochpräzise Messgeräte. Die Feinheit der Produkte impliziert eine saubere Fertigung und hohe Qualitätsansprüche, daher ist jede und jeder Angestellte aufgefordert in seinem Verantwortungsbereich für Ordnung zu sorgen.

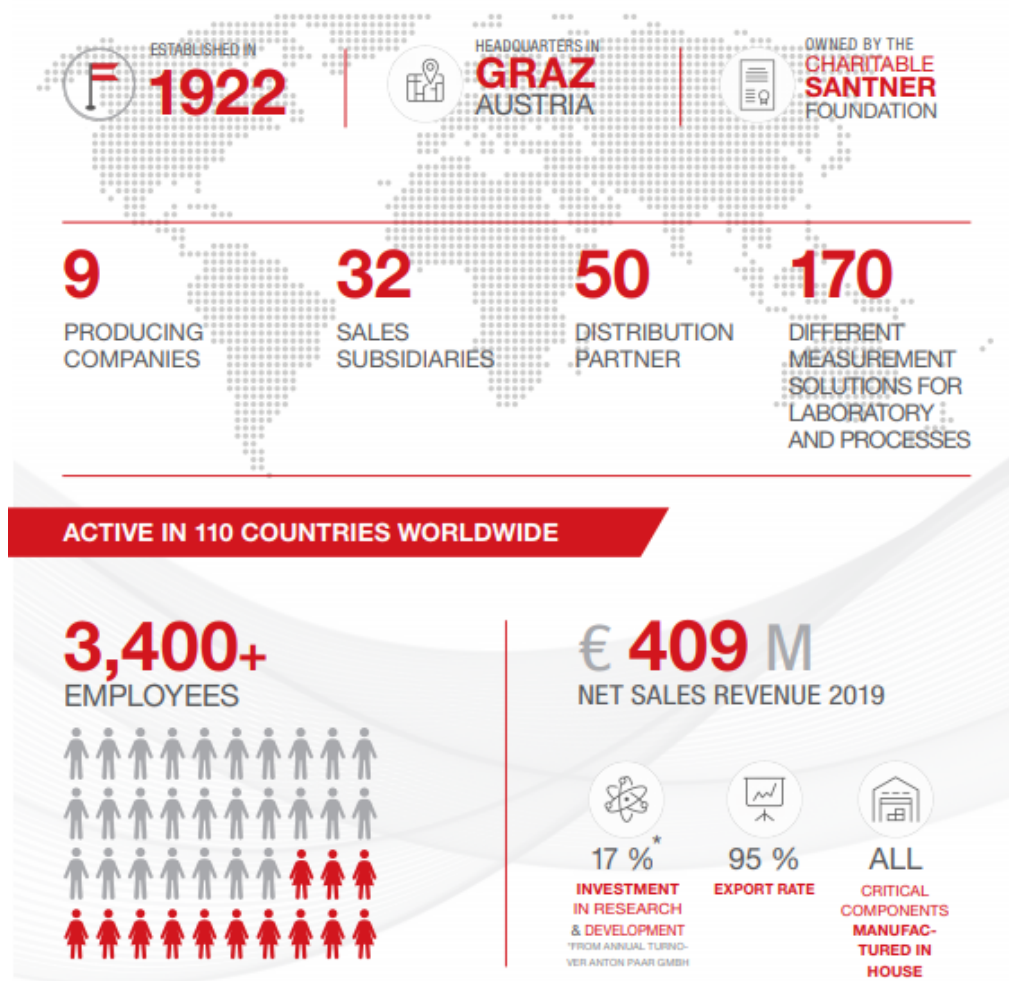


Abb. 34: Factsheet der Anton Paar GmbH, Quelle: Anton Paar GmbH (Hrsg.) (2020), o.S.

Zusammen mit dem stetigen Preisdruck ist man hier durchgehend gefordert Prozesse effektiver zu gestalten und den zur Verfügung stehenden Platz besser zu nutzen. Neben der internen Fertigung sieht man auch, dass 2019 insgesamt 17 % des Umsatzes in Forschung und Entwicklung investiert wurden. Die Anton Paar GmbH ist neben der hervorragenden Qualität auch für die innovativen Produkte, aber auch Fertigungsprozesse bekannt. Zusammen mit der Knappheit an Produktions-, aber auch Lagerfläche ist dies eine gute Basis um dort wo manuelle Arbeit notwendig ist Arbeitszeiten auszudehnen, indem man Randzeiten bedient oder ein Schichtmodell einführt und gleichzeitig in den Bereichen Automatisierung voranzutreiben, wo repetitive und weniger komplexe Handgriffe die Möglichkeit bieten. Auch der Ansatz der Geschäftsführung bzw. des Geschäftsbereichsleiters wird in diesem Fall klar kommuniziert: Mehr Fläche bedeutet mehr Platz um Dinge liegen zu lassen.

Die Automatisierung der Prozesse birgt zusammen mit der Produktvielfalt auch Tücken. Derzeit lagern im AKL mehr als 20.000 verschiedene Artikel. Ein großer Teil davon wird in Eigenfertigung hergestellt. Um nun ohne Standzeiten auch am Wochenende durchgehend zu fertigen sind die Losgrößen mit enormem Bedacht zu wählen ohne den Umlaufbestand der Waren stark negativ zu beeinflussen. Würde man hier mehr Flexibilität schaffen durch das automatische Zu- und Abführen von Rohmaterial und Werkzeug durch das FTS, ist man nicht mehr auf das Lagervolumen innerhalb des automatischen Fertigungssystems beschränkt. Rohmaterial inklusive Werkzeug könnte in einem Magazin, z.B. in einem besonders platzsparenden automatischen Umlaufregal untergebracht sein und an einem freien Platz in der Fertigung aufgestellt werden.

Zusammenfassend kann man also eindeutig feststellen, dass FTS sehr gut zum Unternehmensleitbild passen und bei der Umsetzung der aktuellen Unternehmensstrategie jedenfalls förderlich sind.

Untersuchung der Intralogistik

Um den Bedarf seitens der Logistik zu erheben werden nachfolgend Probleme erläutert, die im Zuge der Mitarbeit erhoben werden. Generell hat sich die manuelle Intralogistik im stark wachsenden Betrieb bewährt. Anliefer- und Abholplätze konnten flexibel gestaltet werden und vieles wird per Zuruf erledigt. Durch die bisher erreichte Größe des Unternehmens wird das allerdings deutlich mühsamer, nicht zuletzt weil auch mehr Personen in den Prozess involviert sind. Weiter führt dies auch zu Fehlern und zu Informationsverlust, da die Effektivität der intralogistischen Prozesse maßgeblich vom Wissen der einzelnen Personen abhängt. Das führt zu folgenden Problemen: Lieferungen kommen nicht an den definierten Bestimmungsort, Terminverabsäumnisse in der werksübergreifenden Fertigung, Bindung an bestehendes Personal und es gibt keinen einheitlichen Prozess, sowie daraus resultierender Verlustleistung.

Besonders kritisch wird diese Thematik in Verbindung mit der fehlenden Rückverfolgbarkeit der Lieferungen. Wie in 5.2 beschrieben werden Warenbewegungen generell in SAP erfasst. Auch bei der Kommissionierung geschieht durch WAMAS C eine Rückmeldung an SAP, jedoch endet die Kette der Rückverfolgbarkeit mit dem Abstellen der Lieferungen auf die Kommissionierwägen. Es gibt bis zum jetzigen Zeitpunkt also keine Möglichkeit den genauen Standpunkt ausfindig zu machen, lediglich den Zeitpunkt, an dem die Ware kommissioniert wurde. Sehr oft passiert es, dass erst zum Bedarfszeitpunkt der Ware, der teilweise ein bis zwei Wochen nach der eigentlichen Kommissionierung gegeben ist, die Nachfrage erfolgt wo denn die Ware ist. Diese Anfragen sind weiter mit hoher Priorität zu bearbeiten, da

ein Verschwinden der Ware neben den Materialkosten auch zu einem geschäftsbeeinträchtigenden Ausmaß wachsen kann. Die ebenfalls bereits angesprochene Teilevielfalt führt dazu, dass manche Artikel in sehr geringen Mengen auf Lager gehalten werden und nur in speziellen Fällen eingesetzt werden. Das schlimmste Szenario wäre nun also das Verschwinden von sehr kostspieligem Material, das für einen großen Kundenauftrag benötigt wird und eine sehr lange Wiederbeschaffungszeit besitzt. Die Wahrscheinlichkeit, dass genau dieses Szenario eintritt ist natürlich verschwindend gering, die Auswirkung dafür sehr hoch. Bei einer Bewertung des Risikos empfiehlt es sich durchaus hier Gegenmaßnahmen zu setzen. Der Einsatz von FTS würde das Risiko eliminieren und auch falsche Beschuldigungen der Intralogistik, obwohl eine Lieferung lediglich vom Empfänger nicht auffindbar ist, wären nicht mehr möglich. Die Alternative dazu wäre ein Einsatz der bereits verfolgt wird, aber noch nicht umgesetzt wurde: Betriebsinternes Warentracking über eine Lösung mit QR- bzw. 2D-Barcodes. Zu jeder Warenbewegung gibt es einen Materialbeleg inklusive Materialbegleitschein. Auf diesen Begleitschein soll ein QR-Code gedruckt werden mit allen Informationen zum Materialbeleg. Gleichzeitig wird in der Datenbank ein neuer Status für die Lieferungen eingeführt. Beim Aufladen der Lieferung erfolgt ein Scan des Barcodes in einer eigenen Transaktion. Dadurch wird ein Status gesetzt inklusive Zeitstempel. Beim Liefern der Ware wird der Barcode ebenfalls gescannt. Nichtsdestotrotz kann man bei diesem Lösungsansatz menschliches Versagen nicht ausschließen.

Im Zuge der weiteren Expansion der Anton Paar Gruppe wurde ein Teil der Fertigung ausgelagert, sodass es mittlerweile Tochterunternehmen, die sogenannte Anton Paar ShapeTec, mit Betrieben in Wundschuh bei Graz, Bosnien und Ungarn gibt. Die werksübergreifende Fertigung wird durch zwei logistische Institutionen bedient: Ein Kurierdienst wie in 5.2 beschrieben und wöchentliche Sammellieferungen zwischen der Anton Paar ShapeTec GmbH am Standort Wundschuh und den Tochterunternehmen im Ausland. Prinzipiell ist der Prozess unproblematisch, wenn jedoch Material der Anton Paar GmbH zur weiteren Bearbeitung nach Bosnien oder Ungarn geschickt wird, müssen zwei Termine eingehalten werden: Erstens muss das Material rechtzeitig für den Kurierdienst bereitgestellt werden, der an fixen Uhrzeiten die Ware mit einem Kleintransporter nach Wundschuh bringt. Hier sind sowohl die einzelnen Abteilungen gefragt, als auch die Intralogistik. Zweitens gibt es wöchentliche Sammellieferungen zwischen der Anton Paar ShapeTec GmbH und ihren Tochterunternehmen. Sollte es hier passieren, dass Ware nicht rechtzeitig zum Transport bereitsteht, wird sie erst eine Woche später verschickt. Ein kleiner Fehler kann also bereits zu einer Verzögerung von einer Woche führen. Der Bedarf lässt sich generell auf zwei Bereiche zurückführen: Die mechanische Fertigung, aber auch die elektronische Fertigung mit Sitz im Montagezentrum. In diesem Fall kann über FTS eine sichere Lösung zumindest für die Intralogistik gewährleistet werden indem man jeweils eine Abholstation in beiden Bereichen rein für Lieferungen zum Kurierdienst aufstellt. Diese Stationen sind mit einem Sensor ausgestattet, der Lieferungen erkennt die bereit sind zur Abholung. Der Transportauftrag, welcher über die interne Materialflusssteuerung der FTS-Leitsteuerung erstellt wird, bekommt die höchste Priorität. So kann gewährleistet werden, dass Ware in einem gewissen Zeitraum von der Abholstation zum Kurierdienst gelangt. Die Alternative dazu wäre eine externe Software und Tracking-Sensoren. Hier würde die Lieferung mit einem dieser Sensoren verknüpft werden und es gäbe entlang des Materialflusses mehrere Gates. Sollte ein Gate passiert werden, erhält die Lieferung per Geofencing einen neuen Status inklusive Zeitstempel. Der Sensor bleibt bei der Lieferung bis diese in Wundschuh

angekommen ist, dadurch erhält man lückenlose Rückverfolgbarkeit auch in der werksübergreifenden Fertigung.

Neben den oben genannten Verlustleistungen ist der aktuelle Prozess für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Intralogistik auch körperlich anstrengend. Es werden große Distanzen an einem Arbeitstag zurückgelegt und die KLT können bis zu 25 kg schwer sein. Generell wird in der Intralogistik nur körperlich fittes Personal eingesetzt und es gibt eine ständige Rotation in der Logistik, dennoch bleibt es eine anstrengende Tätigkeit und FTS bringen hier eine enorme Entlastung. Weiter könnte man menschliche Fehler eliminieren, die selbst bei einer aufwendigen Prozessdokumentation bzw. Arbeitsanweisung anfallen würden. Generell ist der Trend bzgl. der Kapazitätsauslastung zurzeit stark steigend. Es hat die letzten Jahre, bis auf 2009 zu Zeiten der Wirtschaftskrise, ein exponentielles Umsatzwachstum gegeben. Parallel dazu steigt auch das Transportaufkommen im Unternehmen. Da man die Auslastung des Personals nicht quantifizieren kann bzw. da ein Grenzdurchsatz nur schwer zu erheben ist, wird diese in die qualitativen Probleme übernommen.

Annual net sales revenue (million Euro)

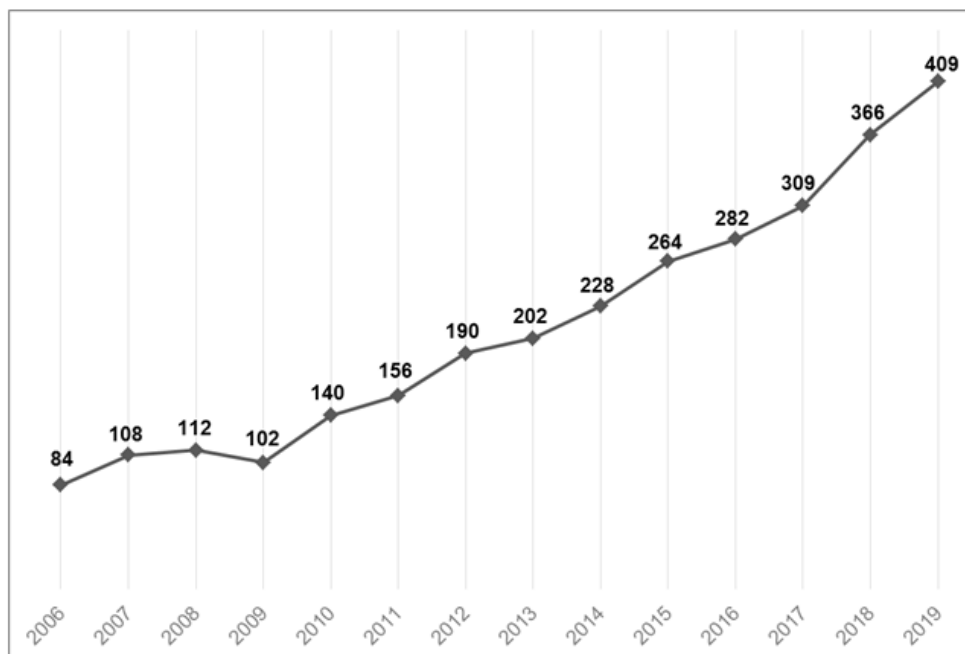


Abb. 35: Entwicklung des Jahresumsatzes der Anton Paar GmbH, Quelle: Anton Paar GmbH (Hrsg.) (2020), o.S.

Zu guter Letzt ist die Abhängigkeit von der Kompetenz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht optimal. Es muss gewährleistet werden auch bei Ausfall oder Austritt von Personal alle Anforderungen an die Logistik erfüllen zu können. Auch wenn es zu keinem totalen Stillstand kommen würde, wäre die Qualität und Liefertreue über einen gewissen Zeitraum mindestens mangelhaft, oder es fehlt an Kapazität.

Zusammenfassend gibt es in der Logistik also folgende Probleme und alternativen Lösungsansätze, wie in Tab. 1 beschrieben.

Problemstellung	FTS		Alternative	
	Pro	Contra	Lösungsansatz	Pro Contra
1 Lieferungen kommen nicht an den definierten Bestimmungsort	Lückenloser Materialfluss Kein menschlicher Einfluss	Unflexibler als manuelle Intralogistik	Betriebsinternes Warentacking mit 2D Barcodes	Bessere Rückverfolgbarkeit Weiterhin Fehler möglich Mehr Aufwand
2 Terminverabsäumnisse in der werkübergreifenden Fertigung	Rückverfolgbarkeit bis zum Kurierdienst gegeben Abholzeiten werden eingehalten Lieferungen werden automatisch erkannt, kein Übersehen möglich	Ab der Abholung durch den Kurierdienst ist keine Rückverfolgbarkeit möglich	Betriebsübergreifendes Warentacking mit Sensoren	Lückenlosse Rückverfolgbarkeit Mehr Aufwand Hohe Kosten im Vergleich zum Nutzen
3 Überlastung des Personals	Volle Entlastung Kapazität skalierbar	Unter Umständen teurer als manuelle Intralogistik	Kein Lösungsansatz	
4 Bindung an bestehendes Personal und Prozessfehler	Unabhängiges System Keine Fehler in der Intralogistik möglich	Unflexibler als manuelle Intralogistik	Überarbeitung der Prozessdokumentation und Arbeitsanweisungen	Fehlerprevention Kostengünstig Nicht effektiv

Tab. 1: Gegenüberstellung der Probleme in der Intralogistik, Quelle: Eigene Darstellung.

Um die Probleme nun in Relation zu setzen erfolgt eine Einschätzung im Sinne einer Risikomatrix. Da es für die ersten zwei Szenarien je nach Schadensausmaß eine unterschiedliche Eintrittswahrscheinlichkeit gibt, wird hier an Stelle einer fixen Koordinate ein Verlauf herangezogen. Die Risikomatrix sieht nun wie folgt aus.

Schadensausmaß	sehr hoch		1, 2			
	hoch			1, 2		
	moderat			3	1, 2	
	gering					1, 2
	sehr gering					4
		sehr gering	gering	moderat	hoch	sehr hoch
Eintrittswahrscheinlichkeit						

Abb. 36: Risikomatrix zu den Problemen der Intralogistik ohne Maßnahmen, Quelle: Eigene Darstellung.

Der Einsatz der alternativen Lösungsansätze bringt hier bereits eine Verbesserung, ist aber nicht optimal. Besonders die Überlastung des Personals birgt auf lange Sicht ein Problem, dem man nicht entgegenwirken kann. Die Risiken durch Probleme der werksübergreifenden Fertigung werden mit dem Einsatz von Tracking-Sensoren jedoch deutlich minimiert, sogar besser als durch ein FTS. Das kommt daher, dass der gesamte Weg der Lieferungen lückenlos rückverfolgbar abgedeckt ist.

Schadensausmaß	sehr hoch					
	hoch	1				
	moderat	2	1	3		
	gering		2	1		
	sehr gering			2	1, 4	
		sehr gering	gering	moderat	hoch	sehr hoch
Eintrittswahrscheinlichkeit						

Abb. 37: Risikomatrix zu den Problemen der Intralogistik mit alternativen Lösungsansätzen, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch den Einsatz von FTS eliminiert man nahezu alle Risiken der Intralogistik am Standort Graz. Zwei Punkte müssen hier noch hervorgehoben werden. Zum einen ist es nicht möglich FTS als alleinige Lösung für die werksübergreifende Fertigung zu betrachten. Eine Verbesserung des Prozesses wird sicher eintreten, ob diese ausreichend ist muss sich zeigen. Es spricht hier nichts dagegen zusätzlich die Ware über Sensoren zu tracken. Da der Materialfluss bis zur Abholung durch den Kurierdienst abgedeckt ist, stellt sich hier dennoch eine Verbesserung ein. Zur Kapazität und Skalierbarkeit muss noch folgendes bedacht werden: Trotz der leicht durchzuführenden Erweiterung des FTS kann dieses auch an seine Grenzen gelangen. Es gibt einen Punkt, an dem sich an einer Stelle ein Flaschenhals bildet und die Fahrzeuge stehen sich in weiterer Folge auch selbst im Weg. Einzelne Spitzen können sehr gut über manuelle Unterstützung abgedeckt werden. Generell ergibt sich dadurch auch ein sehr geringes Risiko, sollte das System ausfallen.

Schadensausmaß	sehr hoch	2				
	hoch		2			
	moderat			2		
	gering				2	
	sehr gering	1, 3, 4				2
		sehr gering	gering	moderat	hoch	sehr hoch
		Eintrittswahrscheinlichkeit				

Abb. 38: Risikomatrix zu den Problemen der Intralogistik mit Einsatz von FTS, Quelle: Eigene Darstellung.

Bezugnehmend auf das qualitative Potenzial von FTS am Standort Graz kann hier eindeutig ein Bedarf ermittelt werden. Eine sehr gute Verbesserung des derzeitigen Prozesses ist anzunehmen. In Kombination mit Warentracking der werksübergreifenden Fertigung bzw. der Lieferungen des Kurierdienstes können alle Risiken mehr als ausreichend minimiert werden.

Quantitative Betrachtung der Intralogistik

Nachdem die qualitativen Aspekte geklärt sind und der Materialfluss anhand des derzeitigen Prozess dargestellt ist, müssen quantifizierbare Kennzahlen zur Grundlage der Planung erhoben werden. Dem zugrunde liegt die SAP Datenbank. Da das Projekt bereits Ende 2018 mit der Einholung des ersten Richtpreisangebotes startete, werden Daten aus dem Jahr 2017 verwendet. Die Daten werden nicht aktualisiert um die gleiche Grundlage für weiterfolgende Angebote zu bieten. Aufgrund der großen Menge an Daten und der unterschiedlichen Auslastung der Logistik entscheidet man sich lediglich das vierte Quartal auszuwerten. Der meiste Umsatz wurde in den vergangenen Jahren in diesem Quartal gemacht, daher spiegelt sich in den Daten auch die Spitzenauslastung wider. Weiter werden nicht alle Daten ausgewertet, sondern man beschränkt sich auf ausgewählte Bewegungsarten. Unter der Bewegungsart

kann man sich eine Einteilung vorstellen, die man wählen muss bevor die Bewegung im SAP gebucht werden kann. Um beispielsweise Material von einem Lagerort auf einen anderen zu buchen gibt es eine eigene Bewegungsart, die nur für diesen Vorgang vorgesehen ist. Alle Arten zu inkludieren wäre auch dahingehend falsch, dass man ebenfalls Inventurbuchungen und ähnliches auswertet. Man beschränkt sich auf folgende Dinge: Umlagerungen zwischen Lagerorten, Kanban Nachschub in der Produktion, Bewegungen für Fertigungsaufträge, sowie Bewegungen für Kundenaufträge bzw. Ware für den Export. Damit hat man den größten und wichtigsten Teil der logistischen Prozesse abgedeckt. Lediglich manuell erstellte Materialanforderungen von Personen, die Materialien für ihre Kostenstelle anfordern, lässt man außen vor. Dies kommt zum einen daher, dass die Abladestelle bzw. der Bestimmungsort als freies Textfeld auszufüllen und beinahe unmöglich auszuwerten ist, zum anderen handelt es sich um eine geringere Anzahl an Transporten, sowie kleineren Gebinden. In Summe handelt es sich hier im Auswertungszeitraum um etwa 2.500 Transportgebände. Wichtig ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese größtenteils an das Bürogebäude und den Altbau zugestellt werden.

Nachfolgend ist ein kurzer Überblick der Transporte im Sinne einer Beziehungshäufigkeitsanalyse gegeben. Dabei entsprechen die Zahlen der gesamten Anzahl der Lieferungen im Auswertungszeitraum. Es lässt sich über die Zahlen kein Rückschluss auf das transportierte Gewicht oder Volumen treffen. Auch über transportierten KLT kann keine Aussage getroffen werden. Dazu fehlen die notwendigen Daten in SAP. Aufgrund der fehlenden manuellen Materialanforderungen ist auch kein Warenfluss vom oder zum Bürogebäude in der Analyse ersichtlich.

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017				
Von \ Nach	Montagezentrum	Mechanische Fertigung	Altbau	Gesamt
Montagezentrum	66.367	8.187	3.875	78.429
Mechanische Fertigung	6.020	18.693	40	24.753
Altbau	3.617	56	20	3.693
Gesamt	76.004	26.936	3.935	106.875

Tab. 2: Transporte am gesamten Standort Graz, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Daten spiegeln an sich die Personalverteilung in der Logistik sehr gut wider. Mehr als 60 % der Transporte der Intralogistik erfolgen im Montagezentrum. Innerhalb des Montagezentrums sind 1,5 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die Logistik zuständig. Alle anderen Transporte werden von einer einzigen Person durchgeführt. Monetär liegt hier das größte Potenzial auch im Montagezentrum. Wenn man annimmt, dass eine Mitarbeiterin bzw. ein Mitarbeiter dem Arbeitgeber in etwa 45.000,00 € pro Jahr kostet liegt das jährliche Einsparungspotenzial bei 67.500,00 €. Generell sollte die Amortisationsdauer von Investitionen nicht über 5 Jahren liegen. Daraus ergibt sich ein maximales Einsparungspotenzial von 337.500,00 €. Bei der Automatisierung der gesamten Logistik, also 2,5 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, beträgt dieses Potenzial 562.500,00 €.

Man kann die Rohdaten nun weiter herunterbrechen. Um das Ganze sinnvoll und auch überschaubar aufzuarbeiten werden die Arbeitsplätze, Lagerorte, usw. zu Bereichen zusammengefasst. Die besonders großen Bereiche Rheologie und DMA werden mehrmals geteilt, da hier die unterschiedlichen Distanzen

zu groß sind. Die Einteilung erfolgt nicht nach der offiziellen Einteilung laut aktuellen Plänen, da diese Form für den spezifischen Anwendungsfall als passender erachtet wird.



Abb. 39: Unterteilung im Montagezentrum, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Bereiche erstrecken sich nun also über drei Stockwerke, welche über zwei Lifte verbunden sind. Diese werden sowohl für Waren-, als auch Personentransport genutzt. Weiter ist die Intensität der Beziehungen zwischen den jeweiligen Stockwerken stark variierend.

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017				
Nach/Von	EG	OG1	OG2	Gesamt
EG	10.553	17.873	14.821	43.247
OG1	1.868	321	481	2.670
OG2	4.436	1.037	14.977	20.450
Gesamt	16.857	19.231	30.279	66.367

Tab. 3: Transporte der einzelnen Stockwerke im Montagezentrum, Quelle: Eigene Darstellung.

Man sieht hier sehr deutlich, dass aus dem Erdgeschoss beinahe doppelt so viele Lieferungen, wie aus den anderen Geschossen kommen. Das liegt daran, dass sich dort das Hauptlager befindet. Des Weiteren erkennt man, dass ein großer Teil der Warenbewegungen im zweiten Obergeschoss stattfindet. Man findet dort den gesamten Bereich der elektronischen Fertigung. Die Ware kommt zwar aus dem Hauptlager, doch bis elektronische Komponenten fertiggestellt sind, durchlaufen die Halbzeuge die einzelnen Abteilungen und werden dabei sehr oft bewegt.

Im Detail sehen die Warenbewegungen der einzelnen Stockwerke nun wie folgt aus. Die Tabelle wird aufgeteilt um sie darstellen zu können.

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017		EG						Gesamtergebnis
		Nach	ASC	Ext.	Hauptlager	MC	PC/NSP	
Von								
EG	ASC		225				225	
	Ext.	35		496			531	
	Hauptlager	3.749	1.851		388	3.565	9.553	
	MC		225	4			229	
OG1	PC/NSP		15				15	
	DMA 1		20				20	
	DMA 2		134	88			222	
	DMA 3		211	247			458	
	PI		46	123			169	
	RHEO 1		11	521			532	
OG2	RHEO 2		417				417	
	RHEO 3							
	VISCO		24	26			50	
	AV-E		1	1.501			1.502	
	E-Bestückung			155			155	
	E-Prüfung		5	17			22	
	Kabelei	18	145	533	21		717	
OG2	Kleberei	2	27	674			703	
	SMD		8	1.246			1.254	
	X-Sample		83				83	
Gesamtergebnis		3.804	3.448	5.631	3.586	388	16.657	

Tab. 4: Anzahl der Lieferungen an das Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Verglichen mit den anderen Geschossen erfolgen sehr wenige Lieferungen an das Erdgeschoss. Nichts desto trotz erfolgt der größte Teil der Lieferungen aus dem Erdgeschoss, da hier auch das Hauptlager situiert ist.

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017														
Von	Nach	OG1									Gesamtergebnis			
		DMA 1	DMA 2	DMA 3	PI	RHEO 1	RHEO 2	RHEO 3	VISCO					
FG	ASC													
	Ext.		28							1			50	79
	Hauptlager	774	3.014	2.717	3.124	3.911	2.547	109					1.598	17.794
	MC													
OG1	PC/NSP													
	DMA 1													
	DMA 2													
	DMA 3		298											308
	PI													
	RHEO 1									9				9
	RHEO 2													
OG2	RHEO 3													
	VISCO			4										4
	AV-E													
	E-Bestückung													
	E-Prüfung		41			18								59
	Kabelei	1	53	12	5	6	23							100
	Kleberei	90	269		244	71	25						179	878
SMD														
X-Sample														
Gesamtergebnis		865	3.703	2.733	3.391	3.989	2.604	109		1.837				19.231

Tab. 5: Anzahl der Lieferungen an das erste Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Im ersten Obergeschoss sieht man den oben beschriebenen Trend sehr deutlich. Etwa 90 % der Lieferungen kommen vom Hauptlager. Das deckt sich auch mit den Erfahrungen, die direkt in der Intralogistik gemacht wurden.

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017												
Von	Nach	OG2									Gesamtergebnis	
		AV-E	E-Bestückung	E-Prüfung	Kabelei	Kleberei	SMD	X-Sample				
EG	ASC				80							80
	Ext.											
	Hauptlager	1.787	1.423	364	3.703	1.983	4.916	553				14.729
	MC				12							12
OG1	PC/NSP											
	DMA 1				1							1
	DMA 2								160			160
	DMA 3				1							1
	PI								133			133
	RHEO 1								1			1
	RHEO 2											
OG2	RHEO 3											
	VISCO								185			185
	AV-E		1							2	285	288
	E-Bestückung			3.448	71	1.495	531					5.545
	E-Prüfung	2	207		1	1.058	39					1.307
	Kabelei		178	173		615	1					967
	Kleberei		242	2.094	64		9					2.409
	SMD		3.865	80	130	386						4.461
	X-Sample											
	Gesamtergebnis		1.789	5.916	6.159	4.063	6.018	5.781	553			30.279

Tab. 6: Anzahl der Lieferungen an das zweite Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Im zweiten Obergeschoss sieht man nun sehr deutlich die vorhin beschriebenen Warenbewegungen der elektronischen Fertigung. Etwa die Hälfte der Lieferungen findet im Geschoss selbst statt. Die restlichen Lieferungen kommen größtenteils aus dem Hauptlager.

Nachfolgend sieht man nun die deutlich geringere Anzahl an Transporten, die in der mechanischen Fertigung stattfindet. Aber auch die Transporte aus dem Hauptlager in die mechanische Fertigung. Hier wird auf eine Teilung verzichtet, da die Darstellung auf einer Seite möglich ist. Von den 4.968 Transporten kommt nur die Hälfte der Anzahl der Lieferungen, also genauer gesagt 2.233, wieder retour ins Hauptlager.

Zu Nachfolgendem muss noch erwähnt werden, dass sich sowohl die Verbindungstechnik, als auch die Lehrlingswerkstatt im ersten Obergeschoss befinden.

Für den Altbau wird keine Matrix erstellt, eine genaue Erläuterung dazu folgt in Kapitel 6. Generell kann nach den gesammelten Erfahrungswerten die Aussage getroffen werden, dass die Daten mit den realen Gegebenheiten übereinstimmen. Da der Transport von Leerbehältern nicht über SAP erfasst wird muss diese Zahl abgeschätzt werden. Die Abschätzung erfolgt ebenfalls in Kapitel 6.

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017														
Nach	AV-M	Drehen	Fräsen	Lasert	Messen	Meisterinsel	Oberfläche	Programmieren	Prototypenbau	Schleiferei	Verbindungs-technik	Werkzeug	Zuschnitt	Gesamt
Von	AV-M	1	2	18	11	4	4	4	4	102	4	4	117	259
	Drehen	6	22	377	224	2	2	2	2	57	30	4	10	734
	Fräsen	1	156	105	897	4	4	9	2	4	14	2	8	303
	Lasert	30	338	897	1.571	17	17	42	34	113	1.571	34	5	3.048
	Messen	4	253	360	27	27	27	56	58	104	28	58	5	945
	Meisterinsel	7	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	14
	Oberfläche	9	4	577	104	2	2	58	12	104	1.509	12	22	3.494
	Programmieren	6	7	56	192	2	2	192	192	192	192	192	22	309
	Prototypenbau	6	11	188	337	87	87	87	2	87	52	2	2	699
	Schleiferei	34	7	130	161	130	130	130	15	130	130	15	47	654
	Verbindungst.	16	36	163	946	16	16	136	118	98	118	118	11	2.626
	Werkzeug	396	217	5	8	7	7	3	3	3	1	1	11	648
	Zuschnitt	21	13	12	9	158	158	16	144	83	83	144	11	628
Gesamt		46	318	2.020	3.060	8	237	451	566	571	3.520	566	220	14.361

Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017																
Nach	AV-M	Drehen	Fräsen	Lasert	Messen	Lasersintern	Messen	Meisterinsel	Oberfläche	Programmieren	Prototypenbau	Schleiferei	Verbindungs-technik	Werkzeug	Zuschnitt	Gesamt
Von	AV-M	825	128	63	3	122	6	1817	64	255	178	424	73	629	4.968	
Hauptlager		8	373	63	3	122	6	1817	64	255	178	424	73	629	4.968	

Tab. 7: Anzahl der Transporte innerhalb der mechanischen Fertigung (links) und Anzahl der Lieferungen aus dem Hauptlager (rechts), Quelle: Eigene Darstellung.

6 KONZEPT ZUR IMPLEMENTIERUNG

In diesem Kapitel erfolgt die Ausarbeitung eines Konzepts zur Implementierung eines FTS. Es werden verschiedene Ansätze dargestellt, bewertet und ausgewählt. Die Basis bilden die vorab erfassten Daten. Da sich hier verschiedene Anforderungen aufgrund unterschiedlicher Transportgebilde, sowie generellen Rahmenbedingungen (beispielsweise Transport im Innen- und Außenbereich) ergeben, wird vorab eine Strategie entwickelt mit der die Teilung der einzelnen Gegebenheiten, sowie eine zeitliche Abfolge der Umsetzung einhergeht. In diese Teilschritte fließen ebenfalls Faktoren ein, die sich an geplanten Projekten und der Unternehmensstrategie anhalten.

6.1 Strategie zur Umsetzung

Bereits in Abschnitt 5.2 wurde ersichtlich, dass sich die Transportgebilde zwischen der mechanischen Fertigung und dem restlichen Areal stark unterscheiden. Daraus resultiert eine gänzlich unterschiedliche Anforderung an das FTS. Zusammen mit dem vergleichsweise geringen Transportaufkommen des Altbaus und des Bürogebäudes lässt sich ableiten, dass hier eine Teilung notwendig ist. Auch wenn man sich an dem eingesetzten Personal orientiert kommt man zu diesem Schluss. Ein weiterer wichtiger Punkt sind die Rahmenbedingungen für den Transport. Aufgrund der Verwendung des Montagezentrums zur Produktion der Geräte sind Gangbreite und Bodenbeschaffenheit bereits ausgelegt auf industrielle Logistik. Gleiches gilt für die mechanische Fertigung. Zuletzt erfolgt die zeitliche Einteilung: Hier orientiert man sich stark am Nutzen des FTS bzw. dem derzeitigen Transportaufkommen.

Des Weiteren wird auch berücksichtigt, dass es sich hier um eine Gründungsinvestition handelt. Das bedeutet, dass man eine für das Unternehmen komplett neue Technologie einführt, aber gleichzeitig keine Erfahrungswerte vorliegen. Um sich mit der Funktion generell vertraut zu machen und die Funktionsweise mit den Anforderungen am Praxisbeispiel zu überprüfen, wird eine Teststellung vorab als sinnvoll erachtet.

Schlussendlich kommt man nun auf folgende Einteilung in zeitlicher Reihenfolge:

1. Einführung eines FTS im Montagezentrum inklusive Teststellung vorab,
2. Erweiterung des FTS um die mechanische Fertigung und Pendelverkehr,
3. Anbindung des Altbaus und Bürogebäudes.

Da die Teststellung abhängt vom Gesamtkonzept des FTS im Montagezentrum, werden beide Punkte in einem Kapitel behandelt.

6.2 Einführung eines FTS im Montagezentrum inklusive Teststellung vorab

Vor der Erstellung eines Konzeptes muss ein geeignetes System gefunden werden. In diesem Sinne müssen zuerst Fahrzeuge gefunden werden, die am besten zur Anforderung passen, die sich aus Fördergut und Ladungsträger, also der sogenannten Ladeinheit, sowie dem Materialfluss allgemein ergeben. Da die Daten nicht ausreichen um Rückschlüsse auf die oben genannten Faktoren zu geben werden zwei Untersuchungen durchgeführt.

Erstens wird eine stichprobenartige Erfassung der Ladeeinheiten durchgeführt. Von den 301 erfassten Lieferungen sind 124 in einem KLT mit dem Grundmaß 600 mm * 400 mm untergebracht. Es werden weiter 45 der Lieferungen in einem zugehörigen Vierteleinsatzbehälter und 119 in einem zugehörigen Achteleinsatzbehälter untergebracht. Lediglich 13 Paletten wurden in diesem Zeitraum bewegt. Diese Aussage trifft sich auch mit der Einschätzung durch Erfahrungswerte.

Ladungsträger	Anzahl	Verteilung
KLT	124	41,20%
Achteleinsatz	119	39,53%
Vierteleinsatz	45	14,95%
Palette	13	4,32%

Tab. 8: Ladungsträger im Montagezentrum, Quelle: Eigene Darstellung.

Nachfolgend werden Paletten nicht weiter im Konzept behandelt, da es mehr Sinn macht diese Ladungsträger gemeinsam mit der Erweiterung des FTS um die mechanische Fertigung zu behandeln.

Man sieht nun relativ deutlich, dass der Großteil der Lieferungen aus sehr kleinen Ladeeinheiten besteht. Außerdem wird angenommen, dass das Gewicht der Fördergüter 25 kg nicht überschreitet.

Anhand des Materialflusses kann man feststellen, dass das FTS im Taxiprinzip fungieren muss. In Verbindung mit den Ladeeinheiten zeichnet sich ab, dass ein lasttragendes FTF am ehesten die Anforderungen erfüllt. Nach ausgiebiger Recherche werden dazu Gespräche mit drei Unternehmen geführt: Knapp AG, Smart Robotics Austria GmbH und die DS Automation GmbH, da sie mit der SSI Schäfer Automation GmbH kooperiert und am einfachsten in das derzeitige Logistikkonzept integriert werden kann. Folgende Produkte kommen zur Umsetzung in Betracht.

Das Open Shuttle 100 der Knapp AG und die MiR 100 vertrieben durch die Smart Robotics Austria GmbH können Behälter mit bis zu 100 kg transportieren und das Lastaufnahmemittel bietet einen Platz von 800 mm * 600 mm. Lediglich die SALLY des Unternehmen DS Automotion GmbH verfügt über eine Nutzlast von nur 60 kg. Durch die große Ladefläche ist es möglich zwei KLT auf dem FTF unterzubringen. Es ist auch möglich beim Open Shuttle 100 einen zusätzlichen Hub als Sonderausstattung zu beziehen. Dies erhöht die Flexibilität der Bring- und Abholstationen.⁶⁴

Durch die Nutzlast kann DS Automotion GmbH also bereits ausgeschlossen werden. Auch preislich findet man bei diesen Geräten keinen gravierenden Unterschied. Je nach Aufbau bewegt man sich pro FTF in einem Bereich zwischen 40.000 € und 50.000 €. Einen deutlichen Vorteil gibt es jedoch bei der MiR: Der Standard-Fördertechnikaufbau ist bereits mit einem Hub von 400 mm ausgestattet. Vorerst wird jedoch der Entschluss gefasst das Konzept mit dem Open Shuttle 100 zu gestalten. Hintergrund ist, dass ein Konzept für die Erweiterung des FTS um die mechanische Fertigung nur sinnvoll ist, wenn zum Transport

⁶⁴ Vgl. Knapp AG (Hrsg.) (2019), S. 7; Vgl. Mobile Industrial Robots ApS (Hrsg.) (2018), S. 1; Vgl. DS Automation GmbH (Hrsg.) (2019), S. 10.

der Paletten das Open Shuttle Fork der Knapp AG genutzt wird. Eine genaue Erläuterung folgt in Kapitel 6.3.⁶⁵

Das Open Shuttle 100 nutzt ebenso wie die Konkurrenz Koppelnavigation. Es wird eine Mischung aus Laserscanner und Konturerkennung angewandt. Wichtig ist hier, dass sich die Konturen nicht zu sehr verändern. In der Regel sollte das nicht vorkommen, doch falls ein gewisser Grad überschritten wird, kann das FTF nicht mehr navigieren. In der Flottenmanagementsoftware ist es möglich Fahrregeln zu definieren. Diese können beispielsweise Einbahn- oder Rechtsregeln sein. Außerdem benötigt das Fahrzeug keine weiteren Hilfsmittel um Regale zu bedienen.⁶⁶



Abb. 40: Open Shuttle 100 der Knapp AG, Quelle: Knapp AG (Hrsg.) (2015), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.

Nachdem nun feststeht welches FTS eingesetzt wird und wie die Ladungsträger aussehen, müssen folgende Dinge geklärt werden, damit die Umsetzung überhaupt möglich ist:

- Fahrkurstopologie inklusive Regeln,
- Anzahl der FTF auf Basis des Durchsatzes,
- Periphere Einrichtungen und Infrastruktur, sowie
- Systemanbindung.

Zum Abschluss erfolgen noch eine kurze und überblicksmäßige Zusammenfassung, sowie eine Erläuterung der Testphase.

⁶⁵ Vgl. Knapp AG (Hrsg.) (2019), S. 7; Vgl. Mobile Industrial Robots ApS (Hrsg.) (2018), S. 1; Vgl. DS Automation GmbH (Hrsg.) (2019), S. 10.

⁶⁶ Vgl. Knapp AG (Hrsg.) (2017), o.S.

Fahrkurstopologie

Die Gangbreite entspricht über die gesamte Länge einer Breite von zwei Metern. Um hier überhaupt fahren zu können, darf es zu keinem Gegenverkehr kommen, da ansonsten der Mindestabstand wie in Kapitel 4.5 beschrieben nicht eingehalten wird. Es müssen also eine Einbahnregel bzw. Einfachspuren, sowie Blockungsbereiche bei den Spurkreuzungen eingeführt werden um dies zu gewährleisten. Jenes FTS, das aus einem der zwei Lifte ausfährt, muss immer Vorrang haben. Für den restlichen Blockungsbereich gilt die Rechtsregel. Lediglich im Bereich vor den zwei Liften beträgt die Gangbreite 3 m und ist somit für Gegenverkehr geeignet. Neben den FTS bewegen sich auch Personen auf den Gängen. Um hier die Sicherheit in besonders gefährdeten Bereichen zu gewährleisten, müssen Bereiche eingerichtet werden, in denen eine maximale Geschwindigkeit von 0,3 m/s erlaubt sind. Um eine ausreichende Kapazität der Lifte zu gewährleisten dürfen Personen diesen nur im Ausnahmefall benutzen. Die Auswahl des Liftes zum Transport des FTF erfolgt nach dem Fahrkurs. der näherliegende Lift ist anzufahren.

Im Falle eines Fehlers bleibt das FTF an Ort und Stelle stehen und gibt ein akustisches Signal von sich. Im Bereich der Kommissionierstationen wird mit zwei Minuten Verzögerung ein akustisches und optisches Signal abgegeben. Über das Flottenmanagement kann der Fehler und der Standort des Fahrzeuges ausgelesen werden. Außerdem können beide Signale abgestellt werden. Ohne manuelles Eingreifen stoppt der Alarm nicht. Eine Fernbedienung zur manuellen Steuerung des FTF im Fehlerfall ist jedenfalls erforderlich.

Die Einsatzplanung erfolgt nach dem Prinzip der Teildisposition, sodass jedes Fahrzeug, das freie Kapazität besitzt auch disponibel ist. Weiter wendet man die sogenannte Regel „Shortest Distance Travel“ an um die Wege zu minimieren und bestmöglichen Durchsatz und bestmögliche Durchlaufzeiten zu erhalten. Gleichfalls ist es wichtig sich an den globalen Transportaufträgen zu orientieren, um die Aufträge zur Abholung aus dem Hauptlager nicht zu vernachlässigen. Sie machen bekanntlich den größten Teil des Durchsatzes aus.⁶⁷

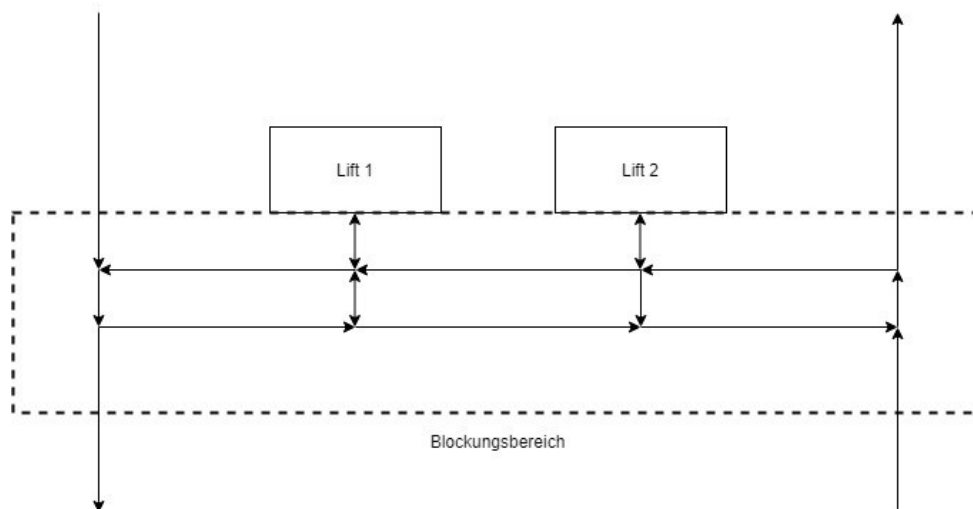


Abb. 41: Skizzierung des Blockungsbereiches vor den Liften, Quelle: Eigene Darstellung.

⁶⁷ Vgl. Schrecker (2000), S. 113 – 120.

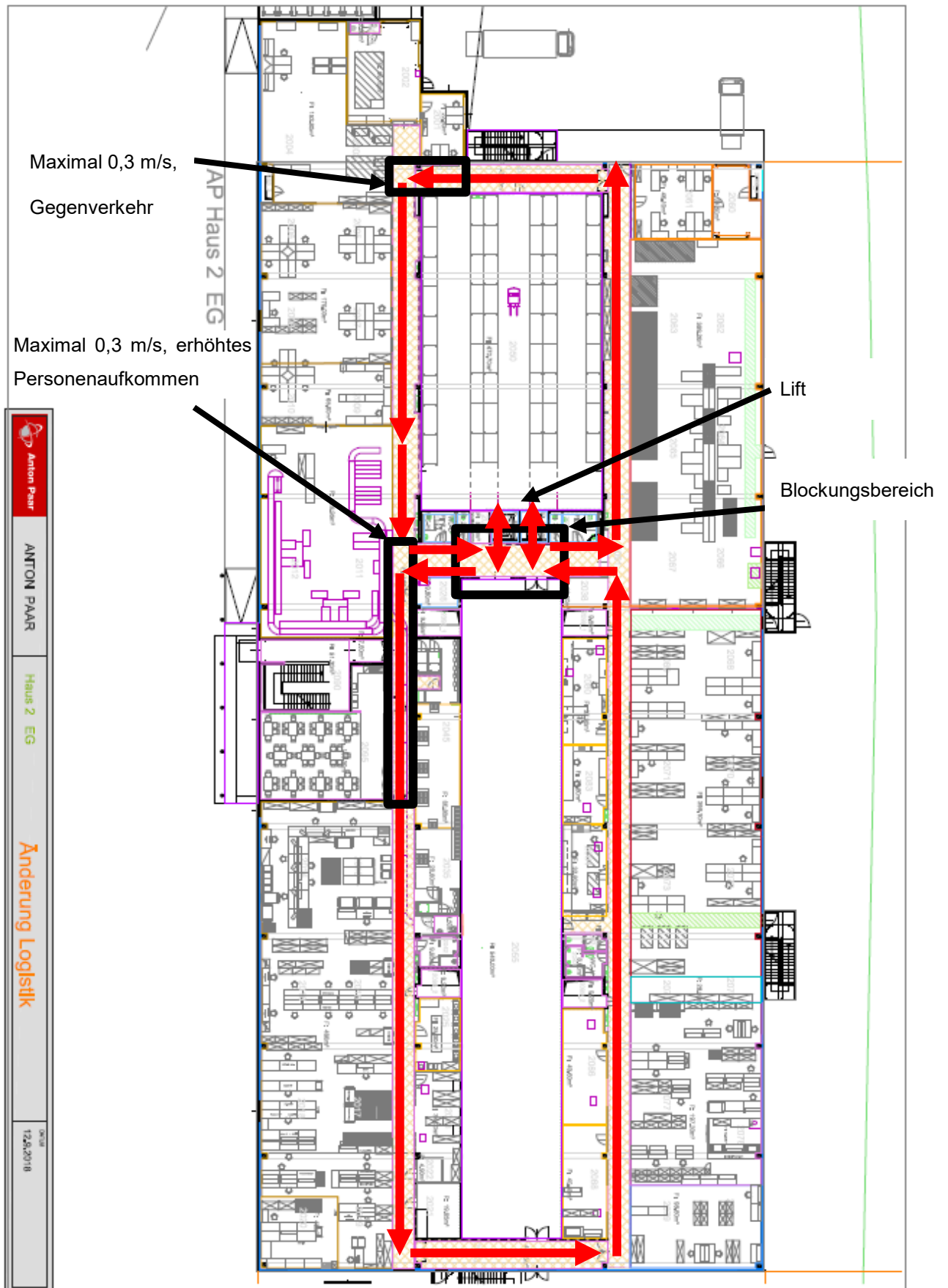


Abb. 42: Fahrkurs im Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

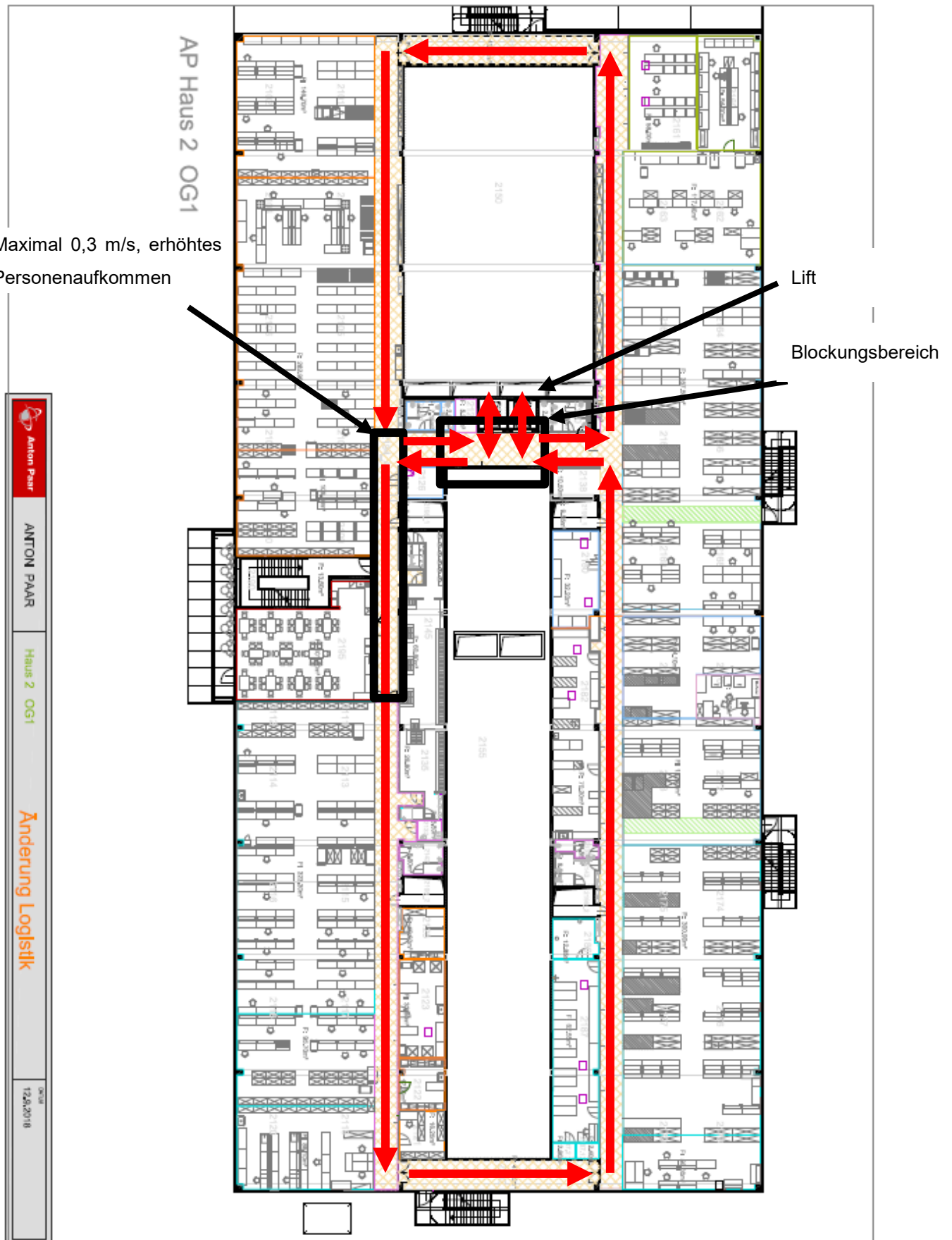


Abb. 43: Fahrkurs im ersten Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

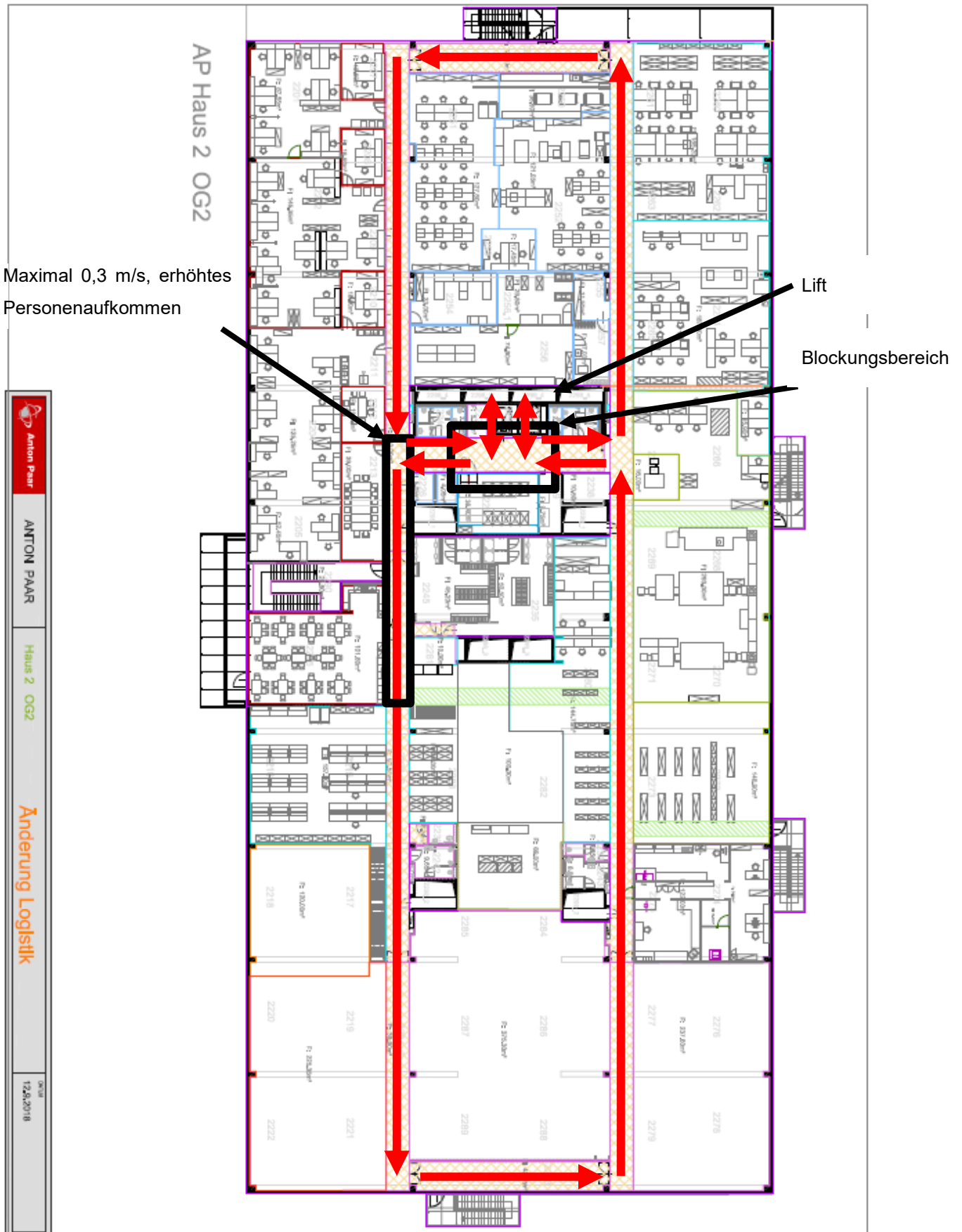


Abb. 44: Fahrkurs im zweiten Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Das erhöhte Personenaufkommen ergibt sich aus den dort ansässigen Sozialräumen bzw. den Hauptzugängen direkt neben den Sozialräumen und dem vermehrten Personenverkehr. Der zusätzliche Bereich im Erdgeschoss, an dem reduzierte Geschwindigkeit notwendig ist, ergibt sich aus dem Warenfluss, wie in 5.2 beschrieben. Entlang des restlichen Fahrkurses ist eine Geschwindigkeit von bis zu 1 m/s möglich.

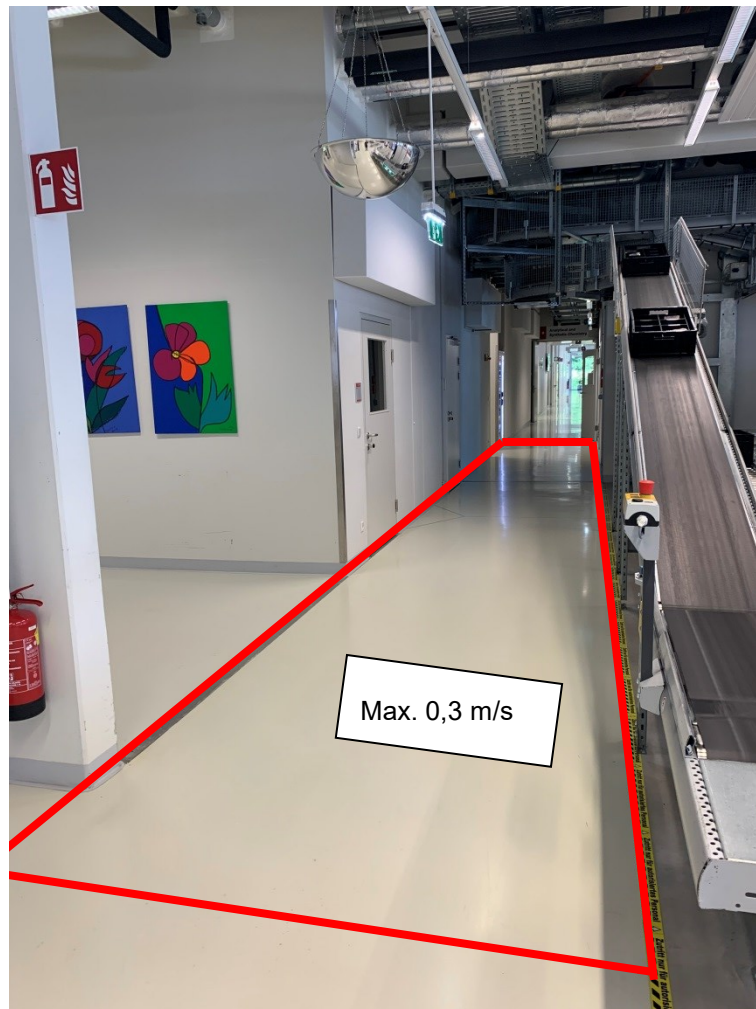


Abb. 45: Bereich mit erhöhter Gefährdung von Personen im Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Anzahl der FTF auf Basis des Durchsatzes

Mit den Daten ist es nun möglich eine Matrix der Transportzeiten zu erstellen, die alle anfallenden Zeiten zwischen den Knoten beinhaltet. Nach Kapitel 3.3 kann man so die Anzahl der Fahrzeuge berechnen. Die Berechnung ist etwas vereinfacht. Man sieht in der folgenden Transportmatrix die Lieferungen pro Stunde inklusive Nachfrage und Angebot am jeweiligen Knoten (siehe Tab. 9). Die Darstellung erfolgt diesmal als gesamtes Diagramm, da Angebot und Nachfrage an FTS sonst keinen Sinn machen. Hier ist dennoch sehr deutlich zu sehen, dass fast die gesamte Nachfrage am Hauptlager vorhanden ist. Die Matrix der Transportzeiten zwischen den einzelnen Knoten findet man in den darauffolgenden Seiten (siehe Tab. 10 bis Tab. 12). Förderstrecken ohne Materialfluss werden nicht berücksichtigt. Die Berechnung des Durchsatzes findet auf Basis von 12 Arbeitswochen exklusive 2 vollen Arbeitstagen statt. Das ergibt in Summe 445 Stunden im Zeitraum.

Von		EG										OG1						OG2					Gesamt-	Nachfrage	Angebot
Nach		ASC	Ext.	Hauptlager	MC	PCNSP	DWA 1	DWA 2	DWA 3	FI	RHEO 1	RHEO 2	RHEO 3	VISCO	AV-E	E-Bestückung	E-Prüfung	Kabellei	Kleberei	SMD	X-Sample	Gesamt-	Nachfrage	Angebot	
Zeitraum: 01.10.2017 bis 31.12.2017																						ergebnis			
EG	ASC	0,079	0,506	1,115														0,180				0,685	0,000	7,863	
	Ext.	4,160	4,160	8,011	8,011	0,872	1,739	0,063		0,002			0,112	0,112								1,371	0,000	6,378	
	Hauptlager	8,425	8,425	16,022	16,022	1,744	3,488	6,773	6,108	7,020	8,789	5,724	0,245	3,591	4,016	3,198	0,818	8,321	4,456	11,047	1,243	94,553	81,899	0,000	
	MC		0,506	0,009															0,027				0,542	0,000	7,517
	PCNSP		0,034																0,002				0,034	0,000	0,838
OG1	DWA 1		0,045																0,360			0,047	0,000	1,897	
	DWA 2		0,301	0,198																		0,858	0,000	7,463	
	DWA 3		0,474	0,555				0,670					0,022					0,002				1,724	0,000	4,418	
	FI		0,103	0,276							0,020								0,299				0,679	0,000	6,942
	RHEO 1		0,937	1,171															0,002				1,218	0,000	7,746
	RHEO 2																						0,937	0,000	4,915
	RHEO 3																						0,000	0,000	0,245
	VISCO		0,054	0,058						0,009										0,416			0,537	0,000	3,591
	AV-E		0,002	3,373													0,002		0,004		0,640		4,022	0,002	0,000
	E-Bestückung			0,348														7,746	0,160	3,360	1,193		12,809	0,000	0,485
OG2	E-Prüfung		0,011	0,038				0,092		0,040					0,004	0,465	0,002	2,378	0,088			3,119	0,000	10,721	
	Kabellei	0,040	0,326	1,198	0,047		0,002	0,119	0,027	0,011	0,013	0,052			0,400	0,389		1,382	0,002			4,009	0,000	5,121	
	Kleberei	0,004	0,061	1,515			0,202	0,604		0,548	0,160	0,056		0,402	0,544	4,706	0,144		0,020			8,966	0,000	4,557	
	SMD		0,018	2,800												8,685	0,180		0,867				12,843	0,000	0,148
	X-Sample		0,187																				0,187	0,000	1,056
Besamtgergebnis		8,548	7,748	12,654	8,058	0,872	1,944	8,321	6,142	7,620	8,964	5,852	0,245	4,128	4,020	13,294	13,840	9,130	13,524	12,991	1,243	149,139			

Tab. 9: Transportmatrix in der Einheit [1/h], Quelle: Eigene Darstellung.

		Nach		EG				
		Von	ASC	Ext.	Hauptlager	MC	PC/NSP	
EG	ASC			144				
	Ext.	181			116			
	Hauptlager	89	84			173	125	
	MC		48	152				
	PC/NSP		96					
OG1	DMA 1		217					
	DMA 2		241	346				
	DMA 3		97	202				
	PI		145	250				
	RHEO 1		97	202				
	RHEO 2		73					
	RHEO 3							
	VISCO		138	242				
OG2	AV-E		146	251				
	E-Bestückung			299				
	E-Prüfung		182	287				
	Kabelei	199	146	251	424			
	Kleberei	247	194	299				
	SMD		82	174				
	X-Sample		250					

Tab. 10: Transportzeiten zwischen den Quellen und Senken für Lieferungen an das Erdgeschoss in der Einheit [s], Quelle: Eigene Darstellung.

		Nach		OG1								
		Von	DMA 1	DMA 2	DMA 3	PI	RHEO 1	RHEO 2	RHEO 3	VISCO		
EG	ASC											
	Ext.			102			338					274
	Hauptlager	234	198	133	258	234	109	133	169			
	MC											
	PC/NSP											
OG1	DMA 1											
	DMA 2											
	DMA 3		53									139
	PI											
	RHEO 1						48					
	RHEO 2											
	RHEO 3											
	VISCO			53								
OG2	AV-E											
	E-Bestückung											
	E-Prüfung		215		263							
	Kabelei	215	191	162	239	275	162					
	Kleberei	239	215		263	299	186					253
	SMD											
	X-Sample											

Tab. 11: Transportzeiten zwischen den Quellen und Senken für Lieferungen an das erste Obergeschoss in der Einheit [s], Quelle: Eigene Darstellung.

Von \ Nach		OG2						
		AV-E	E-Bestückung	E-Prüfung	Kabelei	Kleberei	SMD	X-Sample
EG	ASC				390			
	Ext.							
	Hauptlager	197	130	154	197	130	118	170
	MC				313			
	PC/NSP							
OG1	DMA 1				248			
	DMA 2					217		
	DMA 3				151			
	PI					133		
	RHEO 1					109		
	RHEO 2							
	RHEO 3							
	VISCO					150		
OG2	AV-E		101			120	102	
	E-Bestückung			36	24	30	173	
	E-Prüfung	60	24		60	24	161	
	Kabelei		102	126			132	
	Kleberei		24	24			161	
	SMD		48	84	120	84		
	X-Sample							

Tab. 12: Transportzeiten zwischen den Quellen und Senken für Lieferungen an das zweite Obergeschoss in der Einheit [s], Quelle: Eigene Darstellung.

Folgende Annahmen werden nun zur Vereinfachung getroffen: Man lässt die Beschleunigung der Fahrzeuge nicht in die Berechnung miteinfließen. Weiter nimmt man an, dass der Durchsatz der Leerfahrten, dem der beladenen Fahrten entspricht. Zur Berücksichtigung der Leerfahrten wird also mit dem doppelten Durchsatz gerechnet. Weiter nimmt man an, dass nur KLT mit den Maßen 600 mm * 400 mm transportiert werden und pro Fahrzeug ein Behälter Platz findet. Für die Liffahrt werden 21 bzw. 28 Sekunden und für das Be- und Entladen wird eine Konstante von jeweils 10 Sekunden angenommen. Nun wird die Anzahl der Fahrzeuge für jede Förderstrecke, wie in Formel 3.7 dargestellt, berechnet. Die Summe der FTF pro Förderstrecke bildet den Gesamtbedarf. Da nicht geplante Stillstandszeiten nicht mitberücksichtigt werden, erhöht man die angenommenen Zeiten um 20 %. Das Resultat sind 11,688 bzw. 12 FTF (siehe Tab. 13 bis Tab. 15).

Um nun auf einen realen Wert zu kommen muss noch folgendes berücksichtigt werden. In Kapitel 5.3 musste ein gewisses Spektrum an Bewegungsarten gewählt werden. Um nun wirklich alle Warenbewegungen abzudecken, muss angenommen werden, dass bisher nur 80 % davon berücksichtigt wurden. Man kommt daher zu dem Schluss, dass 14,61 bzw. 15 Fahrzeuge benötigt werden. Dieser Wert beinhaltet auch ausreichend Sicherheit um eine Spitzenauslastung abzudecken.

Nach Von		EG					Anzahl FTF
		ASC	Ext.	Hauptlager	MC	PC/NSP	
EG	ASC		0,040				0,040
	Ext.	0,008		0,072			0,080
	Hauptlager	0,416	0,194		0,769	0,060	1,439
	MC		0,013	0,001			0,014
	PC/NSP		0,002				0,002
OG1	DMA 1		0,005				0,005
	DMA 2		0,040	0,038			0,078
	DMA 3		0,026	0,062			0,088
	PI		0,008	0,038			0,047
	RHEO 1		0,001	0,131			0,132
	RHEO 2		0,038				0,038
	RHEO 3						0,000
	VISCO		0,004	0,008			0,012
OG2	AV-E		0,000	0,470			0,470
	E-Bestückung			0,058			0,058
	E-Prüfung		0,001	0,006			0,007
	Kabelei	0,004	0,027	0,167	0,011		0,209
	Kleberei	0,001	0,007	0,251			0,259
	SMD		0,001	0,271			0,271
	X-Sample		0,026				0,026
	Anzahl FTF	0,429	0,434	1,573	0,780	0,060	3,277

Tab. 13: Anzahl der notwendigen FTF für Transporte in das Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach Von		OG1							Anzahl FTF	
		DMA 1	DMA 2	DMA 3	PI	RHEO 1	RHEO 2	RHEO 3		VISCO
EG	ASC									0,000
	Ext.		0,004			0,000			0,017	0,021
	Hauptlager	0,226	0,745	0,452	1,006	1,143	0,347	0,018	0,338	4,275
	MC									0,000
	PC/NSP									0,000
OG1	DMA 1									0,000
	DMA 2									0,000
	DMA 3		0,020						0,002	0,021
	PI									0,000
	RHEO 1						0,001			0,001
	RHEO 2									0,000
	RHEO 3									0,000
	VISCO			0,000						0,000
OG2	AV-E									0,000
	E-Bestückung									0,000
	E-Prüfung		0,011		0,006					0,017
	Kabelei	0,000	0,013	0,002	0,001	0,002	0,005			0,024
	Kleberei	0,027	0,072		0,080	0,026	0,006		0,057	0,268
	SMD									0,000
	X-Sample									0,000
Anzahl FTF	0,253	0,864	0,455	1,094	1,172	0,358	0,018	0,413	4,626	

Tab. 14: Anzahl der notwendigen FTF für Transporte in das erste Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Von \ Nach		OG2						Anzahl FTF	
		AV-E	E-Bestückung	E-Prüfung	Kabelei	Kleberei	SMD		X-Sample
EG	ASC				0,039				0,039
	Ext.								0,000
	Hauptlager	0,439	0,230	0,070	0,910	0,321	0,722	0,118	2,809
	MC				0,005				0,005
	PC/NSP								0,000
OG1	DMA 1				0,000				0,000
	DMA 2					0,043			0,043
	DMA 3				0,000				0,000
	PI					0,022			0,022
	RHEO 1					0,000			0,000
	RHEO 2								0,000
	RHEO 3								0,000
	VISCO					0,035			0,035
OG2	AV-E		0,000			0,000	0,036		0,037
	E-Bestückung			0,155	0,002	0,056	0,115		0,328
	E-Prüfung	0,000	0,006		0,000	0,032	0,008		0,046
	Kabelei		0,023	0,027			0,000		0,050
	Kleberei		0,007	0,063			0,002		0,072
	SMD		0,232	0,008	0,019	0,040			0,300
	X-Sample								0,000
Anzahl FTF		0,439	0,498	0,323	0,976	0,550	0,882	0,118	3,786

Tab. 15: Anzahl der notwendigen FTF für Transporte in das zweite Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.

Bedenkt man nun, dass pro Fahrzeug real zwei KLT transportiert werden, verringert sich der Bedarf an FTF erneut. Leider ist dies lediglich über eine Simulation abbildbar. In der Literatur findet man dazu zwar eine Steigerung der Leistung, diese hängt jedoch ebenfalls sehr stark von der Fahrkurstopologie und weiteren Faktoren ab. Um hier kein Risiko einzugehen wird daher die höhere Kapazität vernachlässigt.⁶⁸

Verglichen mit der Berechnung durch die Lieferanten im Zuge der Richtpreisangebote erscheint der Wert von 15 FTF jedoch realistisch. Anscheinend werden hier sehr unterschiedliche Annahmen getroffen. Die berechnete Anzahl an Fahrzeugen pendelt sich zwischen 13 und 20 FTF ein, wobei 20 als eher unrealistisch erachtet wird.⁶⁹

Periphere Einrichtungen und Infrastruktur

Die Peripherie beschränkt sich in diesem Fall auf Bring- und Abholstationen, den Lift, sowie Brandschutztore und -vorhänge, die Bodenbeschaffenheit, IT Ressourcen, Positionierdreiecke und die Kommunikation.

Die Bodenbeschaffenheit entspricht größtenteils den Inbetriebnahmevoraussetzungen der Knapp AG, welche sich von der DIN EN 1525 (1997), sowie der VDI 2510 - 1 (2009) ableitet. Die Normanforderungen wurden bereits beim Bau erfüllt, da die Gänge für den Transport vorgesehen waren.

⁶⁸ Vgl. Schrecker (2000), S. 191 ff.

⁶⁹ Vgl. Knapp AG (Hrsg.) (2019), o.S.; Vgl. Smart Robotics Austria GmbH (Hrsg.) (2019), o. S.; Vgl. DS Automation GmbH (Hrsg.) (2019), o.S.

Lediglich die Dehnfugen müssen unter Umständen bearbeitet werden, der Aufwand ist jedoch verschwindend gering. Die Kommunikation erfolgt über WLAN, genauer gesagt muss Standard a oder n erfüllt sein. Die geforderte Bandbreite entspricht weniger als 5.000 kByte/s und die Latenz darf maximal 10 ms betragen. Auch diese Voraussetzungen werden erfüllt und das WLAN-Netz ist flächendeckend am gesamten Standort vorhanden. Die IT Ressourcen, also Hardware, Server, usw. sind im Lieferumfang seitens Knapp AG enthalten.⁷⁰

Die Steuerung des Lifes erfolgt über eine eigene Schnittstelle und kommt ebenfalls vom Lieferanten. Wichtig ist hier, dass gewisse Regeln definiert sind, die in diesem Fall bereits vorab festgelegt werden. Gleiches gilt für die jeweils 6 Brandschutztore und -vorhänge pro Stockwerk. Der Standort der Tore und Vorhänge muss bekannt sein und eine Schnittstelle zur Brandmeldezentrale muss eingerichtet werden. Im Brandfall erfolgt dann eine Meldung an die Leitsteuerung des FTS und die FTF bekommen eine Minute Zeit sich aus dem Bereich der Brandschutztore und -vorhänge zu entfernen. Danach fahren die FTF rechts an den Rand der Fahrspur um maximalen Platz zu schaffen. Um zu gewährleisten, dass hier keine Fluchtwege versperrt werden, die auch entlang des Fahrkurses an äußere Notausgänge oder Fluchttreppen führen, müssen diese Fluchtwege im Layout inklusive zugehöriger Logik hinterlegt werden. Im Gang vor den Liften fahren die FTF an den linken Rand. Um den Zugang zum AKL nicht zu versperren muss dieser ebenfalls im Layout hinterlegt werden. In den Lift selbst darf auch kein FTF mehr einfahren. Sollte ein Fahrzeug bereits im Lift sein, muss es wieder ausfahren.

Ladestationen können im Palettenlager aufgestellt werden, an der Stelle wo bisher die Kommissionierwägen standen. Diese sollten dann nicht mehr gebraucht werden. Ausreichend Fläche und ein Zugang zum Stromnetz sind jedenfalls vorhanden. Zum Laden benötigt das Shuttle 230 V und 16 A. Der genaue Standort ist in der nachfolgenden Abbildung markiert. Das Laden erfolgt nach Schichtende oder bei Bedarf.⁷¹

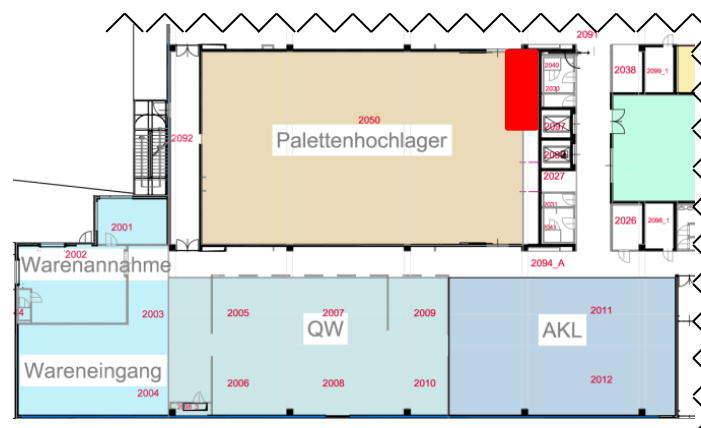


Abb. 46: Geplanter Standort der Ladestationen, Quelle: Eigene Darstellung.

Zur Aufnahme und Abgabe der Behälter wird die Fördertechnik am FTF genutzt. Dazu werden Regale aufgestellt, die mindestens an einer Ebene mit Rollenbahnen ausgestattet sind, welche ein ausreichendes Gefälle aufweisen und die KLT der Länge nach aufnehmen können, die Erklärung dazu

⁷⁰ Vgl. Knapp AG (Hrsg.) (2017), S. 7 – 11.

⁷¹ Vgl. Knapp AG (Hrsg.) (2019), S. 17.

erfolgt auf der nachfolgenden Seite. Für Abgabestationen ist ansonsten lediglich die richtige Höhe der Ebene, nämlich 620 mm, zu beachten. Die Aufnahme von KLT erfolgt generell durch Anfahren bzw. Auffahren des FTF an einer mechanischen federrückgestellten Verriegelungseinrichtung, welche den Behälter an der Rollenbahn frei gibt und gleichzeitig den Nachfolgebehälter stoppt. Bei Verlassen des Bereiches fällt die Einrichtung zurück in den Ursprungszustand und der nächste Behälter rutscht nach. Dieser Mechanismus ist unbedingt so zu gestalten, dass die Gefahr des Quetschens von Personen nicht oder kaum vorhanden ist, ansonsten wird ein elektrischer Aktuator genutzt. Um nicht jede Station anfahren zu müssen bedarf es zusätzlich einem einfachen Sensor, wie bspw. einer Laser-Einweg-Lichtschranke. Da die Abhol- und Aufnahmeregale nebeneinander stehen bietet es sich an beide damit auszustatten. Durch diese Maßnahme spart man sich eine Erkennung durch das FTF, ob das Regal voll ist. Sollte es also aufgrund der Erreichung der maximalen Kapazität des Aufnahmeregals nicht möglich sein einen Behälter abzugeben, gibt das FTF ein akustisches Signal ab. Nach dem Abwarten einer angemessenen Frist, in diesem Fall 15 min, transportiert das FTF den Behälter zurück an den Ausgangsort. Weiter werden die Abholregale direkt neben, aber nach den Anlieferregalen aufgestellt, wobei man sich hier auf die Richtung des Fahrkurses bezieht. Es werden pro Geschoss je nach Größe 6 Abhol- und Anlieferregale als ausreichend erachtet. Der Standort der Regale deckt sich teilweise mit den bereits vorhandenen Anlieferregalen, sodass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in ihren gewohnten Arbeitsabläufen nicht behindert werden und ausreichend Platz vorhanden ist. Die Beschreibung zur Erfassung der abzuholenden Behälter erfolgt bei der Systemanbindung.



Abb. 47: Geplante Anlieferplätze sind schwarz dargestellt, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Hol- und Bringstation sieht bei den Kommissionierstationen deutlich anders aus. Um ein wirklich wirksames Konzept gestalten zu können, bedarf es einer Änderung des Layouts in dem Bereich. Zuerst muss die Behälterauslaufstrecke komprimiert werden um ausreichend Platz zu schaffen für das Befahren

durch die FTF oder für ein manuell befülltes Pufferregal. Die Auslaufstrecke muss außerdem Behälter nicht mehr der breiten Seite, sondern der schmalen Seite voraus ausgeben. Weiter unten findet man ein Bild zur Veranschaulichung.

Man könnte nun jeweils zwei Kommissionierstationen mit einem Sortierautomaten, einem sogenannten Sorter, ausstatten und zusätzlich ein Regal zur manuellen Befüllung im Palettenlager aufstellen. Dieses Regal ist auf der nächsten Seite beschrieben. Da die realen Behältergrößen und Gebinde deutlich kleiner sind als bei der Berechnung angenommen und es, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, mehrere Behältergrößen gibt ist dieser Sortierautomat schwer umzusetzen. Aus diesem Grund muss statt der unterschiedlichen Behältergrößen ein neuer Transport- und Kommissionierbehälter eingeführt werden. Dieser muss kleiner sein, als der Standard 600 mm * 400 mm KLT, aber groß genug um Lieferungen transportieren zu können, die normalerweise in den kleinen Einsatzkästen transportiert werden. Das Resultat ist ein 200 mm * 300 mm Behälter. Dieser kann alle Lieferungen geringen Volumens fassen und dennoch die Kapazität des FTF erhöhen, da er genau halb so groß ist wie der größere Behälter. Um nun sowohl große als auch kleine Behälter transportieren zu können benötigt man keine durchgehende Rollenfördertechnik, sondern eine Fördertechnik, die in zwei separat betriebene Bereiche geteilt ist. Jeder dieser Bereiche kann entweder einen 600 mm * 400 mm oder bis zu zwei 200 mm * 300 mm KLT aufnehmen, die kleineren Behälter müssen natürlich mit der breiten Seite voraus angenommen werden.



Abb. 48: Aktuelle Auslaufstrecke, die Behälter der Breite nach ausgibt; der Pfeil gibt die Richtung der Komprimierung an, Quelle: Eigene Darstellung.

Die größeren Behälter werden direkt und der schmalen Seite voraus an der Auslaufstrecke aufgenommen. Die Aufnahme erfolgt ebenfalls durch Schwerkraft und mechanische oder elektrische Rückhaltemechanismen wie bereits auf den vorherigen Seiten beschrieben. Um dies umzusetzen bedarf es mindestens einer Anbindung an die Warehousemanagementsoftware, in diesem Fall WAMAS C, dafür ist dem FTF der Bestimmungsort der Lieferungen auch ohne Materialbegleitschein bekannt.

Die zweite Variante bezieht sich auf ein Regal, das den anderen Abholregalen entspricht. Hier werden manuell die Behälter ins Regal gestellt. Bei dieser manuellen Variante kann auch auf eine Anbindung an WAMAS C verzichtet werden, mehr dazu im nachfolgenden Kapitel. So ein Regal muss jedenfalls vor dem Palettenhochlager auf der Seite der Verpackung aufgestellt werden, sofern ein Sortierautomat bei den Kommissionierstationen installiert wird. Im Palettenlager selbst herrscht zu viel Verkehr für das Befahren durch die FTF.



Abb. 49: Aufstellungsort des Bring- und Abholregals des Palettenhochlagers, Quelle: Eigene Darstellung.

Systemanbindung

Generell muss man hier unterscheiden wie man das System anbinden möchte. Die Transportaufträge aus SAP beinhalten alle notwendigen Daten, wie beispielsweise einem Lagerort, Arbeitsplatz etc., um eine Lieferung einem realen Standort zuzuordnen. Diese systemseitigen Standorte müssen mit einem realen Standort laut Layout verknüpft werden. Die Frage ist nun einerseits ob die Standorte den SAP-Daten zugeordnet werden, beispielsweise durch eine eigene Tabelle, oder ob man eine einfachere Variante wählt in der die Aufbereitung der Daten im Flottenmanagement passiert. Hier bräuchte man natürlich auch eine Schnittstelle und beide Arten setzen einen ähnlichen Aufwand zur Pflege voraus. Zumeist wird bei Anton Paar SAP als das führende System gesehen, daher wird dies auch hier gewählt. Es muss also eine Identifikation der Regale gegeben sein, die mit beiden Systemen übereinstimmt. Über den Transportauftrag aus SAP wird dann der Bestimmungsort mitübergeben. Eine Änderung im Flottenmanagement wird daher nur dann notwendig, wenn sich am Standort oder der Anzahl der Abstell- und Aufnahmeregale etwas ändert.

Die Identifikation der Behälter erfolgt per Laser, da flächendeckend jeder KLT mit einem 1D-Barcode ausgestattet ist. Der Barcode wird mit dem Transportauftrag verknüpft.

Die Erfassung der Gebinde an den Abholstationen erfolgt manuell durch die Eingabe des Abholregales, sowie des Bestimmungsortes. Dadurch wird von der internen Materialflusssteuerung ein Transportauftrag erstellt und mit dem Behälter verknüpft. Für alle Lagerorte genügt es einen 2D-Barcode am Materialbegleitschein zu scannen und die Daten mit dem 1D-Barcode am KLT zu verknüpfen. Dies würde

insbesondere im Palettenhochlager und bei den Kommissionierstationen zu tragen kommen, sollte dort kein Sortierautomat eingesetzt werden.

Gleiches gilt für die Auslaufstrecke: Hier muss der 2D-Barcode mit dem Behälter bei der Kommissionierung verknüpft werden. Dies wird nur hinfällig, sofern eine Anbindung an WAMAS C erfolgt, da SAP lediglich die Rückmeldung bekommt, dass der Transportauftrag abgeschlossen ist, welche Mengen kommissioniert wurden und wann dies geschah.

Wenn man diese Punkte mit der Bedarfserhebung vergleicht erkennt man, dass nur eine Anbindung sowohl an SAP, als auch WAMAS C die gewünschte qualitative Verbesserung bringt. Ohne die Anbindung bleibt der menschliche Einfluss dennoch zu stark präsent.

Zusammenfassung und Testphase

Da sich bereits sehr früh abgezeichnet hat, dass eine Umsetzung nicht zustande kommt, konnte keine Teststellung zusammen mit dem Unternehmen Knapp AG stattfinden. Aus demselben Grund wurde auch kein detaillierteres Konzept erstellt. Leider bewegt man sich bei der Amortisationsdauer weit über den vorausgesetzten 5 Jahren. Technisch betrachtet wäre die Umsetzung des Konzeptes, sowie der Erfüllung der qualitativen und quantitativen Vorgaben jedoch ohne weiteres möglich. Noch dazu ist die angestrebte Rationalisierung nicht vollends gegeben, da die Paletten noch manuell transportiert werden müssen.

Nach Rücksprache mit dem CAMPUS 02 hat man sich hier jedoch bereit erklärt den Prototypen eines eigens entwickelten FTF vor Ort zu präsentieren und ein paar Testrunden zu fahren um zu sehen wie das Fahrzeug mit den praktischen Gegebenheiten umgeht. Der Versuch fand am 30.10.2020 zusammen mit Herrn FH-Prof. DI Dieter Lutzmayr und seinem Team statt.



Abb. 50: FTF im Versuch bei Anton Paar, Quelle: Eigene Darstellung.

Man konnte hier sehr wichtige Erfahrung sammeln. Es wurde ein Problem erkannt, das vorab nicht ersichtlich war: Die Sensoren waren von Ecken und Kanten entlang der Wände irritiert und die Geschwindigkeit wurde stark verringert. Anscheinend wurden sie als Hindernis erkannt. Dies lässt schlussfolgern, dass es vor der Einführung eines FTF zwingend notwendig ist diese im Einsatz sehr ausgiebig zu testen, wie bereits in 6.1 beschrieben.

6.3 Erweiterung des FTS um die mechanische Fertigung und Pendelverkehr

Vor der Erstellung eines Konzeptes muss wieder ein geeignetes System ausgewählt werden. Dazu wurde erneut stichprobenartig erhoben welche Ladungsträger verwendet werden inklusive der Häufigkeit. Man kommt zu dem Schluss, dass innerhalb der mechanischen Fertigung etwa 66 % der Lieferungen auf Handbügelwägen und 33 % auf Paletten transportiert werden. Der Transport vom Montagezentrum in die mechanische Fertigung wiederum erfolgt größtenteils über KLT. Es werden erneut lasttragende FTF als sinnvollste Lösung erachtet.

Um ein System zur Beförderung der Paletten auszuwählen muss man sich die Gegebenheiten vor Ort genauer ansehen. Hier wird klar, dass trotz teilweise deutlich breiteren Gängen auch engere Stellen zu befahren sind und ein Gerät mit einem möglichst geringen Wendekreis notwendig ist. Immer wieder stehen Werkzeugwagen und ähnliches am Gang. Mit einem wendigen Fahrzeug kommt es hier zu weniger Stillstandszeiten. Im Grunde benötigt man also eine Plattform ähnlich der unten dargestellten MiR 500, die durch das Unternehmen Smart Robotics Austria GmbH österreichweit vertrieben wird.

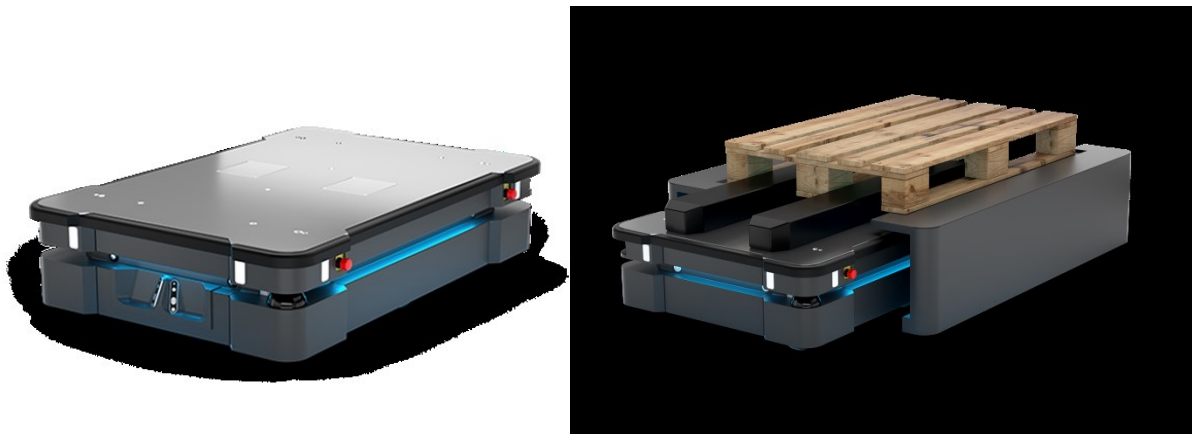


Abb. 51: Die MiR 500 ohne Aufbau (links) und mit Aufbau, Ladungsträger und Abgabestation (rechts), Quelle: Mobile Industrial Robots A/S (Hrsg.) (2020), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.

Bei einer ausgiebigen Marktrecherche bieten nahezu alle Hersteller eine derartige Lösung an. Das Problem hierbei ist jedoch die geringe Flexibilität aufgrund der Abgabestation, sowie das erschwerte bzw. unmögliche Handling der Waren. Das resultiert daraus, dass nicht jeder Arbeitsplatz direkt mit dem FTS angefahren werden kann, da zu wenig Platz vorhanden ist. Um die Palette nun zu manipulieren benötigt es an Stelle eines Handhubwagens zumindest einen Hochhubwagen und zwar flächendeckend. Diese könnten zwar besorgt werden, jedoch resultieren daraus erneut Kosten und die Flexibilität wird dennoch verringert.

Lediglich ein Anbieter ist hier stark hervorstechend und zwar erneut die Knapp AG mit ihrem Open Shuttle Fork. Dieser ähnelt einem automatischen Handhubwagen und besitzt daher einen geringen Wendekreis. Außerdem ist es mit diesem Fahrzeug möglich Paletten direkt am Boden abzustellen und es kann ein Gewicht von bis zu 1.000 kg befördert werden. Das entspricht genau den Anforderungen. Weiters hatte dies auch Einfluss auf die Entscheidung das Open Shuttle 100 der Knapp AG für die Transporte von KLT sowohl im Montagezentrum als auch in der mechanischen Fertigung zu verwenden. Die geringen technischen Unterschiede bei dem deutlichen Vorteil die gleiche Flottenmanagementsoftware zu nutzen machen die Entscheidung sehr leicht.



Abb. 52: Der Open Shuttle Fork der Knapp AG, Quelle: Knapp AG (Hrsg.) (2017), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.

Nun fehlt es noch an einer Lösung für Handbügelwagen. Die einfachste Lösung ist hier der Einsatz eines sogenannten Unterfahr-FTF. Hier erschien die MiR 100 als beste Lösung und die Nutzlast von 100 kg reicht für den Transport der Handbügelwagen aus. Die Integration einer MiR in das Flottenmanagement wurde auch seitens Knapp AG bereits durchgeführt, daher steht dem Einsatz des Geräts nichts im Weg.

Um nun noch Transporte zwischen dem Montagezentrum und der mechanischen Fertigung zu überwinden muss der Transport über den Außenbereich erfolgen. Dazu benötigt es modifizierte Geräte, die zumindest mit beheizten Sensoren ausgestattet sind um ein Versagen der Sensorik aufgrund von Kondenswasser zu verhindern, als auch notwendiger Infrastruktur. Durch die Gegebenheiten vor Ort lässt sich eine totale Einhausung nicht durchführen, aber es befindet sich ein Flugdach zwischen den Gebäuden. Dieses verhindert direkte Sonneneinstrahlung zur Verhinderung von störenden Einflüssen auf die Lasersensoren und den größten Teil des Niederschlages, welcher die Reibung und somit auch das Bremsverhalten stark beeinflusst. Wenn man dieses Flugdach verlängert, den Boden saniert und in der mechanischen Fertigung einen neuen Zugang schafft, wäre es möglich die Strecke durch FTF zu

absolvieren. Zur Sicherheit muss noch ein Regensensor eingesetzt werden um trotz des Flugdaches die Geschwindigkeit des FTF bei Regen im Außenbereich zu drosseln.

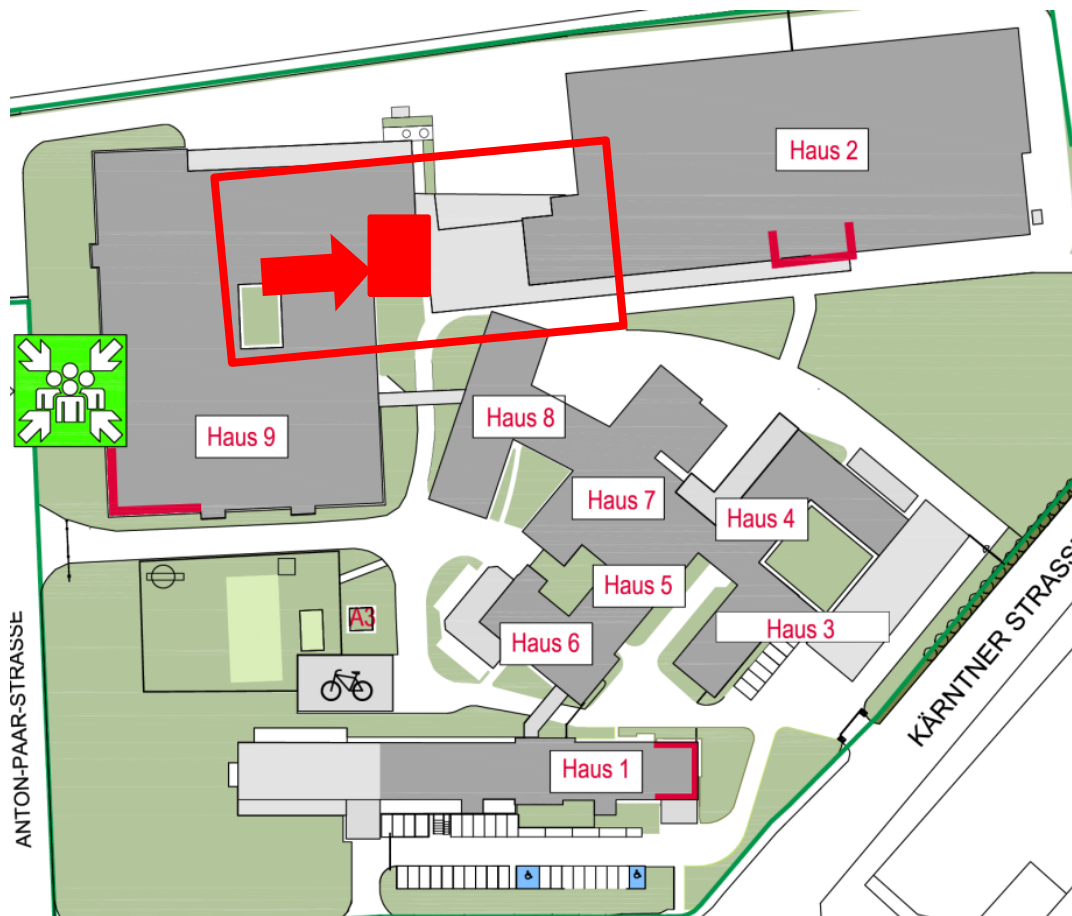


Abb. 53: Bereich des Flugdaches und des möglichen Durchbruchs farblich markiert, Quelle: Eigene Darstellung.

Es werden mit den Unternehmen Gespräche geführt und erneut Richtpreisangebote eingeholt. Da hier nur eine Mitarbeiterin bzw. ein Mitarbeiter tätig ist ergibt das jedoch ein geringeres Einsparungspotenzial. Weiter bedient die Person zusätzlich noch das Bürogebäude und den Altbau, davon lässt sich ein Vollzeitäquivalent von 0,7 ableiten.

Nach Erhalt der Richtpreisangebote der FTF hat der Preis von jeweils einem aller drei Geräte bereits in Summe das Einsparungspotenzial von 5 Jahren aufgebraucht, daher beschließt man hier sehr früh, dass kein Bedarf besteht aufgrund der quantitativen Argumente.

Da der Trend in diesem Gebäude jedoch deutlich in Richtung der Ausdehnung der Geschäftszeiten und Erhöhung des Automatisierungsgrades geht, ist hier eine Betrachtung seitens der Logistik nicht sinnvoll. Der Ansatz der hier gewählt werden sollte ist die Betrachtung im Sinne der Arbeitsvorbereitung, sobald ein Bedarf dazu entsteht. Durch den Einsatz von FTS in Verbindung mit einem automatischen Umlaufregal könnte beispielsweise eine unzureichende Lagerkapazität von Werkzeug innerhalb der Maschine ausgeglichen werden. Hier bedarf es jedoch einem Konzept, das sich sehr stark an den Maschinen und der Arbeitsvorbereitung anhält und weniger einem Konzept zur Intralogistik. Das resultiert daraus, dass die Logistik nur im Einschichtbetrieb betrieben wird, in der Fertigung aber teilweise Randzeiten und bis zu drei Schichten möglich sind, je nach Maschine.

6.4 Anbindung des Altbaus und Bürogebäudes

Die Ladungsträger für diese Anwendung entsprechen etwa denselben des Montagezentrums. Aus diesem Grund wird für die Anwendung ebenfalls ein Open Shuttle 100 verwendet. Da hier ebenfalls der Außenbereich überwunden werden muss ist auch hier ein großzügiges Flugdach, sowie eine Sanierung zur Erfüllung der Bodenbeschaffenheit notwendig. Auch Transporte in das Bürogebäude müssen auf diesem Weg erfolgen. In den Gebäuden selbst müssen außerdem 8 Türen und 3 Lifte umgerüstet werden.



Abb. 54: Weg zwischen Montagezentrum und Altbau, Quelle: Eigene Darstellung.

Sieht man sich das ganze nun am Plan an kann man noch dazu erkennen, dass die Gänge im Altbau sehr schmal sind, teilweise sogar nur einen Meter breit. Aus diesem Grund ist es sowohl wirtschaftlich nicht sinnvoll als auch technisch nicht möglich diese Gebäude an das bestehende FTS anzubinden. Auch der Personalaufwand ist verschwindend gering. Die Gebäude werden von der gleichen Mitarbeiterin bzw. dem gleichen Mitarbeiter betreut, der auch die mechanische Fertigung bedient.

Zukünftig soll statt dem Altbau ein neues Hochhaus errichtet werden. Wenn bei der Planung FTS berücksichtigt werden, können zumindest technisch beide Gebäude über FTF beliefert werden.

7 ZUSAMMENFASSENDE EMPFEHLUNG

Basierend auf Kapitel 6 kann man behaupten, dass eine technisch sinnvolle Implementierung für den größten Teil des Materialflusses, aber nicht am gesamten Standort möglich ist. Um das zu ändern muss vorab ein neues Gebäude anstelle des Altbaus errichtet werden. Dieses Gebäude ist bereits länger in Planung, ein Start des Projektes ist jedoch langfristig noch nicht in Aussicht. Bereits jetzt müssen hier FTS im Konzept berücksichtigt werden, sodass FTS hier möglichst effektiv eingesetzt und einfach implementiert werden können. Außerdem bedarf es ausreichendem Schutz vor Witterung und irritierenden Lichteinflüssen beim Transit zwischen dem Bürogebäude und dem Montagezentrum.

Neben der technischen Umsetzbarkeit ist auch ein ausreichender Nutzen des Systems zwingend notwendig, der in keinem der Implementierungsschritte als ausreichend erachtet wurde. Als Grund kann hier der Preis der Geräte angesehen werden. Es wurden grobe Amortisationsrechnungen durchgeführt, die eine Deckung der Investition für die nächsten 5 oder sogar 10 Jahre ausschließen lassen. Bedenkt man nun, dass das FTS üblicherweise eine Lebensdauer von 10 bis 20 Jahren hat, kann aus wirtschaftlicher Sicht nur empfohlen werden die bisherige manuelle Intralogistik beizubehalten.

Ein Nutzen ist dennoch bereits aufgefallen, nämlich die Materialbereitstellung an Maschinen, die automatisch und durchgehend betrieben werden. Das System könnte auch die notwendige Flexibilität bieten um die Automatisierung weiter voranzutreiben, da es aufgrund der Losgrößen teilweise nicht möglich ist Materialien vollautomatisch zu fertigen. Um hier nicht durch die Lagerkapazität der Roboterzelle beschränkt zu sein eignet sich ein FTS in Verbindung mit einem automatischen Umlaufregal zur Pufferung sehr gut, wie in 6.3 bereits kurz beschrieben. Hier bietet es sich an eine umfassende Untersuchung in die Wege zu leiten, in diesem Fall bezogen auf die Produktionsplanung und -steuerung bzw. Arbeitsvorbereitung.

Auf lange Sicht sollte man sich bezüglich des FTS dennoch regelmäßig einen Überblick über den Stand der Technik, sowie der Auslastung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verschaffen. Sollte sich die Änderung beider Faktoren ergeben könnte dies durchaus zu einem wirtschaftlichen Konzept führen. Das Unternehmen Magazino GmbH produziert ein FTF zum Manipulieren von Schuhkartons. Außergewöhnlich ist, dass dieses Fahrzeug eine deutlich höhere Kapazität hat und Ware auf unterschiedlichen Höhen abgeben kann. Nun arbeitet dieses, sowie weitere große Unternehmen daran einen ähnlichen, aber industrietauglichen Roboter herzustellen, der die gängigsten KLT Formate abdeckt. In Verbindung mit einer anderen Regel zur Fahrzeugdisposition, beispielsweise fixen Routen, klingt dieses Konzept sehr vielversprechend. Man muss sich hier aber noch mindestens bis zum Jahr 2021 gedulden.⁷²

⁷² Vgl. Magazino GmbH (2020), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (15)

Smart Robotics Austria GmbH (Hrsg.) (2019): *logiCON mit logiSTATION*, o.V., o.O.

Anton Paar GmbH (Hrsg.) (2020): *Company Factsheet*, o.V., Graz

Anton Paar GmbH (Hrsg.) (2020): *Anton Paar Company Presentation*, o.V., Graz

Knapp AG (Hrsg.) (2019): *Richtpreisangebot Anton Paar*, o.V.

Mobile Industrial Robots ApS (Hrsg.) (2018): *MiR100 Datenblatt*, o.V.

DS Automation GmbH (Hrsg.) (2019): *Budget Angebot Anton Paar*, o.V.

Knapp AG (Hrsg.) (2017): *Open Shuttle: Die nächste Generation fahrerloser Transportfahrzeuge*, o.V.

Knapp AG (Hrsg.) (2017): *Open Shuttle: Inbetriebnahmevoraussetzungen*, o.V.

D. Arnold, H. (2007): *Handbuch Logistik*, 3., neu bearbeitete Auflage Auflage, Springer-Verlag, Berlin

D. Arnold, K. (2009): *Materialfluss in Logistiksystemen*, 6., erweiterte Auflage Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Martin, H. (2009): *Transport- und Lagerlogistik: Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik*, 7., erweiterte und aktualisierte Auflage Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden

Pawellek, Günther (2014): *Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung*, 2. Auflage Auflage, Springer-Verlag, Berlin

Schrecker, Axel (2000): *Planung und Steuerung Fahrerloser Transportsysteme: Ansätze zur Unterstützung der Systemgestaltung*, Springer Verlag, Wiesbaden

Ullrich, Günter (2014): *Fahrerlose Transportsysteme: Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur Technik – für die Planung*, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden

Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (1991): *The Machine That Changed the World*, Macmillan Publishing Company, New York

Online-Quellen (5)

Knapp AG (Hrsg.) (2015): *Freie Fahrt für Open Shuttles von KNAPP*

<https://www.knapp.com/freie-fahrt-fuer-open-shuttles-von-knapp/> [Stand: 20.05.2020]

Mobile Industrial Robots A/S (Hrsg.) (2020): *MiR500*

<https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir500/> [Stand: 20.05.2020]

Knapp AG (Hrsg.) (2017): *Würth Industrie Service präsentiert innovatives Open Shuttle Fork von KNAPP*

<https://www.knapp.com/wuerth-industrie-service-praesentiert-innovatives-open-shuttle-fork-von-knapp/>
[Stand: 20.05.2020]

Magazino GmbH (2020): *SOTO*

<https://www.magazino.eu/produkte/soto/> [Stand: 20.05.2020]

Jüngling, Hans Jürgen; Unruh, Volker (2008): *Fahrerlose Transportsysteme in Montage und Versand*

<https://www.mm-logistik.vogel.de/fahrerlose-transportsysteme-in-montage-und-versand-a-194641/>

[Stand: 07.11.2019]

Normen (9)

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) (1997): *DIN EN 1525: Sicherheit von Flurförderfahrzeugen: Fahrerlose Flurförderfahrzeuge und ihre Systeme*

Europäisches Institut für Normung (Hrsg.) (1997): *EN 954-1: Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (enthält auch Berichtigung AC:1997)*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2005): *VDI 2510: Fahrerlose Transportsysteme (FTS)*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2009): *VDI 2510 - 1: Infrastruktur und periphere Einrichtungen für Fahrerlose Transportsysteme (FTS)*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2007): *VDI 2710 - 1: Ganzheitliche Planung von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS): Entscheidungskriterien für die Auswahl eines Fördersystems*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (1998): *VDI 4451: Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS): Offene Steuerungsstruktur für Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF)*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2003): *VDI 4451 - 6: Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS): Sensorik für Navigation und Steuerung*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2005): *VDI 4451-5: Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS): Schnittstelle zwischen Auftraggeber und FTS-Steuerung*

Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2005): *VDI 4451-7: Kompatibilität von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS): Leitsteuerung für FTS*

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Darstellung des Durchsatzes, Quelle: D. Arnold (2009), S. 11.	3
Abb. 2: Materialflusselemente, Quelle: D. Arnold (2009), S. 42.....	5
Abb. 3: Beispiel eines Sankey-Diagramms, Quelle: D. Arnold (2009), S. 252.....	7
Abb. 4: Einfaches Beispiel eines Graphen, Quelle: D. Arnold (2009), S. 52.	7
Abb. 5: Beispiel einer Adjazenzmatrix, Quelle: D. Arnold (2009), S. 54.	8
Abb. 6: Beispiel einer Transportmatrix, Quelle: D. Arnold (2009), S. 69.....	9
Abb. 7: Verhältnis von Grenzdurchsatz und Anzahl der Fahrzeuge, Quelle: D. Arnold (2009), S. 80.....	11
Abb. 8: Einer der ersten Schlepper mit automatischer Kupplung, Quelle: Ullrich (2014), S. 5.....	12
Abb. 9: Schematische Darstellung der FTS Komponenten, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 6.	14
Abb. 10: Komponenten eines FTF, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 14.....	15
Abb. 11: Beispiel einer FTS-Leitsteuerung mit Kennzeichnung der FTF-Steuerung in Rot, Quelle: VDI 4451-5 (2005), S:2.....	17
Abb. 12: Warn- und Sicherheitseinrichtungen am FTF, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 18.	18
Abb. 13: Kategorien sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen nach EN 954-1, Quelle: DIN EN 1525 (1997), S. 6, zitiert nach EN 954-1 (1997), o.S.	19
Abb. 14: Beispiel eines Unterfahrschleppers, Quelle: VDI 2510 (2005), S. 8.....	21
Abb. 15: FTF mit aktiver Lastaufnahme, Quelle: Smart Robotics Austria GmbH (Hrsg.) (2019), o.S.	22
Abb. 16: Funktionsbausteine eines FTS, Quelle: VDI 4451-7 (2005), S. 18.....	23
Abb. 17: Beispiel eines Blockungsbereiches, Quelle: VDI 4451-7 (2005), S. 12.....	24
Abb. 18: Visualisierung der gängigsten Navigationsverfahren, Quelle: Ullrich (2014), S. 109.	27
Abb. 19: Schematische Darstellung des Taxiprinzips, Quelle: VDI 2710 - 1 (2007), S. 5.	30
Abb. 20: Schematische Darstellung der linearen (oben) und verzweigten (unten) Fließlinie, Quelle: VDI 2710 - 1 (2007), S. 4.....	31
Abb. 21: Kombination aus kontinuierlichem und diskontinuierlichem Transport, Quelle: VDI 2710 - 1 (2007), S. 5.	32
Abb. 22: Vergleich der Lösungen, Quelle: Ullrich (2014), S. 24 (Legende: Nicht geeignet –, bedingt geeignet O, sehr geeignet +).....	33
Abb. 23: Übersichtsplan, Quelle: Eigene Darstellung.	34
Abb. 24: Erdgeschoss des Haus 2, Quelle: Eigene Darstellung.	35

Abb. 25: Warenfluss der Warenannahme, Quelle: Eigene Darstellung.	36
Abb. 26: Warenfluss ausgehend vom Wareneingang, Quelle: Eigene Darstellung.	37
Abb. 27: Links sieht man die Lagersituation im Palettenhochlager, rechts Ladungsträger die in der mechanischen Fertigung, die neben den Kleinladungsträgern verwendet werden, Quelle: Eigene Darstellung.	37
Abb. 28: Die Kommissionierstationen befinden sich im Bereich mit der Beschriftung "AKL", das Lager an sich im separierten Raum mit der Beschriftung "Autom. Hochregallager", Quelle: Eigene Darstellung.	38
Abb. 29: Kommissionierstationen und Kommissionierwägen für die Intralogistik, Quelle: Eigene Darstellung.	39
Abb. 30: Schematische, allgemeine Darstellung des Materialflusses ausgehend vom AKL (rot), Quelle: Eigene Darstellung.	39
Abb. 31: Anlieferplätze (Rot und Orange dargestellt) im Montagezentrum beginnend mit dem Erdgeschoss (Links) über das erste Obergeschoss (Mitte) bis zum zweiten Obergeschoss (Rechts), Quelle: Eigene Darstellung.	40
Abb. 32: Abteilungen innerhalb des Erdgeschosses der mechanischen Fertigung; Der Sammellieferplatz für Lieferungen zum und vom AKL ist gekennzeichnet, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Abb. 33: Standort des Regales für den Kurierdienst, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Abb. 34: Factsheet der Anton Paar GmbH, Quelle: Anton Paar GmbH (Hrsg.) (2020), o.S.	42
Abb. 35: Entwicklung des Jahresumsatzes der Anton Paar GmbH, Quelle: Anton Paar GmbH (Hrsg.) (2020), o.S.	45
Abb. 36: Risikomatrix zu den Problemen der Intralogistik ohne Maßnahmen, Quelle: Eigene Darstellung.	47
Abb. 37: Risikomatrix zu den Problemen der Intralogistik mit alternativen Lösungsansätzen, Quelle: Eigene Darstellung.	47
Abb. 38: Risikomatrix zu den Problemen der Intralogistik mit Einsatz von FTS, Quelle: Eigene Darstellung.	48
Abb. 39: Unterteilung im Montagezentrum, Quelle: Eigene Darstellung.	50
Abb. 40: Open Shuttle 100 der Knapp AG, Quelle: Knapp AG (Hrsg.) (2015), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.	58
Abb. 41: Skizzierung des Blockungsbereiches vor den Liften, Quelle: Eigene Darstellung.	59
Abb. 42: Fahrkurs im Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	60
Abb. 43: Fahrkurs im ersten Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	61
Abb. 44: Fahrkurs im zweiten Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	62
Abb. 45: Bereich mit erhöhter Gefährdung von Personen im Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	63

Abb. 46: Geplanter Standort der Ladestationen, Quelle: Eigene Darstellung.....	69
Abb. 47: Geplante Anlieferplätze sind schwarz dargestellt, Quelle: Eigene Darstellung.....	70
Abb. 48: Aktuelle Auslaufstrecke, die Behälter der Breite nach ausgibt; der Pfeil gibt die Richtung der Komprimierung an, Quelle: Eigene Darstellung.	71
Abb. 49: Aufstellungsort des Bring- und Abholregals des Palettenhochlagers, Quelle: Eigene Darstellung.	72
Abb. 50: FTF im Versuch bei Anton Paar, Quelle: Eigene Darstellung.	73
Abb. 51: Die MiR 500 ohne Aufbau (links) und mit Aufbau, Ladungsträger und Abgabestation (rechts), Quelle: Mobile Industrial Robots A/S (Hrsg.) (2020), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.	74
Abb. 52: Der Open Shuttle Fork der Knapp AG, Quelle: Knapp AG (Hrsg.) (2017), Online-Quelle [20.05.2020], o.S.	75
Abb. 53: Bereich des Flugdaches und des möglichen Durchbruchs farblich markiert, Quelle: Eigene Darstellung.	76
Abb. 54: Weg zwischen Montagezentrum und Altbau, Quelle: Eigene Darstellung.	77

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Gegenüberstellung der Probleme in der Intralogistik, Quelle: Eigene Darstellung	46
Tab. 2: Transporte am gesamten Standort Graz, Quelle: Eigene Darstellung.	49
Tab. 3: Transporte der einzelnen Stockwerke im Montagezentrum, Quelle: Eigene Darstellung.	50
Tab. 4: Anzahl der Lieferungen an das Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	51
Tab. 5: Anzahl der Lieferungen an das erste Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	52
Tab. 6: Anzahl der Lieferungen an das zweite Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Tab. 7: Anzahl der Transporte innerhalb der mechanischen Fertigung (links) und Anzahl der Lieferungen aus dem Hauptlager (rechts), Quelle: Eigene Darstellung.	55
Tab. 8: Ladungsträger im Montagezentrum, Quelle: Eigene Darstellung.	57
Tab. 9: Transportmatrix in der Einheit [1/h], Quelle: Eigene Darstellung.	64
Tab. 10: Transportzeiten zwischen den Quellen und Senken für Lieferungen an das Erdgeschoss in der Einheit [s], Quelle: Eigene Darstellung.	65
Tab. 11: Transportzeiten zwischen den Quellen und Senken für Lieferungen an das erste Obergeschoss in der Einheit [s], Quelle: Eigene Darstellung.	65
Tab. 12: Transportzeiten zwischen den Quellen und Senken für Lieferungen an das zweite Obergeschoss in der Einheit [s], Quelle: Eigene Darstellung.	66
Tab. 13: Anzahl der notwendigen FTF für Transporte in das Erdgeschoss, Quelle: Eigene Darstellung..	67
Tab. 14: Anzahl der notwendigen FTF für Transporte in das erste Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	67
Tab. 15: Anzahl der notwendigen FTF für Transporte in das zweite Obergeschoss, Quelle: Eigene Darstellung.	68