

Diplomarbeit

Vergleich von Fahrerlosen Trans- portsystemen

in Produktion, Intra- und Dienstleistungslogistik

eingereicht an der

Montanuniversität Leoben

erstellt am

Lehrstuhl Industrielogistik

Vorgelegt von:

Thomas PICHLER
0535100

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Georg Judmaier
Univ.-Prof. Dr. Helmut Zsifkovits

Leoben, 30.05.2014

Eidesstattliche Erklärung

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

Thomas PICHLER

LEOBEN, 30.05.2014

Danksagung

Ich danke meiner Familie für die Unterstützung während der Diplomarbeitsphase und dass sie mir in der gesamten Studienzeit sowohl finanziellen, als auch emotionalen Beistand geleistet hat.

Besonderer Dank gilt meinem Diplomarbeitsbetreuer Herrn DI Georg Judmaier für die fachkundige Unterstützung während des Diplomarbeitsprozesses.

Weiter bedanke ich mich auch noch bei meinen Freunden, die stets ein offenes Ohr für mich hatten und mich während meiner gesamten Studienzeit unterstützt haben.

Genderhinweis:

Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional
3PL.....	Third Party Logistics
AG	Aktiengesellschaft
Ah.....	Amperestunden
bzw.....	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	computer-aided design
CAN	controller area network
cm.....	Zentimeter
DIN.....	Deutsche Industrienorm/Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
et al.	et alteri oder et alii = und andere
f.	folgende Seite
ff.	folgende Seiten
FTF.....	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS.....	Fahrerloses Transportsystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPRS	General Packet Radio Service
GPS.....	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
Hrsg.	Herausgeber
hrsg.....	herausgegeben
IuK.....	Information und Kommunikation
k.A.	keine Angabe
kg.....	Kilogramm
KLT	Kleinladungsträger
LAM	Lastaufnahmemittel
m	Meter
mm.....	Millimeter
o.Ä.	oder Ähnliche[s]
OSR.....	Order Storage & Retrieval
o.V.	ohne Verfasserangabe
PC.....	Personal Computer
PPS.....	Produktionsplanung und -steuerung
s	Sekunde
s.	siehe
S.	Seite
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
SCM.....	Supply-Chain-Management
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Std.	Stunde(n)
USB.....	Universal Serial Bus
VDC.....	Volts of Direct Current
VDI.....	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
WLAN	Wireless Local Area Network
z.B.	zum Beispiel
zit. nach	zitiert nach

Kurzfassung

Fahrerlose Transportsysteme haben in den letzten Jahren in vielen Bereichen der Produktion und Logistik Einzug gehalten. Um diese Entwicklung beschleunigen zu können ist es notwendig die Anforderung der einzelnen Branchen und Logistikbereiche an solche Systeme zu kennen. Dies liefert einerseits eine Grundlage für die Weiterentwicklung und andererseits eine Übersicht für die Anwender von Fahrerlosen Transportsystemen.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es herauszufinden, welche Anforderungen an ein Fahrerloses Transportsystem in den verschiedenen Bereichen der Industrie (Produktion, 3PL, Dienstleistung) gestellt werden. Außerdem gilt es herauszufinden, in welchen Gebieten der innerbetrieblichen Transportlogistik der oben genannten Industriezweige Potential für den Einsatz von Fahrerlosen Transportsystemen aus technischer Sicht besteht. Dazu werden zunächst Informationen über verschiedene Technologien diverser Hersteller eingeholt und beschrieben. Im Anschluss wird ein Anforderungs-/Bewertungskatalog erstellt, der aus den Leistungsdaten und den allgemeinen Anforderungen der Fahrerlosen Transportsysteme besteht. Folgend wird ein Fragebogen entwickelt, der an Firmen in den Bereichen Produktion, 3PL und Dienstleistung in Österreich, Deutschland und der Schweiz ausgeschickt wird. Dieser beinhaltet Fragen zu den vorherrschenden Bedingungen in den Transportbereichen der Unternehmen, wie Größe und Gewicht der Transportlose, Transportaufkommen und -verhalten oder die Anzahl der Mitarbeiter des Transports. Anhand der Auswertung des Fragebogens wird der Bewertungskatalog gewichtet. Auf Basis dieses Kataloges können verschiedene Technologien in Bezug auf die jeweilige Sparte bewertet werden. Daraus lässt sich ableiten, ob und welche Systeme und Technologien in der Lage sind, die allgemeinen und speziellen Anforderungen der diversen Bereiche ausreichend zu erfüllen. Außerdem wird anhand der Auswertung der Fragebögen analysiert, in welchen logistischen Anwendungsgebieten Potential für den Einsatz von Fahrerlosen Transportsystemen aus technischer Sicht besteht oder wo für eine Verwendung dieser Technologien aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen kein Bedarf vorhanden ist. Diese gesammelten Erkenntnisse sollen als Grundlage für den zielgerichteten Einsatz der vorhandenen Systeme und Technologien, sowie für die weitere Entwicklung von Fahrerlosen Transportsystemen dienen, um die besonderen Anforderungen aus der Industrie zu erfüllen.

Abstract

Automated guided vehicle systems have been introduced in many branches of production and logistics in recent years. In order to support this process, it is necessary to know the requirements of each industry and their areas of logistics. This provides both a basis for further development and on the other side an overview for the users of automated guided vehicle systems.

The purpose of this work is to find out what requirements are placed on an automated guided vehicle system in the different areas of the industry (manufacturing, 3PL and service/attendance). It is also used to find out from a technical perspective which areas of the internal transport logistic of the industries above has potential for the use of the automated guide vehicle systems. For this purpose, information of different technologies from different manufacturers are collected and described. Subsequently, a requirement / evaluation catalog is created consisting of the performance data and the general requirements of automated guided vehicle systems. Afterwards a questionnaire is developed, which is sent to companies in the areas of production, 3PL and service/attendance in Austria, Germany and Switzerland. This includes questions about the prevailing conditions in the transport areas of the enterprises such as size and weight of the transport unit, transport volume and behavior or the number of employees for transportation. Based on the results of the questionnaire the evaluation catalog is weighted. With this catalog the technologies regarding the respective division can be evaluated. It can be deduced, whether and which systems and technologies are able to meet the general and specific requirements of the various areas sufficiently. Furthermore, the evaluation of the questionnaires will be analyzed, to check the logistic areas which have potential for the use of automated guided vehicle systems from a technical point of view or where the use of these technologies due to the prevailing conditions makes no sense. These collected findings should serve a foundation for the purposeful use of existing systems and technologies, as well as for the further development of automated guided vehicle systems to meet the specific needs of the industry.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Abkürzungsverzeichnis	III
Kurzfassung	IV
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Ziele der Arbeit und Forschungsfragen	2
2 Stand der Technik und Entwicklung	3
2.1 Fördermittel.....	3
2.2 Einsatzgebiete in der Logistik	15
2.3 Navigation	20
2.4 Pfadplanung.....	32
3 Theorie zur Informationsbeschaffung und Bewertung	35
3.1 Bewerten von Lösungen	35
3.2 Befragungen.....	39
4 Systeme und Technologien im Überblick	45
4.1 Open Shuttle – Knapp AG	45
4.2 Adept Lynx – Adept Technology GmbH	48
4.3 Kiva-Systems	50
4.4 Dematic Multishuttle Move – Dematic GmbH.....	52
4.5 MP-400/MT-400 – Neobotix	55
4.6 UNITR – MT-Robots AG	58
4.7 AMV-1 – BlueBotics	60
5 Vergleich der Technologien von Shuttlesystemen	63
5.1 Entwicklung eines Bewertungskatalogs	63
5.2 Entwicklung des Fragebogens.....	68
5.3 Auswertung der Umfrage	70
5.3.1 Produktion.....	71
5.3.2 3PL.....	81
5.3.3 Dienstleistungslogistik	90
5.3.4 Gewichtung des Bewertungskataloges	98
5.3.5 Beispiel zur Verwendung des Bewertungskataloges	101
6 Zusammenfassung	103
Literaturverzeichnis	105
Anhang	112

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Open Shuttle: technische Spezifikationen	47
Tabelle 2: Adept Lynx: technische Spezifikationen	49
Tabelle 3: Kiva System: technische Spezifikationen	52
Tabelle 4: Multishuttle Move: technische Spezifikationen	55
Tabelle 5: Neobotix: technische Spezifikationen	57
Tabelle 6: MT Robots: technische Spezifikationen	60
Tabelle 7: BlueBotics AMV-1: technische Spezifikationen	62
Tabelle 8: Schema des Bewertungskatalogs	67
Tabelle 9: Gewichteter Bewertungskatalog	100
Tabelle 10: Bewertungsbeispiel	102
Abbildung 1: Einteilung der Fördermittel	4
Abbildung 2: Pusher und Kettentransfer	6
Abbildung 3: mögliche Arten von Omniwheels.....	10
Abbildung 4: Elemente der Produktionslogistik	18
Abbildung 5: optische Spurführung	21
Abbildung 6: induktive Spurführung	22
Abbildung 7: Spurführung über Bodenmarken und Rasterfeld	23
Abbildung 8: Funktionsaufbau eines Ultraschallsensors	23
Abbildung 9: Ausbreitung des Schallkegels	24
Abbildung 10: Anordnung der Ultraschallsensoren	24
Abbildung 11: Reflexion des Ultraschalls	25
Abbildung 12: Prinzip der Laserdistanzmessung	26
Abbildung 13: Glaswand mit Folie sichtbar gemacht	27
Abbildung 14: Prinzip eines Laserscanners	28
Abbildung 15: Erfassung der Marken mit Laserscanner	29
Abbildung 16: Erfassungsproblem bei unebenem Boden	30
Abbildung 17: Anbringung eines bodennahen Laserscanner und Sicherheitsscanner	30
Abbildung 18: Schutz- und Warnfelder vor dem Fahrzeug	31
Abbildung 19: Überwachungsrichtungen der Schutzfelder	32
Abbildung 20: Scan-Matching von Scan und Referenzmodell	33
Abbildung 21: Änderung des geplanten Pfades	34
Abbildung 22: Bewerten von Lösungen.....	35
Abbildung 23: Methodischer Ablauf der Nutzwertanalyse	38
Abbildung 24: Open Shuttle mit KLT	46
Abbildung 25: Open Shuttle bei der Lastübergabe	46

Abbildung 26: Adept Lynx Roboter und Ladeeinheit	48
Abbildung 27: Multishuttle Move schienengeführt und frei navigierend	54
Abbildung 28: MP-400 Basisplattform	56
Abbildung 29: MT-400 mit montiertem LAM	56
Abbildung 30: UNITR von unten und inkl. Ladestation	58
Abbildung 31: Verschiedene Verwendungsmöglichkeiten des UNITR	59
Abbildung 32: BlueBotics AMV-1	61
Abbildung 33: Anteil der branchenbezogenen Unternehmen	71
Abbildung 34: Produktion: Frage 2	71
Abbildung 35: Produktion: Frage 3	72
Abbildung 36: Produktion: Frage 4	73
Abbildung 37: Produktion: Frage 5	73
Abbildung 38: Produktion: Frage 6	74
Abbildung 39: Produktion: Frage 7	75
Abbildung 40: Produktion: Frage 8	75
Abbildung 41: Produktion: Frage 9	76
Abbildung 42: Produktion: Frage 10.....	76
Abbildung 43: Produktion: Frage 11.....	77
Abbildung 44: Produktion: Frage 12.....	78
Abbildung 45: Produktion: Frage 13.....	78
Abbildung 46: Produktion: Frage 14.....	79
Abbildung 47: Produktion: Frage 15.....	80
Abbildung 48: 3PL: Frage 2	81
Abbildung 49: 3PL: Frage 3	81
Abbildung 50: 3PL: Frage 4	82
Abbildung 51: 3PL: Frage 5	82
Abbildung 52: 3PL: Frage 6	83
Abbildung 53: 3PL: Frage 7	84
Abbildung 54: 3PL: Frage 8	84
Abbildung 55: 3PL: Frage 9	85
Abbildung 56: 3PL: Frage 10	85
Abbildung 57: 3PL: Frage 11	86
Abbildung 58: 3PL: Frage 12	87
Abbildung 59: 3PL: Frage 13	87
Abbildung 60: 3PL: Frage 14	88
Abbildung 61: 3PL: Frage 15	89
Abbildung 62: Dienstleistung: Frage 2.....	90
Abbildung 63: Dienstleistung: Frage 3.....	90

Abbildung 64: Dienstleistung: Frage 4.....	91
Abbildung 65: Dienstleistung: Frage 5.....	91
Abbildung 66: Dienstleistung: Frage 6.....	92
Abbildung 67: Dienstleistung: Frage 7.....	93
Abbildung 68: Dienstleistung: Frage 8.....	93
Abbildung 69: Dienstleistung: Frage 9.....	94
Abbildung 70: Dienstleistung: Frage 10.....	94
Abbildung 71: Dienstleistung: Frage 11.....	95
Abbildung 72: Dienstleistung: Frage 12.....	95
Abbildung 73: Dienstleistung: Frage 13.....	96
Abbildung 74: Dienstleistung: Frage 14.....	96
Abbildung 75: Dienstleistung: Frage 15.....	97

1 Einleitung

Hochvolatile Märkte mit ihren speziellen Leistungsspektren stellen die Logistik vor kaum oder nur schwer lösbare Aufgaben. Die Flexibilität des innerbetrieblichen Materialflusses wird aufgrund der ständig wechselnden Leistungsanforderungen der schwankenden Märkte immer notwendiger. In solchen Situationen stoßen klassische Fördermittel, wie etwa zentral gesteuerte Stetigfördertechniksysteme immer häufiger an ihre Grenzen, da sie nach heutigem Stand der Technik entweder zu unflexibel oder zu teuer sind. Somit sind zellulare Intralogistiksysteme die Antwort auf diese Anforderungen, bei der starre Materialflusssysteme vor einer unlösbaren Aufgabe stehen. Solche zellularen Transportsysteme werden manuelle Transporte und klassische Fördertechnik dort ersetzen, wo hohe Flexibilität und Anpassbarkeit gefordert wird, sich Transporte und Transportrouten nicht mehr langfristig planen lassen und wo aufgrund fehlender Flexibilität eine Automatisierung nicht möglich ist.¹

Diese zellularen Transportsysteme ergeben sich aus kleinen, autonomen, intelligenten und selbstorganisierenden Transporteinheiten, die sich nach dem Prinzip des Internet der Dinge selbst steuern. In diesem Schwarm aus Transportfahrzeugen, die untereinander vernetzt sind, kann man von dem Wissen des Kollektivs profitieren. Diese sogenannte Schwarmintelligenz wird zur Bewältigung komplexer Transportaufträge genutzt, indem die Fahrzeuge autonom Einzelaufträge ausführen und ihre Transportleistung genau dort abgerufen wird, wo sie benötigt wird.²

Fahrerlose Transportsysteme sind aus der Intralogistik nicht mehr wegzudenken. Der technologische Standard und die Erfahrungen, die mittlerweile mit der eingesetzten Automatisierungstechnik gewonnen wurden, haben den Einsatz der Fahrerlosen Transportsysteme in nahezu jeder Sparte der Industrie ermöglicht. Der Beginn der Entwicklung der FTS fand 1953 in Amerika statt. Dabei zeichneten sich die ersten Systeme durch den häufigen Einsatz von einfachen Spurfolgetechniken und simplen taktilen Sensoren (Bumper, Notstoppbügel mit mechanischen Schaltern, ...) aus. Schon kurze Zeit später wiesen die entwickelten Systeme bereits Merkmale auf, die auch in heutigen FTS zur Grundausstattung gehören. Dazu zählen das Leitsystem, das Fahrzeug selbst mit der Steuerung und dem Personenschutz, sowie das Spurführungssystem. Der Einsatzbereich dieser Fahrzeuge waren normale Lager- oder Fabrikhallen,

¹ Vgl. Kirks et al. (2012), S.1

² Vgl. Kamagaew (2011), S 3ff

in denen bis zu diesem Zeitpunkt die Arbeiter mit ihren manuell gesteuerten Fahrzeugen die jeweiligen Güter transportierten. Deshalb wurden immer mehr Bereiche rein für die Verwendung von FTF geschaffen. Mittlerweile besitzen die aktuellen Anlagen allesamt berührungslose Sensoren, elektronische Steuerungen, PC-Systeme als Leitsteuerung sowie eine SPS oder eine Microsteuerung im Fahrzeug. Als Standard in der freien Navigation haben sich die Laser- und Magnettechnologien und in der Datenübertragung WLAN-Systeme etabliert.³

Durch die stetige Entwicklung könnten FTS mittlerweile in den verschiedensten Industriebereichen eingesetzt werden. Vom Transport in Lagern, auch zur Unterstützung bei weiteren Prozessen wie der Kommissionierung, der Versorgung von Arbeitsstationen oder als Unterstützung der Transportaufgaben im Gesundheitswesen ist ein Einsatz dieser Technologie zu überdenken.

1.1 Ziele der Arbeit und Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit ist es, Anforderungen an ein Fahrerloses Transportsystem beziehungsweise an dessen Technologie zu identifizieren und in einem Anforderungskatalog anschaulich zusammenzufassen. Diese Identifikation wird in zwei Schritten erfolgen. Der erste Schritt ist eine Auflistung allgemeiner Anforderungen, die jeden dieser drei Bereiche betreffen können. Für den zweiten Schritt ist ein Fragebogen zu erstellen, der an deutschsprachige Unternehmen in den Bereichen Produktion, 3PL und Dienstleistungslogistik versendet wird. Anhand der Rückmeldungen werden die zuvor identifizierten Anforderungen je nach Industriebereich gewichtet. Anschließend sollen verschiedene Lösungen Fahrerloser Transportsysteme anhand dieses fertigen Kriterienkataloges verglichen und analysiert werden. In weiterer Folge kann aus der Bewertung der Fahrerlosen Transportsysteme der Bedarf oder der Sinn eines Einsatzes dieser Systeme für die verschiedenen Bereiche aus technischer Sicht erhoben werden. Demnach werden in dieser Diplomarbeit folgende Forschungsfragen behandelt:

- Was sind die Anforderungen an ein Fahrerloses Transportsystem in verschiedenen Bereichen der Logistik?
- In welchen Bereichen/Branchen der Industrie besteht aus technischer Sicht Potential für den Einsatz von Fahrerlosen Transportsystemen?

³ Vgl. Ullrich (2011), S. 1ff

2 Stand der Technik und Entwicklung

In diesem Kapitel werden die Varianten der innerbetrieblichen Transportmittel beschrieben. Im Anschluss werden die Einsatzbereiche solcher Fördermittel in der Industrie sowie deren spezielle Leistungsanforderungen und Aufgaben behandelt. Danach werden Lösungen zur Navigation und kurz die Pfadplanung erklärt.

2.1 Fördermittel

Die Aufgabe von Logistikketten besteht darin, Materialflüsse und Materialbereitstellungen in den unternehmensinternen Logistikprozessen sicherzustellen. Logistiksysteme werden schematisch oft als Netzwerke dargestellt. Knoten bilden dabei die elementaren materialflusstechnischen Funktionen (Be- und Entladen, Sammeln, Verteilen, Puffern, Lagern, ...) und bei Bedarf auch produktionstechnische Funktionen. Verbunden werden diese Knoten durch Kanten oder Verbindungslinien, welche die innerbetrieblichen Transportprozesse (zwischen betrieblichen Bereichen, zwischen Arbeitsplätzen, ...) zeigen. Diesen Transportprozessen werden geeignete Fördermittel zugeteilt, die vom jeweiligen Fördergut, den Materialfluss- und Umgebungsbedingungen (Förderweg, -zeit, und -kosten) und den wirtschaftlichen Aspekten bestimmt werden. Für Produktion und Distribution werden je nach Branche unterschiedliche Logistikkonzepte eingesetzt. Diese Unterschiede betreffen in erster Linie den physischen Materialfluss und die Materialbereitstellung, aber auch den Datenfluss und die Datenbereitstellung. In der Produktion versucht man alle Lagervorgänge zu entfernen. Notfalls können Synchronisationspuffer mit minimaler Kapazität gehalten werden. Dagegen ist die Bedeutung des Lagers in der Distribution weitaus höher. Anstatt dabei auf einzelne Glieder der Logistikkette abzielen, betrachtet das SCM die gesamte Integration der Elemente der Wertschöpfungskette sowie die Optimierung aller Glieder. Diese Optimierung der gesamten Logistikkette verlangt unter anderem die Abstimmung der Produktions-, Transport- und Lagermengen. Außerdem werden oft IuK- und durchgehende Transportsysteme in den Unternehmensablauf adaptiert. Die Ziele eines verbesserten Materialflusses sind vor allem eine Verkürzung der Durchlaufzeit, Verminderung des Ausschusses, Verbesserung der Arbeitsbedingungen, Senkung der Kosten und Reduzierung von Energie- und Umweltbelastungen. Die Hauptaufgabe eines unternehmensinternen Logistiksystems in Produktion und Distribution besteht in der Ver- und Entsorgung der Produktionsplätze zwischen dem Warenein- und -ausgang. Traditionell werden dabei Förderhilfsmittel wie z.B. Paletten, Klein-

teilebehälter oder Boxen mit üblichen Fördermitteln wie etwa einem Kran oder einem Stapler bewegt. Eine kontinuierliche, takt- oder chargengebundene Arbeitsweise mit Einbeziehung der im Wareneingang ankommenden und den zu bereitstellenden Gütern beim Wareneingang führt zum Auf- oder Abbau der innerbetrieblichen Bestände. Die Aufnahme, Verwaltung und den Zugriff auf diese Bestände in der gewünschten Zeit übernimmt das innerbetriebliche Logistiksystem. Zu den Standardaufgaben gehören somit Sortier- und Kommissionierprozesse. Die dafür benötigten Anlagen sind meist kostenintensiv und nur bei hohem Durchsatz und langer Einsatzzeit wirtschaftlich. Bei hochflexiblen Gütern wie z.B. in der Produktion sind diese Anlagen nicht anwendbar. Die charakteristischen Merkmale solcher Prozesse sind u.a. höhere Flexibilität bei Produkt- und Produktionsänderungen, stärkere Einbindung in Informationssysteme und niedrigere Fixkosten. Ein hoher Grad an Vernetzung setzt die technische Beherrschung einer Vielzahl an Sammel- und Verteilelementen in den Materialflusssystemen voraus. Stark vernetzte Systeme enthalten oft auch mehrere Arten an Fördertechnik sowie Ladeeinheiten. Deshalb sind entsprechende technische Lösungen von Transportsystemen (siehe Abbildung 1) in diesen Bereichen anzusetzen.⁴

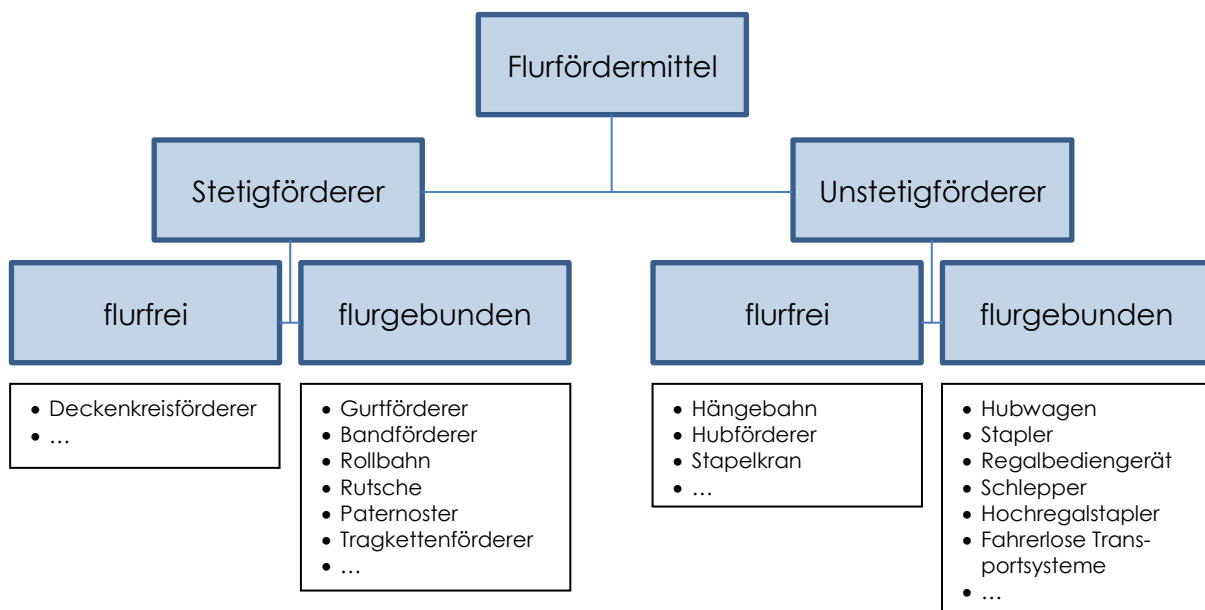


Abbildung 1: Einteilung der Fördermittel⁵

⁴ Vgl. Arnold et al. (2004), S. A1-19ff

⁵ Quelle: Jünemann (1989), S. 149ff

Stetigförderer

Stetigförderer erzeugen einen kontinuierlichen oder getakteten Fördergutstrom, welcher sich allgemein linienförmig waagrecht, geneigt oder senkrecht fortbewegt. Sie sind relativ einfach aufgebaut, besitzen eine hohe Betriebssicherheit, einen niedrigen Betriebsaufwand und können sehr große Mengen befördern (Massenfertigung, Paketverteilung). Dadurch stellen sie für viele Fälle eine geeignete Förderlösung dar, weshalb sie in allen Bereichen der Industrie, Handel und Verwaltung eingesetzt werden. Unterschieden werden flurfreie (abgehängte Schiene von der Decke) und flurbundene Stetigförderer (Förderstrecke im oder über dem Boden). Bei entsprechend hoher Auslastung ergeben sich durch das günstige Eigengewicht-Nutzlast-Verhältnis ein geringer Energiebedarf und in weiterer Folge niedrige Betriebskosten. Sie sind aufgrund ihrer einfachen und definierten Abläufe mit relativ geringem Einsatz automatisierbar, weshalb sie oft auch in die technologischen Prozesse der Produktion eingebunden werden (Lackieren, Trocknen, Kühlen, ...). Hierdurch werden neben einer verbesserten Prozessqualität auch geringere Herstellkosten erreicht, da zeit- und kostenaufwendige Zusatzprozesse (Transport, Umschlag, ...) vermieden werden können. In stetige Förderanlagen können durch geringe Änderungen an der Förder-technik Pufferzonen eingerichtet werden. Dies geschieht z.B. durch antriebslose Teilstücke, die durch den Einsatz von Stauförderern erreicht werden. Oft ist es nötig, das Fördergut aus seiner Hauptbewegungsrichtung (aktive Bewegung) abzugeben. Zu dieser sogenannten Querabgabe werden zusätzliche Umschlagmittel eingesetzt. Diese Aufgabe können z.B. in Abbildung 2 gezeigter Pusher oder Kettenförderer übernehmen. Entnommen werden die Förderhilfsmittel entweder manuell oder bei schweren Gütern oder hohem Automationsgrad durch die Anbindung weiterer Fördertechnik (z.B.: Rollenförderer und Tragkettenförderer). Der große Nachteil der Stetigförderer ist ihre ortsfeste Bauweise und die damit einhergehende fehlende Flexibilität bei Layout- oder Materialflussänderungen. Hier helfen nur aufwendige Baumaßnahmen im Bereich der Bauwerke oder der Anlage selbst (Stahlbau, Steuerungshardware und -software). Außerdem stellen Stetigförderer oft eine Behinderung für Personen, Arbeitsmittel und andere Flurfördermittel dar. Weitere Probleme können z.B. bei Brandschutzmaßnahmen in getrennten Bereichen auftreten, wenn der Über-

gang dieser Abschnitte baulich getrennt werden muss. Solche Funktionen lassen sich nur durch spezielle Sonderlösungen realisieren.⁶

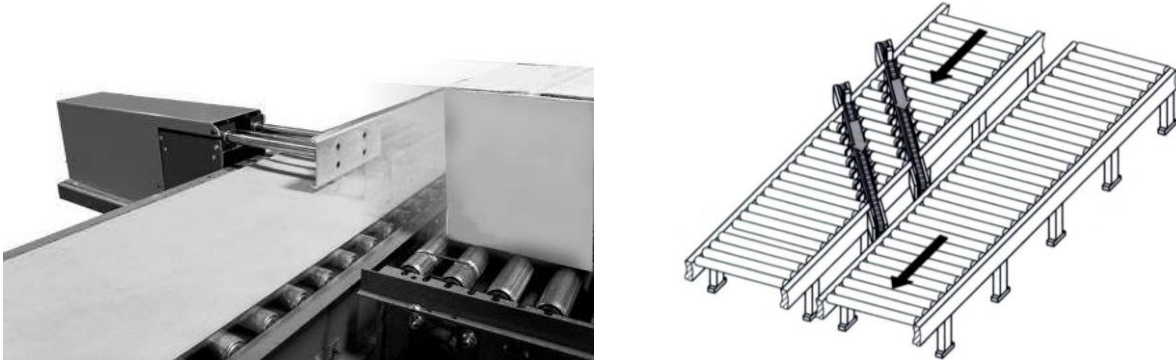


Abbildung 2: Pusher und Kettentransfer⁷

Stetigförderer können in verschiedenen Lösungen realisiert werden, wie z.B.:⁸

- Gurtförderer
- Kettenförderer
- Rollenbahnen
- Rutschen
- Becherwerke

Unstetigförderer

Die Charakteristik der Unstetigförderer liegt in der diskontinuierlichen Beförderung der Waren. Aus unterschiedlichen Spielzeiten für Last- und Leerfahrten sowie für Lade- und Entladedauer setzen sich die einzelnen Arbeitsspiele des Förderprozesses zusammen. Werden das Fördermittel und das Lastaufnahmemittel entsprechend dimensioniert können nahezu beliebige Förderaufgaben durchgeführt werden, weshalb sich unstetige Fördermittel durch eine hohe Anpassungsfähigkeit auszeichnen. Auch große Transportmengen können durch den Einsatz von ausreichend vielen Fördermitteln bei Bildung großer Lademengen bewältigt werden. Dagegen ist das Eigengewicht-Nutzlast-Verhältnis ungünstiger als das der Stetigförderer ($\gg 1$). Unterschieden werden hier Hebezeuge und Flurförderzeuge. Unstetigförderer können auf größeren Flächen genutzt werden als Stetigförderer, da diese nicht ortsfest installiert, sondern meist geführt (gleis- oder spurgeführt) oder frei verfahrbar sind (Flurförder-

⁶ Vgl. Jünemann et al. (2000), S. 95f

⁷ Quelle: directindustry (2013); Jünemann et al. (2000), S. 100

⁸ Vgl. Schlütermann (2010), S. 28

zeuge). Sie können sich somit frei in ihrem Wirkungsbereich bewegen. Die Lastauf- und -abnahme kann entweder aktiv (z.B.: Stapler) oder durch zusätzliche Arbeitsmittel (z.B.: Schlepper) durchgeführt werden.⁹ Einige Ausführungen von Unstetigförderern sind folgend aufgelistet:¹⁰

- Hebezeuge
 - Brückenkrane
 - Portalkrane
- Regalförderzeuge
 - Regalbediengerät
 - Regalstapelgerät
- Aufzüge
 - Lastenaufzüge
- Flurförderfahrzeuge

Flurförderzeuge

Dadurch, dass sie in der Lage sind eine Vielzahl an Quellen und Senken (m:n-Verbindungen) anzusteuern, weisen sie auch eine weitaus größere Flexibilität bei Materialfluss- und Layoutänderungen auf. Der große Vorteil ist die fast uneingeschränkte Skalierbarkeit der eingesetzten Mittel, um die Anzahl der benötigten Geräte genau an den momentanen Transportbedarf anzupassen. Dies bringt aber wieder einen höheren Aufwand für die dispositive Steuerung mit sich (Transportaufträge werden einzelnen Einheiten zugewiesen). Die unstetige Förderung ermöglicht durch die Kapazitätenverteilung eine weitaus größere Systemverfügbarkeit. Dies ermöglicht nicht nur die Überbrückung von Teilausfällen, sondern auch bei der Entnahme einzelner Geräte zu Wartungs- oder Reparaturarbeiten kann die Funktionalität des Systems (teils mit geringerer Leistung) aufrechterhalten bleiben. Für eine ähnliche Gewährleistung der Verfügbarkeit der Stetigförderer würde bei redundanter Bauweise der Aufwand ungleich höher sein. Auch wenn Flurförderzeuge durch ihre Beweglichkeit ein weitaus geringeres Problem für andere Fördermittel und Personen darstellen, so ist die Gefahr einer Kollision dennoch allgegenwärtig. Dem ist durch gezielte Schulun-

⁹ Vgl. Jünemann et al. (2000), S. 118f

¹⁰ Vgl. Schlütermann (2010), S. 30ff

gen, Markierungen, Beschilderungen oder beim Einsatz automatischer Systeme durch fahrzeugbezogene Sensorik entgegenzuwirken. Die oft relativ hohen Investitions- und Betriebskosten ergeben sich durch den hohen steuerungstechnischen Aufwand, da jedem Element eine Person oder eine Steuerungseinheit zugeteilt werden muss.¹¹ Flurförderzeuge können in folgende Gruppen unterteilt werden:¹²

- gleislose Fahrzeuge z.B.:
 - Hubwagen
 - Stapler
- gleisgebundene Fahrzeuge z.B.:
 - Plattformwagen
 - Lokomobile
- spurgeführte oder frei navigierende Fahrzeuge (fahrerlose Transportsysteme)

Fahrerlose Transportsysteme (FTS)

„Fahrerlose Transportsysteme sind innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch geführten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist.“¹³ Dabei wird das Fördergut durch ein aktives oder passives Lastaufnahmemittel aufgenommen und von einer Quelle zu einer Senke befördert.¹⁴ Ein FTS besteht im Wesentlichen aus:¹⁵

- einer Leitsteuerung und Kommunikationseinrichtung
- den Fahrerlosen Transportfahrzeugen
- einem Navigationssystem
- der Infrastruktur und den peripheren Einrichtungen (z.B.: Tore, Übergabepunkte)
- Lastaufnahme- und Ladestationen
- Warn- und Navigationseinrichtungen

In den USA und in England wurden in den 1950er Jahren die ersten FTS als Schlepper eingesetzt. Zur Navigation dienten damals auf den Boden geklebte Leitbänder, die

¹¹ Vgl. Jünemann et al. (2000), S. 118f

¹² Vgl. Schlütermann (2010), S. 38ff

¹³ Vgl. VDI-Richtlinie 2510

¹⁴ Vgl. Müller (2011), S. 162

¹⁵ Vgl. Günthner et al. (2012), S. 14

optisch abgetastet wurden. In den 60er Jahren entwickelten sich durch die verschiedensten Anforderungen der Kunden auch unterschiedlichste Formen der Navigations- und Steuerungstechnik. Zu den klassischen Anwendungsbereichen der FTS zählen u.a. der innerbetriebliche Transport in Distributionsbetrieben, die Materialbereitstellung zwischen Fertigungsbereichen oder auch der Einsatz in Krankenhäusern zur Ver- und Entsorgung verschiedener Stationen.

Technologie der Fahrerlosen Transportsysteme

Die Technologie der FTS wird in drei grobe Bereiche unterteilt. Einerseits existiert die eigentliche Fahrzeugtechnik mit dem Fahrzeugaufbau, der Antriebstechnik, der Energieversorgung, der Sicherheitstechnik und dem Lastaufnahmemittel. Ein weiterer Baustein ist die Navigationstechnik, mit der sich das Fahrzeug durch das Layout navigiert und seine Position bestimmt. Weiter ist noch die Steuerungstechnik, die Einordnung in die übergeordnete Steuerungstopologie und die Datenübertragung zwischen dem FTF und dem Hauptrechner zu erwähnen. Großen Einfluss auf die Auslegung der Fahrzeugtechnik hat der Einsatzbereich der FTF. Dabei sind vor allem die Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. So ist ein FTF für einen Außeneinsatz oder in rauen Produktionshallen anders auszustatten, als ein FTF, welches in sterilen Krankenhäusern eingesetzt wird. Weiteren Einfluss auf die Auslegung der FTF haben die zu befördernden Güter, aber auch die Art der Lastaufnahme (aktiv: z.B. Rollenförderer, passiv: z.B. „Huckepack-FTF“). Für die Bestimmung der richtigen FTF-Anzahl fließen die Einsatzdauer und die Durchsatzleistung als wichtige Kennzahlen mit ein. Genau betrachtet werden hier Betriebszeiten, Schichtmodelle, Pausenzeiten sowie die nach der Transportmatrix zu berücksichtigende Durchsatzleistung. Ein weiterer wichtiger Wert für die Berechnung der Fahrzeugmenge ist die maximal zu erwartende Spitzenlast im Einsatz. Das Gebäudelayout muss bei der Wahl der FTF-Technik berücksichtigt werden. Hier sind die vorhandenen Fahrwege, aber auch bauliche Restriktionen wie Gebäudestützen oder schmale Fahrwegbreiten, genauso wie die Anzahl der Lastwechselstationen im Einsatzbereich zu beachten. Der FTF-Einsatz kann unter gewissen Voraussetzungen auch als hallen- oder stockwerksübergreifender Verkehr gestaltet werden. Ein weiteres technisches Merkmal der FTF ist die Art des Antriebs und der Energieversorgung. Innerhalb von Gebäuden werden meist FTF mit Elektromotoren verwendet. Hier stellt sich die Frage, ob die Energieversorgung durch einen mitgeführten Akku oder berührungslos durch im Boden eingelassene Leiterbahnen erfolgen soll. Bei der Lenkung werden linien- und flächenbewegliche Fahr-

zeuge unterschieden. Linienbewegliche ermöglichen größere Radien bei Kurvenfahrten während sich flächenbewegliche Fahrzeuge am Stand drehen lassen. Das Lenksystem selbst kann entweder durch eine Differentiallenkung ausgeführt werden, bei der sich die angetriebenen Räder mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten drehen, durch einen geometrischen Lenkeinschlag oder durch den Einsatz sogenannter Omniwheels (siehe Abbildung 3).

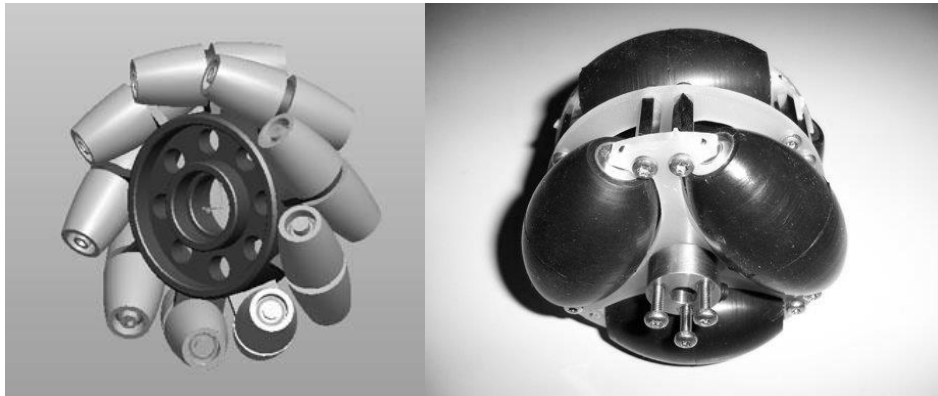


Abbildung 3: mögliche Arten von Omniwheels¹⁶

Als zweiter Punkt wird die eingebaute Sicherheitstechnik beschrieben. Sie sorgt für den Schutz von Personen oder Sacheinrichtungen. Hier gibt es entweder die Möglichkeit einer berührenden Erkennung (z.B. Bügel oder Schaumstoff-Bumper) oder eines berührungslosen Systems (z.B. Laser- oder Ultraschallsensoren). Entsprechend dem Stand der Technik werden aktuell beinahe nur noch berührungslose Sicherheitsvorrichtungen verwendet. Die Sicherheitstechnik umfasst neben der Erkennung von Hindernissen auch die selbsttätig wirkende Bremstechnik, sowie optische und akustische Signaleinrichtungen (z.B. bei der Rückwärtsfahrt) und einfach zugängliche NOT-AUS-Taster. Ein weiterer Baustein der Fahrzeugtechnik ist die eingesetzte Navigations-technik. Sie stellt durch geeignete Fahrzeugrechner, Software und am Fahrzeug selbst angebrachter Sensorik den autonomen Betrieb sowie die selbständige Positions- und Fahrtrichtungsbestimmung sicher. Die Navigationstechnik wird dabei in Verfahren mit physischer und virtueller Leitlinie sowie einer konturenorientierten Führung unterschieden. Eine *physische* Leitlinie ist eine auf oder im Boden angebrachte Führung. Solche Ausführungen sind zwar relativ kostengünstig, in ihrer Flexibilität jedoch sehr begrenzt. Charakteristische Verfahren sind z.B. die induktive oder optische Spurführung. Die induktive Variante führt das Fahrzeug über einen im Boden eingelassenen Leitdraht, der auch zur berührungslosen Energieübertragung dienen kann. Dieses Verfahren wird häufig bei einfachen Kursen verwendet. Die optische Spurführung ist

¹⁶ Quelle: Nexusrobot (2013); Alpenheli (2012)

ein einfaches und bewährtes Verfahren, wobei das Fahrzeug mit Hilfe geeigneter Sensorik (Kamera) am Boden angebrachte optische Leitlinien erkennt. Voraussetzung für die Funktion ist, dass die Leitlinien gegen Abrieb (Staplerverkehr) und Verschmutzung geschützt sind. Außerdem muss die Bodenbeschaffenheit ein einwandfreies Erkennen der Linien zulassen.

Um eine höhere Flexibilität zu erreichen wird die physische Leitlinie durch eine *virtuelle* Leitlinie ersetzt. Eine Möglichkeit der virtuellen Leitlinie ist die Rasternavigation. Dabei wird anstatt einer möglichen Fahrstrecke ein Rasterfeld aufgebaut, in dem sich neue Fahrkurse bilden können. Somit können in einem bestimmten Bereich auch während des Betriebes schnell alternative Routen berechnet werden. Dieses Raster kann durch im Boden eingelassene Transponder oder auch durch am Boden angebrachte optische Farbkontraste realisiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Navigation mittels im Boden eingelassenen Micro-Magneten, welche von einer Sensorleiste am Fahrzeugboden ertastet werden. Die Magnetpunktnavigation lässt eine Spurführung ohne aufwendige Bodeninstallationen zu, weshalb dieses Verfahren vor allem im Outdoor-Bereich verwendet wird. Eine dritte Möglichkeit zur Navigation der FTF ist die berührungslose Konturenabtastung mit einem Laserscanner. Nebenbei positioniert sich das Fahrzeug durch spezielle Objekte in der Umgebung (z.B. Reflektoren) in bestimmten Abständen selbst. Der am Fahrzeug angebrachte rotierende Laserscanner tastet die als Referenzmarken an Wänden, Säulen, Stützen, usw. angebrachten Reflektormarken ab und wird so durch das Layout gesteuert. Werden mindestens drei dieser Marken zurückreflektiert kann das FTF seine Positionsangaben überprüfen und korrigieren. Die großen Vorteile dieser Technologie sind die aufgrund der ständigen Positionierung hohe Fahrgenauigkeit und die flexible Kursänderung. Eine moderne Weiterentwicklung dieser Methode ist die Navigation auf Basis natürlicher Konturen. Der Laserscanner tastet dabei die gesamte Umgebung ab und navigiert auch ohne spezielle reflektierende Markierungen sicher durch den Einsatzbereich. Als letztes Verfahren ist die Funkpeilung zu nennen. Sie basiert auf der GPS-Funktion, weshalb sie hauptsächlich im Freien und bei großen Positionierungstoleranzen eingesetzt wird. Der letzte Baustein im Bereich der Fahrzeugtechnik ist die Steuerungstechnik. Bei der Steuerung werden eine administrative Ebene (Leitsteuerung) und eine operative Ebene (Fahrzeugsteuerung) unterschieden. Die Leitsteuerung ist die direkte Verbindung zur übergeordneten Steuerungsstruktur und regelt den Datenaustausch mit dem HOST. Weiter übernimmt die Leitsteuerung die Fahrzeugdispo-

sition (Zuweisung der Transportaufträge zu den Fahrzeugen) sowie die Servicefunktionen (z.B. Statistik, Diagnose oder Simulation). Zusätzlich benötigt man bei mehreren Fahrzeugen eine Verkehrsleitsteuerung, die Blockaden unter den FTF verhindern soll. Lenkung, Antrieb, Lastaufnahmemittel, Energieaufnahme sowie Orientierungs- und Sicherheitssensorik werden hingegen von der Fahrzeugsteuerung überwacht. Der Datenaustausch zwischen der Leit- und der Fahrzeugsteuerung erfolgt in den meisten Fällen mittels Funkübertragung, kann in Ausnahmefällen aber auch induktiv oder per Infrarot stattfinden. Als Steuerungshardware wird bei einfachen Anforderungen eine SPS-Lösung und bei komplexen Anwendungsfällen eine PC-Lösung eingesetzt.

Vorteile der Fahrerlosen Transportsysteme

Zwei der wichtigsten Wertschöpfungs- und somit auch Kostenreduktionspotentiale stellen der Warentransport und die Montage dar. Hier können durch den Einsatz von FTS enorme Kostensenkungen ermöglicht werden. Das Hauptaugenmerk für den Einsatz vom FTS liegt im innerbetrieblichen Materialfluss für das Transportieren von Gütern. In diesem Bereich wird in vielen Unternehmen aber wegen seiner vielseitigen Anwendbarkeit auf den konventionellen Gabelstapler zurückgegriffen. In gewissen Anwendungsfällen steht das FTS auch in direkter Konkurrenz zu anderen automatisierten Lösungen (z.B. Behälterfördertechnik).¹⁷ Im Vergleich mit herkömmlichen Gabelstaplern bieten FTS aber einige grundlegende Vorteile:¹⁸

- „staplerfreie Fabrik“: Ein verringerter Staplerverkehr bringt nicht nur eine bessere Arbeitsumgebung durch leise, saubere und sichere Transportvorgänge mit sich, sondern auch weniger Unfälle und Transportschäden.
- Reduktion der Personalkosten: Ein Laden der Akkus auch während des Betriebes ermöglicht einen 24 Stunden Betrieb an 7 Tagen die Woche. Somit amortisieren sich FTS-Anlagen speziell im Mehrschichtbetrieb schon nach wenigen Jahren.
- hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit: Nach erfolgreicher Inbetriebnahme und einer gewissen Einarbeitungszeit erreichen FTS-Anlagen eine Verfügbarkeit von über 98%. Eine hohe Zuverlässigkeit sichert niedrige Durchlaufzeiten wodurch auch die Bestände reduziert werden können.
- Störbehandlung und Notbetrieb: Tritt bei einem der Fahrzeuge eine Störung auf, kann dieses aus dem Prozess entnommen werden und die weiteren Transportauf-

¹⁷ Vgl. Müller (2011), S. 162ff

¹⁸ Vgl. Müller (2011), S. 165

träge werden direkt von einem anderen Fahrzeug übernommen. So kann das System (mit verringertem Durchsatz) weiterlaufen, bis das Problem behoben ist. Sollte ein Fehler in der Leitsteuerung auftreten, kann mit Hilfe von manuellen Transportfahrzeugen der Notbetrieb aufrechterhalten bleiben, da keine störende fix installierte Fördertechnik vorhanden ist.

- Transparenz der innerbetrieblichen Prozesse: Die automatisierten Abläufe sichern einen organisierten Materialfluss. Dem Personal ist es außerdem möglich, durch eine Anlagensvisualisierung alle Transportbewegungen und weitere Statistiken abzurufen (z.B. Auslastung, Durchsatz, Durchlaufzeit oder Störungen).
- Energieversorgung: Eine automatische und zyklische Akkuladung (bei Betriebsstillstand oder während des Prozesses) ermöglicht einen durchgehenden Betrieb des FTS.

Insbesondere ihre Flexibilität verschafft den FTS einen Vorteil gegenüber herkömmlicher Fördertechnik. Einerseits ermöglicht die Layoutflexibilität eine einfache Änderung des Layouts oder der Fahrwege. Die geschieht ohne großen Aufwand während des Betriebs durch Ändern der Referenzmarken oder durch Eingabe in der FTS-Software. Andererseits kann ein FTS-System bis zu einem gewissen Bereich beliebig erweitert werden. Ein geänderter Durchsatz kann einfach durch eine skalierte Anpassung durch Hinzufügen oder Entfernen von Fahrzeugen bewältigt werden. Somit ergeben sich weitere Vorteile der FTS gegenüber traditioneller Fördertechnik:¹⁹

- geringer Flächenbedarf: Da keine Schienen, Tragekonstruktionen o.ä. errichtet werden müssen, können die vom FTS genutzten Fahrwege auch von manuell gesteuerten Staplern befahren oder von Personen betreten werden. Der Entfall von fixen Einbauten verringert auch das Risiko von „Stolperfallen“ und die Böden können einfach gereinigt werden.
- große Reichweite: Werden die Bereiche einmal in das System eingespielt, können die FTF sehr weitläufige Bereiche erreichen (z.B. kammförmig angeordnete Verpackungslinien)
- baulicher Aufwand: Wie bereits beschrieben werden meist keine zusätzlichen Elemente verbaut. Ist die Bodenbeschaffenheit ausreichend, können vorhandene Wege für das FTS verwendet werden.

¹⁹ Vgl. Ullrich (2011), S. 29f

- Verkehrsflächen: Kreuzungen, Einbahnen uvm. können durch Vorfahrts- oder Prioritätenregeln einfach realisiert werden.
- Integrationsfähigkeit: Tore, Aufzüge, Ampeln, verbindende Fördertechnik usw. können über geeignete Schnittstellen an das System angebunden werden.
- variable Einsatzmöglichkeiten: Ein hallenübergreifender Verkehr ist genauso zu bewerkstelligen, wie der Transport über verschiedene Stockwerke hinweg.

Nachteile der Fahrerlosen Transportsysteme

Wie bei allen technischen Lösungen gibt es neben zahlreichen Vorteilen der FTS natürlich auch gewisse Nachteile bzw. Anforderungen, bei denen alternative Transportmöglichkeiten einzusetzen sind:²⁰

- Wegstrecke: Bei kurzen Fahrkurslängen verschlechtert sich das Verhältnis der Fahrzeit zur Manipulationszeit (Lastauf- und -abnahme), da die exakte Positionierung beim Andocken an eine Lastauf- oder -abnahmestation sehr zeitaufwendig ist.
- Durchsatzvolumen: Bei hohen Durchsätzen und häufigen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen sind Stetigförderer dem FTS vorzuziehen.
- Puffermöglichkeit: Im Gegensatz zu Stetigförderern bieten FTF keine Pufferzone, außer dem Platz am LAM selbst. Eine Pufferung ist somit nur durch Einbringen weiterer Fahrzeuge möglich, was enorme Kosten verursachen würde.
- inkompatible Steuerungssysteme: Die Steuerungssysteme verschiedener Hersteller sind möglicherweise nicht kompatibel. Somit lassen sich Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller nicht oder nur mit hohem Aufwand kombinieren. Dadurch entsteht eine gewisse Abhängigkeit zu den Herstellern.

Stand der Technik

Die stetige Weiterentwicklung von leistungsfähigeren Rechnern ermöglicht den Einsatz moderner Navigationstechniken. Induktive Leitlinien können zur berührungslosen Energieübertragung genutzt werden, GPS-Systeme werden im Outdoorbereich gefördert und einer Vielzahl der FTS-Neurealisierungen liegt bereits die leitlinienfreie Spurführung zugrunde. Werden im Moment noch vermehrt FTS mit Reflektormarken eingesetzt, sind Systeme, bei denen die Navigation auf dem Erkennen natürlicher Konturen mittels Laserscannern (echte Konturen) oder Ultraschallsensoren basiert

²⁰ Vgl. Ullrich (2011), S. 86ff; Berechnung: Firma Knapp Systemintegration

(reine Überprüfung, ob sich etwas im Messbereich befindet) noch größtenteils im Prototypenstatus.²¹

2.2 Einsatzgebiete in der Logistik

Im Rahmen dieser Arbeit werden die drei Bereiche Lagerlogistik (in Bezug auf 3PL), Produktionslogistik und Dienstleistungslogistik – z.B. im Gesundheitswesen – behandelt. In diesem Kapitel werden diese Sparten der Logistik vorgestellt.

Intralogistik (Lagerlogistik)

Die Intralogistik beschäftigt sich mit den innerbetrieblichen Logistikprozessen, insbesondere mit der Lagerlogistik. Unter Lagern versteht man nach VDI-Richtlinie 2411 das geplante Liegen von Arbeitsmitteln im Materialfluss. Ein Lager ist ein Raum oder eine Fläche, in dem Waren (Rohstoffe, Zwischenprodukte, Fertigprodukte) als Stück und/oder Schüttgut aufbewahrt werden und mengen- oder wertmäßig erfasst sind.²² Lager werden dort eingesetzt, wo der Wareneingang und –ausgang nicht synchronisiert werden kann und dienen so zur Zeitüberbrückung für ankommende und abgehende Güter.²³ Zusätzlich fallen neben den Lagerhaltungs- auch Kapitalbindungskosten an, sowie Dispositions- und Organisationsaufwand. Deshalb sollte darauf geachtet werden, die Lagerhaltung über die gesamte Logistikkette so gering wie möglich zu halten. Dies ist jedoch immer unter dem Aspekt zu betrachten, dass ein Lager ein Kompromiss zwischen den aufzuwendenden Kosten und der Lieferbereitschaft sein sollte.²⁴ Neben Lagern, in denen die Güter zur Zeitüberbrückung gelagert werden gibt es noch die Kommissionierlager. Hier werden auf Basis von Auftragsinformationen Teile und Artikel nur kurz gelagert und zu Mengen zusammengefasst oder aufgelöst. Durch den Kommissioniervorgang verlassen die Waren dieses Lager nicht mehr in dem Zustand, in dem sie eingelagert wurden.²⁵

²¹ Vgl. INDUSTRIEanzeiger (2013)

²² Vgl. Hompel et al. (2007), S. 49

²³ Vgl. Schulte (1999), S. 226

²⁴ Vgl. Schulte (2005), S. 467

²⁵ Vgl. Pfohl (2010), S. 118f

Die Einteilung eines Lagers aus technischer Sicht erfolgt aus mehreren Gesichtspunkten:²⁶

- Lagerbauweise
 - offene Lagerflächen
 - feste Gebäude
 - flach (<7 m)
 - hoch (>12 m)
- Lagermittel
 - Regale
 - Bodenlagerung
- Fördermittel
 - Stetigförderer
 - Unstetigförderer
- Lagerorganisation
 - Blocklagerung
 - Zeilenlagerung
- Lagerungsart
 - statische Lagerung
 - dynamische Lagerung

Um ein Lager, auch im Hinblick auf eine Automatisierung des Lagers, optimal zu nutzen, werden zur Leistungsermittlung diverse Kennzahlen herangezogen. Einige wichtige Kenngrößen sind folgend aufgelistet:²⁷

- Umschlagshäufigkeit
- Umschlagsdauer
- durchschnittlicher Lagerbestand
- Lagerreichweite

²⁶ Vgl. Bärmreuther (k.A), S. 5

²⁷ Vgl. Bärmreuther (k.A), S. 31, 38

- Artikelanzahl
- ABC-Artikelverteilung
- Lagerkapazität
- Wareneingänge/Tag
- Warenausgänge/Tag
- Kosten/Lagerbewegung

Produktionslogistik (Versorgungslogistik)

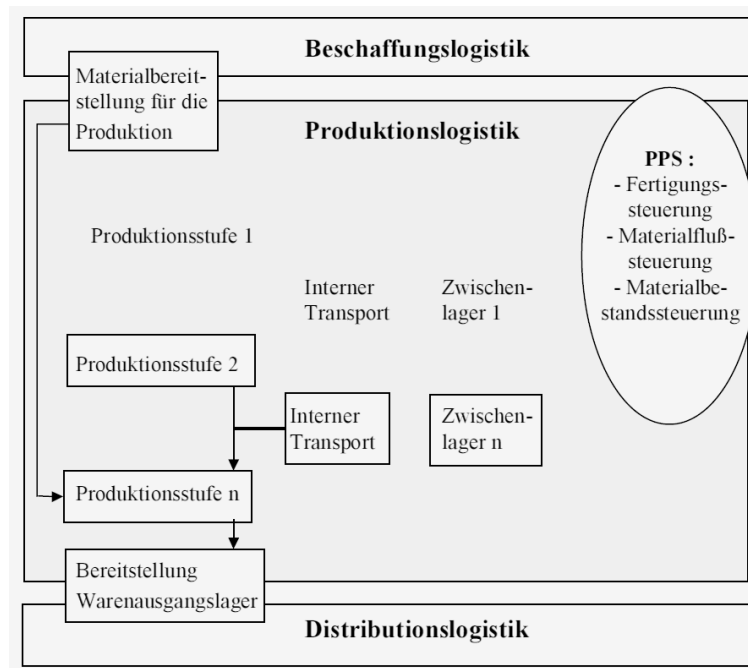
Die Produktionslogistik umfasst die Planung, Steuerung und Durchführung von Material- und Informationsflüssen innerhalb und zwischen den Funktionsbereichen eines Unternehmens. ²⁸ Hauptaufgabe ist der räumliche und zeitliche Übergang der Güter (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Halbfertigerzeugnisse und Kaufteile) zwischen den Produktionsstufen. Dazu zählen der Transport, die Lagerung, die Zwischenpufferung und der Umschlag der Objekte sowie die Abgabe der Halb- und Fertigerzeugnisse an das Absatzlager (siehe Abbildung 4). Sie enthält also alle Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit der Versorgung des Produktionsprozesses stehen. Als weiterer Bestandteil der Produktionslogistik gilt die Produktionsplanung und -steuerung (PPS). ²⁹ Sie plant und regelt den Waren- und Materialfluss zwischen den einzelnen Fertigungsbereichen. Die Produktionslogistik ist auf das Ziel einer auftrags- und produktgerechten sowie kostenminimalen Versorgung der Fertigung ausgelegt. Eine durchgehende Materialverfügbarkeit, kurze Durchlaufzeiten, eine konstante Auslastung der Kapazitäten als auch möglichst geringe Bestände gelten dabei als Grundvoraussetzung. Die Logistik in der Produktion ist aufgrund ihrer engen Beziehung zur Fertigung im Gegensatz zur Beschaffungs- und Distributionslogistik als Teil des Fertigungssystems zu sehen. ³⁰ Der Warentransport zwischen den einzelnen Arbeitsstationen kann sowohl manuell als auch automatisch durchgeführt werden. Der Trend zeigt aber immer mehr in die Richtung von autonomen Transportsystemen, welche die Versorgungsaufgaben übernehmen sollen.³¹

²⁸ Vgl. Krampe et al. (1993), S. 124

²⁹ Vgl. Vahrenkamp (1994), S. 68f u. 276ff

³⁰ Vgl. Pfohl (2010), S. 180ff

³¹ Vgl. Windt (2006), S. 1

Abbildung 4: Elemente der Produktionslogistik³²

Dienstleistungslogistik (z.B. Krankenhäuser oder Pflegeheime)

Die Dienstleistungslogistik setzt sich aus den beiden Tatbeständen der Dienstleistung und der Logistik zusammen. Dienstleistungen sind wie Sachgüter Wirtschaftsgüter, da sie die Eigenschaften besitzen, den Menschen einen Nutzen zu bieten und zugleich nicht in unendlicher Menge vorliegen. Meist werden Dienstleistungen den immateriellen Gütern zugeordnet (z.B.: Beratungsleistung). Sie können aber auch in Verbindung mit materiellen Produkten auftreten (z.B.: Reparatur eines Maschinenteils).³³ Folgend sind einige der grundsätzlichen Merkmale von Dienstleistungsgütern aufgelistet:³⁴

- substanzlose Güter
- immaterielle Güter, welche ein materielles Trägermedium benötigen (externer Faktor, z.B.: Patient oder bereitgestelltes Sachgut, z.B.: Fahrzeug)
- synchroner Kontakt zwischen eingesetztem Produktionsfaktor und Abnehmer (z.B.: Zufahrt wird gleichzeitig produziert und genutzt)
- Güter sind nicht auf Vorrat produzierbar (permanente Produktionsnotwendigkeit)
- Probleme bei der Erfassung der Menge und der Qualität

³² Quelle: Laffert (2000), S. 46

³³ Vgl. Wannewetsch (2008), S. 126

³⁴ Vgl. Witte et al. (k.A.), S. 3; Kirn (2000), S. 13ff

- Qualität der Dienstleistung ist vom externen Faktor abhängig, da dieser nicht beeinflussbar ist (z.B. Kooperation des Patienten, Struktur der Haare beim Friseur), wie auch die Qualität vom Kunden individuell beurteilt wird
- können als Potenzial des Anbieters (z.B. Fachwissen), als Tätigkeit (z.B. Durchführen einer Reparatur) oder als Ergebnis (z.B. Heilung des Patienten) angesehen werden

Ein Unterschied bei der traditionellen Produktion von Dienstleistungen und Sachgütern ist der, dass Dienstleistungen erst dann erstellt werden, wenn bereits ein Absatz vorhanden ist. Außerdem muss wie bereits oben erwähnt ein externer Faktor diesen Absatz auslösen, indem er diese Dienstleistung an sich oder einem bereitgestellten Objekt durchführen lässt. Der Schritt der traditionellen Dienstleistung zur Dienstleistungslogistik ist die Umstellung auf eine produktionssynchrone Beschaffung, der Anwendung des Holprinzips sowie der Bestimmung der Tageslosgröße.³⁵

Aufgrund seiner Struktur können Krankenhäuser und somit die Krankenhauslogistik als Beispiel eines Dienstleistungslogistikunternehmens angesehen werden.³⁶ Die Hauptaufgabe der Krankenhäuser besteht im Allgemeinen darin, den Gesundheitszustand der Patienten zu verbessern. Darunter fällt somit die Bereitstellung aller benötigten Ressourcen (Medikamente, Personal, Information, ...) unter der Voraussetzung, die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens nachhaltig zu steigern.³⁷ In Anlehnung an die generellen Logistikprozesse kann man die Funktionen des Krankenhauses folgendermaßen einteilen. Die Leistungserbringung selbst, in Form von Diagnose, Therapie, Pflege und Versorgungsleistungen am externen Faktor Patient kann als Äquivalent zur Produktionslogistik aufgefasst werden.³⁸ Die Bereitstellung der Einsatzfaktoren zur Sicherstellung der Leistungserbringung fällt in den Bereich der Beschaffungslogistik. Da die Leistungserstellung meist direkt am Patienten und im Krankenhaus stattfindet (abgesehen von eventuellen Nachversorgungen), entfällt die Funktion der Distributionslogistik.³⁹ Den letzten Bereich stellt die Entsorgungslogistik dar, wobei neben ökologischen Aspekten auch ethische, ästhetische und gesundheitspolitische Belangen zu berücksichtigen sind.⁴⁰ Die in diesen Funktionen vorkommende Faktoren werden wie folgt eingeteilt:⁴¹

³⁵ Vgl. Witte et al. (k.A.), S. 6

³⁶ Vgl. Senger (2000), S. 13

³⁷ Vgl. LOGO-Team (2013)

³⁸ Vgl. Schmitz (1993), S. 26ff und 37

³⁹ Vgl. Brettel (1999), S. 766f

⁴⁰ Vgl. Seipp et al. (1997), S. 57

⁴¹ Vgl. Kirn (2000), S. 16f

- externer Faktor (Patient)
- Personal (Ärzte, Schwestern, Verwaltungs- und Hilfskräfte, ...)
- Infrastruktur (Gebäude, Geräte, ...)
- Information (Krankenkassen, benötigte Medikamente, ...)
- Material (Medikamente, Bettwäsche, Sterilgüter, ...)

Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit ist insbesondere der Gütertransport innerhalb der Unternehmen relevant. Diese teilen sich bezogen auf den zurückzulegenden Weg wie folgt auf. 32% der Transportmeter fallen auf die Speisen, 30% auf Wäsche, 16% auf Müll, 16% auf Lagerwaren und je 4% auf Steril- und Apothekengüter. Verschiedene Versorgungsstationen (Apotheke, Küche, Lagerraum, ...) stehen dabei einer Vielzahl an Zielorten gegenüber (m:n-Verbindungen). Um den Patienten eine optimale Versorgung zu gewährleisten und um das Unternehmen möglichst wirtschaftlich zu führen ist es notwendig, diese Transportaufgaben sowohl hoch zuverlässig, als auch hoch flexibel auszuführen.⁴²

2.3 Navigation

Wenn sich ein Fahrzeug fahrstreckengebunden in einer bekannten oder unbekanntenen Umgebung bewegt, ist es von zentraler Bedeutung, jederzeit genaue Informationen bezüglich seiner Position in der Umgebung zu erhalten. Zu den wichtigsten Funktionen eines FTS zählt somit das Navigationssystem. Die Aufgabe dieses Systems ist die Bestimmung der aktuellen Lage und Position des Fahrzeuges und in weiterer Folge die Erzeugung der Fahrbefehle, die zur Erreichung des momentan vorgegebenen Ziels notwendig sind. Die dabei verwendeten Sensoren sind meist sehr hochwertig und machen einen Großteil der Gesamtkosten der Fahrzeuge aus. Im Folgenden werden die wichtigsten Technologien zur fahrerlosen Navigation beschrieben.⁴³

Odometrie

Die Basis zur Positionsbestimmungen der Fahrerlosen Transportfahrzeuge bildet heutzutage meist die Odometrie. Dabei werden die zurückgelegte Strecke und damit auch die aktuelle Position des Fahrzeuges nach der Anzahl der Radumdrehungen berechnet. Die dafür verwendeten Sensoren sind vergleichsweise kostengünstig und werden durch gewisse äußere Einflüsse (wechselnde Lichtverhältnisse) nicht gestört.

⁴² Vgl. Heidenblut (1993), S. 15

⁴³ Vgl. Connette (2009), S. 434

Außerdem sind keine Kenntnisse der Umgebung sowie keine baulichen Veränderungen der Fahrstrecken notwendig. Dieses Verfahren ist allerdings nicht für langfristige Orientierungen heranzuziehen, da die Messung über die Dauer z.B. durch Schlupf der Räder immer ungenauer wird. Aus diesem Grund wird dieses Verfahren meist durch den Einsatz weiterer Navigationsverfahren (Leitlinien, Bodenmarken, Reflektormarken, ...) unterstützt.⁴⁴

Leitlinien

Die Navigation anhand von am oder im Boden befindlichen Leitlinien gehört zu den ersten und einfachsten Lösungen, ein Fahrzeug entlang einer Strecke zu bewegen. Dabei werden mechanische, physische und virtuelle Leitlinien unterschieden (mechanische Spurführung wird in diesem Fall vernachlässigt).⁴⁵

Navigation mit optischer Spurführung

Hierbei wird ein einfacher Strich auf den Boden aufgebracht (gemalt oder geklebt), an denen sich die Fahrzeuge orientieren (siehe Abbildung 5). Diese Art der Navigation ist preiswert und relativ schnell an Layoutänderungen anpassbar.⁴⁶ Zur besseren Erkennung z.B. mit einer Kamera und Bilderfassungssystemen, werden diese Linien von einer Kontrastfarbe seitlich begrenzt (z.B. schwarze Linie mit weißer Umrandung).⁴⁷ Anwendung findet diese Variante u.a. in Montageanlagen, wo Schlepper z.B. Anhänger durch die Produktionshallen ziehen oder für die Kommissionierung eingesetzt werden.⁴⁸

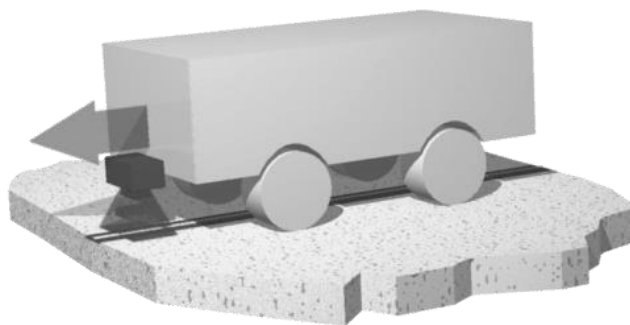


Abbildung 5: optische Spurführung⁴⁹

⁴⁴ Vgl. Connette (2009), S. 434

⁴⁵ Vgl. Ullrich (2008), S. 328

⁴⁶ Vgl. myIntralogistik (k.A.), S. 3

⁴⁷ Vgl. Idumont AG (2013)

⁴⁸ Vgl. Ullrich (2008), S. 328

⁴⁹ Quelle: Götting (2013)

Navigation mit induktiver Spurführung

Im Unterschied zur optischen Spurführung werden keine Linien auf den Boden aufgebracht, sondern ein stromdurchflossener Leitdraht im Boden verarbeitet (siehe Abbildung 6). Der Draht wird durch geeignete Sensoren erkannt und vom Fahrzeug verfolgt. Ein großer Vorteil dieser Technologie ist, dass das Fahrzeug seine elektrische Leistung über sogenannte Pick-ups vom Leitdraht beziehen kann.⁵⁰ Im Gegensatz zur optischen Spurführung hat diese Variante auch den Vorteil, dass sie gegen Verschmutzung (Öl, Reifenabrieb usw.) unempfindlich ist. Der Nachteil besteht allerdings darin, dass vor allem bei großen Wegstrecken der bauliche Aufwand enorm und die Flexibilität des Systems sehr gering ist.⁵¹

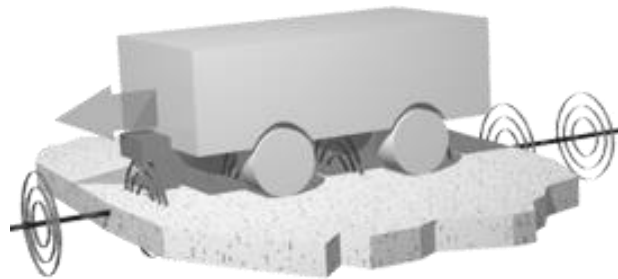


Abbildung 6: induktive Spurführung⁵²

Rasternavigation

Im Gegensatz zur physischen Leitlinie bei optischer und induktiver Leitlinie wird bei der Rasternavigation anhand einer virtuellen (diskontinuierlichen) Leitlinie navigiert. Gebildet wird dieses Raster entweder optisch durch aufmalen/aufkleben eines Schachbrettmusters (Farbkontraste, 2D-Code), oder durch Magnete oder Transponder, die im Boden angebracht sind. Dieses Verfahren ist günstiger als physische Leitlinien, kann aber nur bei entsprechender Bodenbeschaffenheit eingesetzt werden.⁵³ Die farblichen Übergänge, die Transponder oder die Magnete werden mit geeigneter Sensorik erfasst und das Fahrzeug von einem Rasterpunkt zum Nächsten über den Kurs geleitet. Somit lassen sich weit flexiblere Fahrkurse erstellen, da diese Raster über große Bereiche gestaltet werden können. Änderungen des Fahrkurses sind hier auch im laufenden Betrieb möglich.⁵⁴

⁵⁰ Vgl. Ullrich (2008), S. 328

⁵¹ Vgl. Müller (2011), S. 164

⁵² Quelle: Götting (2013)

⁵³ Vgl. Gleißner et al. (2009), S. 57

⁵⁴ Vgl. myIntralogistik (k.A.), S. 5

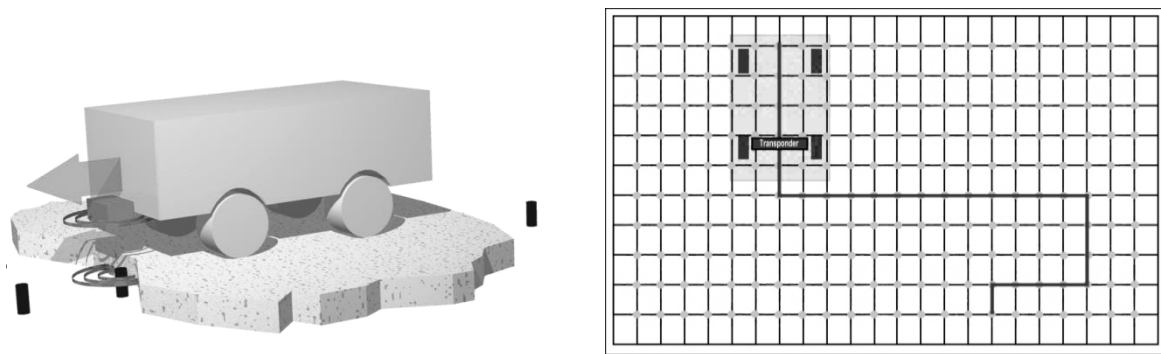


Abbildung 7: Spurführung über Bodenmarken und Rasterfeld ⁵⁵

Ultraschallsensoren

Vor allem für die Abtastung der unmittelbaren Umgebung werden häufig Ultraschallsensoren verwendet. Dabei gibt der Sensor ein Ultraschallsignal ab, welches von einem im Erfassungsbereich befindlichen Objekt reflektiert wird. Anhand der Dauer, die dieses Signal von der Abgabe bis zur Erfassung benötigt, kann auf die Entfernung zurückgerechnet werden. Da die Schalllaufzeit von verschiedenen Faktoren (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, ...) abhängig ist, wird weder ein Entfernungs- oder Zeitwert direkt zurückgeliefert, sondern ein Integerwert, aus dem Zeit und Entfernung ermittelt werden können. Bei konstanten Umweltbedingungen liefern große Entfernungen einen hohen Wert und kleine Entfernungen einen niedrigen Wert. Ultraschallwellen breiten sich von den Sensoren ausgehend kegelförmig aus (siehe Abbildung 8 und 9), weshalb nicht darauf geschlossen werden kann, wo oder was sich im Bereich befindet, sondern nur, dass etwas detektiert wurde.

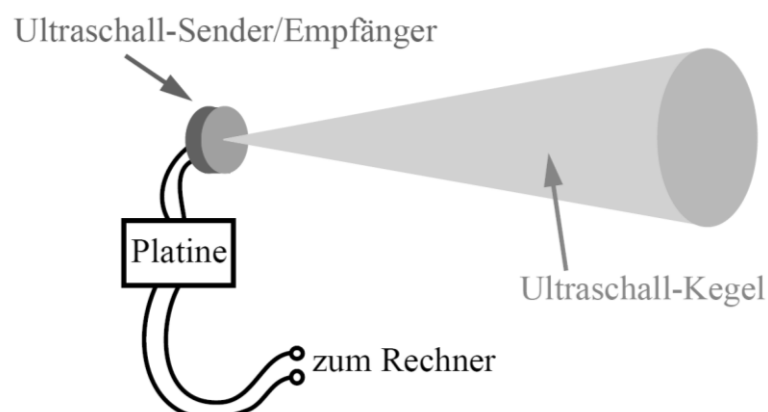


Abbildung 8: Funktionsaufbau eines Ultraschallsensors ⁵⁶

⁵⁵ Quelle: Götting (2013), myIntralogistik (k.A.), S. 5

⁵⁶ Quelle: Kalbacher (1996) S. 10

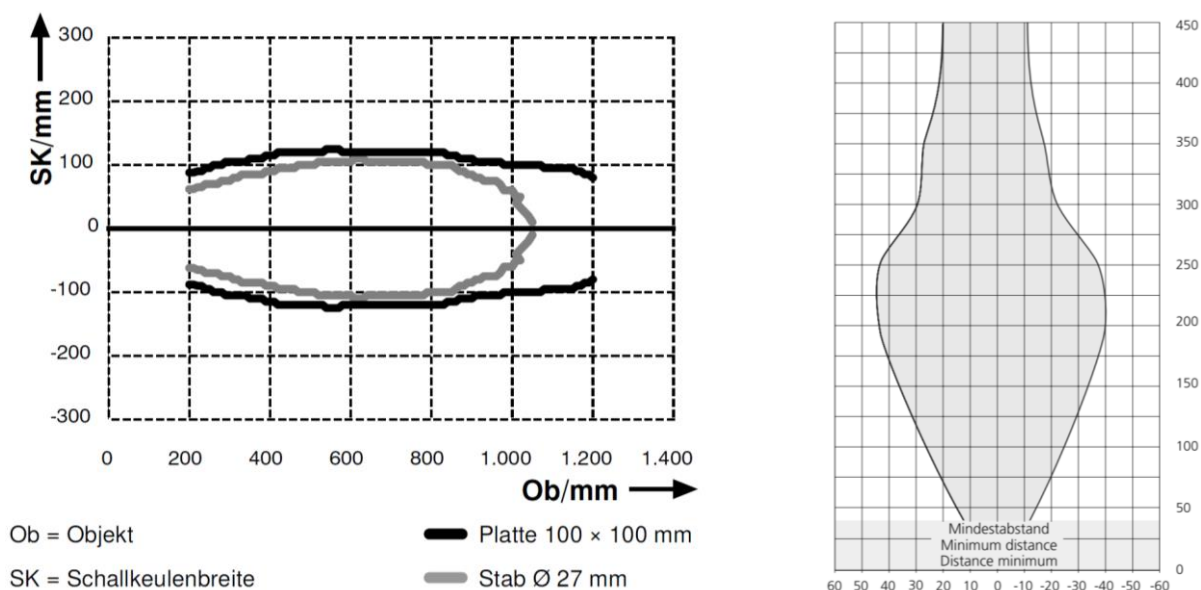


Abbildung 9: Ausbreitung des Schallkegels ⁵⁷

Weiter ist die Erfassung auch von der Beschaffung und von der Größe des Gegenstandes und des Reflexionswinkels abhängig. Um den gewünschten Erfassungsbereich abzudecken, ist es meist notwendig, mehrere Sensoren zu verbauen. Diese sind dann so anzuordnen, dass sich ihre Kegel noch zusätzlich überschneiden, um auch nähere Objekte ausreichend erfassen zu können (siehe Abbildung 10).

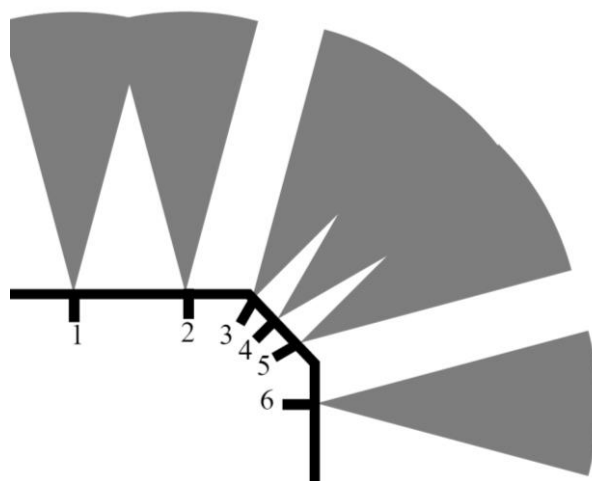


Abbildung 10: Anordnung der Ultraschallsensoren ⁵⁸

Trifft ein Ultraschallkegel auf ein ebenes, reflektierendes Objekt, z.B. eine Wand, so wird der gesamte Ultraschallkegel entsprechend dem Reflexionsgesetz von dem Gegenstand zurückgeworfen. Dabei breitet er sich mit demselben Winkel weiter aus, mit dem er auftrifft. Ist der Winkel, mit dem das Signal auf das Objekt auftrifft größer

⁵⁷ Quelle: ASP-GmbH (2013), S. 54; Wenglor (2013)

⁵⁸ Quelle: in Anlehnung an Kalbacher (1996) S. 11

als der halbe Schallkegelöffnungswinkel, liegt das reflektierte Signal außerhalb des Sensors und es kann kein Gegenstand erfasst und auch kein Entfernungswert berechnet werden (siehe Abbildung 11). Eine Verfälschung der Messdaten kann hierbei dahingehend auftreten, wenn sich das Signal über mehrere Objekte hinweg ausbreitet und auf einen Sensor an einer anderen Stelle trifft.

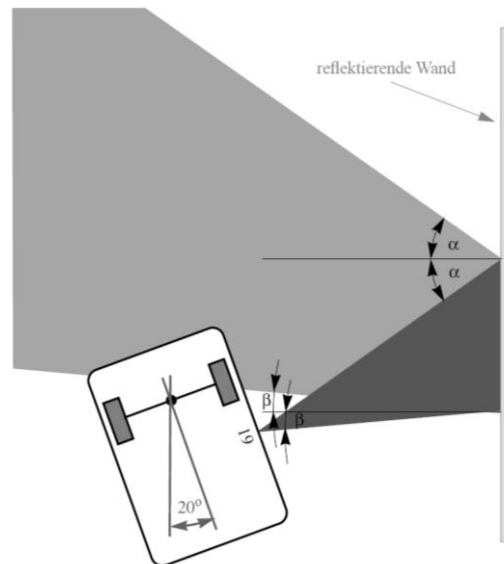


Abbildung 11: Reflexion des Ultraschalls ⁵⁹

Ein weiteres Problem bei der Erfassung ist, dass Objekte bis zu einer gewissen Größe nicht immer einwandfrei erfasst werden können. Ultraschallsensoren geben kein einzelnes Signal wie z.B. ein Laser ab, sondern feuern Messsignale in einer bestimmten Frequenz ab. Daraus ergeben sich verschiedene Probleme in der Erfassungs- und Erkennungssicherheit. Zum einen können Schallwellen, die nicht mehr zum aktuellen Messzyklus gehören, von einem weiter entfernten Objekt reflektiert und vom Sensor erfasst werden, der einen weitaus geringeren Abstand berechnet als dieses Objekt tatsächlich hat. Ein weiterer großer Nachteil ist die geringe Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall gegenüber Licht (ca. 1:900.000 im Vakuum). Das Problem liegt hierbei bei der fehlerhaften Erfassung von ausgesendeten Signalen durch benachbarte Sensoren. Um dem entgegenzusteuern werden die Sensoren abwechselnd angesteuert. Außerdem werden durch die relativ zeitintensive Anfrage eines Ultraschallsensors nicht jeder einzeln, sondern mehrere Sensoren zu Knoten zusammengefasst. Alle Sensoren eines Knoten werden gemeinsam abgefeuert. Um den oben beschriebenen Fall der Überlagerung entgegenzuwirken, wird versucht an jeder Stelle (Ecke oder Seite) des Fahrzeuges nur einen Sensor pro Knoten anzubringen. Zusammenfassend

⁵⁹ Quelle: Kalbacher (1996) S. 13

lässt sich sagen, dass Ultraschallsensoren eine relativ einfache und kompakte Möglichkeit zur Orientierung darstellen. Dank der geringen Kosten lässt sich ein Roboter vergleichsweise preisgünstig mit mehreren Sensoren ausstatten, was die Navigations-sicherheit weiter erhöht.⁶⁰

Lasernavigation

Zur Bestimmung der Umgebung, sowie zur Navigation und Orientierung werden aktuell vermehrt Laserscanner verwendet.⁶¹ Das Laserlicht wird durch eine Lichtverstärkung auf atomarer Ebene erzeugt. Bei Laserlicht handelt es sich um ein kohärentes, einfarbiges (monochromatisch) Licht, welches aus beinahe parallelen Lichtbündeln besteht. Kohärent bedeutet, dass sich mehrere Wellen in Bezug auf Frequenz, Phase und Schwingungsebene gleich verhalten. Zur Anwendung kommen solche Laser u.a. in der Bauindustrie als Referenzpunkte oder –ebenen, als Lichtschranken, in der Medizin, der Datenverarbeitung (Oberflächenanalyse, Reflexion in Glasfaserkabeln) oder bei der Entfernungsmessung. Die verwendeten Laser werden dabei nach DIN EN 60825-1 in verschiedenen Laserklassen von 1 (ungefährlich) bis 4 (sehr gefährlich) vom Hersteller eingeteilt. Bei der Entfernungsmessung wird der Abstand zwischen dem Laser und einem den Laserstrahl reflektierenden Objekt gemessen. Dazu wird am Laser ein empfindlicher Sensor angebracht, der das einfallende Licht in elektrische Impulse umwandelt (siehe Abbildung 12). Der Abstand wird – ähnlich der Ultraschallmessung – über die Zeitdifferenz vom Absenden des Laserstrahls vom Laser bis zu dessen Empfang am Lichtsensor nach der Reflexion am zu messenden Objekt berechnet. Dazu muss am Laser eine hochgenaue Uhr verbaut sein.⁶²

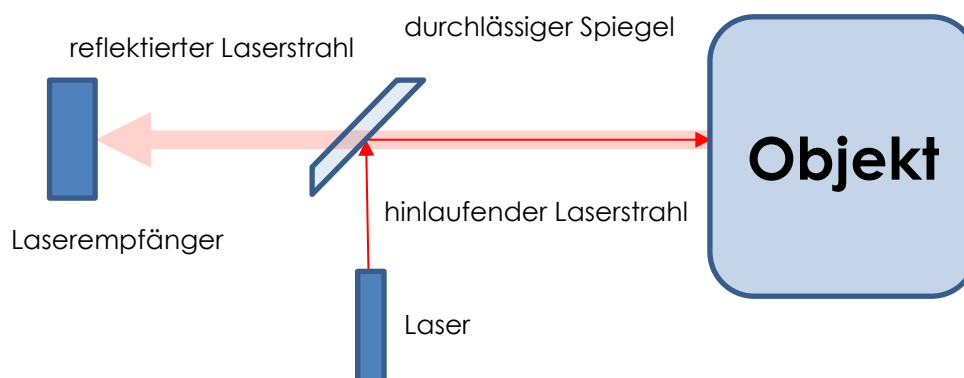


Abbildung 12: Prinzip der Laserdistanzmessung ⁶³

⁶⁰ Vgl. Kalbacher (1996), S. 10ff

⁶¹ Vgl. Dold et al. (2010), S. 84

⁶² Vgl. Kurnaz et al. (2004), S. 7 und S. 12ff

⁶³ Quelle: in Anlehnung an ITWissen (2013)

Der wohl größte Vorteil der Lasernavigation ist die freie und präzise Navigation in allen Umgebungen entweder mittels Reflektoren oder mit erkennbaren Konturen. Dieses Verfahren kann sowohl in staubigen, verunreinigten Umgebungen, sowie in Arbeitsbereichen verwendet werden, die Licht, Hitze oder Erschütterungen ausgesetzt sind. Ein weiteres großes Plus ist die hohe Flexibilität im Bereich der Fahrkursänderung. Solche Änderungen können mit sehr wenig Aufwand in sehr kurzer Zeit umgesetzt werden.⁶⁴ Ein Problem bei der Lasermessung ist die Ungenauigkeit bei der Zeitbestimmung. Diese entsteht durch die Zeit, die ein Laser benötigt den Laserstrahl zu erzeugen und die Umsetzung des empfangenen Lichtes in einen elektrischen Impuls. Auch wenn diese Vorgänge nur im Bereich von Nanosekunden liegen, so kann bei einer Lichtgeschwindigkeit von beinahe 300.000.000 m/s eine Nanosekunde einen Fehler von etwa 30 cm ausmachen. Deshalb ist es notwendig, dass diese Prozesszeiten genau bekannt sind.⁶⁵ Auch die Beschaffenheit der zu detektierenden Objekte spielt eine große Rolle. So nimmt z.B. die Oberfläche Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Erfassung. Hier wird unterschieden, welche Farbe (schwarz/weiß) oder wie stark das Oberflächenmaterial den Laserstrahl reflektiert. Ein großes Problem in diesem Bereich tritt bei Glasflächen oder allgemein durchsichtigen Gegenständen auf. Da der Laserstrahl diese Gegenstände durchdringen kann, werden diese nicht erfasst oder eventuell dahinterliegende Objekte erkannt. Um dies zu verhindern müssen alle Bereiche, die diese Eigenschaft besitzen oder auch sonst nur sehr schwer vom Laserscanner erfasst werden, mit reflektierenden Materialien „sichtbar“ gemacht werden (siehe Abbildung 13).⁶⁶



Abbildung 13: Glaswand mit Folie sichtbar gemacht⁶⁷

⁶⁴ Vgl. myIntralogistik (k.A.), S. 3f

⁶⁵ Vgl. Kurnaz et al. (2004), S. 17

⁶⁶ Vgl. SICK AG (2012), S. 17 und S. 144f

⁶⁷ Quelle: Eigene Darstellung

Der Laserstrahl kann dabei entweder als gerade Linie für statische Messungen oder als Ebene oder Fläche für die Messung in dynamischen Umgebungen ausgeführt werden. Für den Aufbau einer Ebene kann entweder die gesamte Laserdiode rotieren oder der Strahl wird über einen rotierenden Spiegel abgelenkt (siehe Abbildung 14).⁶⁸

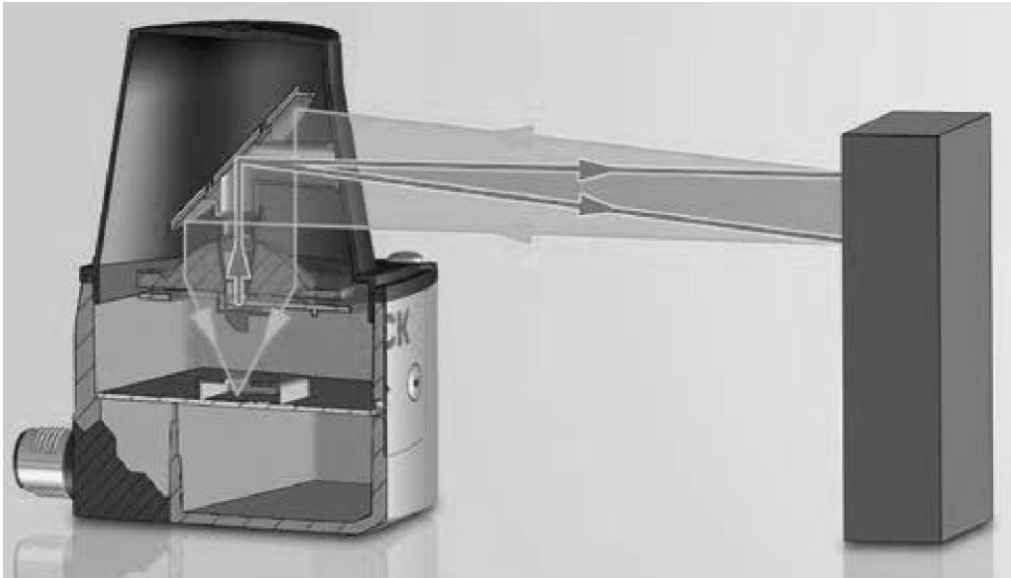


Abbildung 14: Prinzip eines Laserscanners⁶⁹

Im Prinzip kommen zwei grundlegende Arten der Lasernavigation bei fahrerlosen Transportsystemen zum Einsatz. Unterschieden wird hier die Navigation mittels Reflektormarken und die Navigation auf Basis natürlicher Konturen.

Lasernavigation mit Reflektormarken

Bei dieser Variante wird der Laser über dem Fahrzeug angebracht und tastet mit einem rotierenden Laserstrahl die Umgebung nach Reflektormarken ab (siehe Abbildung 15). Dabei ist zu beachten, dass der Laser in ausreichender Höhe angebracht ist, um nicht durch Personen oder andere hohe Objekte gestört zu werden.⁷⁰ Die Reflektormarken sind so anzubringen, dass immer mindestens drei Marken vom Laser detektiert werden können und eindeutig zuweisbar sind. Das bedeutet, dass sie in unregelmäßigen Abständen an Wänden oder Säulen vorhanden sein müssen.⁷¹

⁶⁸ Vgl. SICK AG (2013), S. 3

⁶⁹ Quelle: SICK AG (2013), S. 3

⁷⁰ Vgl. Ullrich (2008), S. 328

⁷¹ Vgl. Müller (2011), S. 164

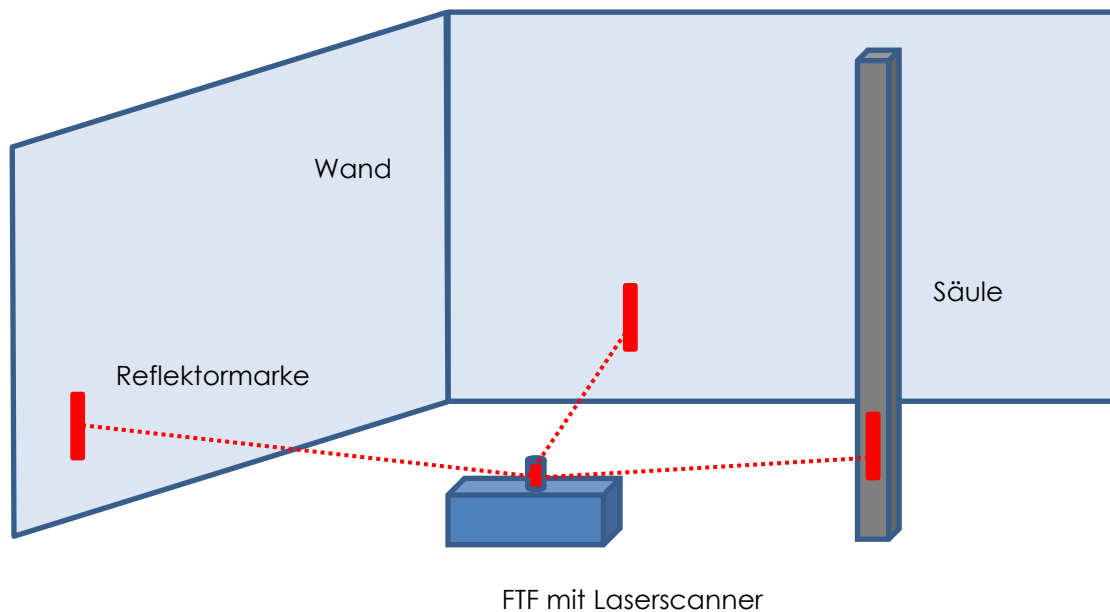


Abbildung 15: Erfassung der Marken mit Laserscanner ⁷²

Wie bereits oben erwähnt muss darauf geachtet werden, dass diese Marken nicht verdeckt und auch nicht beschädigt werden. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass beinahe beliebig viele Reflektormarken verwendet werden können und somit der Einsatzbereich der Fahrzeuge sehr groß gestaltet werden kann. Zudem sind keine baulichen Maßnahmen – im Gegensatz zu anderen Verfahren – notwendig, da die Marken an nahezu jeder Stelle leicht anzubringen und auch wieder zu entfernen sind. Somit ist ein sehr geringer Aufwand zur Inbetriebnahme auf der Seite des Anwenders notwendig. Dieses Verfahren zeichnet sich durch seine hohe Genauigkeit bei hoher Messrate sowie einer hohen Flexibilität bei Fahrkursänderungen aus. Das Fahrzeug steuert somit automatisch durch den Einsatzbereich und folgt keiner fix vorgegebenen Linie mehr.⁷³ Die Nachteile liegen eben darin, dass das System immer mindestens drei Punkte (Reflektormarken) benötigt, um sich orientieren zu können. Das muss auch bei unebenen Fahrbahnen berücksichtigt werden (sofern das Fahrzeug damit zurechtkommt), da sich in diesem Fall die Laserebene mit dem Fahrzeug mit neigt (siehe Abbildung 16). Außerdem kann dieses System ohne Zuhilfenahme von weiteren Sensoren nicht den Fahrkurs des Fahrzeuges überprüfen, da der verwendete Laserscanner weit über dem Boden angebracht ist. Dies ist allerdings meist notwendig, da sich die Fahrstrecken jedes Mal ändern und unvorhergesehene Hindernisse den Weg versperren könnten.⁷⁴

⁷² Quelle: in Anlehnung an Ullrich (2008), S. 329

⁷³ Vgl. myIntralogistik (k.A.), S. 4

⁷⁴ Vgl. Hoppe (2014)

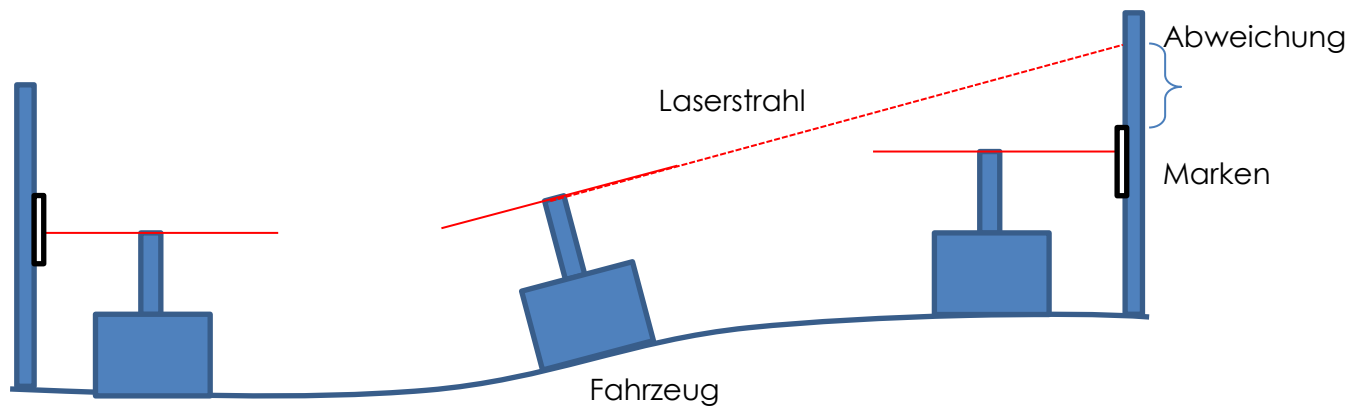


Abbildung 16: Erfassungsproblem bei unebenem Boden ⁷⁵

Lasernavigation auf Basis natürlicher Konturen

Bei diesem Verfahren navigieren die Fahrzeuge nicht wie bei der obigen Methode mittels Reflektormarken, sondern nutzen die natürliche Umgebung um sich zu orientieren. Die Fahrzeuge werden dazu mit einem Laserscanner dicht über dem Boden ausgestattet (siehe Abbildung 17).⁷⁶

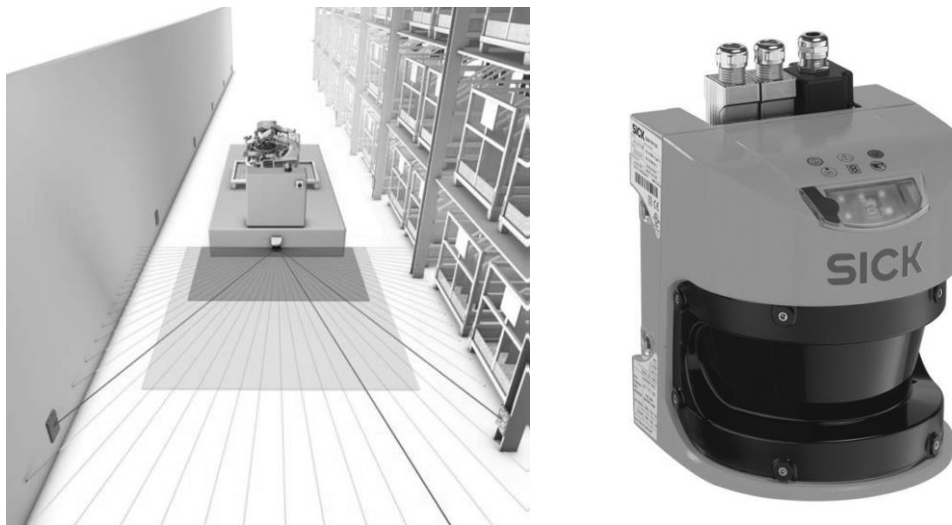


Abbildung 17: Anbringung eines bodennahen Laserscanner und Sicherheitsscanner ⁷⁷

Meist werden für diesen Einsatz sogenannte sicherheitsgerichtete Laserscanner eingesetzt. Diese Laserscanner dienen nicht nur der Navigation, sondern auch der Überwachung der direkten Umgebung der Fahrzeuge. Sie ersetzen somit die veralteten Methoden, bei denen Bumper und Schaltleisten zum Einsatz kamen. Sie geben nur vorverarbeitete und individuell konfigurierbare Messdaten aus. Anhand dieser

⁷⁵ Quelle: Eigene Darstellung

⁷⁶ Vgl. Osterhoff (2012), S. 6

⁷⁷ Quelle: SICK AG (2009), S. 15 und 43

Messdaten wird die Umgebung des Fahrzeuges automatisch erfasst und kann sich dynamisch wechselnden Bedingungen rasch anpassen, ohne dass vorher gebäude-
seitige Installationen notwendig sind. Das Fahrerlose Transportfahrzeug benötigt somit
keinerlei vorgezeichnete Routen oder spezielle Landmarken um autonom navigieren
zu können. Das heißt, dass sich die Fahrzeuge einzig und allein anhand der Daten
orientieren, die ihnen der Sicherheitssensor übermittelt. Der Laserscanner breitet vor
dem Fahrzeug eine Ebene mit mehreren Warn- und Schutzfeldern aus (siehe Abbil-
dung 18).

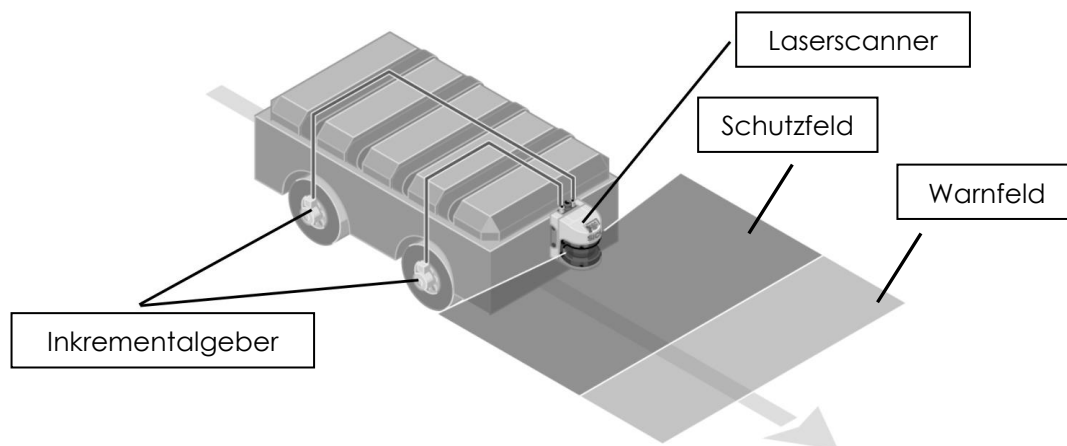


Abbildung 18: Schutz- und Warnfelder vor dem Fahrzeug ⁷⁸

Diese Felder bieten dem System mehrere Überwachungsrichtungen (siehe Abbildung
19), komplexe Kurvengeometrien können leichter durchfahren werden und ver-
schiedene Geschwindigkeitsbereiche können präziser und prozesseffizienter berück-
sichtigt werden, indem die Felder an die aktuelle Geschwindigkeit oder den aktuel-
len Bereich (z.B. kein Personenverkehr) angepasst werden.

⁷⁸ Quelle: in Anlehnung an SICK AG (2012), S. 107

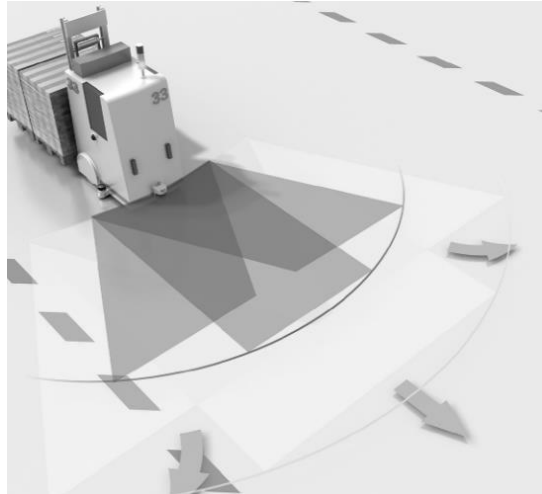


Abbildung 19: Überwachungsrichtungen der Schutzfelder ⁷⁹

Der Navigationsrechner am Fahrzeug prüft so permanent die Umgebung, bemisst die Abstände zu den Hindernissen (statisch – in der Karte eingezeichnet – und dynamisch – z.B. Menschen, Fahrzeuge) und weiß damit zu jeder Zeit, wo sich der Roboter befindet. Durch die Konturenmessung erkennt es mit Hilfe der Auswertung im Navigationssystem alle im Laserbereich befindlichen Objekte, kann ihnen sicher ausweichen oder führt einen Notstopp durch. Wie bereits erwähnt, passt es dabei automatisch die Fahrgeschwindigkeit an die Rahmenbedingungen an. Dies ermöglicht, dass der mobile Roboter selbst in empfindlichen Sicherheitsbereichen nicht unnötig seine Geschwindigkeit verringert oder sogar stehen bleibt.⁸⁰

2.4 Pfadplanung

Die Pfadplanung ist ein wichtiger Teil der Robotik, da sie dazu benötigt wird, um z.B. bei Roboterarmen das Werkzeug an die richtige Stelle zu positionieren oder bei autonomen Fahrzeugen, um die Roboter von ihrer Startposition zu ihrem Zielort zu bewegen. Zur Lösung vieler Navigationsprobleme kann als Methode das sogenannte Scan-Matching verwendet werden. Dabei wird ein Scan (aus den Daten der Sensoren) derart verdreht und verschoben, bis eine Übereinstimmung mit einem Referenzmodell zustande kommt (Abbildung 20). Dieses Verfahren eignet sich besonders gut zur Lokalisierung mobiler Roboter. Aus den Winkeln und den Abständen der Verdrehung und der Verschiebung, die zur Überdeckung des Referenzmodells mit dem Scan notwendig ist, lässt sich einfach eine Korrektur für die Roboterposition bestimmen. Dazu ist es erforderlich zu wissen, wo sich der Roboter ungefähr befindet. Dies kann z.B. aus den Odometriedaten ausgewertet werden. Denn ohne Basisdaten be-

⁷⁹ Quelle: SICK AG (2012), S. 25

⁸⁰ Vgl. Dold et al. (2010), S. 84ff

zöglich der Position des Fahrzeuges ist es nicht möglich, mit Scan-Matching eine exakte Lokalisierung durchzuführen.



Abbildung 20: Scan-Matching von Scan und Referenzmodell ⁸¹

Die Referenzmodelle, anhand derer sich das Fahrzeug lokalisiert, sind Karten der Arbeitsumgebung. Diese Karten können entweder aus einem CAD-Modell erstellt oder per Hand vermessen werden. Diese beiden Verfahren bergen eine gewisse Unsicherheit bzw. sind sehr aufwendig, weshalb es sinnvoller ist, die Roboter mittels Joystick durch das Layout zu manövrieren. ⁸²

Wie bereits erwähnt ist die Pfadplanung dafür zuständig, einen Pfad zu planen, an dem das autonome Fahrzeug von der aktuellen Position zum Zielort fahren kann. Wichtig dabei ist, dass es auf dem Weg dorthin nicht mit anderen Fahrzeugen oder Hindernissen kollidieren darf und es zu keinen Deadlocks kommt. Bei der Pfadsuche ist zu berücksichtigen, dass sich die Fahrzeuge nicht immer in alle Richtungen bewegen können, sondern auch kinematischen und dynamischen Zwangsbedingungen unterliegen. ⁸³

Ein Beispiel der Pfadplanung ist der gitterbasierte Planungsansatz. Hierbei wird die Umgebung in einen Raster gleicher Größe unterteilt. Vorteil dieser Methode ist, dass wenn ein Weg vorhanden ist, dieser auch gefunden wird und das Fahrzeug sicher und kollisionsfrei zum Ziel navigiert wird. Auch Sackgassen können erfasst und berücksichtigt werden, genauso wie dynamische Hindernisse. Bei größeren Umgebungen stößt dieses Verfahren allerdings an seine Grenzen. Erstreckt sich das Layout über eine größere Fläche ist es besser, ein zweistufiges Verfahren zu verwenden. Dieses besteht aus einem globalen Planer für den groben Entwurf des Pfades (inkl. Zwischen-

⁸¹ Quelle: Gutmann (1999), S. 7

⁸² Vgl. Gutmann (1999), S. 6ff

⁸³ Vgl. Heitsch (2010), S. 7ff

zielen) und einem gitterbasierten, lokalen Planer, welcher für die Pfadplanung der Zwischenziele zuständig ist.⁸⁴ Abbildung 21 zeigt, wie der Planer zuerst den Weg zum Ziel vorgibt und nach der Feststellung, dass der aktuelle Weg durch ein Hindernis nicht möglich ist, einen neuen Pfad berechnet.

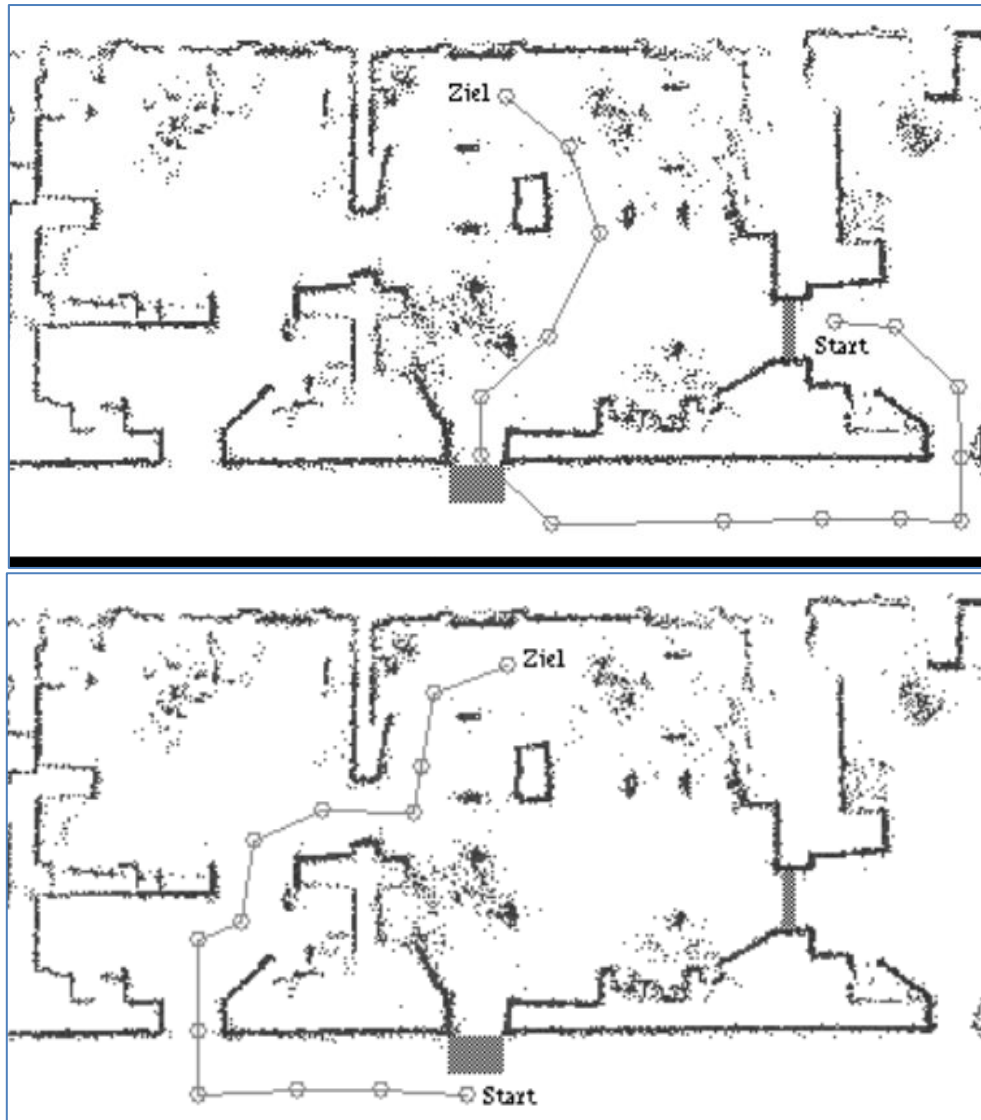


Abbildung 21: Änderung des geplanten Pfades⁸⁵

Da die Pfadplanung diese Arbeit nur am Rande betreffen, sind weitere Informationen z.B. den Arbeiten von Koenig und Likhachev oder Berns und Luksch zu entnehmen.⁸⁶

⁸⁴ Vgl. Gutmann (1999), S. 10f

⁸⁵ Quelle: in Anlehnung an Gutmann (1999), S. 129f

⁸⁶ KOENIG, S. ; LIKHACHEV, M. (2002): Improved fast replanning for robot navigation in unknown terrain, 2002, S. 968 – 975 vol.1

BERNS, K.; LUKSCH, T. (2007): Autonome Mobile Systeme 2007. Springer Berlin Heidelberg

3 Theorie zur Informationsbeschaffung und Bewertung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem theoretischen Wissen über das Bewerten von technischen Lösungen und der Informationsbeschaffung aus Befragungen.

3.1 Bewerten von Lösungen

Meist erreichen Unternehmen eine bessere Wettbewerbsfähigkeit nicht allein durch Kostensenkungen und Einsparungen, sondern müssen sie durch die Einführung neuer Produktinnovationen oder Technologien sicherstellen. Diese Implementierung erfordert von den Unternehmen fundierte Kenntnisse für den effizienten Einsatz von Bewertungs- und Beurteilungsmethoden von Produkten und Ideen im Entstehungsprozess. Die Auswahl des „besten Systems“ hat einen enormen Einfluss auf die Effektivität und Effizienz der Prozesse, daher ist eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung die Grundvoraussetzung für den Erfolg jeder neuen Systemeinführung.⁸⁷ Bewertet werden die gefundenen Lösungen entweder durch einen Vergleich untereinander (Zielsystem) oder mit einer sogenannten Ideallösung (Anforderungsliste), was in Abbildung 22 graphisch veranschaulicht ist.

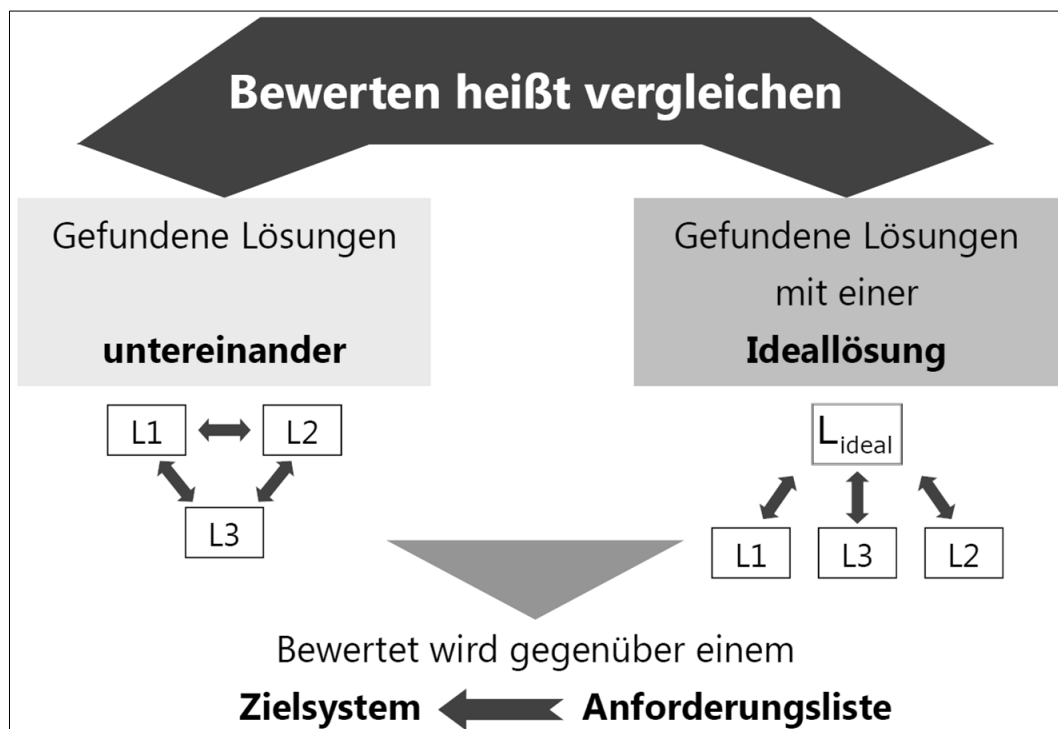


Abbildung 22: Bewerten von Lösungen⁸⁸

⁸⁷ Vgl. Reichle (2006), S. 1ff

⁸⁸ Quelle: Feldhusen (2014), S. 5

Aspekte zur Bewertung

Bei der Bewertung und dem Vergleich von verschiedenen Lösungsmöglichkeiten gilt es gewisse Aspekte zu beachten. Folgende Aspekte können je nach Einsatzgebiet oder zu vergleichender Lösungen mehr oder weniger Bedeutung für die Auswahl haben:⁸⁹

- Reifegrad der Lösung zum Zeitpunkt der Bewertung
- Anzahl der Alternativen
- Verwendete Beurteilungskriterien
- Urteilsschema für Bewertungskriterien (Anzahl der Punkte für welche Leistung)
- Gewichtung der Bewertungskriterien
- angestrebte Bewertungsgenauigkeit
- notwendiger Aufwand für die Bewertung
- Dauer und Nachvollziehbarkeit der Bewertung
- Dokumentationsfähigkeit der Bewertung

Allgemeiner Ablauf von Bewertungen

Zur Bewertung von Lösungen wurden bereits verschiedene Möglichkeiten entwickelt. Prinzipiell folgen alle Bewertungen folgendem Ablauf:⁹⁰

1. Zusammenstellen einer Bewertergruppe
2. Lösungen auf ein vergleichbares Anfangsniveau bringen
3. Bewertungskriterien aus den Anforderungen herleiten:
 - etwa aus einer Anforderungsliste, einer Leitlinie oder einer Zielvorstellung
 - Unwichtiges aus der Liste streichen
4. Werte für jedes Bewertungskriterium ermitteln:
 - geeignete Skala bestimmen (Punkte, Symbole, verbale Wertung, ...)
5. Maßzahlen bestimmen

⁸⁹ Vgl. Feldhusen (2014), S. 7

⁹⁰ Vgl. Feldhusen (2014), S 14ff; VDI-Richtlinie 2225

6. Bewertungskriterien gewichten:
 - nach den Anforderungen von z.B. Kunden (z.B. aus Befragungen)
7. Wertungszahlen berechnen
8. Bewertungsergebnisse darstellen

Aufstellen von Bewertungskriterien

Aus den Merkmalen von Zielvorstellungen, die aus einer Anforderungsliste oder aus Lösungseigenschaften abgeleitet werden, lassen sich Bewertungskriterien erstellen. Die Zieleigenschaften beschreiben die SOLL-Eigenschaften einer Ideallösung. Sie ergeben sich aus den Anforderungen oder aus Lösungseigenschaften, welche im Verlauf der Produktentwicklung aufkommen. Dabei ist auf eine weitgehende Vollständigkeit der Ziele (ganzheitliche Bewertung) zu achten.⁹¹ Weiter müssen die Kriterien für die Bewertung voneinander unabhängig sein. Z.B. ergibt sich kostengünstig aus fertigungsgünstig und montagegerecht, weshalb nicht alle drei gelistet werden sollten. Die bestimmten Eigenschaften müssen weitgehend quantifizierbar sein. Qualitative Aussagen müssen zumindest konkret erfassbar sein (z.B. wird die Betriebssicherheit unter anderem durch die Anzahl der Teile oder der Schnittstellenanzahl bewertet).⁹²

Bewertungsmethoden

Bewertungsmethoden werden in Konstruktions- und Entwicklungsprozessen häufig verwendet. Hierbei wird aus einer gewissen Anzahl an Lösungsalternativen – durch den Einsatz geeigneter Beurteilungskriterien – die Methode, welche das Anforderungsprofil am besten erfüllt, ermittelt. Unter anderem stehen dabei folgende Methoden zur Auswahl:⁹³

- Argumentbilanz
 - Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen; geringer Aufwand
- Vorrangmethode
 - Ermittlung der Präferenzen je Kriterium durch paarweisen Vergleich der Varianten; sehr hoher Aufwand

⁹¹ Vgl. VDI-Richtlinie 2225

⁹² Vgl. Feldhusen (2014), S. 11ff

⁹³ Vgl. Reichle (2006), S. 41; Feldhusen (2014), S. 17ff

- Rangfolgeverfahren
 - Ermittlung der Wertigkeit von Wichtigkeiten der Bewertungskriterien; geringer Aufwand
- Nutzwertanalyse
 - Gewichtet Gegenüberstellung von Zielerfüllungsgraden; hoher Aufwand

Die Bewertung der verschiedenen fahrerlosen Transportsysteme anhand des entwickelten Anforderungskataloges wird in Kapitel 5.4.1 mittels der Nutzwertanalyse (auf Basis der Kundenbefragung) durchgeführt.

Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse kommt dann zum Einsatz, wenn auch nicht quantifizierbare Ziele in die Entscheidungsfindung mit einbezogen werden. Der schematische Ablauf der Nutzwertanalyse wird in Abbildung 23 dargestellt.

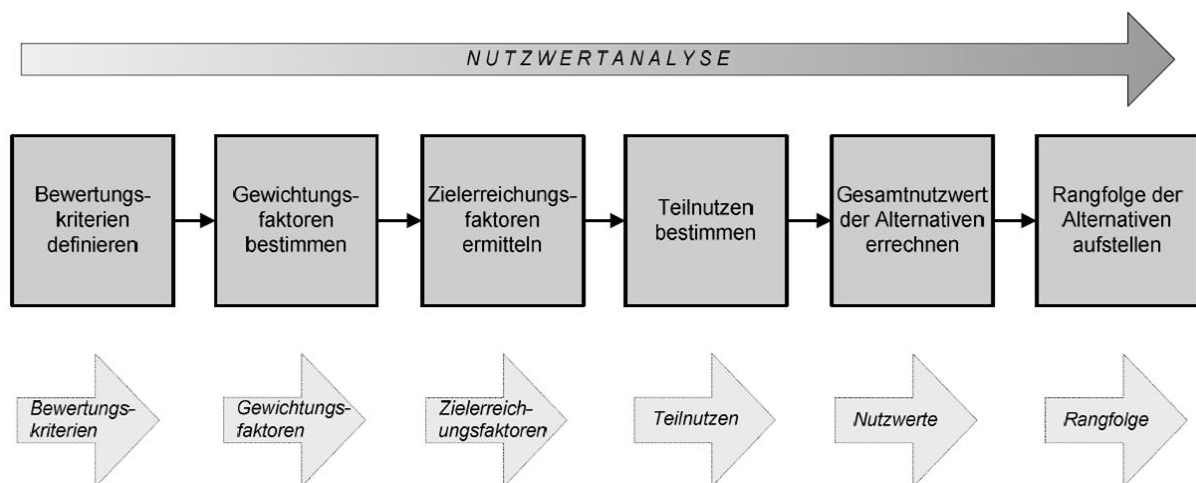


Abbildung 23: Methodischer Ablauf der Nutzwertanalyse ⁹⁴

Als erstes werden die Kriterien, welche für die Entscheidung benötigt werden, identifiziert. Im Anschluss werden diese nach deren Bedeutsamkeit gewichtet. Danach werden die einzelnen Kriterien bewertet, mit der Zahl ihrer Gewichtung multipliziert und aufsummiert. Das System, welche die höchste Endpunktzahl aufweist ist die beste Alternative.

⁹⁴ Quelle: HS Bremen (2012), S. 2

3.2 Befragungen

Um Hypothesen zu beweisen oder Entscheidungen zu treffen sind grundsätzlich Informationen notwendig. Diese Informationen können bereits aufgrund früherer Forschungen vorhanden sein oder müssen durch empirische Verfahren ermittelt werden. Zu den empirischen Methoden zählen u.a. Testen, Urteilen, Zählen, Beobachten und Befragen.⁹⁵

Befragungen können sowohl mündlich als auch schriftlich erfolgen. Nachstehend sind die verschiedenen Befragungsformen aufgelistet:⁹⁶

- Standardisierungsgrad:
 - Wenig strukturiert – nicht standardisiert (z.B.: narratives Interview)
 - Teilstrukturiert – teilstandardisiert (z.B.: Leitfadengespräch)
 - Stark strukturiert – standardisiert (z.B.: postalische Befragung)
- Kommunikationsart
 - Schriftlich
 - Mündlich
- Befragungssetting
 - Einzelperson
 - Gruppe
- Kommunikationsform
 - Schriftlich (Fragebogen, internetgestützt)
 - Mündlich (Face-to-Face, telefonisch)

Qualitative und quantitative Methode

Bevor mit der Erstellung eines Fragebogens begonnen wird, ist zu bestimmen, ob die Datenerhebung nach der qualitativen oder nach der quantitativen Methode durchgeführt werden soll.

Bei der qualitativen Methode wird auf Flexibilität und Offenheit gesetzt. Diese Forschungsmethode verwendet insbesondere qualitatives Material (z.B. Fotos, Filme,

⁹⁵ Vgl. Bortz et al. (2009), S. 139ff

⁹⁶ Vgl. Raithel (2008), S. 65

Diskussionen, qualitativ geführte Interviews) anstatt von in Relation zu setzende Messungen. Es werden nicht standardisierte Methoden angewandt, sodass auf subjektive Bedeutungs- und Interpretationsfragen eingegangen werden kann. Die Antwortmöglichkeiten der Befragten sollen dabei uneingeschränkt sein. Meist kommen Befragungen dieser Art im Bereich der Geisteswissenschaften zur Anwendung.⁹⁷

Eine möglichst genaue Beschreibung des Verhaltens der Befragten in Form von zahlenmäßigen Ausprägungen ist das Ziel der quantitativen Methode. Um dies zu erreichen, werden z.B. mittels einer Befragung anhand eines Fragebogens von einer möglichst großen und repräsentativen Stichprobe die Ausprägungen eines bzw. mehrerer Merkmale bestimmt. Durch die Ähnlichkeit der Voraussetzungen bei der Befragung können die Antworten einfach miteinander verglichen werden. Im Vergleich zur qualitativen Methode ist diese Variante kostengünstiger und bei ausreichend großer Stichprobe können sehr aussagekräftige Ergebnisse erhalten werden.⁹⁸

Aus diesen Gründen wird die quantitative Methode für die Datenerhebung dieser Arbeit in Form eines standardisierten Fragebogens verwendet.

Schriftliche Befragung

Um einen möglichst hohen Standardisierungsgrad zu erhalten, sodass alle Beteiligten dieselben Fragen gestellt bekommen, ist ein schriftlicher Fragebogen heranzuziehen.

Vorteile einer *schriftlichen Befragung* sind geringerer Zeit- und Personalaufwand, die befragten Personen können die Fragen besser durchdenken und das Verhalten bzw. die Merkmale des Interviewers fallen als mögliche Fehlerquelle weg. Mögliche **Nachteile** einer *schriftlichen Befragung* können dagegen eine fehlende Kontrolle der Befragungssituation, fehlende Hilfe bei Verständnisproblemen oder das Risiko, dass einzelne Fragen unvollständig, gar nicht oder wenig sorgfältig ausgefüllt werden sein.

Fragetypen

Je nach Erkenntnisinteresse können verschiedene Fragetypen zur Anwendung kommen. Dabei lassen sich folgende Fragetypen unterscheiden:⁹⁹

- Faktenfrage: z.B.: „Wie viele Mitarbeiter beschäftigt Ihr Unternehmen?“
- Bewertungsfrage: z.B.: „Wie wichtig sind Ihrer Meinung nach FTS für den innerbetrieblichen Transport?“

⁹⁷ Vgl. Bortz et al. (2009), S. 37ff

⁹⁸ Vgl. Bortz et al. (2009), S. 296ff

⁹⁹ Vgl. Konrad (2005), S. 20

- Verhaltensfrage: z.B.: „Wie geht Ihr Unternehmen mit neuen Technologien um?“
- Einschätzungsfrage: z.B.: „Wie geläufig ist Ihnen der Begriff `Fahrerlose Transportsysteme`?“
- Einstellungsfrage: z.B.: „Was denken Sie über den Einsatz von FTS?“
- Meinungsfrage: z.B.: „Was halten sie von ...?“
- Demographische Frage: z.B.: „Sind Sie männlich oder weiblich?“

Die Fragen werden dabei weiter in die Kategorien offen, halboffen und geschlossen unterteilt. Bei offenen Fragen muss die befragte Person selbst eine Antwort formulieren, während bei der geschlossenen Frage verschiedene Antwortmöglichkeiten zur Verfügung stehen (z.B. Multiple-Choice). Halboffene Fragen sind eine Mischform aus offenen und geschlossenen Fragen und erlauben neben vorgegebenen Antworten auch Platz für eigene Formulierungen (z.B.: Sonstiges). Der **Vorteil** von *geschlossenen Fragen* liegt darin, dass der Zeitaufwand für den Befragten sehr gering ist, Fragen leichter zu beantworten sind sowie der Vergleich und die Auswertung der Antworten. Der **Nachteil** liegt darin, dass der Befragte nur aus Antworten wählen kann, die seiner Situation am nächsten kommt. Bei der quantitativen Methode werden vorwiegend geschlossene und halboffene Fragen verwendet, wobei halboffene Fragen der am meisten verwendete Typ sind.¹⁰⁰

Antworttypen

Bei geschlossenen und halboffenen Fragetypen können verschiedene Varianten von Antwortmöglichkeiten verwendet werden. Grundsätzlich werden die eingesetzten Skalen in vier Punkte unterteilt:¹⁰¹

- Nominalskala:

Hier wird eine Antwortmöglichkeit durch eine andere ausgeschlossen (z.B. Ja/NEIN oder Familienstand). Es kann immer nur eine Antwortmöglichkeit ausgewählt werden, da die weiteren Antwortmöglichkeiten nicht zutreffen können.

¹⁰⁰ Vgl. Raithel (2008), S. 66ff

¹⁰¹ Vgl. Raab-Steiner et al. (2010), S. 22ff

- Ordinalskala:

Diese Skala ist ähnlich der Nominalskala. Auch hier kann nur eine Antwortmöglichkeit gewählt werden. Allerdings stehen die Antworten in einer Relation zueinander, was bedeutet, dass die Antwortmöglichkeiten einer Rangordnung unterliegen.

Verwendet wird z.B.:

sehr häufig – häufig – unentschieden – selten – sehr selten

- Intervallskala:

Die Intervallskala wird verwendet, wenn eine Abstufung in geregelten Abständen benötigt wird. Hier erfolgt die Beantwortung der Frage auf einer vorgegebenen Skala, auf der nur die beiden extremen Skalenpunkte verbal beschrieben sind.

z.B.:

Sehr interessiert.....x.....x.....x.....gar nicht interessiert

- Ratioskala:

Dies sind Intervallskalen, die zusätzlich mit Zahlen die Gleichmäßigkeit der Unterteilung verdeutlichen sollen und einen absoluten Nullpunkt besitzen.

0 Mitarbeiter

bis 10 Mitarbeiter

von 11 bis 50 Mitarbeiter

über 50 Mitarbeiter

Online-Befragung

Aufgrund der geringen Kosten und der relativ großen Reichweite ist meist eine Online-Befragung heranzuziehen.¹⁰² Dabei unterliegen Online-Befragungen zu Zwecken der Marktforschung denselben Standesregeln und Qualitätsstandards wie Befragungen, die durch mündliche oder schriftliche Kommunikationsform durchgeführt werden. Grundvoraussetzung ist wie bei allen anderen Formen auch die spezifische Erfahrung und wissenschaftliche Qualifikation der Fragebogenersteller. Zusätzlich sind eine entsprechende Qualitätsphilosophie und das Streben nach wissenschaftlicher Qualität der Ergebnisse dringend notwendig. Der Begriff „Online-Befragungen“ beinhaltet in der Definition alle Befragungen, bei denen der Befragte einen auf einem

¹⁰² Vgl. Thielsch et al. (2009), S. 70

Server abgelegten Fragebogen im Internet online ausfüllt, den Fragebogen von einem Server herunterlädt und per E-Mail zurücksendet oder den Fragebogen per E-Mail erhält und zurücksendet.

Da es sich um eine repräsentative Untersuchung handelt, ist die Auswahl der Teilnehmer auf eine sachlich, regional und zeitlich eindeutig definierte Grundgesamtheit zu beziehen. Zusätzlich müssen die ausgewählten Personen unter Bezug auf die Auswahlkriterien auf Basis eines klar definierten Auswahlverfahrens individuell angesprochen werden. Teilnehmer von Online-Befragungen können sowohl online als auch offline ausgewählt werden. Teilnehmer von wissenschaftlichen Online-Befragungen müssen „aktiv“ durch die Untersuchende Institution ausgewählt werden. Das bedeutet, dass das Institut bestimmt, wer an der Umfrage teilnehmen kann und wer nicht, indem sie direkt um die Teilnahme an der Befragung bittet. Eine „passive“ Auswahl z.B. durch einen allgemeinen Hinweis (Internetbanner, Flugzettel, ...) genügt nicht den wissenschaftlichen Anforderungen. Außerdem ist nur bei einer „aktiven“ Rekrutierung der Teilnehmer die Ausschöpfungsquote der Umfrage zu bestimmen.

Für die Erstellung eines Online-Fragebogens gelten dieselben methodischen Anforderungen an die Gestaltung und Formulierung wie für herkömmliche Befragungstechniken. Ähnlich der allgemeinen schriftlichen Befragung haben die methodischen Anforderungen sogar eine übergeordnete Bedeutung, da der Befragte keine Möglichkeit hat um Hilfe zu den Fragen einzuholen. Weiter sind eine klare Filterführung und verständliche Instruktionen qualitätsrelevante Merkmale. Zu beachten ist auch, dass sichergestellt ist, dass der Fragebogen unter diversen Betriebssystemen sowie Browserfabrikaten und -versionen abgerufen werden kann. Die teilnehmenden Personen sind darauf hinzuweisen, dass die Umfrage einer wissenschaftlichen Untersuchung zugrunde liegt, die Verwendung ihrer Angaben ausschließlich anonymisiert zu Forschungszwecken dient sowie, dass ihre Teilnahme auf freiwilliger Basis ist. Außerdem sollten sich die Teilnehmer durch die Angabe von Adresse (Postanschrift, Telefonnummer, E-Mail, ...) über das Institut, welches die Befragung durchführt informieren können. Da die Teilnahme an der Befragung vollkommen freiwillig ist, hat der Befragte das Recht, den Vorgang jederzeit abzubrechen. In Ausnahmefällen ist es aus methodischen Gründen zulässig, nach dem Grund des Abbruchs zu fragen.

Es ist darauf zu achten, dass Mehrfachnennungen möglichst verhindert werden. Ein weiteres Problem ist das systematische Durchklicken des Fragebogens. Dies kann anhand einer Mindestdauer überprüft werden. Genauso sind auch weitere Mängel in

der Datensammlung zu kontrollieren und gegebenenfalls aus dem Datensatz zu entfernen. Werden bei einer Befragung personenbezogene Daten erhoben, ist durch geeignete technische Maßnahmen dafür zu sorgen, dass diese nicht von Dritten eingesehen oder verwendet werden können.

Bei Online-Befragungen gelten für die Darstellung, Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse grundsätzlich dieselben Anforderungen wie bei herkömmlichen Datenerhebungen. Das heißt, dass alle Daten vollständig dargestellt werden müssen. So sind alle Fragestellungen in die Darstellung der Ergebnisse einzubeziehen. Daraus ist die angemessene Interpretation der Forschungsergebnisse als zentraler Teil der empirischen Forschung durchzuführen. Angemessen bedeutet in dem Fall, dass die Interpretation auf das Forschungsproblem bezogen ist und durch empirische Ergebnisse gestützt ist. Um die wissenschaftliche Qualität der Durchführung, als auch die Möglichkeiten und Grenzen der Interpretierbarkeit der Ergebnisse erkennen zu können, muss die Dokumentation bzw. der Bericht zur Untersuchung die notwendigen Grundinformationen enthalten.¹⁰³ So sind beispielsweise folgende Daten immer zu dokumentieren:¹⁰⁴

- Name des Auftraggebers der Untersuchung
- Name des die Untersuchung durchführenden Instituts
- Aufgabenstellung der Untersuchung
- Zielgruppe der Untersuchung
- Zahl der befragten Personen
- Untersuchungszeitraum
- Gewichtung (Quellen, Sollvorgaben und Verfahren)
- Fragebogen

¹⁰³ Vgl. ADM (2001), S. 1ff

¹⁰⁴ Vgl. ADM (2001), S. 6

4 Systeme und Technologien im Überblick

In diesem Abschnitt werden die Systeme und Technologien verschiedener Hersteller betrachtet und vorgestellt. Die in diesem Kapitel gewonnenen Erkenntnisse dienen unter anderem als Grundlage und Information für die Zusammenstellung der allgemeinen Anforderungen und um einen Überblick über serienreife Systeme zu erhalten. Die Informationen hierfür stammen aus Internetrecherchen sowie aus Anfragen für weitere Auskünfte direkt bei den Herstellern.

4.1 Open Shuttle – Knapp AG

Das Unternehmen Knapp AG wurde 1952 in Graz gegründet und beschäftigt mittlerweile ca. 2000 Mitarbeiter, wovon etwa 1400 im Headquarter in Hart bei Graz tätig sind. Weiter besitzt Knapp ein weltweit verzweigtes Netzwerk an Unternehmensstandorten.¹⁰⁵ Knapp AG ist international in den Bereichen Lagerautomation und Lagerlogistik tätig und zählt zu den Weltmarktführern von Anbietern intralogistischer Komplettlösungen und automatisierter Lagersysteme. Knapp AG versorgt weltweit Kunden in den Branchen Pharma, Fashion, Retail (Food/non-Food), Optics, Cosmetics, Tabacco, Media, Office, Tools & Spares und 3PL.¹⁰⁶ Unter anderem bietet dieses Unternehmen konventionelle Fördertechnik, halbautomatische Shuttle Kommissioniersysteme (OSR-Shuttle), Systeme zur Unterstützung der Kommissionierung (z.B. Pick-to-Light) und auch ein Fahrerloses Transportsystem (Open Shuttle) an.¹⁰⁷

Open Shuttle

Die Open Shuttle sind intelligente und autonome Transportmodule für den Ladungsträgertransport (hauptsächlich KLT), welche sich von den konventionellen FTS dadurch unterscheiden, dass sie völlig frei auf der Fläche ohne Spurführung agieren. Sie sind auch dazu gedacht, bestehende Systeme zu unterstützen und die Transportaufgaben innerhalb der Intralogistik zu übernehmen. Dazu gehören z.B. die Materialbereitstellung an Arbeitsplätzen, Eilaufträge oder Pick & Go Kommissionierungen. All dies geschieht mittels Lasernavigation auf Basis der natürlichen Konturen der Umgebung, ohne Zuhilfenahme zusätzlicher Navigationsmerkmale. Übernommen oder abgegeben werden die KLT durch automatisches An- und Abdocken an den Übergabestationen oder manuell durch die Mitarbeiter. Eine spezielle Software ermöglicht die Integration spezieller Bereiche wie z.B. Sperrbereiche oder Geschwindigkeitsbe-

¹⁰⁵ Vgl. Knapp AG (2014, a)

¹⁰⁶ Vgl. Knapp AG (2014, b)

¹⁰⁷ Vgl. Knapp AG (2014, c)

reiche und auch das Erstellen bestimmter Verkehrsregeln. Das System ist sehr einfach zu integrieren (abfahren mittels Joystick), benötigt nahezu keine baulichen Maßnahmen und kann durch die einfache Skalierbarkeit exakt auf den aktuell geforderten Durchsatz ausgelegt werden.¹⁰⁸

Das Fahrzeug selbst wird durch zwei mittig angebrachte Antriebsräder (Differenzialantrieb) bewegt und durch kleine Stützräder vor dem Kippen geschützt. Es ist etwa 750 mm lang und etwa 620 mm breit. An der Oberseite des FTF ist ein aktives Lastaufnahmegesetz in Form eines Rollenförderers angebracht, dessen Aktionshöhe von ca. 500 bis ca. 700 mm vor der Inbetriebnahme eingestellt werden kann. Das LAM kann Behälter bis zu einer Größe von 600x400 mm aufnehmen (siehe Abbildung 24).



Abbildung 24: Open Shuttle mit KLT¹⁰⁹

Dieser Rollenförderer verfügt über zwei Lichtschranken, die sicherstellen, dass die Ladung tatsächlich übernommen wurde und sich auch am Shuttle befindet. Die Lastaufnahme und -abgabe erfolgt wie in Abbildung 25 stets von der Vorderseite.



Abbildung 25: Open Shuttle bei der Lastübergabe¹¹⁰

¹⁰⁸ Vgl. Hoffmann (2012), S. 3ff

¹⁰⁹ Quelle: Eigene Darstellung

¹¹⁰ Quelle: Eigene Darstellung

Die Navigation des Open Shuttle erfolgt mit Hilfe eines frontal in der Mitte angebrachten Sick S3000 Sicherheitslaserscanners. Dieser tastet die Umgebung in einem etwa 270° Winkel in einer Höhe von ca. 17 cm ab. Dabei können Hindernisse in bis zu 30 m Entfernung detektiert werden. Damit kann der Roboter auf bis zu +/- 3 cm genau lokalisiert werden und Güter mit bis zu 50 kg mit 1,8 m/s vorwärts transportieren. Zusätzlich stehen zur besseren Lokalisierung Odometriedaten und ein Gyroskop an Bord des Fahrzeuges zur Verfügung. Allerdings dürfen keine Unebenheiten größer als 5 mm und keine Neigungen über 3° vorhanden sein. Der zuvor erwähnte Laserscanner übernimmt auch die Funktion der Objekterkennung. Hindernisse werden bis auf wenige Meter erkannt und das Fahrzeug versucht daraufhin auszuweichen. Beim Rückwärtsfahren werden zur Shuttle- und Objektabsicherung Ultraschallsensoren eingesetzt und zusätzlich erklingt ein Signalton. Die Kommunikation der Shuttle untereinander und mit der Zentrale erfolgt über WLAN und für die Energieversorgung wird der LiFePO₄-Akku an einer Docking Station automatisch geladen.¹¹¹ In Tabelle 1 sind die technischen Spezifikationen des Open Shuttle zusammengefasst.

Gewicht	
Fahrzeug	~90 kg
Tragkraft	
eben Fläche	150 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	LiFePo4
Ladesystem	1:4-6 Ladeverhältnis
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	1,8 m/s
Beschleunigung (max.)	-
Überfahrbares Hindernis	5 mm
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	~500 - 700 mm
Fahrzeuglänge	~750 mm
Fahrzeugbreite	~620 mm

Tabelle 1: Open Shuttle: technische Spezifikationen¹¹²

¹¹¹ Vgl. Knapp AG (2013), S. 5ff

¹¹² Quelle: Adept (2013, b), S. 1

4.2 Adept Lynx – Adept Technology GmbH

Adept Technology GmbH ist ein 1983 in Amerika gegründetes Unternehmen. Die zentrale Niederlassung für Europa mit den Bereichen Vertrieb, Service und Training existiert seit 1986 in Dortmund. Adept Technology ist einer der führenden Anbieter und Hersteller von Industrierobotersystemen. Die Einsatzbereiche des Unternehmens liegen vor allem im High-Speed Pick & Place, Montage/Feinmontage, Verpackung/Palettierung und Materialhandling. Die Haupteinsatzbranchen sind die Solarindustrie, Verpackungsindustrie, Lebensmittel-/Pharmaindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau sowie die Elektroindustrie. Die Schwerpunkte der Produktpalette umfassen dabei High-Speed SCARA-Roboter, Parallelroboter und 6-Achs-Roboter. Zusätzlich bietet dieses Unternehmen integrierte Bildverarbeitungssysteme zur Fließbandverfolgung, aber auch hochentwickelte Technologien zur flexiblen Zuführung von Kleinteilen. Das Produkt, welches für den weiteren Verlauf dieser Arbeit von Interesse ist, ist der Adept Lynx.¹¹³

Adept Lynx

Der Adept Lynx (siehe Abbildung 26) ist ein fahrerloses Transportsystem mit einer integrierten Navigations- und Bewegungssteuerung. Eine spezielle Software sorgt für die automatische Kartengenerierung und Wegführung, weshalb es den mobilen Fahrzeugen möglich ist, innerhalb eines definierten Arbeitsbereiches absolut autonom und sicher zu navigieren. Es werden dazu keine spezielle Infrastruktur oder Änderungen an Gebäuden notwendig sein.¹¹⁴



Abbildung 26: Adept Lynx Roboter und Ladeeinheit¹¹⁵

¹¹³ Vgl. Adept (2013, a)

¹¹⁴ Vgl. Adept (2013, b), S. 1

¹¹⁵ Quelle: Adept (2013, b), S. 1

Das Fahrzeug verfügt über ein zuverlässiges Antriebssystem mit zwei großen Antriebsrädern und vier kleinen Stützrädern, welches für die autonome Navigation optimiert wurde. Nach der einfachen Installation steuert es die Ladevorgänge eigenständig und soll ein Lade/Laufzeit Verhältnis von 1:5 aufweisen. Für den Fall, dass ein Hindernis oder eine Person die Transportroute versperrt, wählt das System eine alternative Route aus und kann so pünktliche und kalkulierbare Transportvorgänge realisieren. Zu diesem Zweck kann es um die eigene Achse rotieren, navigiert sicher durch Türen und kann optional auch Aufzüge anfordern. Im Einsatz kann das Fahrzeug bis zu 60 kg in der Ebene transportieren.¹¹⁶ Um den Betrieb und insbesondere die Kommunikation mehrerer Fahrzeuge zu realisieren muss allerdings der optionale Enterprise Manager erworben werden. Künftige Einsätze werden insbesondere in der Logistik, Krankenhausautomation sowie in der Pharma-, Medizin- und Automobilindustrie bzw. Herstellung/Produktion, Intralogistik/Lagerhaltung/Distribution und im Reinraum und Gesundheitswesen gesehen.¹¹⁷ Die technischen Spezifikationen zum Adept Lynx werden in Tabelle 2 dargestellt.

Gewicht	
Fahrzeug	60 kg
Tragkraft	
eben Fläche	60 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	LiFePo4
Ladesystem	1:5 Ladeverhältnis, 13 Std. Laufzeit
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	1,8 m/2
Beschleunigung (max.)	-
Überfahrbares Hinderniss	15 mm
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	372 mm
Fahrzeuglänge	697 mm
Fahrzeugbreite	500 mm

Tabelle 2: Adept Lynx: technische Spezifikationen¹¹⁸

¹¹⁶ Vgl. Adept (2013, b), S. 1

¹¹⁷ Vgl. Adept (2013, c), S. 5f

¹¹⁸ Quelle: Adept (2013, b), S. 1

4.3 Kiva-Systems

Kiva Systems wurde 2003 von Mick Mountz, Peter Wurman und Raffaello D'Andrea gegründet und ist heute einer der führenden Anbieter für eCommerce-Lösungen. Kiva bietet das Konzept „distributed intelligence“ zur Auftragserfüllung unter der Benützung von einzigartigen Materialbediengeräten und Bearbeitungssoftware an. Als Ergebnis steht ein komplettes goods-to-man Lagerautomationssystem, welches die Produktivität verdoppeln und gleichzeitig die Geschwindigkeit, Genauigkeit und Flexibilität verbessern soll. 2009 war Kiva Systems die Nummer sechs der schnellst wachsenden Firmen der USA nach Inc. 500 und ein „Cool Vendor in Supply Chain Management“ laut Gartner. 2012 wurde Kiva Systems vom Fast Company Magazine zum „The 23rd Most Innovative Company in the World“ gewählt. Im Mai 2012 wurde Kiva Systems von Amazon.com übernommen. Heutzutage versorgt Kiva Systems Firmen in Nordamerika und Europa.¹¹⁹

Kiva automated material handling systems (Kiva Systems)

Kiva Lagerautomationssysteme sind ein echtes integriertes Lagerhaltungs-, Qualitätskontroll- und Auftragserfüllungssystem. Kiva Systems ist flexibel, schnell zu integrieren und einfach zu benutzen und kann im Gegensatz zu traditionellen Fördermitteln Produkte und Behälter beinahe aller möglichen Formen und Größen transportieren (Schachteln, KLT, Paletten,...). Die automatischen Materialtransportsysteme von Kiva bestehen grundsätzlich aus folgenden Komponenten: den mobilen Robotern (pods), den mobilen Lagerregalen (bots) und der Kiva Systems Software. Die vollständige Transportlösung enthält außerdem auf den Kunden zugeschnittene Arbeitsstationen, ein kabelloses Netzwerk und ein server-basiertes Back-end-system. Kiva kann im Gegensatz zu herkömmlichen stationären Regalanlagen in relativ kurzer Zeit (wenige Wochen statt mehrerer Monate) installiert werden. Das Herz des Kiva Systems ist der „goods-to-man- picking-Prozess“. Dazu wurde der konventionelle Kommissionierprozess umgekehrt. So steht der Arbeiter an einem fixen Platz und anstatt in einer stationären Lagereinheit platziert der Arbeiter die Produkte in mobilen Regalen, die durch die fahrenden Roboter bewegt werden. Die Genauigkeit der Roboter kann dadurch gesteigert werden, indem man als zusätzliches Feature pick-to-light, put-to-light oder Barcodescanner in das System integriert. Außerdem kann die Bandbreite der zu transportierenden Produkte erhöht werden, indem man maßgeschneiderte Regale nach den Bedürfnissen der Kunden anfertigt. Die Kiva-Lösung ist auf einer flexiblen

¹¹⁹ Vgl. Kiva Systems (2014, a)

und konfigurierbaren Software aufgebaut. Diese Software fungiert sowohl als Warehouse Control System (WCS) zur Bedienung und Lenkung der Kiva-Ausrüstung, als auch als Lager- und Auftragsprozesssystem für Arbeiten innerhalb des Kiva-Systems. Durch die Arbeitsausführung mit nur einer Software kann Kiva auf Änderungen der Umweltbedingungen (tägliche Arbeitsvorgänge aber auch langfristige Geschäfts- und Vertriebsstrategien) dynamisch reagieren.¹²⁰

Der Transportroboter selbst besitzt Außenabmessungen von etwa 40 cm mal 60 cm. Das Gewicht des Fahrzeuges beträgt ungefähr 150 kg, wobei es ca. das Dreifache seines Eigengewichtes tragen und transportieren kann (~450 kg).¹²¹ Die Navigation funktioniert auf die Art und Weise, dass auf den Boden 2D-Code-Sticker in einem Raster angebracht werden, die von einer an der Unterseite des Fahrzeuges angebrachten Kamera erfasst und gelesen werden. Die Informationen aus den 2D-Codes werden vom Roboter mittels Funk an einen Computer-Cluster gesendet, der sowohl als Dispatcher als auch als Verkehrskontrolle agiert. Die Roboter fahren so in geraden Linien und vollziehen exakte 90° Kurven in einem Abstand von nur 15 cm voneinander. Dabei wird die Position der 2D-Sticker permanent überwacht. Befindet sich ein Code z.B. zu weit links, so vollführt das Fahrzeug eine Bewegung nach rechts, um wieder auf den richtigen Kurs zu kommen. Der Computer-Cluster überwacht alle FTF und Regale im Raster und ein Algorithmus zur Ressourcenzuweisung koordiniert ihre Bewegungen. Das Kontrollsystem übernimmt auch die Stabilitätskontrolle während des Regaltransportes. Dies wird benötigt, da der Hebevorgang durch ein rotierendes Gewinde (\varnothing 30,5 cm) durchgeführt wird und eine Platte an dessen oberen Ende das Regal anhebt. Dieses Gewinde wird von einem Gleichstrommotor angetrieben und hebt bzw. senkt die Platte um 5 cm. Um das Regal stabil zu halten und nicht zu drehen wird der Roboter vom Control System mit exakt derselben Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung verdreht. In diesem Zustand kann das Fahrzeug mit bis zu 1,3 m/s vorwärts fahren und bis zu 1 cm hohe Hindernisse überwinden.¹²² Für die Energieversorgung kommt eine Bleisäurebatterie zum Einsatz.¹²³

Die Eigenschaften des Kiva Systems sind in Tabelle 3 dargestellt.

¹²⁰ Vgl. Kiva Systems (2014, b)

¹²¹ Vgl. Kiva Systems (2014, c)

¹²² Vgl. Spectrum (2014)

¹²³ Vgl. Forbes (2014)

Gewicht	
Fahrzeug	~150 kg
Tragkraft	
eben Fläche	~450 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	Bleisäureakku
Ladesystem	-
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	1,3 m/s
Beschleunigung (max.)	-
Überfahrbares Hinderniss	10 mm
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	-
Fahrzeuglänge	~630 mm
Fahrzeugbreite	~400 mm

Tabelle 3: Kiva System: technische Spezifikationen¹²⁴

4.4 Dematic Multishuttle Move – Dematic GmbH

Dematic ist ein Systemintegrator und Zulieferer automatischer Materialflusssysteme mit dem Hauptsitz in Luxemburg. Dieses Unternehmen beschäftigt um die 4000 Mitarbeiter und setzt etwa eine Milliarde Euro pro Jahr um. Gegründet wurde Dematic – damals noch Demag – Anfang des 19. Jahrhunderts in Wetter in Deutschland. Nach einigen Zukäufen (auch aus USA und Australien) übernahm 2001 Siemens die Dematic AG und spaltete die Distributions- und Logistikabteilung Dematic GmbH & Co KG 2006 ab. 2010 kaufte Dematic die amerikanische HK Systems, ein Unternehmen für Materialfluss und automatische Systeme. Heutzutage entwickelt, produziert, installiert und betreut diese Firma einen großen Bereich an Materialfluss- und Logistikautomatontechnologien in über 35 Ländern weltweit.¹²⁵

Dematic Multishuttle Move

Diese Fahrzeuge basieren weitgehend auf dem regalgebundenen Vorgänger und dessen Komponenten. Veränderungen wurden insbesondere bei den Verfahren der Lokalisierung und Kommunikation der Shuttles untereinander sowie des Energiekon-

¹²⁴ Quelle: Kiva Systems (2014, c); Spectrum (2014); Forbes (2014)

¹²⁵ Vgl. Dematic (2013, a), S. 3

zeptes und –managements getätigt. Die Fahrzeuge koordinieren sich mit Hilfe einer agentenbasierten Software untereinander und auch selbsttätig mit dem Lift. So schafft es das System auf veränderte Auftrags-, Kunden-, oder Artikelstrukturen zu reagieren, aber auch die Leistungen zwischen den Lager- und Transportprozessen und auch den einzelnen Bereichen, wie den Regalgassen zu koordinieren. Die für eine hohe Systemverfügbarkeit und Redundanz verantwortliche Fahrzeuganzahl ist frei skalierbar. Da die Shuttles selbstständig ihren Weg anpassen und sich auf geänderte Bedingungen einstellen können, lassen sich Erweiterungen oder Layoutanpassungen zu einem späteren Zeitpunkt ohne großen Aufwand realisieren. Anders als das alte Multishuttle, ist das neue Multishuttle Move insbesondere für hohe Lagerkapazitäten und den mittleren Leistungsbereich konzipiert (Medizintechnik, Metallwarenindustrie, ...), indem es herkömmliche Regalbediengeräte und Fördertechniklösungen ersetzt und die benötigte Ware auf direktem Weg zum Ziel bringen soll.¹²⁶ Das Gesamtsystem Multishuttle Move besteht aus mehreren Basiskomponenten:¹²⁷

- **Lagerregal** – Hier sind die Waren, die vom Wareneingang oder aus der Produktion kommen eingelagert
 - Die Regale können einfachtief oder doppeltief gestaltet werden, sodass die Ware beidseitig entnommen werden kann. Die Läger können auch tiefer gestaltet werden, wenn die Arme der Shuttles dementsprechend verlängert werden.
 - Am Beginn und/oder Ende jeder Lagergasse ist ein Lift angebracht, der die Kartons/Boxen/Behälter auf alle Ebenen befördert.
 - Die Behälter können dabei entweder außerhalb des Regals an ein Shuttle übergeben werden oder direkt vom Shuttle aus dem Regal entnommen und bis zum Ziel transportiert werden („rollende Kiste“).
- **Transportfahrzeug** – Dies ist das eigentliche fahrerlose Transportfahrzeug (siehe Abbildung 27)
 - Das Fahrzeug ist ein flaches Gefährt mit einer Aufnahme für die Behälter in der Mitte. Die Aufnahme und Abgabe der Behälter erfolgt durch horizontal verschiebbare Arme.

¹²⁶ Vgl. Dematic (2013, b)

¹²⁷ Vgl. Dematic (2013, a), S. 5ff

- Es ist sowohl für den Transport im Regal (vier seitliche Rollen), als auch für Fahrten auf dem Boden (zwei Antriebsrollen und eine passive Lenkrolle) konzipiert.
- Energie bezieht das Shuttle entweder über eingebaute Akkus (Flurbetrieb) oder mittels einer Schleifleitung (Schienenbetrieb), über die auch die Akkus geladen werden.
- An der Front und am Heck ist je ein Laserscanner angebracht, die sowohl zur Navigation, als auch für die Sicherheit genutzt werden.



Abbildung 27: Multishuttle Move schienengeführt und frei navigierend ¹²⁸

Die Fahrzeuge werden über ein dezentrales Steuerungssystem nach dem Prinzip des Internet der Dinge durch den Einsatz eines Multi-Agenten-Systems koordiniert. Die intelligente Lokalisation, Navigation und Kollisionsvermeidung basiert auf einem hybriden Sensorkonzept. Dieses besteht aus einer Koppelnavigation, Funkortung, sowie Abstands- und Inertialsensoren. Das Shuttle kann sich so frei bewegen und benötigt keine Hilfsmittel und reagiert dynamisch auf seine Umgebung, wie z.B. vor dem Shuttle kreuzende Fahrzeuge. Die Shuttles kommunizieren untereinander mittels WLAN und stimmen sich bei Auftragsdisposition und Routenfindung untereinander ab. ¹²⁹

In der folgenden Tabelle 4 werden die technischen Spezifikationen des Multishuttle Move gezeigt.

¹²⁸ Quelle: Kamagaew et al. (2011), S. 170

¹²⁹ Vgl. Fraunhofer (2013), S. 2f

Gewicht	
Fahrzeug	134 kg
Tragkraft	
eben Fläche	40 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	-
Ladesystem	2,5 - 4,5 Std Laufzeit
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	1 m/s frei, 2 m/s schienengeführt
Beschleunigung (max.)	-
Überfahrbares Hinderniss	-
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	350 mm
Fahrzeuglänge	1135 mm
Fahrzeugbreite	706 mm

Tabelle 4: Multishuttle Move: technische Spezifikationen ¹³⁰

4.5 MP-400/MT-400 – Neobotix

Neobotix entwickelt und fertigt seit über zehn Jahren mobile Robotersysteme für alle Einsatzbereiche und Kunden weltweit. Dabei wird versucht, die etablierten, klassischen und robusten Roboter aus der Industrie mit neuen Technologien und Visionen zu vereinen. Gegründet wurde die Firma 1999 unter dem Namen GPS GmbH um Innovationen des Fraunhofer IPA in marktfähige Produkte umzusetzen. In den folgenden Jahren wurden weitere Abteilungen gegründet und mehrere neuartige Robotersysteme (z.B. Serviceroboter, Kameraroboter oder mobile Manipulatoren) in verschiedensten Industriebereichen getestet und implementiert. ¹³¹

Neobotix bietet mehrere verschiedene Typen Fahrerloser Transportsysteme an, wobei für diese Arbeit nur die Variante MP-400/MT-400 interessant ist.

MP-400/MT-400

Der MP-400 ist eine mobile Plattform, die speziell für den Einsatz in der Industrie entwickelt wurde (siehe Abbildung 28).

¹³⁰ Quelle: Dematic (2013, b); Kamagaew et al. (2011), S. 171

¹³¹ Vgl. Neobotix (2014, a)



Abbildung 28: MP-400 Basisplattform ¹³²

Das Hauptaugenmerk bezieht sich dabei auf den flexiblen Materialtransport in der Intralogistik. Der Roboter ist mit einem integrierten Laserscanner ausgestattet, der den Transport auch auf flexiblen Pfaden, sowie durch von Menschen benutzte Areale ermöglicht. Die Messdaten dieses 2D-Laserscanners können zur Lokalisierung, Navigation und Kollisionsvermeidung genutzt werden. Der Antrieb des Fahrzeuges wurde mittig angebracht, um auch in schmalen und verwinkelten Einsatzbereichen einwandfrei zu navigieren, was durch den kompakten, rotationssymmetrischen Aufbau noch verbessert wird. Der MP-400 kann durch viele Optionen und Ausbaumöglichkeiten an unzählige Aufgaben angepasst werden, sei es einfache innerbetriebliche Transporttätigkeiten oder aber auch anspruchsvolle Forschungsaufgaben der Servicerobotic. ¹³³ Der MT-400 ist eine Erweiterung der Basisplattform MP-400 um ein Lastaufnahmemittel (siehe Abbildung 29).



Abbildung 29: MT-400 mit montiertem LAM¹³⁴

Dieses LAM kann aktiv betrieben werden oder aber auch aus einer einfachen Lade- fläche bestehen, die auf das jeweilige Transportgut abgestimmt ist. Somit ist es für den Transport von Kleinmengen und Sonderteilen zwischen den Produktions- oder Lagerbereichen aufgabenbezogen ausgestattet. Die Hauptaufgabe besteht dabei

¹³² Quelle: Neobotix (k.A., a)

¹³³ Vgl. Neobotix (k.A., a)

¹³⁴ Quelle: Neobotix (k.A., b)

aus der Ergänzung klassischer Fördersysteme, die aufgrund technischer Ansprüche oder aus Platzmangel an ihre Grenzen stoßen.¹³⁵

Die Implementierung dieses FTS erfolgt mit Hilfe der inkludierten Software. Dabei werden die Stationen und die dazugehörigen Pfade festgelegt. Mit der Steuerungssoftware lässt sich einfach eine 2D-Karte der Umgebung erstellen, in der anschließend mittels Joystick und Maus alle erdenklichen Routen definiert werden. Der verwendete Scanner kann bis zu vier Schutzfelder zur Überwachung der Umgebung vor dem Roboter erzeugen. Befindet sich ein Objekt innerhalb dieses Bereichs, versetzt die Software das Fahrzeug sofort in einen Not-Halt-Zustand. Zusätzlich können neben dem Laserscanner noch mehrere Ultraschallsensoren zur besseren Pfadplanung verbaut werden. Somit ist der MP-400 in der Lage, Personen und andere dynamische Hindernisse rechtzeitig zu erkennen. Die Energieversorgung wird von einem Blei-Gel-Akku übernommen, der entweder über eine automatische Ladestation oder rechtzeitig ausgetauscht und extern geladen wird.¹³⁶ Die technischen Spezifikationen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Gewicht	
Fahrzeug	50 kg
Tragkraft	
eben Fläche	100 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	Blei-Gel-Akku
Ladesystem	1:2 Ladeverhältnis, intern/extern
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	1,5 m/s
Beschleunigung (max.)	-
Überfahrbares Hinderniss	5 mm (bei <= 250 mm/2 10mm)
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	411 mm ohne Aufbau
Fahrzeuglänge	590 mm
Fahrzeugbreite	559 mm

Tabelle 5: Neobotix: technische Spezifikationen ¹³⁷

¹³⁵ Vgl. Neobotix (k.A., b)

¹³⁶ Vgl. Neobotix (2014, b), S. 3ff

¹³⁷ Quelle: Neobotix (2014, b), S. 26ff; Neobotix (2014, c)

4.6 UNITR – MT-Robots AG

MT-Robots AG bietet als schweizer Unternehmen Komplettlösungen auf der Basis des hauseigen entwickelten fahrerlosen Transportsystems UNITR an. Dabei erstreckt sich der Einsatzbereich von der Logistik über Fußbodenreinigung und Qualitätssicherung bis hin zu Sicherheits- und Inspektionsaufgaben. Als potentielle Industriebereiche werden die mechanische Fertigung, Kunststoffverarbeitung, Elektronik und Montage gesehen, um die Prozesse zu automatisieren und bei erhöhter Qualität gleichzeitig die Flexibilität zu steigern. Basis bildet dabei das UNITR, welches mit verschiedenen Aufbauten für mehrere Aufgaben verwendet werden kann.¹³⁸

UNITR

Das UNITR ist eine mobile Grundeinheit, welche mit verschiedenen Aufsätzen für den Einsatz im Personaldienstleistungs- oder Fertigungsbereich vorbereitet werden kann. Der Grundkörper ist aus Aluminium und weiteren hochwertigen, leichten Materialien gefertigt, was zu einem geringen Eigengewicht von 138 kg bei einer maximalen Nutzlast von 200 kg führt. Das Fahrwerk besteht aus zwei Antriebsrädern mit Differentialantrieb an der Vorderseite und einer passiven Nachlaufrolle an der Rückseite (siehe Abbildung 30).

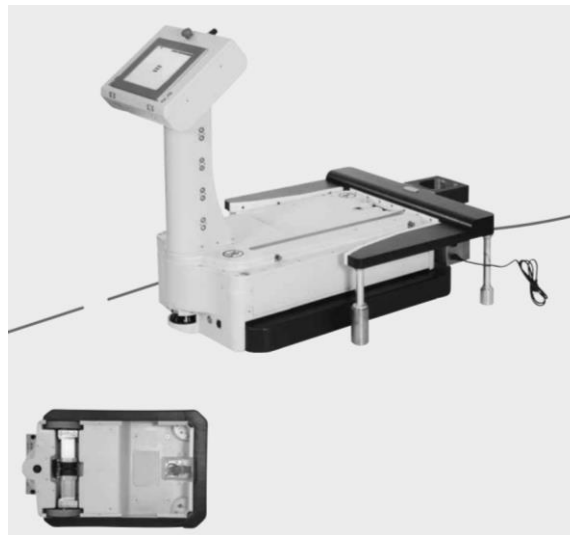


Abbildung 30: UNITR von unten und inkl. Ladestation¹³⁹

So ergeben sich für die hohe Nutzlast eine relativ gute Manövrierfähigkeit auch in engen Gassen und eine überfahrbare Schwelle von bis zu 20 mm. Das Energiesystem wird aus einem NiMH-Akku, der Ladeelektronik und dem Energiemanagement gebil-

¹³⁸ Vgl. MT Robots (2014, a)

¹³⁹ Quelle: MT Robots (2014, b), S. 11

det. Die Implementierung erfolgt zuerst durch die Montage von peripherer Ausrüstung wie etwa Lastübergabe- oder Ladestationen. Danach werden auf den einzelnen Komponenten Installationen und Einstellungen vorgenommen. Dazu zählen etwa die Steuerungssoftware oder die Anbindung an Lifte oder Brandschutzanlagen. Um die Umgebung in die Software einzuspielen, wird das Fahrzeug mit einem Joystick durch die benötigten Bereiche gesteuert. Die gewonnenen Daten werden in einer Umgebungskarte gespeichert, die das Fahrzeug zur Navigation und Orientierung benötigt. Diese Karte wird dann noch mit weiteren Details wie etwa eingeschränkten Bereichen oder manuellen Übergabestationen gefüttert.

Das FTF ist mit einem Laserscanner und Ultraschallsensoren ausgestattet, die sowohl zur Navigation als auch zur Sicherheit dienen. Das Fahrzeug kann situationsbezogen Objekten ausweichen, die Geschwindigkeit anpassen oder bei Kollisionsgefahr einen Not-Stopp vollziehen. Auch die Eingabe oder Erzeugung der durchzuführenden Aufträge kann auf verschiedene Arten erfolgen. Zum einen können sie automatisch über das ERP, Produktionssteuerungen usw. oder manuell über eine webbasierte Benutzeroberfläche von jedem Rechner, Tablett oder Smartphone mit Netzwerkanbindung generiert werden.

Das UNITR kann durch das Modulwechselsystem sehr flexibel für die verschiedensten Bereiche in der Industrie eingesetzt werden. So ist es möglich mit nur einem Fahrzeug mehrere Aufgaben zu erfüllen, indem die Aufbauten je nach Bedarf automatisch getauscht werden. Dadurch kann die Auslastung gesteigert, ein bestehendes System ausgebaut oder in einem Stufenplan unterschiedliche Aufgaben und Anwendungen schrittweise abgefertigt werden (siehe Abbildung 31).¹⁴⁰



Abbildung 31: Verschiedene Verwendungsmöglichkeiten des UNITR¹⁴¹

Die Eigenschaften des UNITR sind in Tabelle 6 dargestellt.

¹⁴⁰ Vgl. MT Robots (2014, b), S. 2ff

¹⁴¹ Quelle: MT Robots (2014, b), S. 3

Gewicht	
Fahrzeug	138 kg
Tragkraft	
eben Fläche	200 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	NiMH
Ladesystem	1:3 Ladeverhältnis
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	1,2 m/s
Beschleunigung (max.)	-
Überfahrbares Hinderniss	20 mm
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	362 mm ohne Aufbau, gesamt 1205
Fahrzeuglänge	1258 mm
Fahrzeugbreite	724 mm

Tabelle 6: MT Robots: technische Spezifikationen ¹⁴²

4.7 AMV-1 – BlueBotics

BlueBotics wurde 2001 als Spinn-off der Autonomous Systems Lab gegründet. ¹⁴³ Mit dem Ziel innovative mobile Robotertechnologien zu entwickeln sind sie in den Segmenten Automation und Servicerobotic tätig. Das Kerngeschäft von BlueBotics ist die Navigation. Dabei haben sie ein Produkt entwickelt – ANT[®] (autonomous navigation technology) – welches insbesondere im Transport von Leichtteilen und in der Servicerobotic eingesetzt wird. BlueBotics bietet verschiedene mobile Roboterplattformen an (Gilberto – Tour Guide, Atom – Home Office, ...), als Transportfahrzeug im industriellen Bereich dient allerdings nur das AMV-1. ¹⁴⁴

AMV-1

Das autonome, modulare Fahrzeug AMV-1 (Autonomous Modular Vehicle) ist für den Einsatz in Rehabilitationszentren und Krankenhäusern oder als mobile Logistiklösung für den Transport von leichten Ladungen in der Industrie gedacht. Der AMV-1 ist eine mobile Grundeinheit, auf der je nach Einsatzgebiet verschiedene Module angebracht werden können. Das Fahrzeug kann mit Hilfe geeigneter Lastaufnahmemittel Waren bis zu 150 kg transportieren. Mit einem eigens designten ergonomischen Ses-

¹⁴² Quelle: MT Robots (2014, b), S. 14f

¹⁴³ Vgl. BlueBotics (2007)

¹⁴⁴ Vgl. BlueBotics (2013, a)

selbmodul können auch Personen von A nach B befördert werden. Steuern lässt sich dieses Fahrzeug entweder manuell per Joystick oder automatisch durch die eigene Software ANT[®]. Wie in Abbildung 32 erkennbar, besteht das AMV-1 aus dem Korpus, zwei großen Antriebsrädern, vier passiven Führungsrädern, mindestens einem Laserscanner (Sicherheitsscanner), dem NOT-Aus-Button und der Plattform zur Befestigung des jeweiligen Lastaufnahmemittels.¹⁴⁵

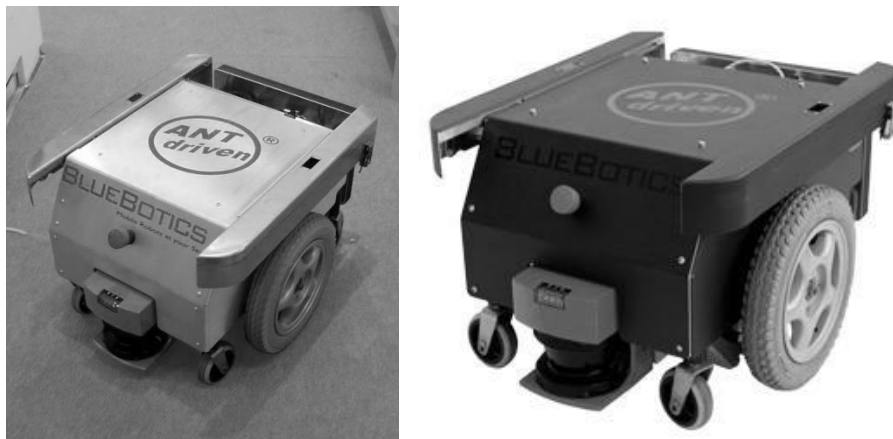


Abbildung 32: BlueBotics AMV-1¹⁴⁶

Um diese Fahrzeuge autonom ohne manuelle Steuerung nutzen zu können, verwendet BlueBotics die bereits erwähnte Software ANT[®]. Zur Orientierung werden die natürlichen Konturen in der Umgebung der Fahrzeuge genutzt. Es werden keine zusätzlichen Installationen wie Magnete oder Reflektoren benötigt. Hochpräzisionssensoren zeigen mit einem zuverlässigen Sicherheitssystem dem Fahrzeug an, wo und in welchem Abstand Hindernisse auf dem Transportweg liegen oder sich in unmittelbarer Nähe zum Fahrzeug befinden. So kann das FTF rechtzeitig darauf reagieren und entweder dem Hindernis ausweichen oder die Geschwindigkeit soweit drosseln, dass gefährliche Situationen vermieden werden. Dies ermöglicht, dass selbst in sensiblen Sicherheitsbereichen das Fahrzeug nicht unnötig verzögert wird oder gar stoppt.¹⁴⁷ Bei einer maximalen Geschwindigkeit von etwa 1,4 m/s erreicht das System durch die aus den Laserscannern und Industriellen Encodern erhaltenen Daten eine Positioniergenauigkeit von +/- 10mm. Die Konfiguration der Umgebung erfolgt anfangs durch einen manuellen „Rundgang“ mit dem Fahrzeug, wobei der Laserscanner die groben Umrisse in einer Landkarte speichert, die anschließend vom Benutzer übernommen werden. Auf dem Fahrzeug sind insgesamt drei voneinander unabhängige Systeme installiert. Abhängig vom Einsatz ist die Auswahl der passenden Ladetechnik

¹⁴⁵ Vgl. BlueBotics (2013, a)

¹⁴⁶ Quelle: Pressebox (2008); BlueBotics (2013, b)

¹⁴⁷ Vgl. BlueBotics (2010), S. 3

für die Batterie des FTF. Für einen Einschichtbetrieb wird eine fix installierte Ladestation am günstigsten sein, an der das FTF nach Betriebsende seinen Akku auflädt. Im Mehrschichtbetrieb besteht die Möglichkeit, das Fahrzeug bei einem vordefinierten Batterieladestand an eine Wechselstation zu schicken, an der der gesamte Akku von einem Mitarbeiter getauscht wird. So kann in kurzer Zeit die volle Batteriekapazität wieder hergestellt werden. Außerdem ist es so möglich, die Fahrzeuge einer kurzen Inspektion zu unterziehen. ¹⁴⁸ Tabelle 7 zeigt die zusammengefassten Eigenschaften des AMV-1.

Gewicht	
Fahrzeug	-
Tragkraft	
eben Fläche	150 kg
Stromversorgung	
Batteriesystem	AKKU
Ladesystem	-
Mobility Übersicht	
Geschwindigkeit (max.)	ca. 1,3 m/s
Beschleunigung (max.)	1,35 m/s ²
Überfahrbares Hinderniss	35 mm
Abmessungen	
Fahrzeughöhe	430 mm
Fahrzeuglänge	700 mm
Fahrzeugbreite	560 mm

Tabelle 7: BlueBotics AMV-1: technische Spezifikationen ¹⁴⁹

¹⁴⁸ Vgl. BlueBotics (2013, c)

¹⁴⁹ Quelle: BlueBotics (2013, b); BlueBotics (2010)

5 Vergleich der Technologien von Shuttlesystemen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Bewertung der Shuttlesysteme, auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Einsatzbereiche. Dabei werden Technologien bezüglich des Antriebs, der Lastaufnahme und insbesondere der Navigation der FTF betrachtet. Zuerst wird ein Bewertungskatalog entwickelt, der die verschiedenen Aspekte eines FTS umfasst. Weiter wird ein Fragebogen erstellt, der die Rahmenbedingungen der FTS abdeckt und auch eine Unterscheidung der verschiedenen Industriebereiche ermöglicht. Im Anschluss erfolgt die Auswertung der Umfrage, aus der die Gewichtung der einzelnen Kriterien abgeleitet werden kann.

5.1 Entwicklung eines Bewertungskatalogs

Auf der Grundlage der aus den vorigen Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse anhand der Leistungskennzahlen der Produkte und der erwarteten Anforderungen der Kunden an ein FTS befasst sich dieses Kapitel mit der Ausarbeitung eines Bewertungskataloges. Der Katalog splittet sich dabei in die Bereiche Allgemeines, Antrieb, Lastaufnahme, Navigation, Energie auf. Selbstverständlich muss darauf geachtet werden, dass die im Bewertungskatalog enthaltenen Kriterien auch objektiv vergleichbar sind. Da die Anwendungen, die Anforderungen und insbesondere die Rahmenbedingungen in den verschiedenen Bereichen der Logistik (Lagerlogistik, Produktionslogistik, Dienstleistungslogistik, ...) und auch der verschiedenen Branchen (Food, Retail, Fashion, Pharma, Stahl, Chemie, ...) sehr unterschiedlich ausfallen, ist auch darauf Rücksicht zu nehmen. Ein exakter Vergleich bezüglich der Leistungen, insbesondere der Zuverlässigkeit der Software kann nur durch ausführliche und kostenintensive Tests mit den jeweiligen Systemen durchgeführt werden, weshalb auf die Angaben der Systemhersteller zurückgegriffen wird.

Allgemein

Die Allgemeinen Bewertungskriterien beinhalten Anforderungen, die nicht direkt an anderen Einheiten wie dem Antrieb oder der Navigation angehängt werden können. Gleich zu Beginn sollte die Inbetriebnahme des Systems so einfach wie möglich gestaltet werden, um schnellstmöglich den sicheren Betrieb des Systems zu gewährleisten. Dazu sind eine einfache Installation und Bedienbarkeit des Systems und der Fahrzeuge notwendig. Die Skalierbarkeit des Systems ist ein weiterer wesentlicher Punkt eines FTS. Es sollte bei Bedarf möglich sein, Fahrzeuge zur Erfüllung größerer Transportaufträge ins System einzubringen oder auch entfernen zu können. Auch die

Erweiterung des Systems sollte bei einer Vergrößerung des Einsatzbereiches einfach und schnell möglich sein. Dies beinhaltet die gesamte Rekonfigurierbarkeit des Systems in Bezug auf eine strukturelle Veränderung der Transportwege. In die Gesamtbetrachtung sollten auch die Höhe der Investitionskosten sowie der laufenden Kosten über die Nutzungsdauer einfließen.

Antrieb

Der Antrieb ist ein zentrales Merkmal des FTF, da er sich direkt auf die Verwendbarkeit in verschiedenen Umgebungen auswirkt. Zum Antrieb zählen der verwendete Motor, sowie die Art, Anordnung und Aufhängung der Räder. Die Art und Leistung des Antriebs hat einen großen Einfluss auf die Nutzbarkeit in rauen oder ruhigen Umgebungsbedingungen, bei verschmutzten oder sauberen Böden, bei ebenem oder unebenem Untergrund und bei Steigungen. Die Auswahl der Räder und Aufhängung beeinflusst auch die Navigationssicherheit und das sichere Transportieren schwerer Ladungen. So stellt sie sicher, dass kleinere Hindernisse wie Kabel oder Bodenspalte problemlos überwunden werden können. Zusätzlich spielt in diesem Bereich auch der minimale Kurvenradius eine Rolle. Um sicher durch enge Gassen manövrieren zu können oder auch beim An- und Abdocken sowie bei Ausweichmanövern sollte dieser Kurvenradius so gering wie möglich ausfallen (optimal 0 mm). Der auffallendste Punkt im Bereich des Antriebes ist die maximale Fahrgeschwindigkeit. Diese wirkt sich direkt auf den Durchsatz des Gesamtsystems aus. Je höher diese realisierbare Geschwindigkeit ist, desto schneller kann der Transportprozess bewältigt werden und desto größer können die zurückzulegenden Transportwege gestaltet werden.

Lastaufnahmemittel und Nutzlast

Das Lastaufnahmemittel, welches am FTF installiert ist, beschränkt die Menge der zu transportierenden Güter. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben kann es in verschiedenen Varianten einer verkürzten Fördertechnik realisiert werden. So gibt es Ausführungen in Form von z.B. Rollen- oder Gurtförderern aber auch einfachen Ablageflächen ohne automatische Auf- und Abnahme. Auch die Größe der Auflagefläche für die zu transportierenden Behälter sowie die Höhe und die Variabilität der Oberkante der Auf- und Abnahme ist entscheidend für den Einsatz (Höhe der verwendeten Fördertechnik, Auf- und Abnahmepunkte, Ergonomie bei manuellem Einsatz, ...). Auch die Sicherung der Ladung stellt ein entscheidendes Kriterium dar. Eine unzureichend gesicherte Ladung kann bei starken Bremsmanövern vom Lastaufnahmemittel fallen

und den Verkehr stoppen oder sogar Personal verletzen. Die Nutzlast spielt eine tragende Rolle bei der Auswahl des FTS in Bezug auf die zu transportierenden Güter. Insbesondere in stahlverarbeitenden Betrieben werden die zu transportierenden Güter ein höheres Gewicht aufweisen.

Energieversorgung

Die Bereitstellung der Energie ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal der FTF. Es existieren verschiedene Lösungsmöglichkeiten der Energiebereitstellung in Form unterschiedlicher Batterietechnologien. Wichtig sind dabei die maximale Laufzeit, sowie das Lade-/Laufzeitverhältnis, da sie sich direkt auf den Durchsatz und somit die Leistungsfähigkeit des FTF auswirkt. Je höher dieses Verhältnis ist, desto länger kann das Fahrzeug ohne Unterbrechung im Prozess eingebunden bleiben (wichtig bei zwei- oder drei-Schicht Betrieb). Unterschiede gibt es auch bei der Lebensdauer der verwendeten Batterietypen sowie bei den Varianten der Batterieaufladung. Laden manche Systeme vollautomatisch während des Prozesses (kein Eingriff durch das Personal notwendig, ladendes FTF muss durch ein anderes Fahrzeug kompensiert werden), müssen bei anderen Systemen die Akkus manuell ausgetauscht werden (Eingriff durch Personal notwendig, Fahrzeug sofort verfügbar). Ein weiteres Kriterium ist die Art der Batterietechnologie in Bezug auf die Sicherheit aber auch auf Größe und Gewicht. NiCd-Modelle sind zwar sicherer in der Lagerung und im Transport als Lithium-Batterien, allerdings weisen sie ein wesentlich höheres Gewicht auf und fallen baulich auch größer aus.¹⁵⁰

Größe, Gewicht und Nutzlast

Größe und Gewicht haben einen großen Einfluss auf das Handling der FTF. Die Größe spielt eine entscheidende Rolle wenn das Layout aus engen Gassen oder verwinkelten Transportrouten besteht. Außerdem können kleinere und leichtere Fahrzeuge von den Mitarbeitern leichter verschoben oder an- und abtransportiert werden.

Navigation

Das wohl gravierendste Unterscheidungsmerkmal Fahrerloser Transportsysteme zu herkömmlichen Transportfahrzeugen, als auch untereinander ist die verwendete Navigationstechnologie. Die Umgebungs- und Prozessbedingungen haben einen sehr hohen Einfluss auf die zu verwendende Navigationstechnik. Dies beginnt bei den Umweltbedingungen wie etwa der Sauberkeit der Umgebung, der Beschaffenheit

¹⁵⁰ Vgl. Ditch et al.(2013), S. 84ff

der Böden und Gebäude oder auch der Aufteilung der Hindernisse (Säulen, Stiegen, ...) im Transportbereich. Auch die Bereitschaft zu baulichen Veränderungen entscheidet über die Auswahl der Navigation. Einer der wichtigsten Punkte bezüglich der Anforderung an die Navigationstechnologie ist aber die Gestaltung der Prozesse, die mit dem FTS unterstützt werden sollen. Unterschieden werden hierbei Arbeitsschritte und Transportwege, die über die gesamte Nutzungsdauer gleich bleiben und solche, die sich kontinuierlich ändern. Für veränderliche Transportaufträge und -routen ist eine Navigationstechnologie notwendig, die sich flexibel an die aktuellen Gegebenheiten anpasst und die abgeänderten Transportrouten mit den verschiedenen Aufnahme- und Abgabestationen abfahren kann (z.B. verschiedene Produkte an einer Maschine oder verschiedene Güter an einem Lagerplatz – m:n-Verbindungen). Außerdem sollten etwaige Hindernisse entlang der geplanten Transportroute sicher erkannt und umfahren werden können.

Sicherheit

Die Sicherheit der Fahrzeuge kann in verschiedene Bereiche aufgeteilt werden. Zum einen gibt es die Sicherheit gegen Kollisionen mit anderen Fahrzeugen des Systems. Diese sollten durch ein intelligentes Flottenmanagementsystem ausnahmslos verhindert werden. Weiter besteht die Gefahr der Kollision mit auf den Transportwegen abgestellten Hindernissen, wie z.B. Paletten oder Kisten (siehe Navigation). Diese sind durch geeignete Sensorik in Bodennähe zu erfassen und nach Möglichkeit zu umfahren. Zusätzlich können auch andere Fahrzeuge wie etwa Gabelstapler den Verkehr der FTF stören. Diese sollten sowohl in Bodennähe als auch beim Transport von Waren störungsfrei erkannt werden. Damit ist gemeint, dass das FTF in der gesamten Höhe (inklusive etwaiger Fracht) gegen Kollisionen abgesichert sein sollte. Der wichtigste Teil ist die Personensicherheit. Sollten sich auch Personen in der unmittelbaren Umgebung der FTF befinden, müssen diese gegen einen Zusammenstoß mit den Menschen gesichert sein, um Verletzungen der Mitarbeiter zu vermeiden. Diese Sicherheitsvorkehrungen müssen sowohl beim Vorwärts- als auch beim Rückwärtsfahren (inklusive Tonabgabe) einwandfrei funktionieren. Sollte dennoch ein FTF mit einem Hindernis zusammenstoßen, muss dieses derartig konstruiert sein, dass es seine Funktion nicht verliert (Industrietauglichkeit).

Da die unterschiedlichen Aspekte zu übergeordneten Anforderungen zusammengefasst werden können und einige der genannten Kriterien von allen Systemen im gleichen Maße erfüllt werden, lässt sich in Tabelle 8 schematisch dargestellter Anforderung

rungskatalog zur Bewertung der Fahrerlosen Transportsysteme verwenden. Weiter werden bestimmte Kriterien (z.B. Nutzlast und Größe des LAM) von vornherein mit einer hohen Gewichtung versehen, da die Fähigkeit die Transportlose aufnehmen zu können als Grundvoraussetzung und somit als Ausschlusskriterium gilt.

	Gewichtung			System/Technologie					
	P	3PL	DL	P		3PL		DL	
Allgemein									
Inbetriebnahme	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Skalierbarkeit	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Erweiterbarkeit	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Größe und Gewicht									
Abmessungen und Gewicht	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Antrieb									
max. Geschwindigkeit	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Überfahrbare Hindernisse	G	G	G	B	E	B	E	B	E
LAM und Nutzlast									
Art des LAM und Größe	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Nutzlast	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Energieversorgung									
Batterietyp, -kapazität, Ladesystem, -dauer	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Navigation									
Veränderte Bedingungen (Hindernisse, ...)	G	G	G	B	E	B	E	B	E
flexible Routenplanung									
Schmutzunempfindlichkeit	G	G	G	B	E	B	E	B	E
spezielle Bereiche	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Sicherheit									
Maschinensicherheit	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Personensicherheit	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Industrietauglichkeit (robuste Bauweise)	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Kommunikation mit Umwelt	G	G	G	B	E	B	E	B	E
Gesamtpunkte				GP		GP		GP	

Tabelle 8: Schema des Bewertungskatalogs

G...Gewichtung; B...Bewertung; E...Ergebnis; GP...Gesamtpunktzahl ¹⁵¹

¹⁵¹ Quelle: Eigene Darstellung

5.2 Entwicklung des Fragebogens

Wie in Kapitel 3 beschrieben wird zur Informationsbeschaffung für einen technischen Vergleich der Transportsysteme ein Fragebogen an Unternehmen aus den Bereichen Produktion, Lagerlogistik und 3PL ausgeschickt. Der Fragebogen soll dabei vollkommen anonym ausgewertet werden, sodass keine Rückschlüsse auf die Unternehmen direkt gezogen werden können. Die verwendeten Fragen sollen dabei alle im in Kapitel 5.1 entwickelten Bewertungskatalog enthaltenen Kriterien berücksichtigen, sodass aus den Antworten und den Beziehungen zueinander die Wichtigkeit der jeweiligen Aspekte in Bezug auf die Einsatzgebiete abgeleitet werden kann.

Der Fragebogen wurde vom Verfasser im Rahmen seiner Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit seinem Betreuer, DI Georg Judmaier entwickelt. Der Fragebogen umfasst 15 Fragen, welche insbesondere auf das Transportverhalten und die Umgebungsbedingungen eingehen. Nachstehend werden die Fragen mit deren Bezug auf den Bewertungsbogen behandelt.¹⁵²

1. „In welchem Bereich ist Ihr Unternehmen angesiedelt?“

Mit dieser Frage wird ermittelt, ob sich das Unternehmen im Bereich Produktion, 3PL oder Dienstleistungslogistik befindet, was für die spätere branchenspezifische Bewertung notwendig ist.

2. „Wie groß ist die durchschnittliche Transportlänge, die für den innerbetrieblichen Transport benötigt/verwendet wird?“

Diese Frage stellt fest, ob eine hohe Maximalgeschwindigkeit erforderlich ist. Außerdem ist dies ein Indikator dafür, ob der Einsatz eines FTS überhaupt sinnvoll ist, da auf längeren Transportwegen eine konventionelle Fördertechnik günstiger wird.¹⁵³

3. „Wie viele Mitarbeiter werden für den innerbetrieblichen Transport beschäftigt?“

Dieser Wert wirkt sich auf die Beurteilung der Kosten des FTS aus. Je mehr MA durch ein FTS eingespart werden können, desto mehr kann das Unternehmen bereit sein dafür zu bezahlen. Diese Frage gibt Aufschluss darüber, ob der Einsatz von FTS im Vergleich zu konventioneller Fördertechnik ratsam ist.

¹⁵² Der gesamte Fragebogen mit den dazugehörenden Antwortmöglichkeiten befindet sich Anhang

¹⁵³ Berechnung: Firma Knapp Systemintegration

4. „In welchem Beschäftigungsmodell arbeiten Ihre Mitarbeiter?“

Je nachdem, in welchem Ausmaß das FTS durchgehend verwendet wird, wirkt sich diese Auslastung auf die Batteriewerte und das Batterieladesystem aus.

5. „Wie verhält sich das Transportaufkommen über den Tag?“

Diese Aspekte beeinflussen sowohl die Fähigkeit der Skalierbarkeit, wenn zusätzliche Fahrzeuge in den Prozess eingeschleust werden müssen, aber auch das Batterie- und Ladeverhalten, da bei Transportschwankungen den Fahrzeugen die Möglichkeit gegeben wird, die Akkus aufzuladen.

6. „Wie verhält sich das Transportaufkommen über das Jahr?“

Das Transportaufkommen über das Jahr wirkt sich stark auf die Notwendigkeit eines skalierbaren FTS aus. Insbesondere bei hohen Schwankungen ist es von großem Vorteil, wenn die Flotte an das gestiegene Transportvolumen angepasst werden kann.

7. „Wie groß ist das Transportaufkommen allgemein?“

Je geringer das zu bewältigende Transportaufkommen ist, desto günstiger ist ein FTS im Vergleich zu einer konventionellen Förderanlage, was sich positiv auf die Kosten auswirkt.

8. „Wie groß sind ihre zu transportierenden Produkte (oder Behälter)?“

Die maximale Größe der zu transportierenden Produkte oder Behälter wird durch das verwendete Lastaufnahmemittel vorgegeben.

9. „In welchem Gewichtsbereich liegen die Transportlose?“

Diese Frage gibt Aufschluss darüber, ob die Nutzlast ausreichend ist.

10. „Wie ist die Beschaffenheit des Transportbereiches?“

Diese Frage liefert Informationen darüber, wie wichtig es ist, Hindernisse überfahren zu können oder sich auf verschmutztem Untergrund zu navigieren.

11. „Führen die Transportwege durch enge Gassen oder enge Abschnitte (Breite < 1,5 m)?“

Je schmaler die Gassen und Kurvenabschnitte sind, die das FTF durchfahren muss, desto wichtiger sind geringe Außenmaße und ein kleiner Wendekreis. Hier ist es außerdem sinnvoll, spezielle Bereiche wie Einbahnen oder „single-robot-areas“ zu bestimmen, um einen geregelten Verkehr zu gewährleisten.

12. „Sind die Verbindungen zwischen Aufnahme- und Abgabepunkt immer dieselben (m:n Verbindungen)?“

Hat ein FTF immer denselben Weg abzufahren oder ändert sich dieser aufgrund von verschiedenen Prozessen ständig? Hier ist das FTS gefordert, z.B. durch flexible Routengestaltung auf veränderte Bedingungen einzugehen.

13. „Verlaufen die Transporte über getrennte Bereiche (z.B. Tore, die geschlossen werden müssen)?“

Verlaufen Transporte über getrennte Bereiche, so muss das FTS in der Lage sein, mit seiner Umwelt zu kommunizieren (Lift, automatische Tore, Sprachausgabe, ...). Hier müssen auch zusätzliche spezielle Bereiche verwendet werden, um z.B. bei schmalen Toren immer nur ein Fahrzeug durchfahren zu lassen.

14. „Befinden sich entlang der Transportwege auch andere Objekte (Fahrzeuge, Personen, Paletten, ...)?“

Je nachdem, welche Objekte sich zusätzlich im Bereich der FTF befinden, müssen die Sicherheitsvorrichtungen des FTS auf diese ausgerichtet sein (Maschinensicherheit, Personensicherheit, Industrietauglichkeit).

15. „Ändern sich die Transportwege aufgrund von veränderlichen Prozessen?“

Diese Frage gibt Aufschluss darüber, wie wichtig eine flexible und automatische Routenanpassung, die Möglichkeit einer Skalierung oder auch permanenten Erweiterung des Systems ist.

Der Fragebogen wurde mit dem Online-Fragebogentool SurveyMonkey¹⁵⁴ erstellt und an Unternehmen in den genannten Bereichen in Österreich, Deutschland und der Schweiz versendet. In einem beiliegenden Text wurden der Erfasser sowie Sinn und Zweck dieser Umfrage erläutert.

5.3 Auswertung der Umfrage

In diesem Kapitel werden die Antworten der ausgesendeten Fragebögen analysiert und ausgewertet. Es wurden 693 Fragebögen ausgesendet, von denen bis zum Zeitpunkt der Auswertung (06.05.2014) 66 Rückmeldungen kamen, wobei alle Rücksendungen vollständig ausgefüllt waren. Die Ergebnisse werden dabei in die durch die erste Frage gefilterten Teilbereiche Produktion, 3PL und Dienstleistungslogistik unter-

¹⁵⁴ Nähere Informationen dazu unter <https://de.surveymonkey.com/>

teilt. Die in diesem Teil der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Gewichtung der Kriterien und Bewertung der Transportsysteme ein.

Frage 1:

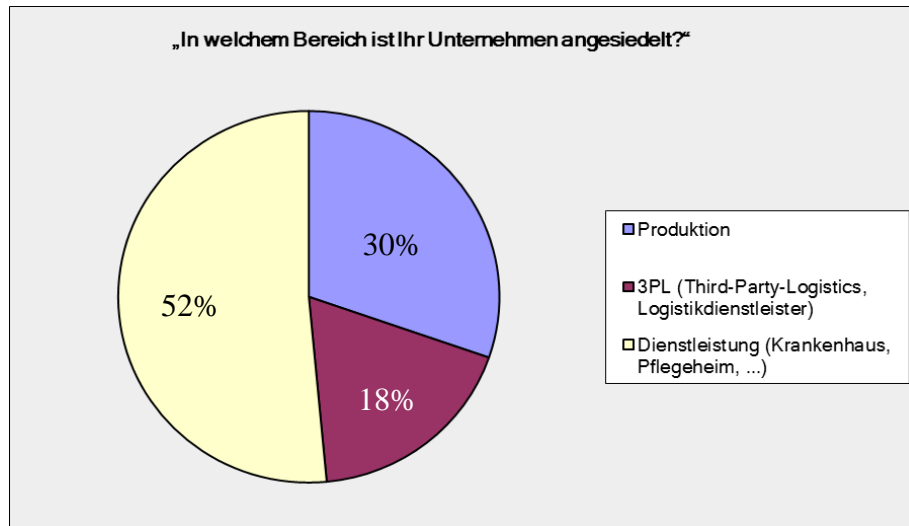


Abbildung 33: Anteil der branchenbezogenen Unternehmen ¹⁵⁵

Abbildung 33 zeigt den Anteil der Unternehmen in den Bereich Produktion, 3PL und Dienstleistung, die an der Umfrage teilgenommen haben.

5.3.1 Produktion

In diesem Abschnitt werden die Rücksendungen aus den Produktionsbetrieben analysiert.

Frage 2:

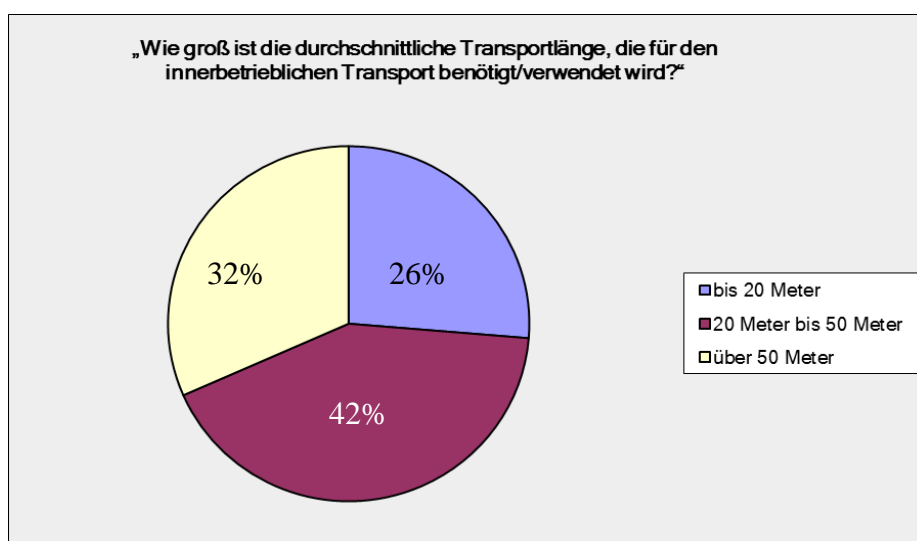


Abbildung 34: Produktion: Frage 2¹⁵⁶

¹⁵⁵ Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 34 ist zu sehen, dass nur 26% der Transportwege unter 20 m betragen. Dies bedeutet, dass die zu erreichende maximale Geschwindigkeit eine große Rolle spielt. Bei den 32% mit über 50 m Länge ist zu überdenken, ob es nicht sinnvoller wäre, eine konventionelle Fördertechnik einzusetzen und ein FTS nur als Begleitsystem zu implementieren.

Frage 3:

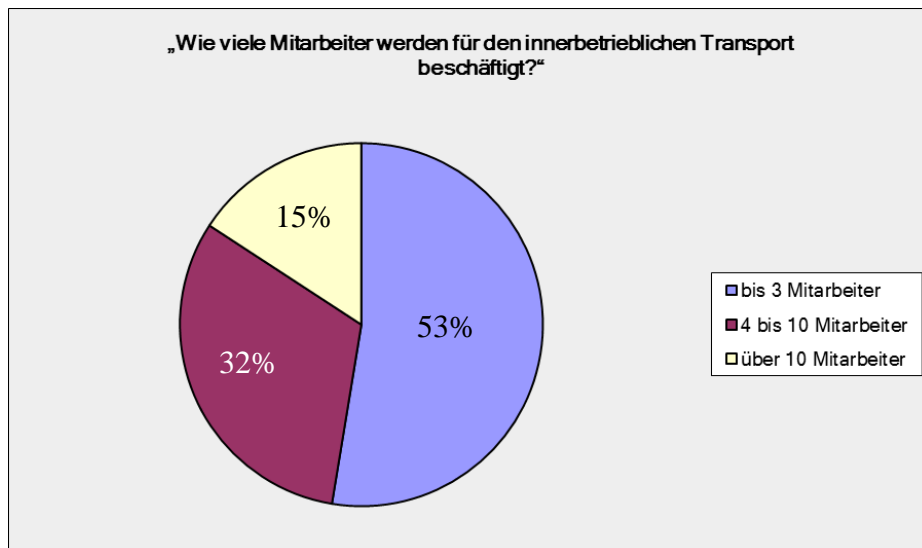
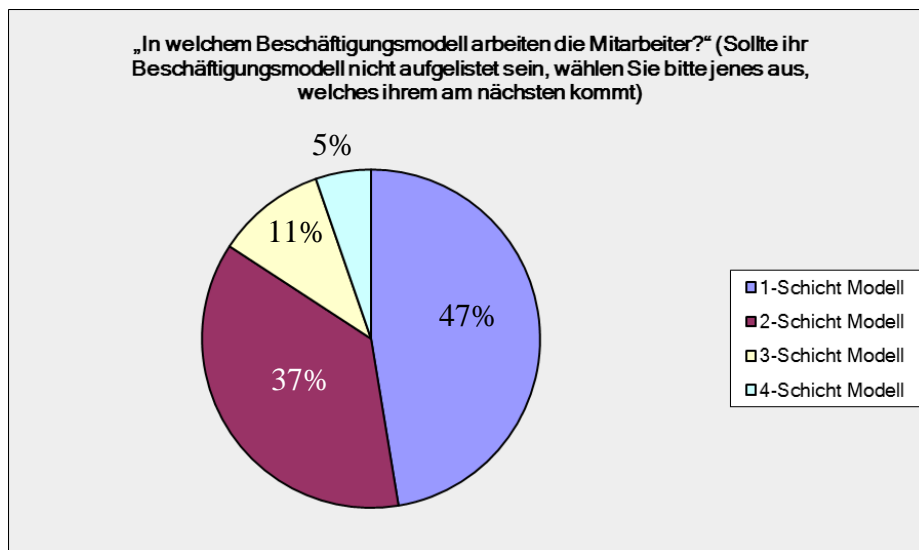


Abbildung 35: Produktion: Frage 3¹⁵⁷

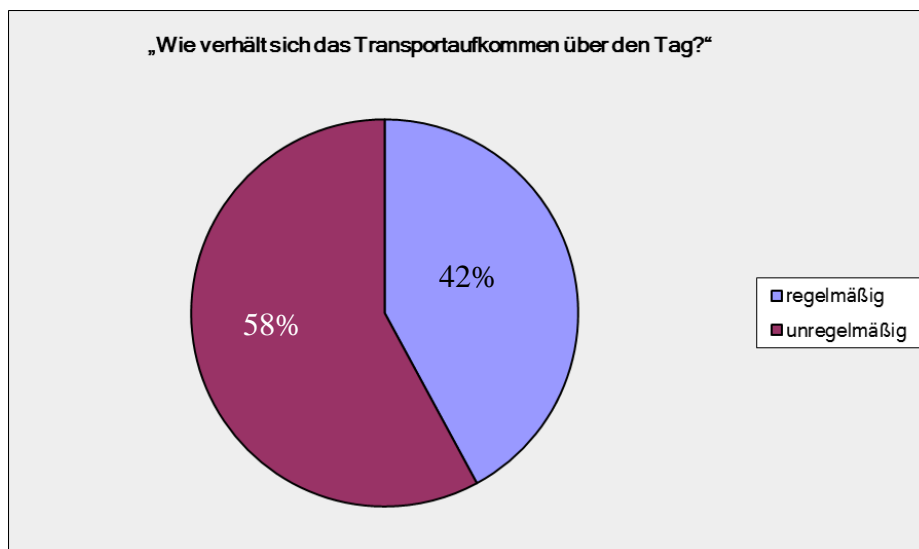
Etwa die Hälfte der Unternehmen gab an, dass bis zu drei Mitarbeiter für den innerbetrieblichen Transport beschäftigt werden und nur 15% haben mehr als 10 Personen eingestellt. Das bedeutet, dass in etwa 50% der Unternehmen sehr hohes Einsparungspotential durch den Einsatz von FTS besteht (Abbildung 35).

¹⁵⁶ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁵⁷ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 4:**Abbildung 36: Produktion: Frage 4¹⁵⁸**

In Produktionsbetrieben findet der innerbetriebliche Transport meist (84%) in 1- und 2-Schicht-Modellen statt (Abbildung 36). Aus diesem Grund wird an das Batteriesystem eine nicht allzu hohe Anforderung gestellt, da im normalen Betrieb ausreichend Zeit zum Laden zur Verfügung stehen sollte, obwohl die Laufzeit im 2-Schicht-Betrieb länger durchhalten sollte als im reinen 1-Schicht-Betrieb.

Frage 5:**Abbildung 37: Produktion: Frage 5¹⁵⁹**

¹⁵⁸ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁵⁹ Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 37 zeigt, dass fast 60% der Unternehmen eine unregelmäßiges, tägliches Transportaufkommen bewältigen müssen. In solchen Fällen ist es notwendig, dass die Anzahl der FTF an die jeweilige Auftragslage angepasst werden kann, um eine optimale Auslastung zu gewährleisten. Auch hier sind die Anforderungen an die Batterie nicht sehr hoch, da in den auftragsschwachen Zeiten der Akku geladen oder getauscht werden kann.

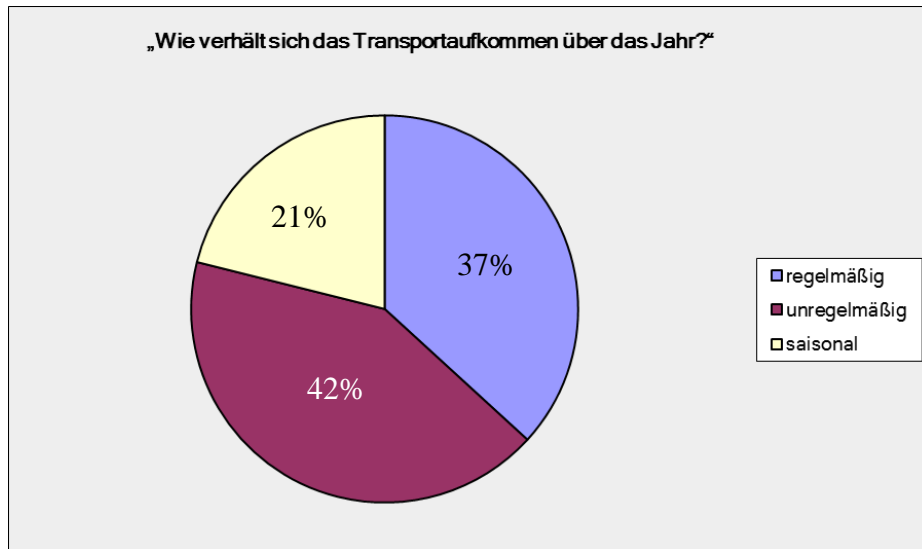
Frage 6:

Abbildung 38: Produktion: Frage 6¹⁶⁰

Ähnlich dem Transportaufkommen über den Tag ist auch die Betrachtung über das gesamte Jahr sehr wichtig. Auch hier sind in den meisten Produktionsbetrieben (63%) keine gleichbleibenden Transportmengen vorhanden. Dieses Ergebnis in Abbildung 38 wirkt sich auf die Notwendigkeit eines skalierbaren Systems aus.

¹⁶⁰ Quelle: Eigene Darstellung

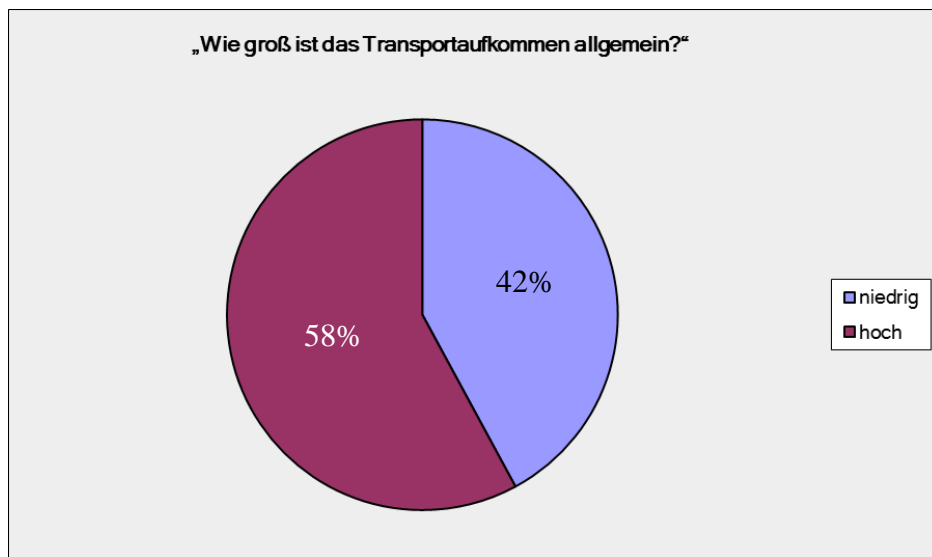
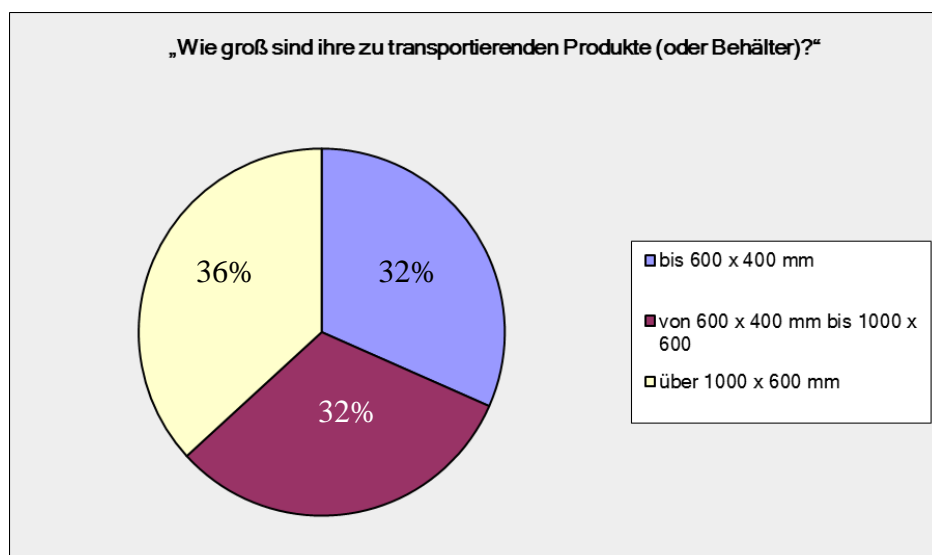
Frage 7:**Abbildung 39: Produktion: Frage 7¹⁶¹**

Abbildung 39 zeigt, dass das Transportaufkommen in Produktionsbetrieben in ca. 60% der Fälle höher ausfällt. In diesen Unternehmen wäre der Einsatz einer konventionellen Fördertechnik eher geeignet und FTS als Unterstützung in Begleitprozessen (z.B. Loops) anzudenken.

Frage 8:**Abbildung 40: Produktion: Frage 8¹⁶²**

¹⁶¹ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁶² Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 40 zeigt, dass die Abmessungen der Transportlose ziemlich gleichmäßig verteilt sind. Die Fähigkeit des LAM die Lose aufzunehmen wird als KO-Kriterium ohnehin mit der höchsten Gewichtung versehen.

Frage 9:

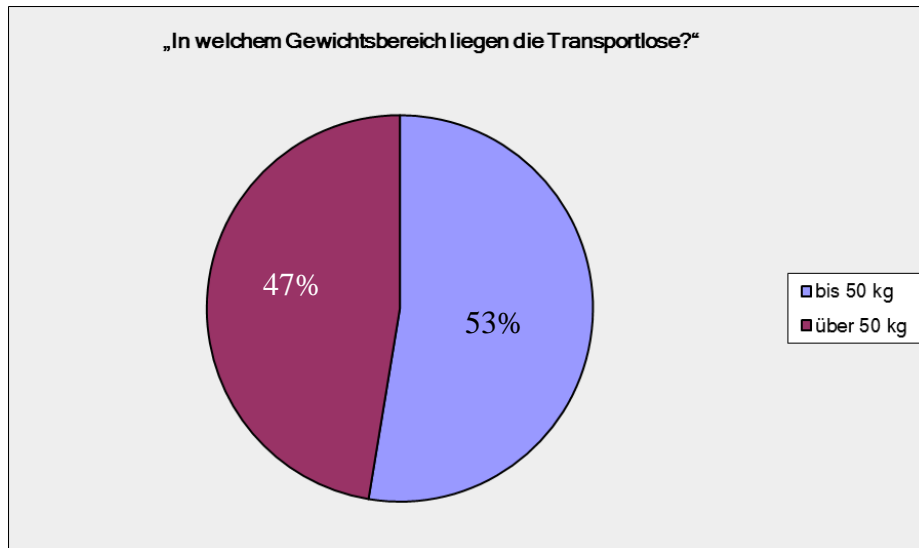


Abbildung 41: Produktion: Frage 9¹⁶³

Auch die Anzahl der Transportlose über und unter 50 kg hält sich in etwa die Waage (siehe Abbildung 41). Auch die Anforderungen an die Nutzlast wird wie die LAM-Größe mit der höchsten Punktzahl gewichtet.

Frage 10:

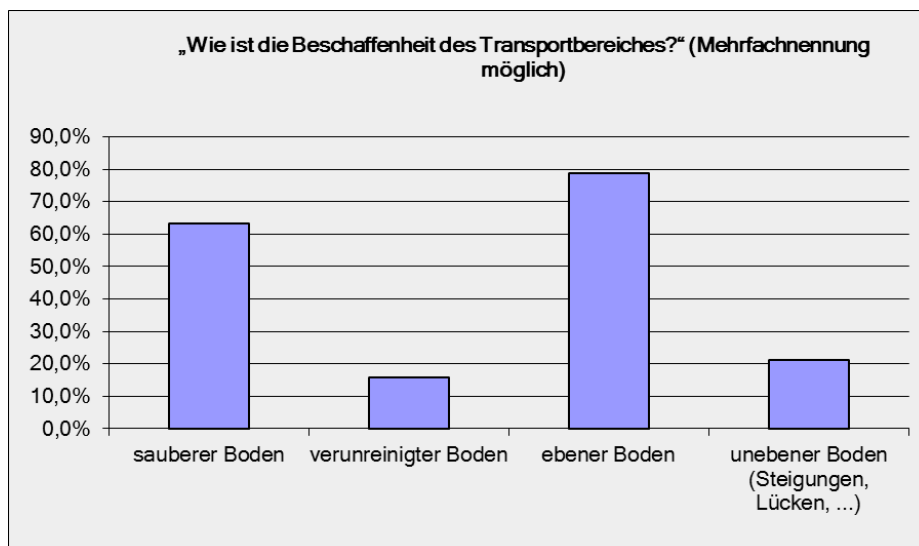


Abbildung 42: Produktion: Frage 10¹⁶⁴

¹⁶³ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁶⁴ Quelle: Eigene Darstellung

Da sowohl verschmutzte Böden, wie auch Unebenheiten und Steigungen sehr selten in den Transportbereichen vorkommen (siehe Abbildung 42), werden keine hohen Anforderungen an die Schmutzunempfindlichkeit, sowie an die Fähigkeit Hindernisse oder Steigungen überfahren zu können gestellt.

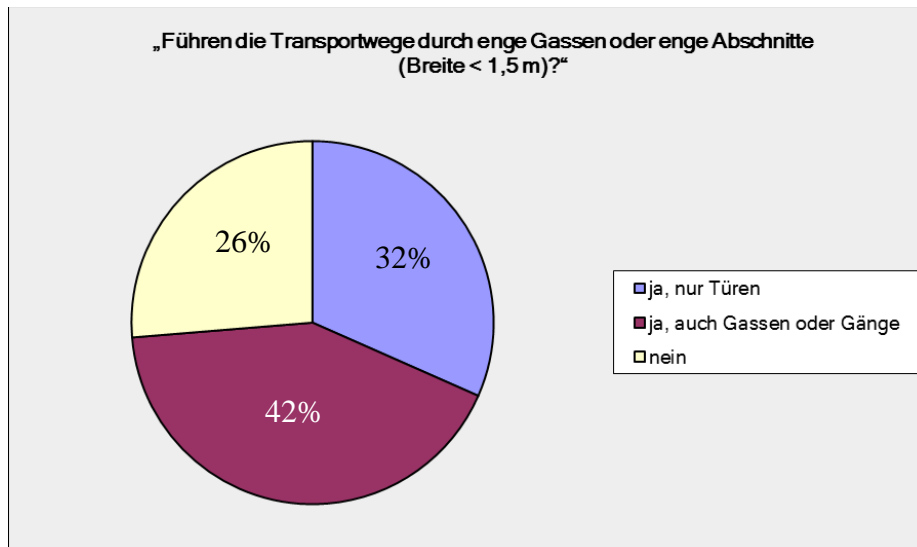
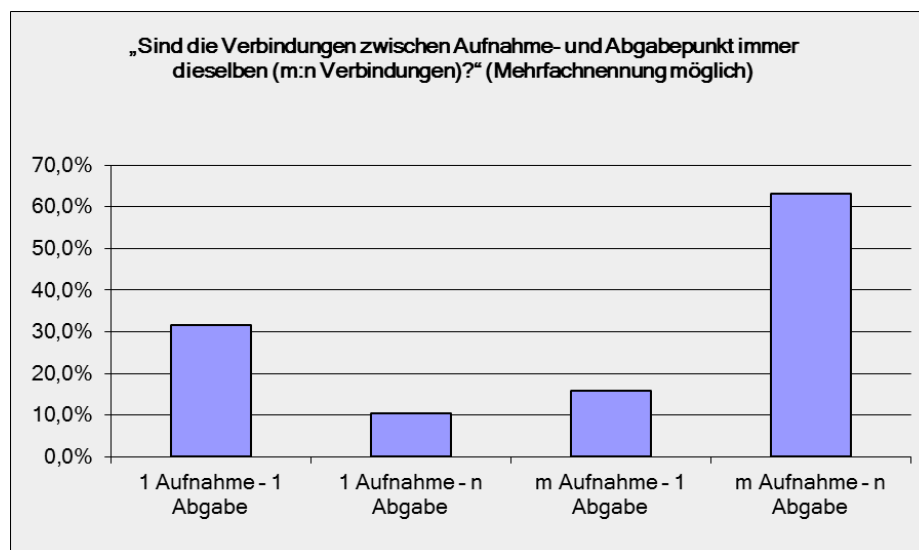
Frage 11:

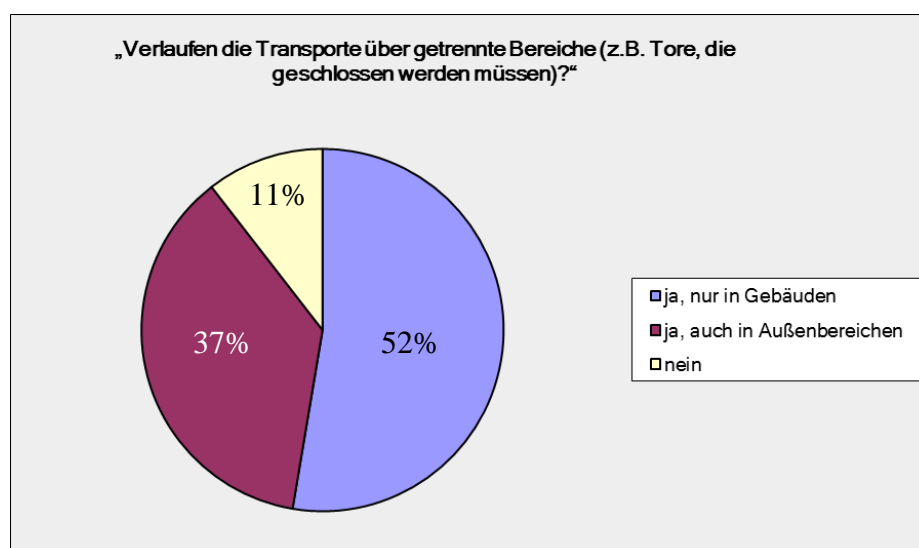
Abbildung 43: Produktion: Frage 11¹⁶⁵

Das Ergebnis in Abbildung 43 zeigt, dass in über 70% der Unternehmen die Transportfahrzeuge durch enge Abschnitte unter 1,5 m fahren müssten. In knapp über 40% auch durch enge Gassen. Dies erfordert dementsprechend kompakte Außenmaße, um solche Passagen sicher durchqueren zu können. Auch müssen für solche Bereiche spezielle Rahmenbedingungen (Einbahnen, Single Robot Areas, ...) geschaffen werden, um ein Kollidieren der Roboter oder Versperren dieser Engstellen zu verhindern.

¹⁶⁵ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 12:**Abbildung 44: Produktion: Frage 12¹⁶⁶**

In etwa 30% der Fälle sind Quelle und Ziel immer dieselben (siehe Abbildung 44). Allerdings kommen in fast 90% der Unternehmen auch mehrere Start- und Endpunkte vor, die in unregelmäßiger Reihenfolge abgefahren werden müssen. Dazu müssen die FTS in der Lage sein, Routen flexibel und situationsbezogen zu planen und abzufahren, ebenso wie sie auf unvorhergesehene Geschehnisse (z.B. blockierte Routen) zeitnah reagieren müssen, um den Transportfluss nicht zu unterbrechen.

Frage 13:**Abbildung 45: Produktion: Frage 13¹⁶⁷**

¹⁶⁶ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁶⁷ Quelle: Eigene Darstellung

In 52% der Unternehmen müssen FTS in der Lage sein, innerhalb von Gebäuden mit ihrer Umgebung kommunizieren zu können, um beispielsweise Türen oder Tore selbstständig öffnen und schließen zu können (siehe Abbildung 45). In weiteren 37% muss diese Kommunikation auch außerhalb der Gebäude funktionieren, was zusätzlich ein witterungsgeschütztes Fahrzeug erfordert. Andernfalls muss dafür gesorgt werden, dass die FTF keinen schädlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt sind. Bei schmalen Türen ist es zusätzlich von Vorteil, wenn spezielle Bereiche Regelungen der Fahrzeuge zulassen.

Frage 14:

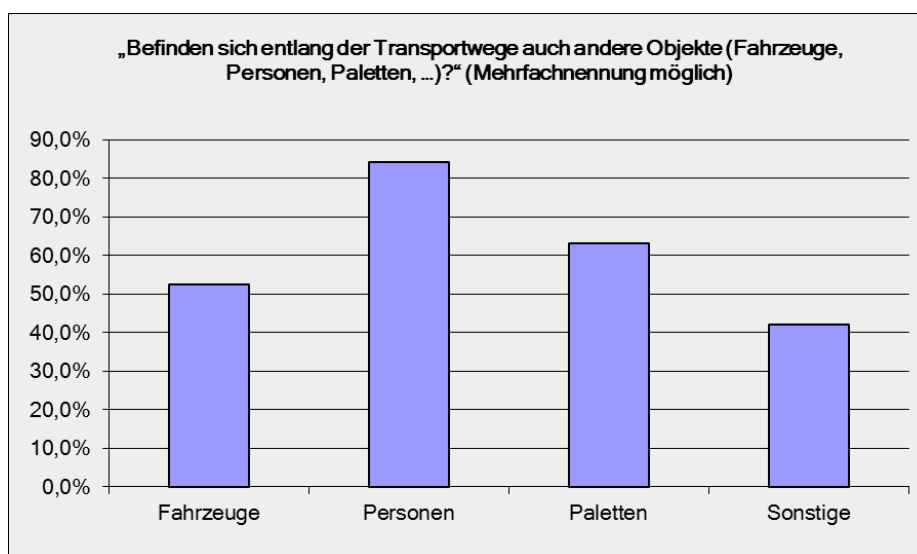
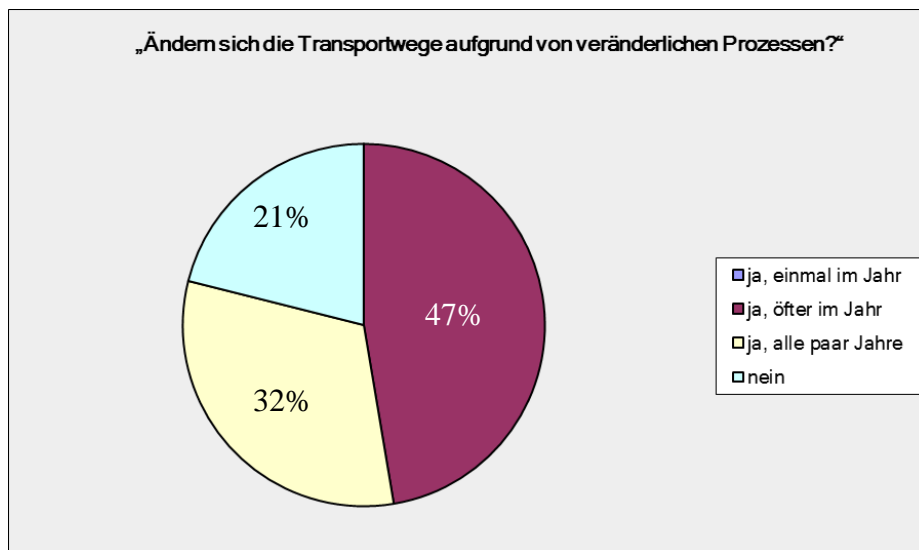


Abbildung 46: Produktion: Frage 14¹⁶⁸

Der sehr hohe Anteil an weiteren Objekten im Transportbereich – sowohl Fahrzeuge, Paletten, Person usw. – erfordert enorm hohe Anforderungen an die verbaute Sicherheitstechnik (siehe Abbildung 46). Sowohl die Maschinen- als auch die Personensicherheit spielen hier eine gewichtige Rolle. Außerdem ist dafür zu sorgen, dass im Falle einer unvermeidlichen Kollision die Roboter ihre Einsatztauglichkeit beibehalten, also dementsprechend robust gebaut sind.

¹⁶⁸ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 15:**Abbildung 47: Produktion: Frage 15¹⁶⁹**

In fast 80% der Unternehmen ändern sich aufgrund von veränderlichen Prozessen die Transportwege zumindest alle paar Jahre (siehe Abbildung 47). In knapp 50% sogar öfter pro Jahr. Aus diesen Gründen ist eine einfache Skalierung der Anzahl der Fahrzeuge, eine unkomplizierte Erweiterung der Transportbereiche auf bisher nicht genutzte Flächen und eine flexible Routenplanung von sehr hoher Wichtigkeit.

¹⁶⁹ Quelle: Eigene Darstellung

5.3.2 3PL

Dieser Teil beschäftigt sich mit der Auswertung der Antworten aus dem Bereich 3PL.

Frage 2:

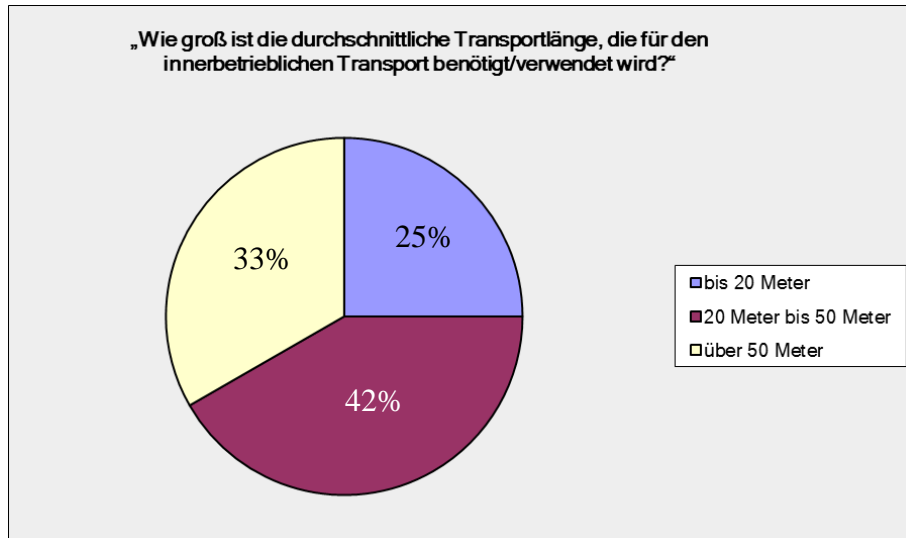


Abbildung 48: 3PL: Frage 2¹⁷⁰

In 25% der Unternehmen ist eine hohe maximale Geschwindigkeit aufgrund der kurzen Transportwege nur bedingt notwendig (siehe Abbildung 48). Allerdings ist diese bei knapp über 40% (20-50 Meter) wichtig und bei 33% (>50 Meter) von sehr großer Bedeutung, wenn der Einsatz eines FTS dem der konventionellen Fördertechnik vorgezogen wird.

Frage 3:

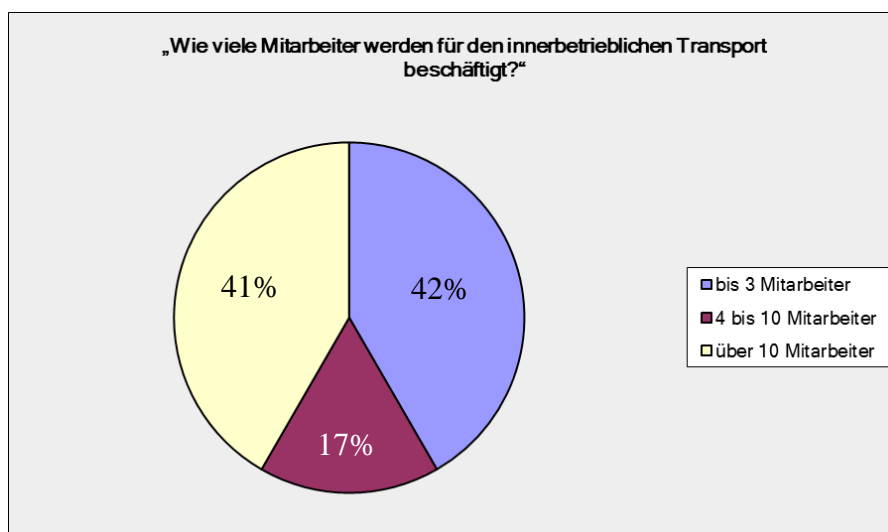


Abbildung 49: 3PL: Frage 3¹⁷¹

¹⁷⁰ Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 49 wird dargestellt, dass bei fast 60% der befragten Firmen ein hohes bis sehr hohes Einsparungspotential durch den Einsatz von FTS besteht.

Frage 4:

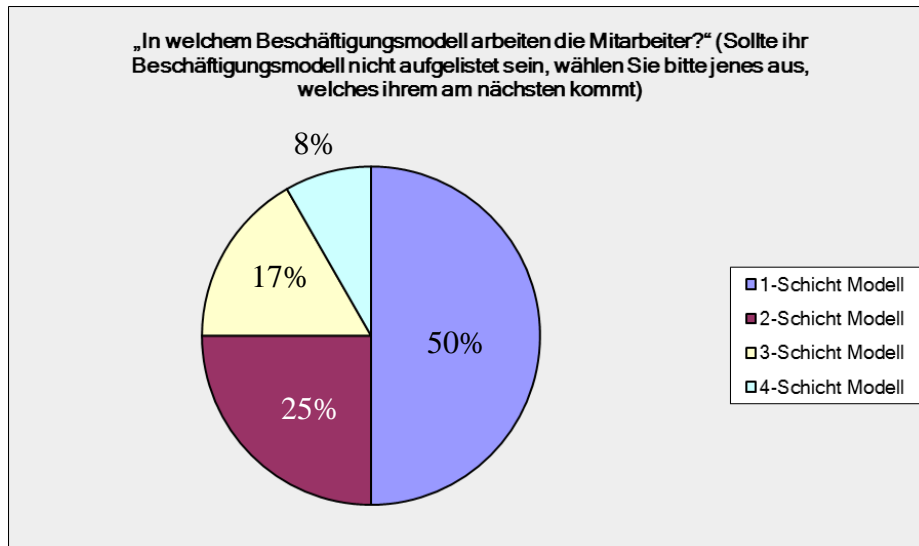


Abbildung 50: 3PL: Frage 4¹⁷²

Auch wenn der Anteil an 3- und 4-Schicht-Modellen in 3PL-Unternehmen höher ist als in der Produktion, so entsteht auch hier keine sehr hohe Anforderung an lange Batterielaufzeiten oder kurze Ladezyklen (siehe Abbildung 50).

Frage 5:

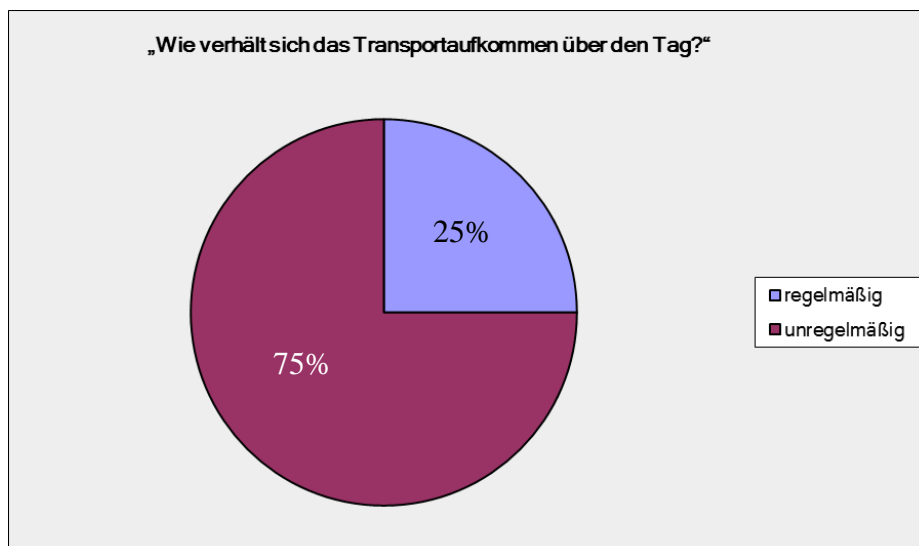


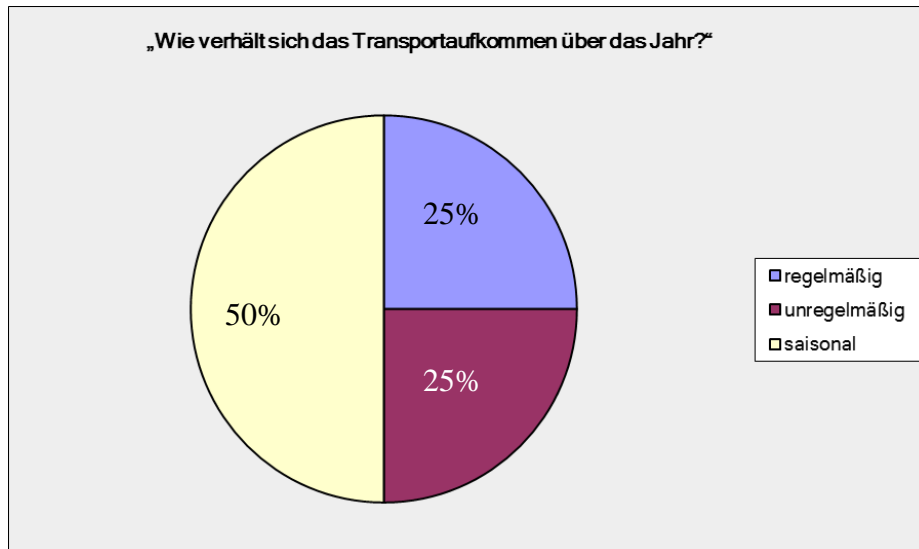
Abbildung 51: 3PL: Frage 5¹⁷³

¹⁷¹ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁷² Quelle: Eigene Darstellung

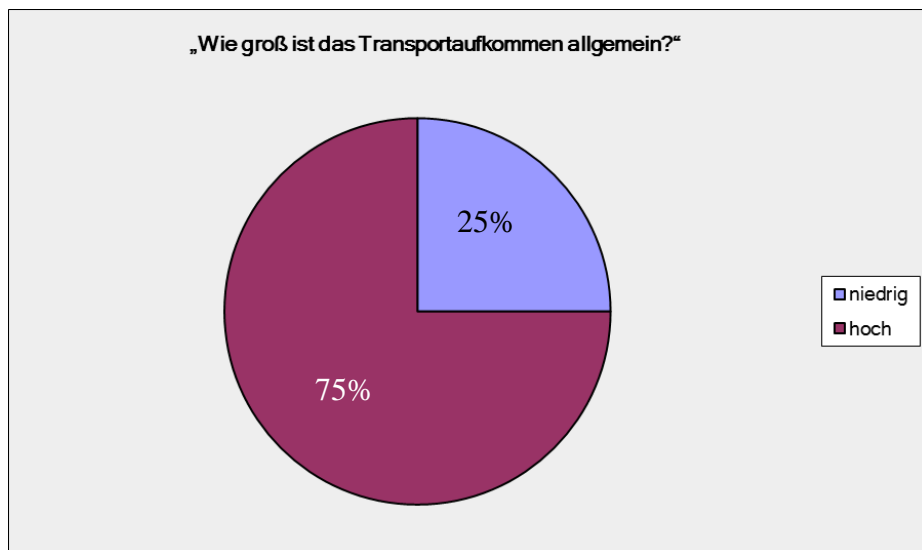
¹⁷³ Quelle: Eigene Darstellung

Drei Viertel des täglichen Transportaufkommens fallen unregelmäßig verteilt an (siehe Abbildung 51). Deshalb ist es sehr wichtig, die Anzahl der eingesetzten Roboter rasch ändern zu können. Im Gegensatz dazu werden die Anforderungen an ein sehr leistungsfähiges Energieversorgungssystem relativ niedrig ausfallen, da in den Schwankungen des Transportaufkommens genügend Zeit vorhanden sein sollte, die ruhenden Fahrzeuge zu laden.

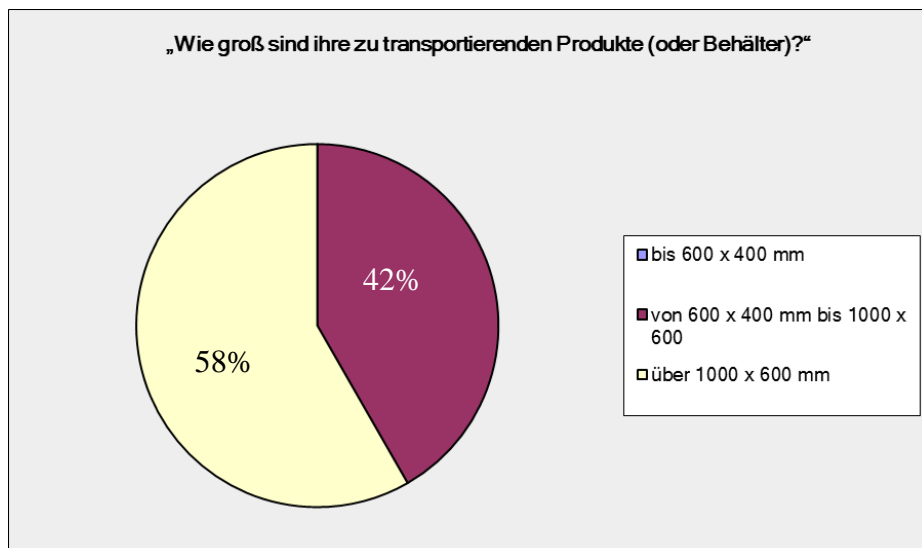
Frage 6:**Abbildung 52: 3PL: Frage 6¹⁷⁴**

Auch über das Jahr gesehen sind nur 25% des Transportaufkommens regelmäßig. Abbildung 52 zeigt, dass weitere 25% unregelmäßigen und ganze 50% saisonalen Schwankungen unterliegen. Also ist es auch hier von großer Wichtigkeit, dass sich das verwendete FTS einfach und schnell auf die benötigte Transportkapazität skalieren lässt.

¹⁷⁴ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 7:**Abbildung 53: 3PL: Frage 7¹⁷⁵**

Auch in den Unternehmen der Intralogistik ist die Anzahl der Transportlose sehr hoch (siehe Abbildung 53), weshalb auch hier unter bestimmten Umständen ein FTS als Unterstützung besser geeignet wäre.

Frage 8:**Abbildung 54: 3PL: Frage 8¹⁷⁶**

Im Gegensatz zur Produktion liegen im 3PL-Bereich alle Transportlose der befragten Unternehmen im Größenbereich über 600x400 mm (siehe Abbildung 54). Ganze 58% benötigen sogar ein LAM, welches Produkte oder Behälter mit Abmessungen von

¹⁷⁵ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁷⁶ Quelle: Eigene Darstellung

1000x600 mm oder mehr aufnehmen kann. Auch hier ist die Gewichtung aufgrund der Notwendigkeit der Produktaufnahme maximal.

Frage 9:

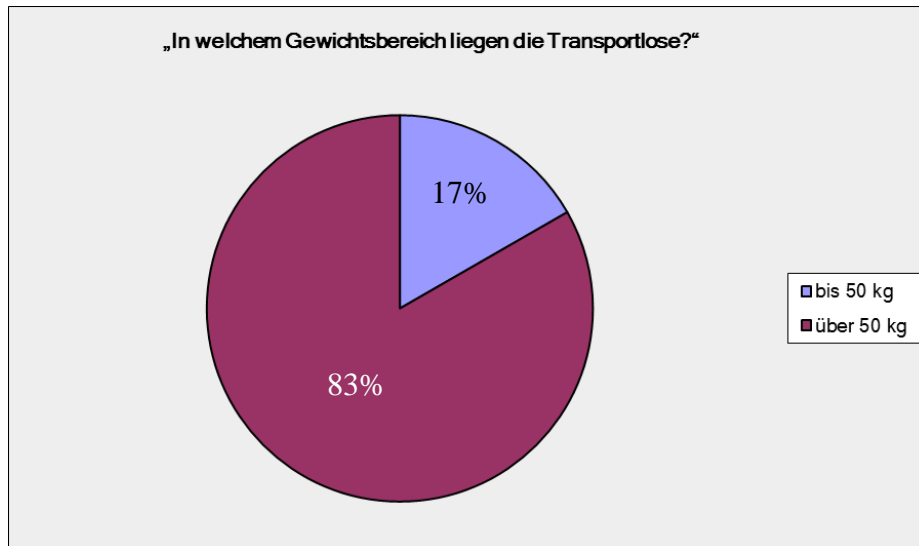


Abbildung 55: 3PL: Frage 9¹⁷⁷

Entsprechend der Größe der Transportlose ist auch das Gewicht sehr hoch. Abbildung 55 zeigt, dass über 80% der Lose mehr als 50 kg wiegen. Dies erfordert eine entsprechende Nutzlast, welche ebenfalls maximal gewichtet wird.

Frage 10:

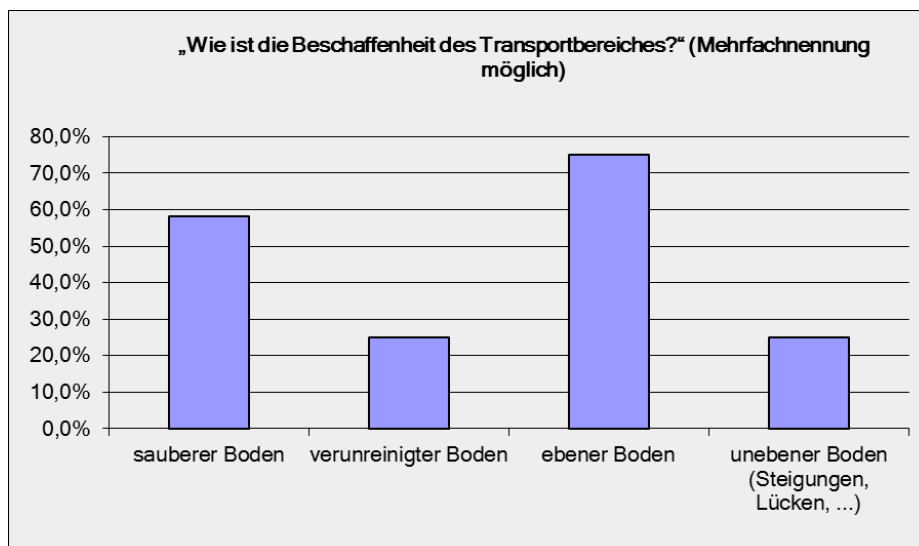


Abbildung 56: 3PL: Frage 10¹⁷⁸

¹⁷⁷ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁷⁸ Quelle: Eigene Darstellung

Auch wenn die meisten Transportwege durch saubere und flache Bereiche führen, so werden das Navigationssystem und die Aufhängung in 20-30 Prozent der Unternehmen auch mit verunreinigten und unebenen Abschnitten konfrontiert (siehe Abbildung 56). Dies stellt gewisse Anforderungen an diese beiden Kriterien, die es möglich machen müssen, auch unter diesen Umständen sicher navigieren und fahren zu können.

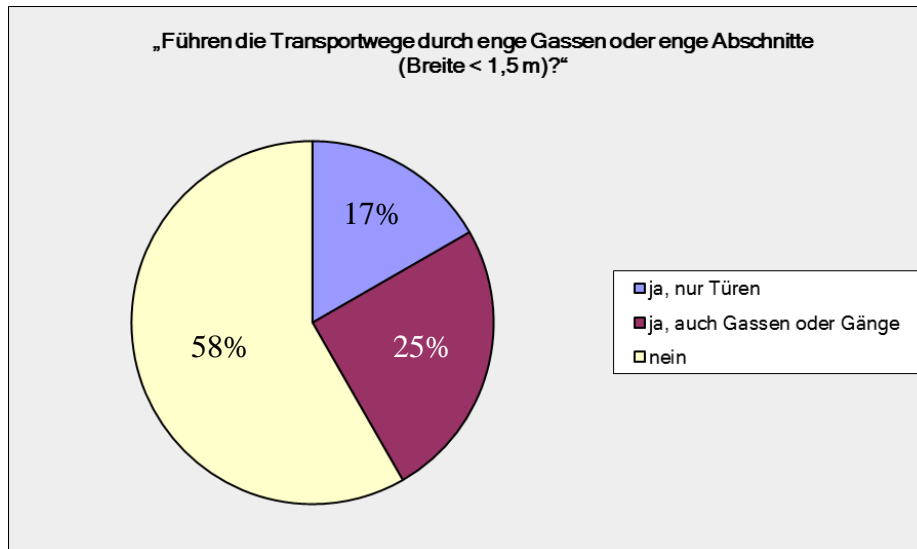
Frage 11:

Abbildung 57: 3PL: Frage 11¹⁷⁹

Wie in Abbildung 57 zu erkennen ist, führen nur 17% der Transporte durch enge Türen, welche durch eine kluge Routenplanung möglicherweise zu umfahren wären. Allerdings fahren die Roboter noch ca. 25% der Routen auch durch Gassen oder Gänge, welche größeren Einfluss auf die Außenabmessungen haben. Eventuell ist es auch hier möglich, diese Bereiche zu meiden, dennoch sollten die Anforderungen an ein kompaktes Fahrzeug in den Bewertungskatalog entsprechend gewichtet werden.

¹⁷⁹ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 12:

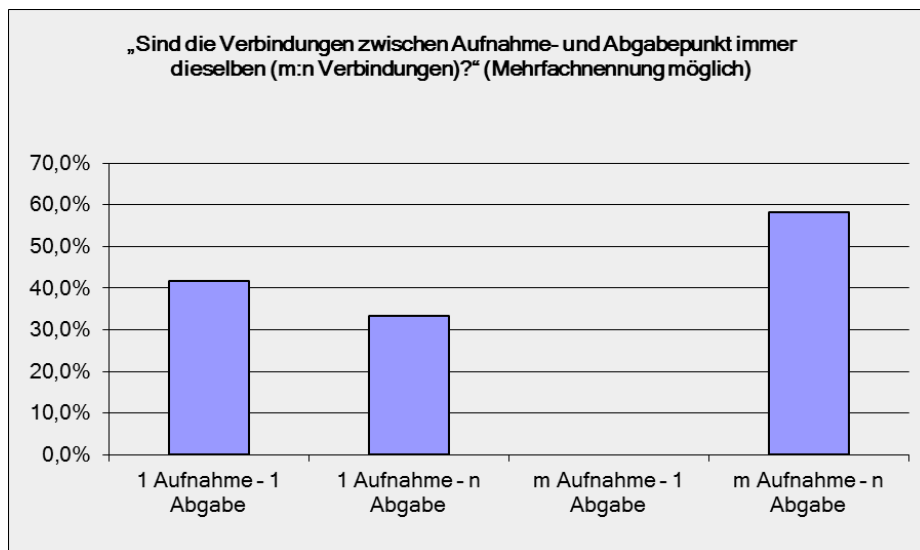


Abbildung 58: 3PL: Frage 12¹⁸⁰

In Abbildung 58 lässt sich erkennen, dass etwa 90% der Unternehmen Transporte mit zumindest einer Quelle und mehreren Ziele besitzen. Deshalb ist es wichtig, dass sich die Routen flexibel an den jeweiligen Auftrag mit den zugehörigen Start- und Endpunkten anpassen lassen. Zusätzlich ist es auch hier notwendig, dass die Fahrzeuge flexibel auf unvorhergesehene Hindernisse reagieren, ihnen ausweichen und danach den Transportauftrag abschließen können.

Frage 13:

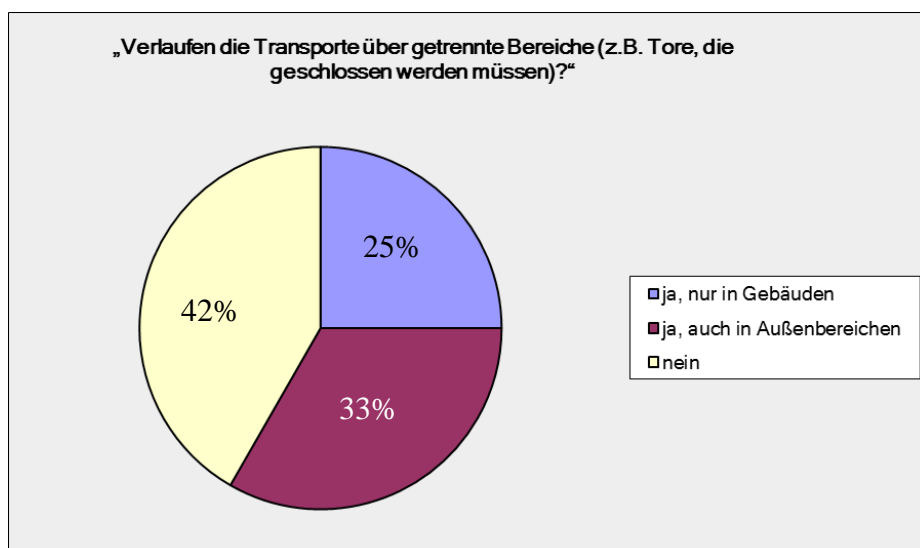


Abbildung 59: 3PL: Frage 13¹⁸¹

¹⁸⁰ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁸¹ Quelle: Eigene Darstellung

Da, wie in Abbildung 59 zu erkennen ist, über 40% der Transportwege nicht durch getrennte Bereiche führen und nur 25% in Gebäuden auf spezielle Bereiche für Roboter und eine Kommunikation zwischen FTS und Türen oder Toren angewiesen sind, können die Anforderungen daran etwas heruntergesetzt werden. Eventuell können die vorhandenen Wege auch derart gestaltet werden, dass die Routen nicht mehr durch diese Abschnitte führen und auf diese speziellen Features komplett verzichtet werden kann.

Frage 14:

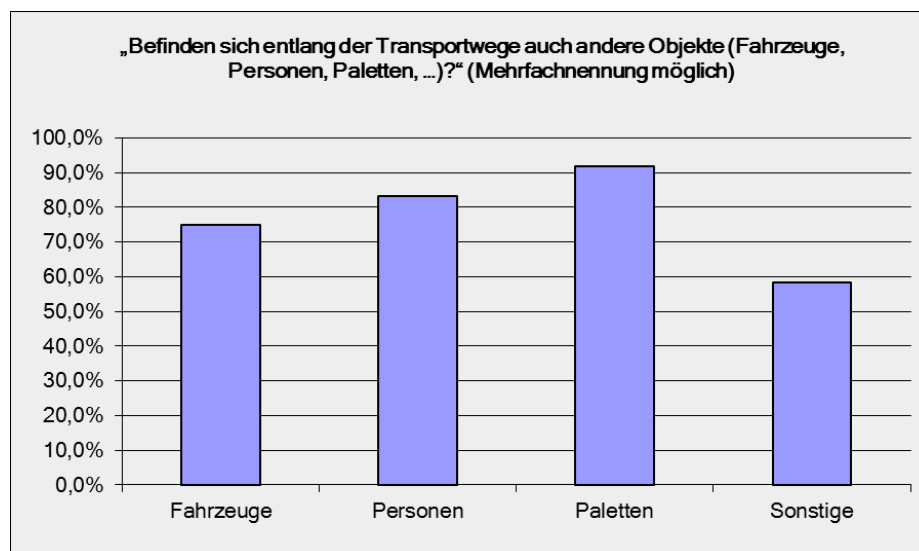
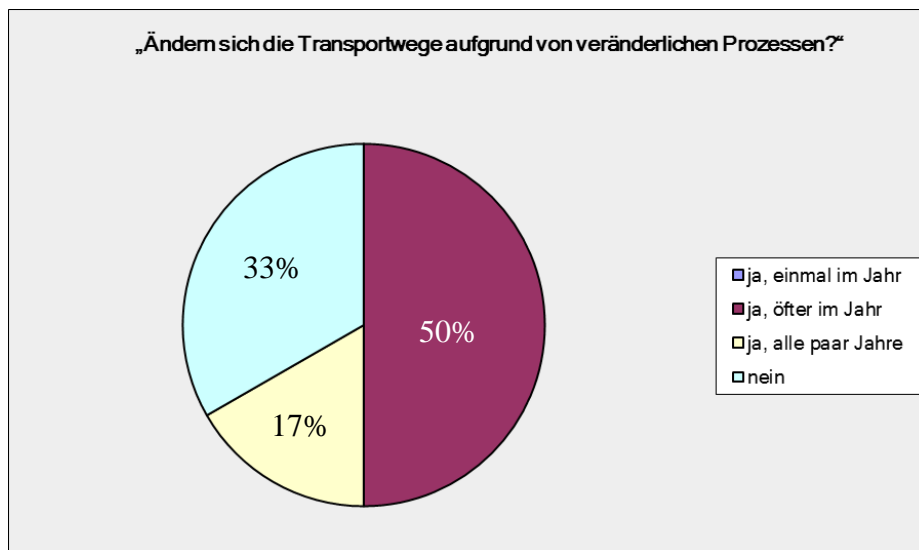


Abbildung 60: 3PL: Frage 14¹⁸²

In diesem Bereich der Industrie ist die Anwesenheit zusätzlicher Objekte enorm hoch, weshalb sowohl spezielle Anforderungen an den Schutz der Fahrzeuge, als auch an den der im Transportbereich anwesenden Personen gefordert sind (siehe Abbildung 60). Außerdem müssen auch hier die Fahrzeuge robust gestaltet sein, um den Ansprüchen der Industrie gerecht zu werden.

¹⁸² Quelle: Eigene Darstellung

Frage 15:**Abbildung 61: 3PL: Frage 15¹⁸³**

Nur etwa 30% der Unternehmen sind nicht auf eine einfache Erweiterungsmöglichkeit, Skalierung und flexible Routenplanung zur Bewältigung geänderter Transportwege aufgrund von veränderten Prozessen angewiesen. Ganze 50% der befragten Unternehmen haben dagegen angegeben, dass sich ihre Abläufe und damit ihre Routen öfter als einmal im Jahr verändern (siehe Abbildung 61).

¹⁸³ Quelle: Eigene Darstellung

5.3.3 Dienstleistungslogistik

Auf den folgenden Seiten werden die vorherrschenden Bedingungen im innerbetrieblichen Transport in Dienstleistungsbetrieben analysiert.

Frage 2:

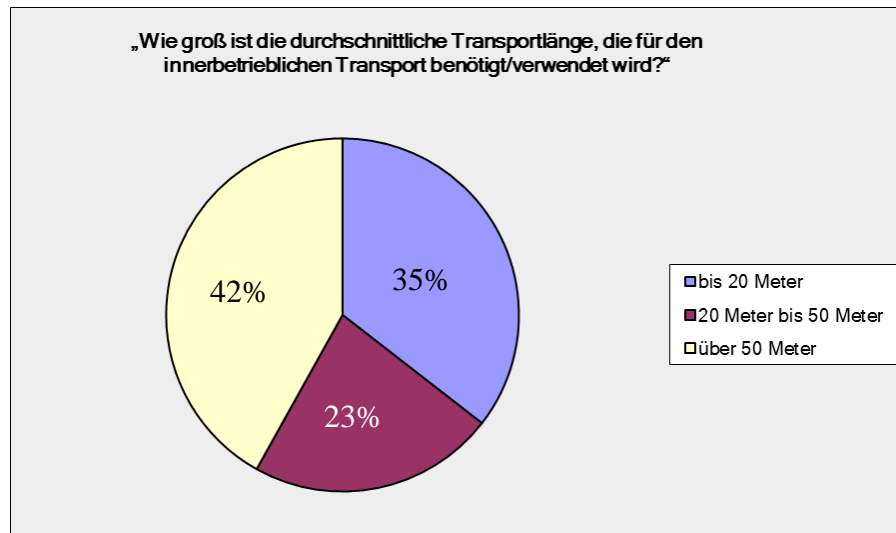


Abbildung 62: Dienstleistung: Frage 2¹⁸⁴

Wenn man annimmt, dass die in Abbildung 62 gezeigten 42%, in denen die Transportlänge mehr als 50 Meter beträgt für den Einsatz von FTS nur bedingt geeignet sind, so ist die maximale Geschwindigkeit nicht so wichtig, wie in den beiden Industriebereichen zuvor.

Frage 3:

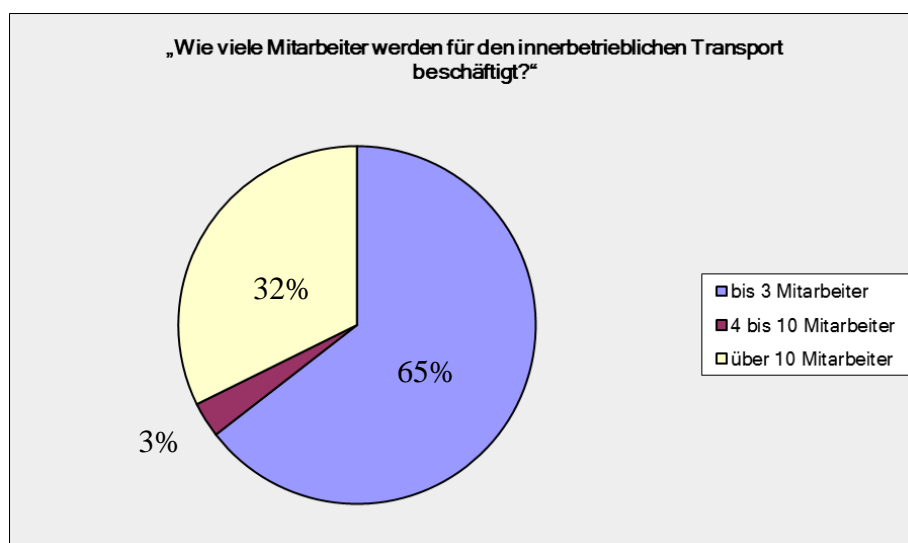


Abbildung 63: Dienstleistung: Frage 3¹⁸⁵

¹⁸⁴ Quelle: Eigene Darstellung

In nur etwa einem Drittel der Unternehmen lässt sich durch den Einsatz von FTS ein sehr hohes Einsparungspotential erkennen. In den restlichen 65% (Abbildung 63) arbeiten nur bis drei Personen für den innerbetrieblichen Transport (hohes Potential).

Frage 4:

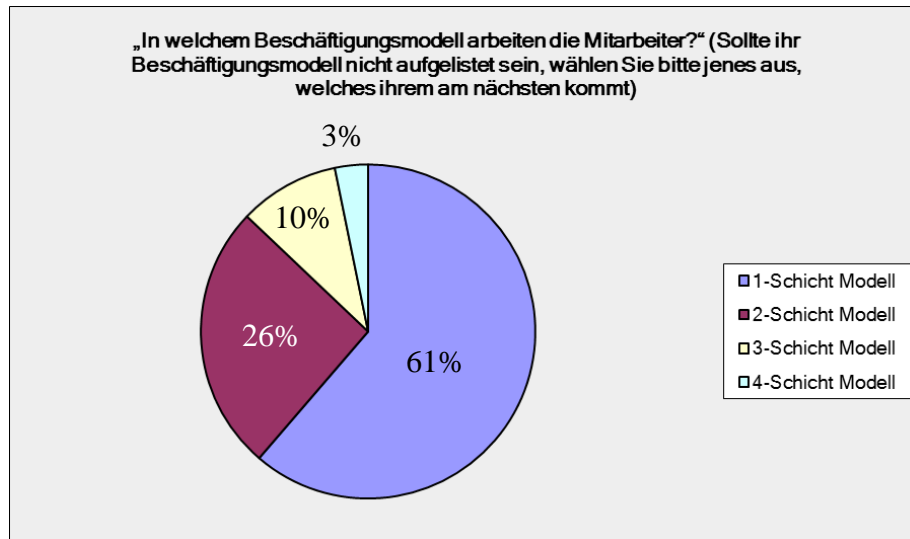


Abbildung 64: Dienstleistung: Frage 4¹⁸⁶

In der Dienstleistung werden für den innerbetrieblichen Transport beinahe zwei Drittel der Mitarbeiter im 1-Schicht-Modell beschäftigt (siehe Abbildung 64). Dies bedeutet, dass (bei 26% 2-schichtig) ausreichend Kapazitäten zur Energieversorgung zur Verfügung stehen sollten.

Frage 5:

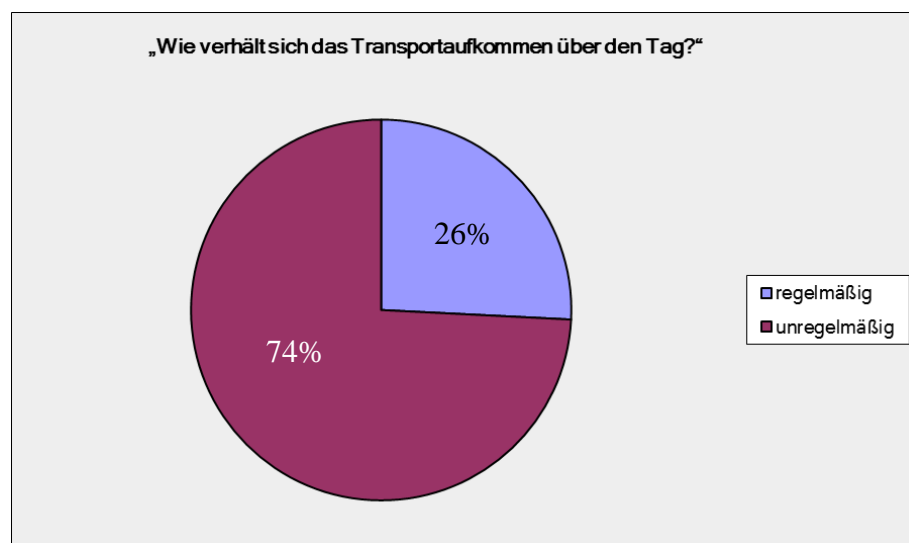


Abbildung 65: Dienstleistung: Frage 5¹⁸⁷

¹⁸⁵ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁸⁶ Quelle: Eigene Darstellung

Auch wenn man das über den Tag verteilte Transportaufkommen in Abbildung 65 betrachtet, kommt man zum Schluss, dass durch den hohen Anteil an unregelmäßig anfallenden Transportaufträgen genügend Zeit zum Laden des Akkus vorhanden sein sollte. Diese Diskontinuität erfordert aber im Gegenteil, dass die Anzahl der Fahrzeuge an die aktuell benötigte Kapazität angepasst werden kann.

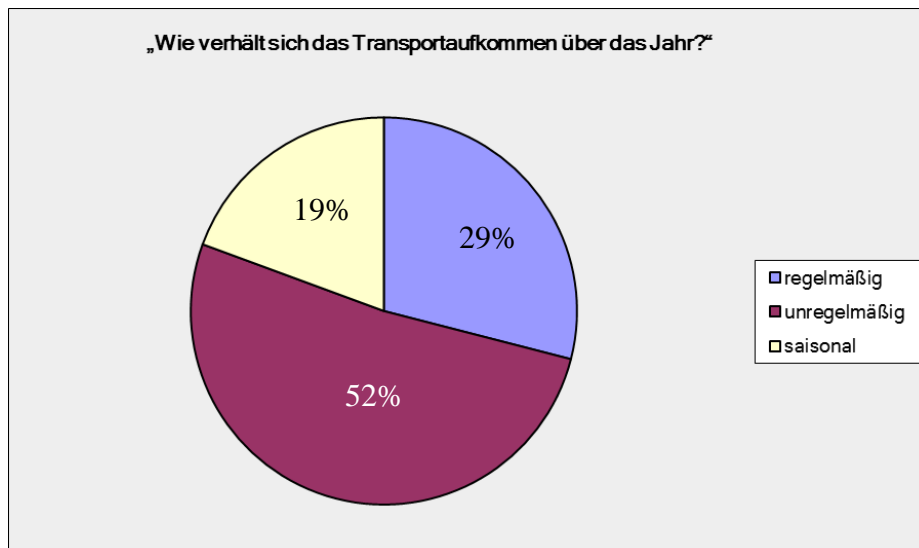
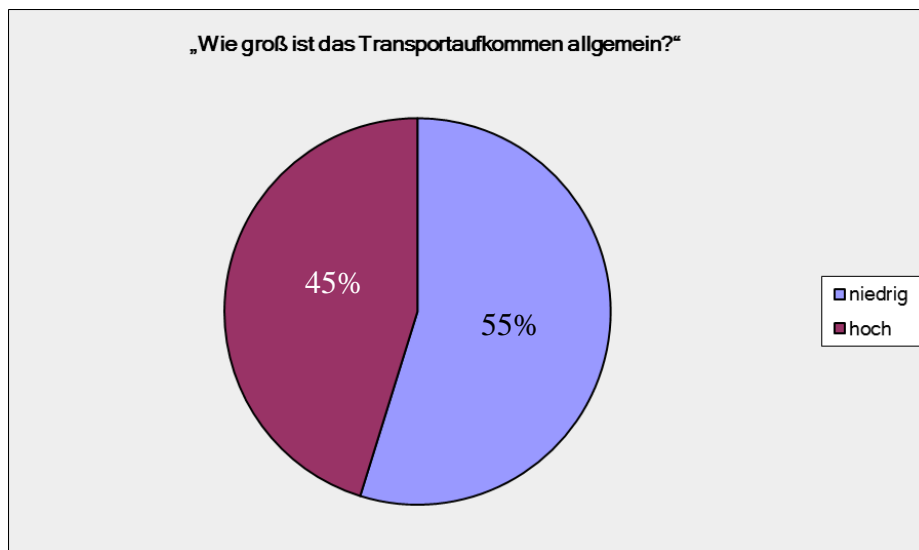
Frage 6:

Abbildung 66: Dienstleistung: Frage 6¹⁸⁸

Auch in der Dienstleistungslogistik spielt durch den hohen Anteil unregelmäßiger bzw. saisonal auftretender Auftragschwankungen (siehe Abbildung 66) die Skalierbarkeit der Fahrzeuge eine große Rolle. Es ist wichtig, die Kapazitäten auftragsbezogen anpassen zu können, um auch über das Jahr gesehen den Transport wirtschaftlich gestalten zu können.

¹⁸⁷ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁸⁸ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 7:**Abbildung 67: Dienstleistung: Frage 7¹⁸⁹**

In den Dienstleistungsbetrieben hält sich hohes und niedriges Transportaufkommen ungefähr die Waage (siehe Abbildung 67). So können FTS sowohl als Gesamtlösung als auch nur zur Unterstützung der herkömmlichen Transportmittel verwendet werden.

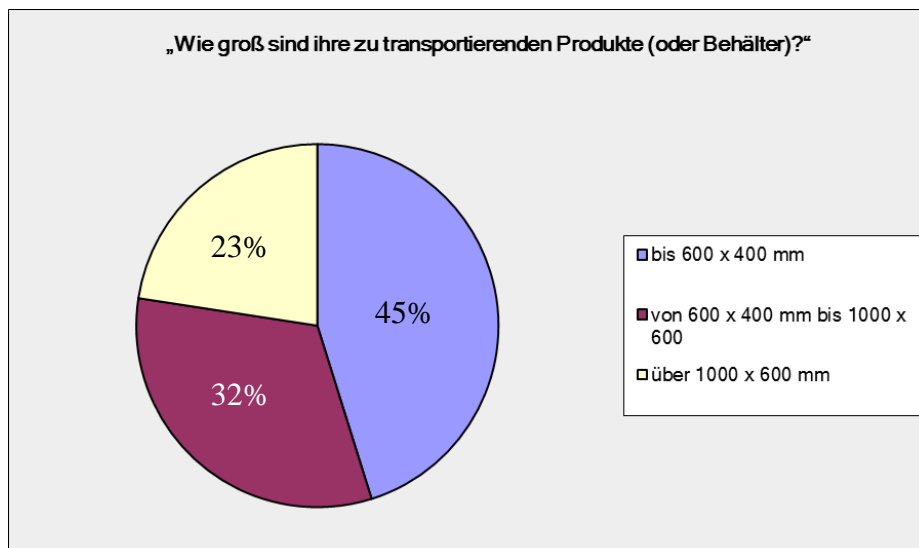
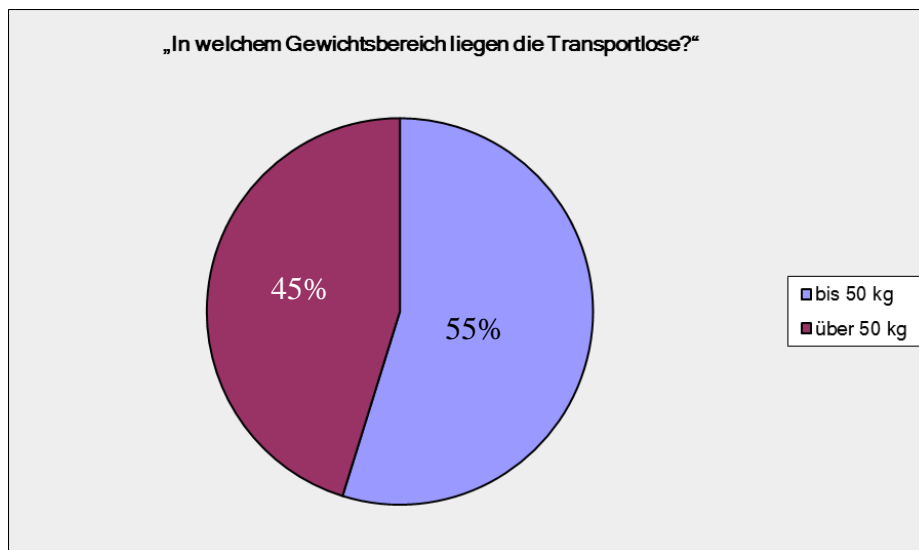
Frage 8:**Abbildung 68: Dienstleistung: Frage 8¹⁹⁰**

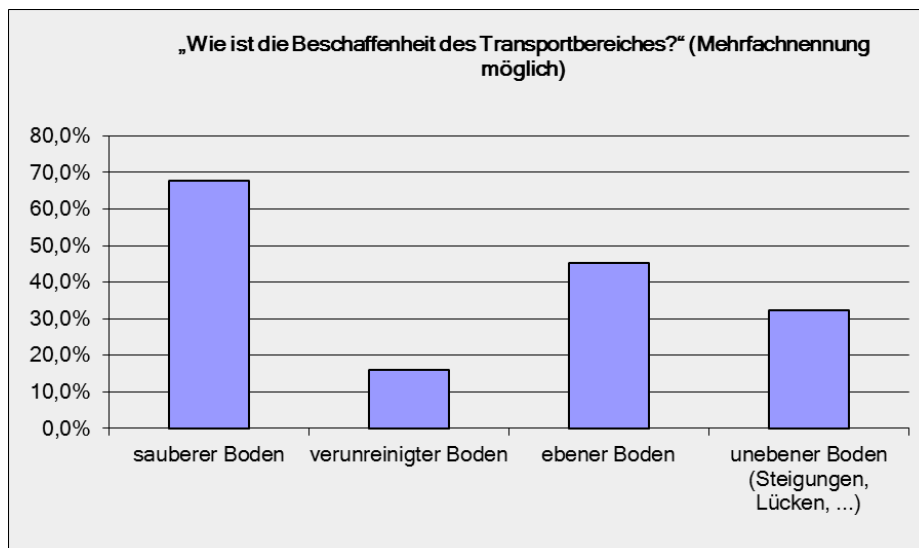
Abbildung 68 zeigt, dass etwa 23% der Transportlose größer als 1000x600 mm sind und Lose mit einer Größe unter 600x400 mm mit 45% den größten Teil ausmachen. Auch hier wird das LAM maximal gewichtet.

¹⁸⁹ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁹⁰ Quelle: Eigene Darstellung

Frage 9:**Abbildung 69: Dienstleistung: Frage 9¹⁹¹**

Die Anzahl der Transportlose mit Gewichten über und unter 50 kg ist mit 45:55 Prozent ziemlich ausgewogen (siehe Abbildung 69). Die Nutzlast bekommt die maximale Gewichtung.

Frage 10:**Abbildung 70: Dienstleistung: Frage 10¹⁹²**

In Abbildung 70 ist erkennbar, dass der Großteil der Böden sauber und nicht verunreinigt ist, weshalb das Navigationssystem nicht darauf angewiesen ist, unter schmutzigen Bedingungen zu funktionieren. Allerdings sieht man auch, dass in etwas über 30% die Fahrzeuge mit Steigungen, Schwellen oder Lücken zurechtkommen müssen.

¹⁹¹ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁹² Quelle: Eigene Darstellung

Frage 11:

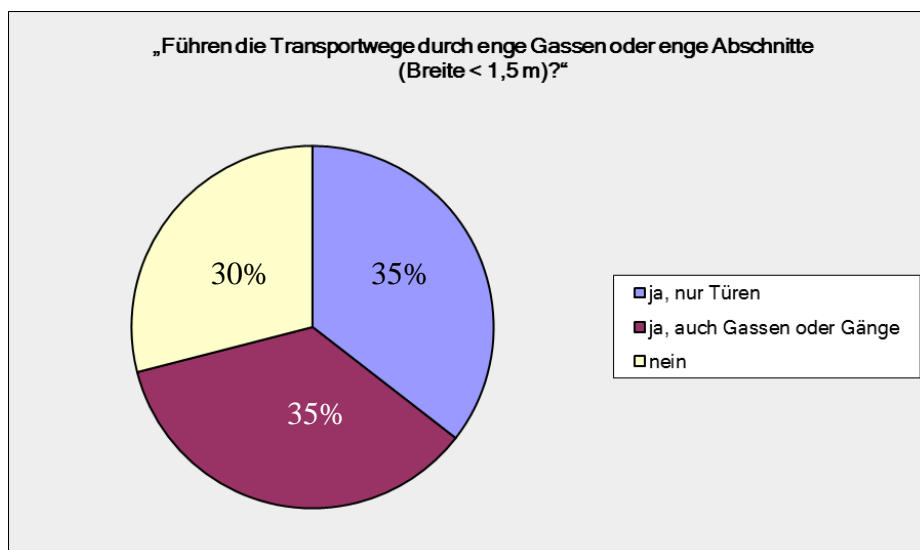


Abbildung 71: Dienstleistung: Frage 11¹⁹³

70% der Unternehmen geben an, dass ihre Transportwege auch durch enge Türen oder Gassen und Gänge führen (siehe Abbildung 71). Deshalb ist es wichtig, dass die FTF kompakte Außenmaße besitzen und das FTS spezielle Bereiche generieren kann, um Deadlocks der Fahrzeuge an den Engstellen zu vermeiden.

Frage 12:

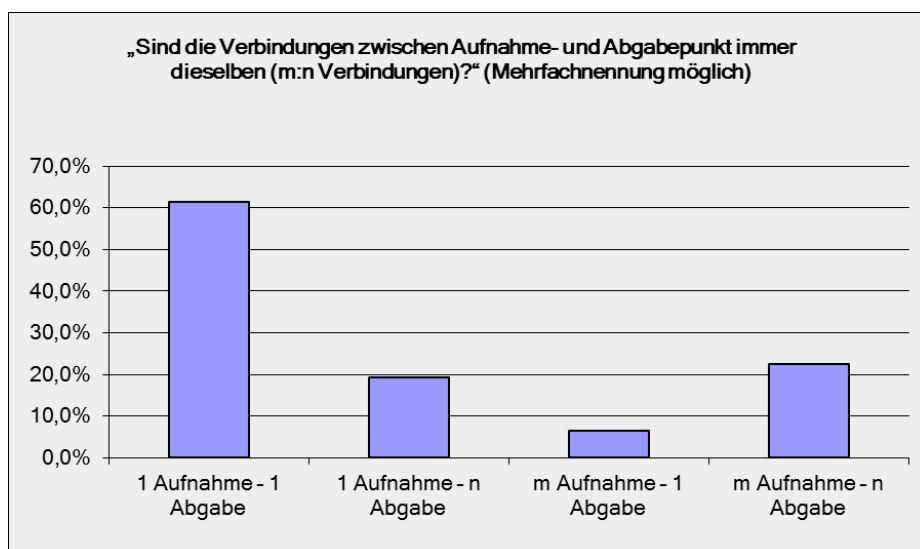


Abbildung 72: Dienstleistung: Frage 12¹⁹⁴

Die Abbildung 72 zeigt, dass in mehr als 60% der Unternehmen die Transportwege über konstante Quellen und Ziele verfügen und nur knapp über 20% mehrere Aufnahme- und Abgabepunkte besitzen. Aus diesem Grund werden in der Dienstleis-

¹⁹³ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁹⁴ Quelle: Eigene Darstellung

tungslogistik die Anforderungen an eine flexible Routengestaltung und die Reaktion auf unvorhergesehene Geschehnisse nicht so hoch ausfallen, als in den beiden Bereichen zuvor.

Frage 13:

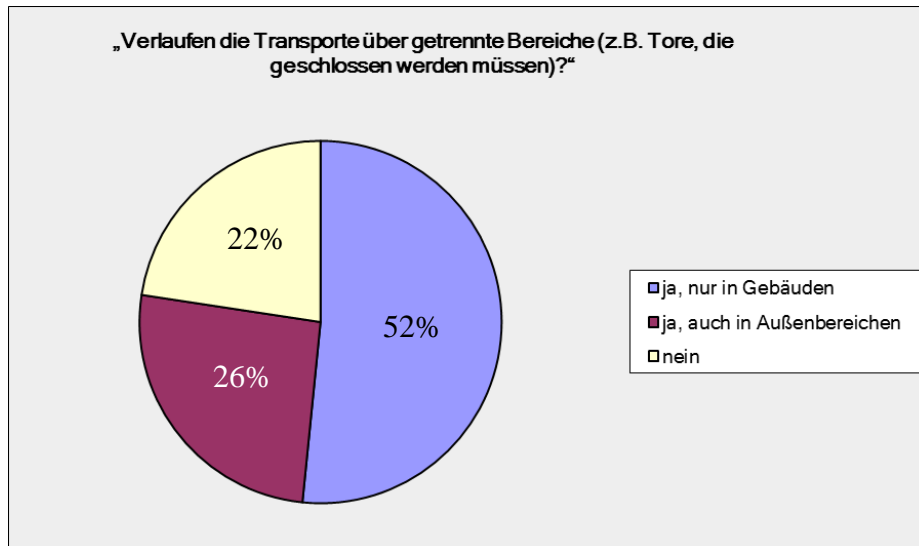


Abbildung 73: Dienstleistung: Frage 13¹⁹⁵

Über drei Viertel der Unternehmen gaben an, dass ihre Transporte durch Türen oder Tore verlaufen, die nach deren passieren wieder verschlossen werden müssen, weshalb das FTS mit der Umgebung kommunizieren muss und spezielle Bereiche gestaltet werden müssen (siehe Abbildung 73).

Frage 14:

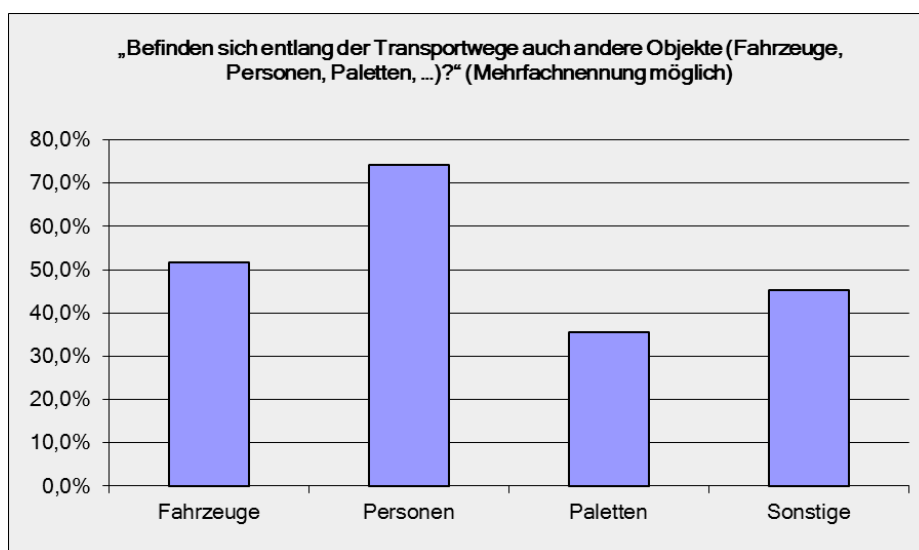


Abbildung 74: Dienstleistung: Frage 14¹⁹⁶

¹⁹⁵ Quelle: Eigene Darstellung

Auch im Bereich der Dienstleistungslogistik kommen auf den Transportrouten sowohl Personen, als auch Fahrzeuge und andere Objekte vor, die erkannt werden müssen und denen ausgewichen werden sollte (siehe Abbildung 74). Außerdem muss auch hier auf eine robuste Bauweise geachtet werden.

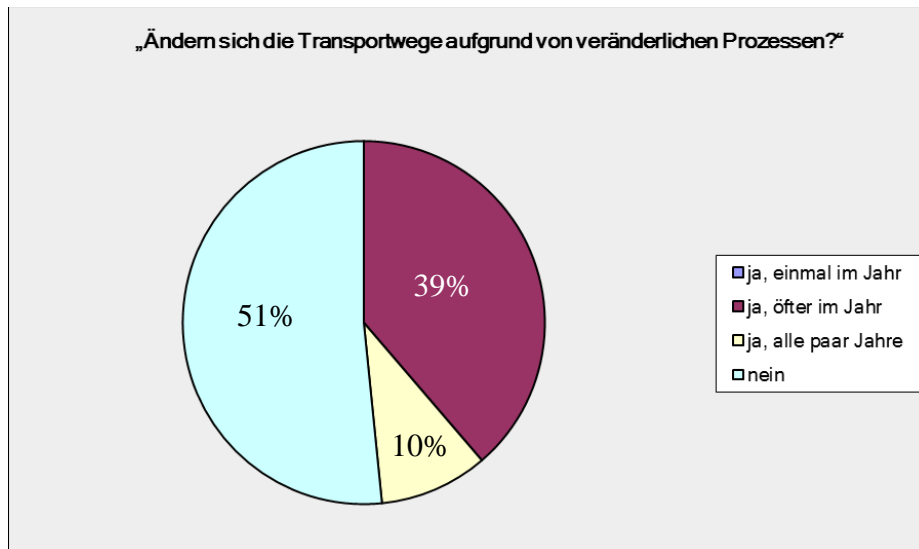
Frage 15:

Abbildung 75: Dienstleistung: Frage 15¹⁹⁷

Knapp die Hälfte der Unternehmen ist mit veränderten Transportwegen konfrontiert, welche durch eine Änderung der Prozesse resultieren (siehe Abbildung 75). Deshalb werden relativ hohe Anforderungen an die Skalierung, die Erweiterbarkeit und eine flexible Routenplanung gestellt.

¹⁹⁶ Quelle: Eigene Darstellung

¹⁹⁷ Quelle: Eigene Darstellung

5.3.4 Gewichtung des Bewertungskataloges

Anhand der Auswertung des Fragebogens kann die Gewichtung der Kriterien des Kataloges vorgenommen werden. Tabelle 9 zeigt den Bewertungskatalog mit den Punkten für jedes Kriterium, wobei der Bereich von 1 (wenig wichtig), über 2 (wichtig) bis 3 (sehr wichtig) geht.

Die Kriterien Inbetriebnahme, Skalierbarkeit und Erweiterbarkeit werden von allen drei Branchen gefordert. Dies ergibt sich aus den unregelmäßigen Transportaufkommen und den zusätzlichen Erweiterungen im Laufe der Jahre. Deshalb werden diese Punkte mit 3 gewichtet. Geringe Abmessungen und geringes Gewicht sind dann erforderlich, wenn die Transportrouten oftmals durch enge Durchgänge und Gassen führen oder allgemein, um die FTF leichter handhaben zu können. In den Unternehmen der Intralogistik führen relativ wenige Wege durch schmale Bereiche, weshalb hier mit 2 und in den beiden anderen Branchen mit 3 gewichtet wird. Eine hohe Geschwindigkeit wird benötigt, wenn lange Transportwege und ein hohes Transportaufkommen vorliegen. Die Industriebereiche Produktion und Dienstleistung bekommen aufgrund der Zusammensetzung aus Transportlänge und -volumen die Gewichtung 2 und der Bereich Intralogistik wird mit 3 gewichtet. Da der Anteil an zu überfahrenen Hindernissen in der Produktion sehr gering ist, wird hier mit 1 gewichtet. Die Transportwege der Intralogistik und Dienstleistung sind öfter mit kleinen Hindernissen versehen, die passiert werden müssen, weshalb diese Beiden mit der Gewichtung 2 versehen werden. Wie bereits vorhin erwähnt, werden die Nutzlast und auch das LAM mit der maximalen Gewichtung von 3 versehen, da die Fähigkeit das Transportlos sowohl aufgrund seiner Größe, als auch seines Gewichts aufnehmen zu können als Grundvoraussetzung angegeben wird. Die Gewichtung der Energieversorgung ist von der Art des Schichtmodells und dem Transportaufkommen über den Tag abhängig. Bei 1- oder 2-Schicht-Modellen und bei unregelmäßigem Transportaufkommen werden niedrigere Anforderungen an das Batteriesystem gestellt als bei durchgehender hoher Auslastung. Ausgehend von dieser Kombination werden die Intralogistik und Dienstleistung (sehr unregelmäßiges Aufkommen) mit 1 und die Produktion mit 2 gewichtet. Sowohl die Reaktion auf dynamisch veränderliche Bedingungen (z.B. Hindernisse auf dem Transportweg), als auch die flexible Routenplanung sind besondere Merkmale von FTS. Besonders gefordert wird dies, wenn viele fremdartige Objekte im Transportbereich vorhanden sind und sich die Transportwege oftmals ändern (m:n-Verbindungen). Dies ist besonders in den Unternehmen der Produktionsindustrie und

Intralogistik der Fall, weshalb diese Beiden mit 3 gewichtet werden. Wegen der hohen Anzahl an Verbindungen, die nur eine Quelle und eine Senke besitzen fallen beide Gewichtungen in Dienstleistungsbetrieben mit 1 und 2 niedriger aus als bei den beiden Anderen. Hohe Schmutzunempfindlichkeit wird dann gefordert, wenn die Umgebung entsprechend verunreinigt ist. Da dies – mit einigen Ausnahmen im Bereich 3PL – nicht der Fall ist, werden Produktion und Dienstleistung mit 1 und die Intralogistik mit 2 gewichtet. In der Produktion und der Dienstleistung werden vermehrt spezielle Bereiche gefordert. Dies bedeutet, dass z.B. bei engen Passagen nur ein Fahrzeug fahren darf, oder dass in gewissen Bereichen eine bestimmte Geschwindigkeit nicht überschritten werden darf. Deshalb werden spezielle Bereiche in diesen beiden Branchen mit 3 und in der Intralogistik mit 2 gewichtet. Wegen der hohen Anzahl an fremden Objekten (sowohl Güter und Paletten, als auch Personen) werden in allen drei Branchen die Maschinensicherheit, die Personensicherheit und auch die Industrietauglichkeit (Robustheit des FTF) mit 3 gewichtet. Um eine Verbindung zu umliegenden Systemen aufzubauen ist es Notwendig, mit der Umwelt kommunizieren zu können. Dies wird z.B. bei Brandschutztüren benötigt, die automatisch geöffnet und nach dem Passieren auch wieder automatisch geschlossen werden müssen. Da solche Situationen in der Produktion und der Dienstleistung sehr häufig vorkommen wird die Kommunikation mit der Umwelt hier mit 3 und in der Intralogistik wegen der geringeren Anforderung mit 2 gewichtet.

	Gewichtung		
	P	3PL	DL
Allgemein			
Inbetriebnahme	3	3	3
Skalierbarkeit	3	3	3
Erweiterbarkeit	3	3	3
Größe und Gewicht			
Abmessungen und Gewicht	3	2	3
Antrieb			
max. Geschwindigkeit	2	3	2
Überfahrbare Hindernisse	1	2	2
LAM und Nutzlast			
Art des LAM und Größe	3	3	3
Nutzlast	3	3	3
Energieversorgung			
Batterietyp, -kapazität, Ladesystem, -dauer	2	1	1
Navigation			
Veränderte Bedingungen (Hindernisse, ...)	3	3	1
flexible Routenplanung	3	3	2
Schmutzunempfindlichkeit	1	2	1
spezielle Bereiche	3	2	3
Sicherheit			
Maschinensicherheit	3	3	3
Personensicherheit	3	3	3
Industrietauglichkeit	3	3	3
Kommunikation mit Umwelt	3	2	3
Gesamtpunkte			

Tabelle 9: Gewichteter Bewertungskatalog¹⁹⁸¹⁹⁸ Quelle: Eigene Darstellung

5.3.5 Beispiel zur Verwendung des Bewertungskataloges

Der in dieser Arbeit entwickelte Bewertungskatalog kann für Unternehmen als Werkzeug für die Auswahl und den Vergleich von Fahrerlosen Transportsystemen im Rahmen einer Investitions- bzw. Beschaffungsentscheidung dienen. In diesem Abschnitt wird anhand eines Beispiels gezeigt, wie dieser Bewertungskatalog angewendet wird. Dazu werden zur Verdeutlichung zwei Kriterien auf Basis eines fiktiven FTS bewertet. Diese Anforderungen sind „Veränderte Bedingungen (Hindernisse, ...)“ und „Schmutzunempfindlichkeit“. Die Punkte des Bewertungsbereichs reichen in diesem Fall von 1 (nicht geeignet) bis 5 (sehr gut geeignet), die anschließend mit der Gewichtung multipliziert werden, was die Gesamtpunktezahl ergibt.

Das fiktive Fahrzeug besitzt einen Laserscanner vorne und vier Ultraschallsensoren an der Rückseite (in 17 cm Höhe) zur Navigation und Absicherung. Die Navigation erfolgt auf Basis natürlicher Konturen, weshalb keine Reflektoren verwendet werden müssen. Der Laser ist – bis auf den optischen Bereich – durch eine Blechverkleidung geschützt. Dieser Laserscanner ist in der Lage, mehrere Schutzfelder aufzubauen, um je nach Geschwindigkeit oder befahrenem Bereich ein angepasstes Sicherheitsfeld zu erhalten. Zusätzlich wird zur genaueren Lokalisierung ein Gyroskop verwendet. Die Navigationssoftware lässt eine flexible Routenplanung in Echtzeit zu. Die zwei mittigen Antriebsräder links und rechts des Fahrzeuges bestehen ebenso wie die passiven Stützräder vorne und hinten aus abriebfestem, glattem Gummi. Die Lenkung des Fahrzeuges erfolgt mittels Differenzialantrieb.

Veränderte Bedingungen (Hindernisse, ...)

Der Laserscanner und die Ultraschallsensoren erkennen alle Hindernisse, die sich vor oder hinter dem FTF befinden und höher als 17 cm sind. Dies bedeutet, dass Europaletten nicht erkannt werden können. Durch die verschiedenen Schutzfelder kann das FTF situationsbedingt reagieren und je nach Bedarf die Geschwindigkeit verringern oder abrupt abstoppen. So kann das FTS durch die flexible Routenplanung einen alternativen Transportweg berechnen, den das Fahrzeug zur Erledigung des Auftrages abfahren kann. Auch die glatten Reifen aus Gummi, die beiden Stützrädern und der mittigen Differenzialantrieb sind für rasche Brems- oder Ausweichmanöver bestens geeignet. Aus diesem Grund kann dieses Kriterium mit gut geeignet (4) bewertet werden.

Schmutzunempfindlichkeit

Da die Navigation mittels Laser auf Basis natürlicher Konturen erfolgt, müssen keine optischen Bezugsmarken eingesetzt werden, die verschmutzen könnten. Außerdem ist der Laser hinter der Verkleidung größtenteils vor Verschmutzungen geschützt. Dieser Teil kann also mit 4 Punkten (gut geeignet) bewertet werden. Auch der Antrieb mit zwei gummierten Rädern ist weitgehend gegen Verschmutzungen immun, solange die notwendige Traktion erhalten bleibt. Nur bei sehr staubigen oder öligen, schmierigen Bodenbedingungen können die Räder durchdrehen (wegen verschmutzter Räder auch auf dem weiteren Streckenverlauf), wodurch die Lokalisierung mittels Gyroskop beeinträchtigt wird. Deshalb können hier nur 3 Punkte (bedingt geeignet) vergeben werden. In Summe werden für die Schmutzunempfindlichkeit also 3,5 Punkte vergeben, die auf 4 Punkte aufgerundet werden. Multipliziert mit der Gewichtung, ergeben sich in Tabelle 10 ersichtliche Teilbewertungen für die jeweilige Branche.

	Gewichtung			FTS					
	P	3PL	DL	P		3PL		DL	
Veränderte Bedingungen (Hindernisse, ...)	3	3	1	4	12	4	12	4	4
Schmutzunempfindlichkeit	1	2	1	4	4	4	8	4	4

Tabelle 10: Bewertungsbeispiel¹⁹⁹

Auf diese Art und Weise sind alle Kriterien des Anforderungskataloges zu bewerten. Die einzelnen Teilergebnisse werden aufsummiert, wodurch sich die Gesamtpunkte ergeben. So können verschiedene FTS einfach und relativ schnell miteinander verglichen werden, um eine Basis für die Investitionsentscheidung (aus technischer Sicht) zu erhalten.

¹⁹⁹ Quelle: Eigene Darstellung

6 Zusammenfassung

Die Logistik sah sich in letzter Zeit immer öfter mit neuartigen Problemen konfrontiert. Viele dieser Anforderungen können allein durch den Einsatz einer konventionellen Fördertechnik nicht erfüllt werden. Neue Technologien und Systeme sollen hier Abhilfe schaffen, da sie eben für die Erfüllung dieser neuen Aufgaben entwickelt wurden. Auch wenn die dahinterliegende Technik oft ähnlich ist, so ist die Ausführung der Systeme, speziell in Bezug auf die in den Unternehmen vorherrschenden Umgebungsbedingungen, doch recht unterschiedlich.

Aus diesem Grund wurden in einer Umfrage die vorherrschenden Gegebenheiten in den Unternehmen abgefragt und daraus die entsprechenden Anforderungen an ein innerbetriebliches Transportsystem analysiert. Diese Analyse ergab, dass viele der Anforderungen in den verschiedenen Bereichen ähnlich sind (die Sicherheitstechnik ist in allen Branchen sehr wichtig), manche allerdings auch unterschiedlich ausfallen können. Als Beispiel wäre hier die flexible Routenplanung zu nennen, an die in der Dienstleistungslogistik aufgrund der hohen Anzahl an einfachen Quelle-Senke-Verbindungen keine sehr hohen Ansprüche gestellt werden. Deshalb kann man auch nicht die eine Lösung als Heilmittel für alle Probleme in jeder Branche heranziehen, sondern vielmehr eine Kombination aus verschiedenen Systemen in den verschiedenen Industriebereichen. Alle Fahrerlosen Transportsysteme haben gemeinsam, dass sie im Verhältnis zu herkömmlicher Fördertechnik relativ einfach in ein Unternehmen zu implementieren sind. Auch die Erweiterung des gesamten Systems im Falle eines Ausbaus der Kapazitäten, ist in allen Fällen mit weit weniger Aufwand zu gestalten. Ein weiterer großer Vorteil dieser Technologie ist auch, dass sich die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge an die jeweils aktuelle Auftragslage anpassen lässt und nicht wie bei z.B. stationärer Fördertechnik eine unveränderte Kapazität mit einer über die Zeit ungleichmäßigen Auslastung vorhanden ist. Außerdem stellen diese kleinen Fahrzeuge keine unüberwindbaren Hindernisse dar. Der wohl größte Vorteil ist, dass sich aufgrund der meist verbauten Sicherheitstechnik, die für den innerbetrieblichen Transport verwendeten Flächen nun auch geteilt nutzen lassen können. So sollte es kein Problem mehr darstellen, in dem Bereich, in dem die Transportroboter agieren, auch menschliches Personal arbeiten zu lassen. Auch Objekte, die auf den Transportwegen abgestellt sind, können von den mobilen Robotern erkannt werden, welche daraufhin dynamisch auf die veränderte Situation reagieren und den Auftrag auf einer alternativen Route abschließen.

Jedoch bietet auch ein solches System nicht nur Vorteile, sondern es gibt auch Bedingungen, in denen eine konventionelle Fördertechnik einfach bessere Ergebnisse liefert. Dies ist z.B. der Fall, wenn ein sehr hohes Transportaufkommen vorliegt und hohe Durchsätze gefordert sind. Da die Fahrerlosen Transportsysteme nur einen begrenzten Platz für die Aufnahme von Gütern haben und sich aufgrund der Sicherheitsbestimmungen nur in einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich bewegen dürfen, sind ihnen hier gewisse Grenzen gesetzt. Dies bedeutet aber nicht, dass in solchen Unternehmen ein Einsatz solcher Systeme von vornherein ausgeschlossen werden muss. In diesen Fällen kann es etwa sinnvoll sein, die Haupttrouten mit stationärer Fördertechnik auszustatten und die begleitenden Transporte – wie etwa Stichproben oder Warenrückführungen (Loops) – von den mobilen Robotern ausführen zu lassen.

Wenn auch noch weiterer Aufholbedarf in der Entwicklung der Technologien und Ausführungen besteht, so ist aus technischer Sicht gesehen, eine Einführung von Fahrerlosen Transportsystemen in jedem der drei überprüften Bereiche durchaus denkbar und auch sinnvoll, da insbesondere die verschiedenen Ansätze der unterschiedlichen Hersteller, mit ihren speziellen Fähigkeiten, für jede Branche eine durchaus nützliche Lösung des Transportproblems bietet. Der entwickelte Anforderungskatalog bietet dabei eine Möglichkeit zur Evaluierung von FTS auf Basis technischer Parameter und branchenspezifischer Anforderungen, welche auf den Ergebnissen einer Umfrage beruhen. Dieser stellt für Unternehmen – trotz der enormen Entwicklungsgeschwindigkeit der Technologien – ein geeignetes Hilfsmittel dar, welches die Auswahl eines geeigneten Systems unterstützen soll.

Literaturverzeichnis

Adept (2013, a): Adept Technology. URL: <http://adept.de/ueber-uns/ueber-adept>

(Zugriff: 21.10.2013)

Adept (2013, b): Adept Lynx. Produktinformation, Dortmund

Adept (2013, c): Lynx – autonom indoor vehicles. Informationsbroschüre, Dortmund

ADM (2001): Standards zur Qualitätssicherung für Online-Befragungen.

URL: [http://www.adm-](http://www.adm-ev.de/fileadmin/user_upload/PDFS/Onlinestandards_D.PDF)

[ev.de/fileadmin/user_upload/PDFS/Onlinestandards_D.PDF](http://www.adm-ev.de/fileadmin/user_upload/PDFS/Onlinestandards_D.PDF)

(Zugriff: 16.08.2013)

Alpenheli (2012): Das Omniwheel-Projekt.

URL: <http://www.alpenheli.at/sites/omniwheel.htm> (Zugriff: 9.12.2013)

Arnold, D.; Iserman, H. et al. (2004): Handbuch Logistik. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin

ASP-GmbH (2013): di-soric – Ultraschallsensoren.

URL: http://www.asp-gmbh.at/image/asp/library/downloads/di-soric/Prospekt_Ultraschallsensoren-0213.pdf (Zugriff: 05.10.2013)

Bärnreuther, B. (k.A.): Logistik. Hochschule Hof, Hof

BlueBotics (2007): Wettbewerbsfähig dank Mobilrobotik.

URL: <http://www.bluebotics.com/documents/AutomateNow0708.pdf>

(Zugriff: 03.12.2013)

BlueBotics (2010): Logistik voll automatisiert.

URL: <http://www.bluebotics.com/documents/1008AutomateNow.pdf>

(Zugriff: 03.12.2013)

BlueBotics (2013, a): Company. URL: <http://www.bluebotics.com/company/>

(Zugriff: 03.12.2013)

BlueBotics (2013, b): AMV-1 – Mobility & Light Logistics.

URL: <http://www.bluebotics.com/mobile-robotics/amv-1/> (Zugriff: 03.12.2013)

BlueBotics (2013, c): ANT® - Autonomous Navigation Technology.

URL: [http://www.bluebotics.com/wp-](http://www.bluebotics.com/wp-content/uploads/2013/04/BrochureANT.pdf)

[content/uploads/2013/04/BrochureANT.pdf](http://www.bluebotics.com/wp-content/uploads/2013/04/BrochureANT.pdf)

(Zugriff: 03.12.2013)

Bortz, J.; Döring, N. (2009): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer Medizin Verlag, Heidelberg

Brettel, M. (1999): Krankenhauslogistik. In: Weber, Jürgen; Baumgarten, Helmut (Hrsg.): Handbuch Logistik: Management von Material- und Warenflußprozessen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart 1999, S. 764-774

Connette, C. (2009): Kosteneffiziente Verfahren zur Navigation von FTS – Die Sensorik steht im Fokus. In: Hebezeuge Fördermittel. Nr. 9, S. 434-435

Dematic (2013, a): Dematic Multishuttle 2. White paper. USA

Dematic (2013, b): Premiere des Dematic Multishuttle Move in Offenbach.
URL: <http://www.dematic.com/de/Presse-Events/Pressemitteilungen/page30122.htm?newsid=1703&newsrefid=30122>
(Zugriff: 13.08.2013)

directindustry (2013): Push-Sorter.
URL: <http://www.directindustry.de/prod/roach-conveyor/pusher-sorter-55349-852491.html> (Zugriff: 23.11.2013)

Dold, M.; Heimpel, B. (2010): Sicherheit und Navigationshilfe für mobile Roboter. In: Technische Rundschau, Nr. 9/2010, S. 84-86

Ditch, B; de Vries, J. (2013): Flammability Characterization of Lithium-ion Batteries in Bulk Storage. Technical Report, FM Global, Berkshire

Feldhusen, J. (2014): Konstruktionslehre I – Bewerten von Lösungen. IKT. Universität Aachen

Forbes (2014): A Bot in Time Saves Nine
http://www.forbes.com/global/2009/0316/064_bot_in_time.html
(Zugriff: 05.04.2014)

Fraunhofer (2013): Zellulare Transportsysteme – Shuttles für den flexiblen Einsatz.
URL: http://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/OE%20130/Themenbroschuere_ZellulareTransportsysteme.pdf
(Zugriff: 25.11.2013)

Gleißner, H.; Möller, K. (2009): Fallstudien Logistik – Logistikwissen in der praktischen Anwendung. Gabler Verlag, Wiesbaden
Götting (2013): Lösungen. URL: <http://www.goetting.de/loesungen> (Zugriff: 30.09.2013)

Günthner, W.A.; ten Hompel, M. (2012): Algorithmen und Kommunikationssysteme für die Zellulare Fördertechnik. Forschungsbericht, Fraunhofer/IML, Dortmund, München

Gutmann, J. S. (1999): Robuste Navigation autonomer mobiler Systeme. Dissertation, TU München

Heidenblut, V. (1993): Konzepte und Trends in der Krankenhauslogistik. In: Logistik aktuell – Automatisches Warentransportsystem in der Krankenhauslogistik, Medizinische Universität, Lübeck

Heitsch, J. (2010): Verteilte Koordination und Pfadplanung von autonomen Fahrzeugen. Masterarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hoffmann, F. (2012): Open Shuttle. Produktpräsentation, Knapp AG, Graz

Hompel, M.; Schmidt, T. et al. (2007): Materialflusssysteme – Förder- und Lagertechnik. 3. Auflage, Springer Verlag, London

Hoppe, W.P. (2014): Navigationstrends bei Fahrerlosen.
URL: http://www.mav-online.de/automation/-/article/46701/26906439/Navigationstrends-bei-Fahrerlosen/art_co_INSTANCE_0000/maximized/ (Zugriff: 08.04.2014)

HS Bremen (2012): Nutzwertanalyse. URL: http://www.hs-bremen.de/internet/einrichtungen/fakultaeten/f5/abt1/forschung/labore/fertigungstechnik/methode4-nutzwertanalyse_neu.pdf (Zugriff: 20.10.2013)

Idumont AG (2013): Navigation.
URL: <http://www.indumont.ch/fahrerlose-transportssysteme/navigation.html> (Zugriff: 20.01.2014)

INDUSTRIEanzeiger (2013): Navigation per Laser bringt Bewegung in den FTS-Markt – Auf der Suche nach dem richtigen Weg.
URL: <http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/12503/28958138/> (Zugriff: 23.09.2013)

ITWissen (2013): Laserscanner.
URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Laserscanner-laser-scanner.html> (Zugriff: 10.10.2013)

Jünemann, R. (1989): Materialfluss und Logistik. Springer Verlag, Berlin
Jünemann, R.; Schmidt, T. (2000): Materialflusssysteme – Systematische Grundlagen. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin

Kalbacher, M. (1996): Ultraschallgestützte Navigation und Wegplanung in bekannter Umgebung. Diplomarbeit, Universität Stuttgart

Kamagaew, A. (2011): Zellulare Transportsysteme – neue Wege für die Intralogistik. Forum „Junge Spitzenforscher und Mittelstand“, Petersberg bei Bonn

Kamagaew, A; Große, E. (2011): Zellulare Transportsysteme – Multishuttle Move. In: Hebezeuge Fördermittel, Nr. 4, S. 170-172

Kirn (2000): Modellierung vernetzter Logistikkreisläufe im Krankenhaus als Ausgangspunkt einer agentenbasierten Simulation. Diplomarbeit, TU Ilmenau

Kirks, T.; Stenzel, J. et al. (2012): Zellulare Transportfahrzeuge für flexible wandelbare Intralogistiksysteme. Logistics Journal, Vol. 12

Kiva Systems (2014, a): History. URL: <http://www.kivasystems.com/about-us-the-kiva-approach/history/>
(Zugriff: 05.04.20014)

Kiva Systems (2014, b): Solutions. URL: <http://www.kivasystems.com/solutions/>
(Zugriff: 05.04.20014)

Kiva Systems (2014, c): Drive Unit – Robotus Ubiquitus. URL: <http://www.kivasystems.com/about-us-the-kiva-approach/management-team/drive-unit-robotus-ubiquitus> (Zugriff: 05.04.2014)

Knapp AG (2013): Open Shuttle 2.0 – Projektierungsleitfaden – Behälter Shuttle. V 1.00, Knapp AG, Graz

Knapp AG (2014, a): Unternehmen. URL: <http://www.knapp.com/company>
(Zugriff: 17.04.2014)

Knapp AG (2014, b): KNAPP AG. URL: http://www.knapp.com/KNAPP_AG
(Zugriff: 17.04.2014)

Knapp AG (2014, c): Cosmetics Solutions. URL: <http://www.knapp.com/COSMETICS> (Zugriff: 17.04.2014)

Konrad, K. (2005): Mündliche und schriftliche Befragung. Empirische Pädagogik e. V., Landau

Krampe, H.; Lucke, H.J. (1993): Grundlagen der Logistik. Hess Verlag, München

Kurnaz, T; Willemsen, B. (2004): Laser – Funktionsweise und Anwendungen. DV-Seminarvortrag für mathematisch – technische Assistenten

Laffert, J. (2000): Informations- und Materialflüsse in internationalen Logistiksystemen der Volkswagen AG. Kassel univ. press, Kassel

LOGO-Team (2013): Definition Krankenhauslogistik:

URL: <http://www.krankenhauslogistics.com/index.php?thema1=2>

(Zugriff: 2.10.2013)

MT Robots (2014): Unternehmen. URL: <http://www.mt-robot.com/unternehmen/index.html>

(Zugriff: 24.03.2014)

MT Robots (2014, b): UNITR B/8261 – Ihr FTS der neuesten Generation.

URL: http://www.mt-robot.com/downloads/flyer_unitr.pdf (Zugriff: 24.03.2014)

Müller, C. (2011): Einsatz fahrerloser Transportsysteme in der Pharmabranche. In: TechnoPharm 1, Nr. 2, S. 162-167

myIntralogistik (k.A.): Zentrum für Fahrerlose Transportsysteme und automatisierte Produktions- und Lagerlogistik. Informationsbroschüre, Westerstetten

Neobotix (2014, a): Die Neobotix GmbH.

URL: <http://neobotix-roboter.de/unternehmen-ueber-uns.html> (Zugriff: 23.03.2014)

Neobotix (2014, b): Bedienungsanleitung – Mobile Plattform MP-400. Bedienungsanleitung, V1.0, Heilbronn

Neobotix (2014, c): Neobotix-Basisplattformen

URL: <http://www.neobotix-roboter.de/fileadmin/files/downloads/Allgemeines/Technical-Data-Platforms.pdf> (Zugriff: 23.03.2014)

Neobotix (k.A., a): Mobiler Roboter MP-400. Produktinformation, Neobotix GmbH, Heilbronn

Neobotix (k.A., b): Mobiler Roboter MT-400. Produktinformation, Neobotix GmbH, Heilbronn

Nexusrobot (2013): Custom Robots. URL:

http://www.nexusrobot.com/cms.php?id_cms=7

(Zugriff: 9.12.2013)

Osterhoff, W. (2012): FTS mit praxisgerechten Fahrzeugen und flexiblen Navigationen – Planung, Projektierung und Wirtschaftlichkeit.

URL: http://files.messe.de/299/media/02informationen fuer besucher/programme/vortraege 2012/forum_robotics_automation__ vision/dienstag/HMI_201.pdf (Zugriff: 08.04.2012)

Pfohl, H.C. (2010): Logistiksysteme – Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8.Auflage. Springer Verlag, Darmstadt

Pressebox (2008): BlueBotics – Brutstätte für intelligente Mobilrobotik mit internationale Anerkennung.

URL: <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/bluebotics-sa/BlueBotics-Brutstaette-fuer-intelligente-Mobilrobotik-mit-internationale-Anerkennung/boxid/191096> (Zugriff: 03.12.2013)

Raab-Steiner, E.; Benesch, M. (2010): Der Fragebogen. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien

Raithel, J. (2008): Quantitative Forschung – Ein Praxiskurs. 2. Auflage. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden

Reichle, M. (2006): Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Erfolgspotenzials und des Innovationsgrades von Produktideen und Produkten. Dissertation. Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design. Universität Stuttgart

Schlütermann, C. (2010): Lernfeld 4: Güter transportieren.

URL: http://www.schluetermann.de/wp-content/uploads/2010/12/Gueter_transportieren_LF4_ohne.pdf (Zugriff: 04.09.2013)

Schmitz, R. (1993): Patientenbezogene Steuerung im Krankenhaus: Ein Konzept zur patientenbezogenen Steuerung im Primärleistungsbereich mit Hilfe fallgruppengegliederter Leistungskategorien. Kohlhammer Verlag, Stuttgart

Schulte, C. (1999): Lexikon der Logistik. Oldenbourg Verlag, München

Schulte, C. (2005): Logistik – Wege zur Optimierung der Supply Chain, 5. Auflage, Verlag Vahlen, München

Seipp, H. M.; Kasper, E. (1997): Sammlung, Lagerung und Transport von Müll und Abfall im Krankenhaus. In: Botzenhart, Konrad; Heeg, Peter; Streib, Roland (Hrsg.) : Entsorgung in medizinischen Einrichtungen: Zuordnung, Sammlung, Lagerung, Transport, Behandlung medizinischer Abfälle. Gustav Fischer, Stuttgart, S. 48-75

Senger, E. (2000): Modellierung vernetzter Logistikkreisläufe im Krankenhaus als Ausgangspunkt einer agentenbasierten Simulation. Diplomarbeit. TU Ilmenau

SICK AG (2009): Effiziente Lösungen für Materialtransportfahrzeuge in der Fabrik- und Logistikautomation. Informationsbroschüre, Waldkirch

SICK AG (2012): S3000 – Betriebsanleitung.

URL: <https://www.mysick.com/saqqara/im0011862.pdf> (Zugriff: 08.04.2014)

SICK AG (2013): TIM-Serie – 2D-Laserscanner. Produktinformation, SICK AG, Waldkirch

Spectrum (2014): Three Engineers, Hundreds of Robots, One Warehouse. URL:<http://spectrum.ieee.org/robotics/robotics-software/three-engineers-hundreds-of-robots-one-warehouse> (Zugriff: 05.04.2014)

Thielsch, M. T.; Weltzin, S. (2009): Praxis der Wirtschaftspsychologie. MV Wissenschaft, Münster

Ullrich, G. (2008): Nächste Entwicklungsstufe bei Fahrerlosen Transportsystemen - Zukunftsvision „Drive Safe“. In: Hebezeuge Fördermittel, Nr. 5, S. 328-313

Ullrich, G. (2011): Fahrerlose Transportsysteme. Springer Verlag, Wiesbaden

Vahrenkamp, R. (1994): Produktions- und Logistikmanagement. Oldenburg Verlag, München

VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Beuth-Verlag, Berlin, 1998, Blatt 3

VDI-Richtlinie 2510: Fahrerlose Transportsysteme. Beuth-Verlag, Berlin, 2005

Wannenwetsch, H. (2008): Dienstleistungslogistik. Gabler Verlag, Wiesbaden

Wenglor (2013): High-Performance-Distanzsensor. URL: http://www.wenglor.de/index.php?id=716&L=1&tx_wsproductlister_pi1%5BArtikelNR%5D=UMS603U035&tx_wsproductlister_pi1%5BbackPID%5D=645&cash=24ebbfd09610abcb630cf2f7d9f38a2e (Zugriff: 05.10.2013)

Windt, K. (2006): Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik. In: Vec, M., Hütt, M., Freund, A. (Hrsg.): Selbstorganisation – Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft. Böhlau Verlag, Köln, 2006

Witte, H.; Witte, I. (k.A.): Dienstleistungslogistik. URL: <http://opus.bsz-bw.de/fhos/volltexte/2012/8/pdf/Dienstleistungslogistik2.pdf> (Zugriff: 29.08.2013)

Anhang

Fragenbogen:

1. „In welchem Bereich ist Ihr Unternehmen angesiedelt?“

- Produktion
- 3PL (Third-Party-Logistics, Logistikdienstleister)
- Dienstleistung (Krankenhaus, Pflegeheim, ...)

*

2. „Wie groß ist die durchschnittliche Transportlänge, die für den innerbetrieblichen Transport benötigt/verwendet wird?“

- bis 20 Meter
- 20 Meter bis 50 Meter
- über 50 Meter

*

3. „Wie viele Mitarbeiter werden für den innerbetrieblichen Transport beschäftigt?“

- bis 3 Mitarbeiter
- 4 bis 10 Mitarbeiter
- über 10 Mitarbeiter

*

4. „In welchem Beschäftigungsmodell arbeiten die Mitarbeiter?“

(Sollte ihr Beschäftigungsmodell nicht aufgelistet sein, wählen Sie bitte jenes aus, welches ihrem am nächsten kommt)

- 1-Schicht Modell
- 2-Schicht Modell
- 3-Schicht Modell
- 4-Schicht Modell

*

5. „Wie verhält sich das Transportaufkommen über den Tag?“

- regelmäßig
- unregelmäßig

*

6. „Wie verhält sich das Transportaufkommen über das Jahr?“

- regelmäßig
- unregelmäßig
- saisonal

*

7. „Wie groß ist das Transportaufkommen allgemein?“

- niedrig
- hoch

*

8. „Wie groß sind ihre zu transportierenden Produkte (oder Behälter)?“

- bis 600 x 400 mm

- von 600 x 400 mm bis 1000 x 600
- über 1000 x 600 mm

*

9. „In welchem Gewichtsbereich liegen die Transportlose?“

- „In welchem Gewichtsbereich liegen die Transportlose?“ bis 50 kg
- über 50 kg

*

10. „Wie ist die Beschaffenheit des Transportbereiches?“ (Mehrfachnennung möglich)

- sauberer Boden
- verunreinigter Boden
- ebener Boden
- unebener Boden (Steigungen, Lücken, ...)

*

11. „Führen die Transportwege durch enge Gassen oder enge Abschnitte (Breite < 1,5 m)?“

- ja, nur Türen
- ja, auch Gassen oder Gänge
- nein

*

12. „Sind die Verbindungen zwischen Aufnahme- und Abgabepunkt immer dieselben (m:n Verbindungen)?“ (Mehrfachnennung möglich)

- 1 Aufnahme – 1 Abgabe
- 1 Aufnahme – n Abgabe
- m Aufnahme – 1 Abgabe
- m Aufnahme – n Abgabe

*

13. „Verlaufen die Transporte über getrennte Bereiche (z.B. Tore, die geschlossen werden müssen)?“

- ja, nur in Gebäuden
- ja, auch in Außenbereichen
- nein

*

14. „Befinden sich entlang der Transportwege auch andere Objekte (Fahrzeuge, Personen, Paletten, ...)?“ (Mehrfachnennung möglich)

- Fahrzeuge
- Personen
- Paletten
- Sonstige

*

15. „Ändern sich die Transportwege aufgrund von veränderlichen Prozessen?“

- ja, einmal im Jahr
- ja, öfter im Jahr
- ja, alle paar Jahre
- nein