

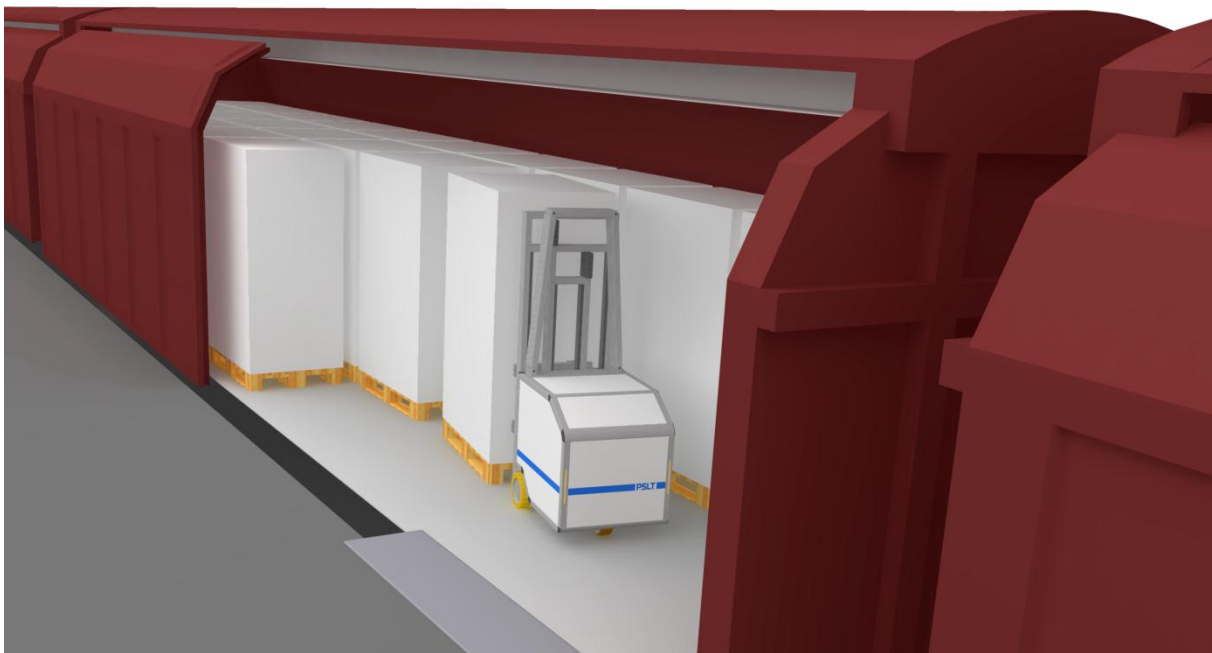
Forschungs- und Entwicklungsprojekt

„Automatisiertes Be- und Entladen von Güterwaggons (AutoVer)“

zur Förderinitiative „Intelligente Logistik im Wirtschafts- und Güterverkehr“

des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

Schlussbericht



Förderkennzeichen 19G7040

Hannover, den 30.08.2011

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Bildverzeichnis.....	II
1 Kurzdarstellung.....	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Projektvoraussetzungen.....	2
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	4
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Projektbeginn.....	7
1.5 Beteiligte Parteien	9
2 Eingehende Darstellung	11
2.1 Erzielte Ergebnisse	11
2.1.1 Konzeptionierung.....	11
2.1.2 Software.....	52
2.1.3 Industrie-Demonstrator	73
2.1.4 Erprobung	73
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	77
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	77
2.4 Voraussichtliches Nutzen und Verwertbarkeit.....	78
2.5 Fortschritt bei anderen Stellen	79
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	80

Bildverzeichnis

Bild 1.1: Anteile nach Tonnenkilometern an der Gesamttransportleistung in Deutschland in 2010, Quellen: StBA, Wiesbaden.....	3
Bild 1.2: Balkenplan der Arbeitspakete	7
Bild 2.1: Stauraumoptimierung	12
Bild 2.2: Eingesetzter Gegengewichtstapler bei der Entladung	13
Bild 2.3: Fahrerloses Flurförderzeug bei der Lastaufnahme	13
Bild 2.4: Beispielhaftes Beladungsmuster eines Hbbillns 305	15
Bild 2.5: Verladezone	15
Bild 2.6: Skizze der Verladezone.....	16
Bild 2.7: Eingesetzte Überladebleche.....	17
Bild 2.8: Ausnutzung der Ladefläche im Güterwaggon.....	18
Bild 2.9: Platzverhältnisse für Überladebleche	18
Bild 2.10: Verladezone mit Abstellplätzen	19
Bild 2.11: Automatisierter Transport von Ladeeinheiten	20
Bild 2.12: Bodengegebenheiten im Güterwaggon	20
Bild 2.13: Befahren des Überladeblechs	21
Bild 2.14: Verschieben der Ladeeinheit mit der Seitenverstelleinrichtung	22
Bild 2.15: Eingesetzte Gabelstapler.....	23
Bild 2.16: Skizze eines beispielhaften Beladungsmusters.....	24
Bild 2.17: Güterwaggons in der Verladezone	25
Bild 2.18: Zweifach-hohe Verbundstapelung der kleineren Ladeeinheiten	25
Bild 2.19: Ansicht der Verladezone.....	26
Bild 2.20: Skizze der Verladezone.....	27
Bild 2.21: Unüberdachter Bereich zwischen den Lagerhallen.....	28
Bild 2.22: Verbunderstellung zum Einlagerungstransport.....	29
Bild 2.23: Beschädigung des Ladehilfsmittels.....	30
Bild 2.24: Beschädigung des Ladehilfsmittels.....	31
Bild 2.25: Beschädigung des Ladehilfsmittels.....	31
Bild 2.26: Beschädigung des Ladehilfsmittels.....	32
Bild 2.27: Versatz des Ladegutes vom Ladehilfsmittel	32
Bild 2.28: Folienüberhang beim Ladehilfsmittel	33

Bild 2.29: Zweifach-hoch gestapelte Ladeeinheiten und Überschusspalette	33
Bild 2.30: Ablauf der Entladung von außen	39
Bild 2.31: Ablauf der Entladung von innen.....	40
Bild 2.32: Ablauf der Beladung von außen	41
Bild 2.33: Ablauf der Beladung von innen.....	42
Bild 2.34: Positionsanfahrt in der Verladezone (C1) und im Laderaum (C2)	44
Bild 2.35: Reihenfolge der Entladung von außen	46
Bild 2.36: Reihenfolge der Entladung von innen.....	46
Bild 2.37: Reihenfolge der Beladung von außen	46
Bild 2.38: Reihenfolge der Beladung von innen.....	46
Bild 2.39: Palette nach DIN EN 13698-1	53
Bild 2.40: Lastpositionserkennung mittels Laserscanner	54
Bild 2.41:Umgebungsscan mit einer Palette	56
Bild 2.42: Erkannte Palettenklötze im Umgebungsscan	56
Bild 2.43: Versuchsaufbau zur Lastpositionserkennung	57
Bild 2.44: Präsentation Lastpositionserkennung, „Nacht die Wissen schafft 09“	57
Bild 2.45: Präsentation der Lastpositionserkennung, Projekttreffen 25.10.09	58
Bild 2.46: Gemessene Umgebung aus Scanwerten und bekannte Umgebung	59
Bild 2.47: Abweichungsfehler zwischen den beiden Umgebungskarten	59
Bild 2.48: Überlagerung bei minimierten Abweichungsfehlern.....	60
Bild 2.49: Lokalisierung nach fünf Zeitschritten	61
Bild 2.50: Lokalisierung nach 15 Zeitschritten	61
Bild 2.51: Lokalisierung nach 25 Zeitschritten	62
Bild 2.52: Vorgeplante Fahrwege in der Verladezone	63
Bild 2.53: Dynamische Fahrwegsplanung im Laderaum.....	63
Bild 2.54: GUI mit vier erkannten Paletten bei NOSTA.....	65
Bild 2.55: GUI mit geplantem Fahrweg zur Zielpalette	66
Bild 2.57: Erste Entwurfsskizze des Labor-Demonstrators	68
Bild 2.58: CAD-Modell des Labor-Demonstrators.....	68
Bild 2.59: Labor-Demonstrator.....	70
Bild 2.60: Labor-Demonstrator mit Versuchsumgebung	70
Bild 2.61: Energieversorgung	71
Bild 2.62: Seitenverkleidung	71
Bild 2.63: Industrie-Demonstrator während des Projekttreffens am 25.10.2009.....	72

Bild 2.64: Entwicklungsstand des Industrie-Demonstrators am 15.02.2010	72
Bild 2.65: Industrie-Demonstrator	74
Bild 2.66: Industrie-Demonstrator mit Testfeld.....	74
Bild 2.67: Praxistest im Logistikzentrum Brück.....	75
Bild 2.68: Praxistest im Logistikzentrum Stadthagen.....	76

1 Kurzdarstellung

In einem kurzen Überblick zum Kooperationsprojekt „Automatisiertes Be- und Entladen von Güterwaggons (AutoVer)“ werden im Folgenden die Aufgabenstellung, die Planung und der Ablauf knapp und informativ dargestellt. Dabei werden auch die Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, und der technische Stand, an den es anknüpft, näher beleuchtet.

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines neuartigen FTS-Verladesystems, das selbstständig in der Lage ist, die Verladung von Güterwaggons zu übernehmen. Hierzu sind folgende Problemstellungen zu lösen:

- o Zunächst sind die konkreten logistischen und technischen Anforderungen in gemeinsamen Gesprächen zu bestimmen. Dabei müssen insbesondere die Bedürfnisse potentieller Anwender berücksichtigt werden.
- o Die Positionierung der Güterwaggons relativ zu den Verladerampen ist variabel. Es sind daher Lokalisations- und Navigationsalgorithmen zu entwerfen, die mit veränderlichen Umgebungen zurechtkommen.
- o Güterwaggons sind nicht mit für die Lokalisation von Fahrerlosen Flurförderzeugen verwendeten Orientierungshilfen, wie Reflektormarken, Magnetbodenrastern oder Leitdrähten, ausgestattet. Eine Ausrüstung der am Kombinierten Verkehr beteiligten Güterwaggons ist auf Grund ihrer enormen Anzahl ausgeschlossen. Aus diesem Grund ist für die Navigation des Fahrerlosen Flurförderzeugs innerhalb des Laderaums eine autonome Lokalisationstechnik zu entwickeln, die nicht auf externe Sensorik angewiesen ist.
- o Um einen vollständig automatisierten Prozess zu gewährleisten, muss die zu transportierende Ladung vom Fahrerlosen Flurförderzeug selbstständig identifiziert werden können. Es ist eine berührungslose Erkennungstechnik zur Identifizierung von Lage und Orientierung der Ladeeinheiten zu entwickeln. Hierbei ist eine Notwendigkeit zusätzlicher Markierung oder Ausrüstung der gebräuchlichen Ladehilfsmittel zu vermeiden.
- o Um die Fahrt in den Laderäumen der Güterwaggons zu ermöglichen, sind konstruktiv verschiedene spezifische Anforderungen zu erfüllen. Neben möglichst

geringen Abmessungen und einem niedrigen Gesamtgewicht muss das Lastaufnahmemittel mit einer Vorrichtung zum Ausgleich der Neigung bei der Fahrt auf der Verladerampe, der Überladebrücke und dem Überladeblech ausgestattet sein.

- o Die Anforderungen herkömmlicher FTS-Anlagen an die Fußbodenbeschaffenheit sind als hoch einzustufen. Das gilt insbesondere für die Ebenheit. Für das Umfeld der Verladung sind diese Rahmenbedingungen nicht gegeben. Dies betrifft sowohl die Ladeflächen als auch die Übergänge von der Verladerampe zum Güterwaggon. Dieser Umstand ist bei der Entwicklung des Demonstrators umfassend zu berücksichtigen.

Zur Lösung dieser Probleme sind zunächst Konzeptansätze zu erarbeiten, die anhand von modellhaften Komponenten- und Systemversuchen im FTS-Labor des Fachgebiets Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen verifiziert werden. In Zusammenarbeit mit der E&K AUTOMATION GmbH werden die Ergebnisse dann in einen industrietauglichen Demonstrator umgesetzt. Anschließend erfolgt die Erprobung der Verladung unter Praxisbedingungen bei der NOSTA-Transport GmbH und der Paul Hartmann AG.

1.2 Projektvoraussetzungen

Gemessen in Tonnenkilometern werden gegenwärtig rund 70 % des jährlichen Güterverkehrsaufkommens in Deutschland auf der Straße abgewickelt (Bild 1.1). Obwohl der Verkehrsträger Schiene insbesondere im Langstreckenverkehr wirtschaftlich potentiell deutliche Vorteile bietet, fällt die Entscheidung häufig zu Gunsten der Straße aus. Attraktive Transportkonditionen ergeben sich meist nur für Unternehmen mit direktem Anschluss ans Schienennetz und einem Versandaufkommen in Größenordnungen von Wagengruppen und ganzen Zügen. Darüber hinaus ist für die große Mehrheit der versendenden Unternehmen eine zeitliche Flexibilität in Bezug auf den Versandzeitpunkt unabdingbar, so dass der Transport auf der Schiene für bedeutende Anteile des Güterverkehrsaufkommens nicht in Betracht gezogen wird.

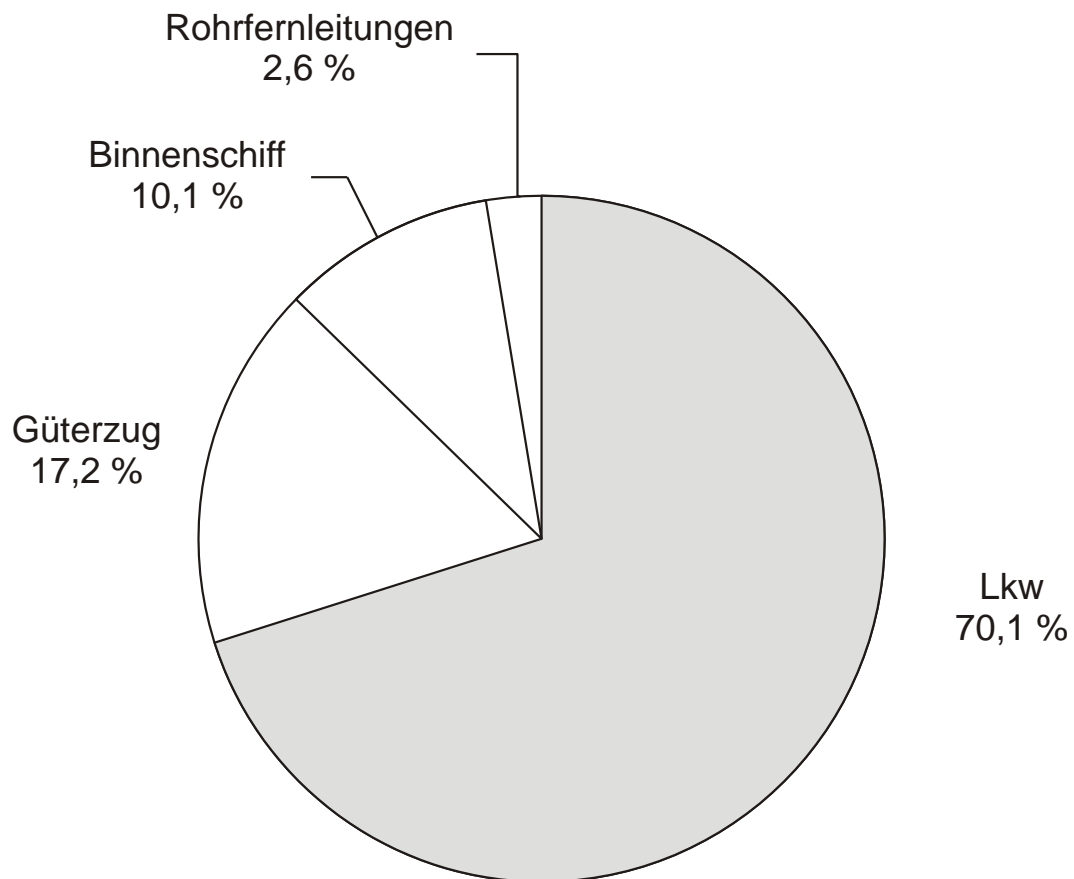


Bild 1.1: Anteile nach Tonnenkilometern an der Gesamttransportleistung in Deutschland in 2010, Quellen: StBA, Wiesbaden

Ein praktikables Konzept, das hier einen Ausweg schafft, ist der Kombinierte Verkehr nach dem Modell Straße-Schiene-Straße. Die flächendeckende Verfügbarkeit des Lkw wird hier mit den ökologischen und ökonomischen Vorteilen des Transports per Bahn im Langstreckenverkehr verbunden. Bisher konnte dieses Verfahren jedoch nur für Container und Wechselbehälter nennenswerte Akzeptanz erzielen. In der nationalen Distribution dominieren aber Ladeeinheiten, die vorwiegend die Ladehilfsmittel Palette oder Gitterbox gemäß DIN-Norm oder standardisierte Gestelle nutzen. Bisher fehlen für die Verladung von Ladeeinheiten in Güterwaggons sowohl im Kombinierten Verkehr als auch im Direktverkehr auf der Schiene automatisierte Systeme. Bei der Be- und Entladung von Güterwaggons kommen lediglich personalintensive, manuell bediente Flurförderzeuge zum Einsatz.

Um eine anteilige Verlagerung des Güterverkehrsaufkommens von der Straße auf die Schiene zu bewirken ist es notwendig, die Attraktivität dieses Verkehrsträgers zu

steigern. Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Verladevorgangs zu steigern, erscheint als ein sinnvoller und naheliegender Lösungsansatz. Von diesem würde sowohl der kombinierte, als auch der Direktverkehr profitieren, wodurch der Verkehr auf der Schiene gestärkt würde.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Der Arbeitsplan gliedert sich in sechs Phasen, die im Balkenplan dargestellt sind (Bild 1.2). Zunächst sind die an das zu entwickelnde FTS-Verladesystem gestellten logistischen und technischen Anforderungen gemeinsam von den Projektpartnern herauszuarbeiten. Während dieser Phase soll ein gemeinsames Verständnis für die im Einzelnen zu lösenden Aufgaben und die technische Umsetzung entwickelt werden. Außerdem sind für die unterschiedlichen Problemstellungen repräsentative Testszenarien zu entwickeln, deren erfolgreiche Bewältigung zur Bedingung verschiedener Tests im Vorfeld der eigentlichen Erprobung wird. Aus den festgestellten Anforderungen ist ebenfalls gemeinschaftlich das grundsätzliche Konzept des FTS-Verladesystems abzuleiten.

Vom PSLT wird anschließend der Aufbau eines Labor-Demonstrators samt der Steuerungsroutinen für Sensoren und Aktoren, die Entwicklung der benötigten Softwaremodule, wie beispielsweise Lastpositionserkennung, Navigation und Fahrwegplanung, und die Kombination zur Gesamtsteuerung durchgeführt. Hierzu werden Ansätze der aktuellen Forschung an den vorliegenden Anwendungsfall angepasst und weiterentwickelt.

Schwerpunkt der Firma E&K ist die Konstruktion eines industrietauglichen Demonstrators. In Zusammenarbeit von PSLT und E&K wird die Steuerung vom Labor- auf den Industrie-Demonstrator übertragen und ausführlich getestet. Im Anschluss erfolgen Feldversuche unter Praxisbedingungen auf dem Gelände von NOSTA und von Hartmann sowie die Auswertung und Aufbereitung der Ergebnisse.

Im Detail beinhalten die Arbeitspakete folgende Aufgaben:

AP1 Konzeptionierung

Die an das zu entwickelnde FTS-Verladesystem gestellten logistischen und technischen Anforderungen sind gemeinsam von den drei Projektpartnern herauszuarbeiten. Während dieser Phase soll ein gemeinsames Verständnis für die im Einzelnen zu lösenden Aufgaben und die technische Umsetzung entwickelt werden.

Für die unterschiedlichen Problemstellungen sind repräsentative Testszenarien zu entwickeln. Hierbei sind sowohl der reguläre Betrieb als auch Ausnahmesituationen, wie beispielsweise der Eintritt von Personen in die Sicherheitszone oder die fehlerhafte Beladung aufzunehmender Paletten, zu berücksichtigen. Die erfolgreiche Bewältigung dieser Szenarien wird zur Bedingung verschiedener Tests im Vorfeld der eigentlichen Erprobungsphase.

Auf Basis der im Rahmen dieses Arbeitspakets erzielten Ergebnisse ist ein erster konzeptioneller Entwurf des zu entwickelnden FTS-Verladesystems anzufertigen.

AP2 Software

Die Funktionalität des FTS-Verladesystems wird durch die Steuerungssoftware bereitgestellt. Sie ist modular aufgebaut und besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- o Lastpositionserkennung

Vor Aufnahme einer Palette ist ihre Position im Laderaum des Transportmittels zu bestimmen. Dieser Vorgang ist unerlässlich um Fehlfunktionen bedingt durch Abweichungen von Soll- und Ist-Zustand der Ladung auszuschließen. Derartige Abweichungen können beispielsweise durch Beladungsfehler des Versenders (mehr oder weniger Paletten als im Beladungsplan vorgesehen) oder das Verrutschen der Ladung während des Transports entstehen.

- o Lokalisation in Laderäumen

Um eine kostenaufwändige Umrüstung der beteiligten Transportmittel zu vermeiden, ist ein autonomes Navigationsverfahren zu entwerfen. Grundlage jedes Navigationssystem bildet die Lokalisation, also die Bestimmung von Position und Orientierung des Fahrerlosen Flurförderzeugs in seiner Umgebung. Algorithmen zur vollständig autonomen Navigation sind Gegenstand der aktuellen

Forschung. Das entwickelte Verfahren muss den hohen Zuverlässigkeitsanforderungen industrieller Anwendungen genügen.

- o Fahrwegplanung

Anhand der Palettenpositionen sind basierend auf der Position des Fahrerlosen Flurförderzeugs Fahrbefehle abzuleiten. Diese gliedern sich im Wesentlichen in die Einfahrt in das Transportmittel, die Anfahrt der Paletten mit vorgegebener Orientierung, die Aufnahme der Last mit Hilfe der Gabel und die Ausfahrt aus dem Transportmittel.

AP3 Labor-Demonstrator

Anhand des erarbeiteten Konzepts ist ein maßstäblicher Demonstrator anzufertigen, der die Erprobung im Labor ermöglicht. Zu diesem Zweck ist ein verkleinertes Chassis denkbar. Sensorik und Aktorik sowie Steuerungstechnik sind so umzusetzen, dass hard- und softwareseitige Schnittstellen mit denen des später angefertigten Industrie-Demonstrators übereinstimmen oder vergleichbar sind.

Für alle verbauten Sensoren und Aktoren und die verwendeten Hardware-Schnittstellen sind die notwendigen Prozeduren zur Ansteuerung vom zentralen Steuerungsrechner zu erstellen. Hierzu zählt die Implementierung der grundlegenden Kommunikation über Busse und andere Schnittstellen und die Bereitstellung abstrahierter Funktionen zur einfacheren Ansteuerung.

AP4 Industrie-Demonstrator

Auf Basis des erarbeiteten Konzepts und der am Labor-Demonstrator gewonnenen Erkenntnisse ist ein praxistauglicher Demonstrator anzufertigen, der für die Erprobung in industrieller Umgebung geeignet ist. Die zuvor entwickelte Gesamtsteuerung des Labor-Demonstrators ist auf den Steuerungsrechner des Industrie-Demonstrators zu übertragen.

AP5 Erprobung

Der Industrie-Demonstrator wird auf dem Betriebsgelände von E&K, NOSTA und Hartmann unter realistischen Bedingungen erprobt. Ziel des AP ist es die einwand-

freie Funktionsfähigkeit sicherzustellen. Durch wiederholtes Testen, Analysieren und Modifizieren wird das entwickelte System iterativ optimiert.

AP6 Abschluss

Alle Ergebnisse des Projekts sind schriftlich aufzubereiten. Hierzu zählen eine ausführliche Beschreibung der Arbeitsweise des Systems und die Präsentation der Resultate für die Fachwelt.

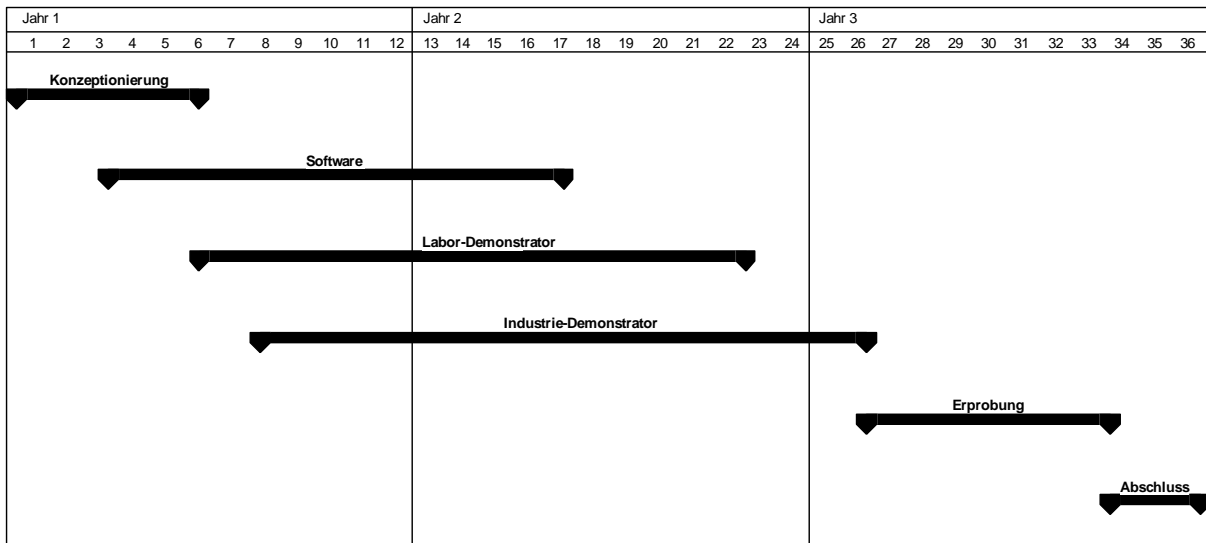


Bild 1.2: Balkenplan der Arbeitspakete

Unter diesem Zielvorhaben wird das Forschungsprojekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen der Förderinitiative „Intelligente Logistik im Wirtschafts- und Güterverkehr“ unterstützt. Die Aufsicht über das Projekt und die Verwaltung der zur Verfügung gestellten Fördergelder übernimmt der TÜV Rheinland.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Projektbeginn

Unternehmen stehen bei ihrer Wahl bezüglich der Umsetzung ihrer distributionslogistischen Aufgaben grundsätzlich die Verkehrsträger Straße, Schiene, Luft oder Wasserstraße offen. Ein wichtiger Entscheidungspunkt für eines dieser Medien ist hierbei die Beschaffenheit der Transportwege, Verteilung der zu beliefernden Senken, Beständigkeit ihrer Position und zeitliche Aspekte der anfallenden zu transportierenden Güter. Die Stärken des Verkehrsträgers Schiene kommen bei konstanten Transport-

relationen und hohen Transportentfernungen zur Geltung. Dies bedeutet, dass die Schiene einen nur begrenzten Einsatzbereich hat. In der Folge fällt die Entscheidung in vielen Bereichen, bei denen sich der Transport mit der Schiene anbietet, stattdessen nicht zuletzt aufgrund der höheren Flexibilität auf den Verkehrsträger Straße.

Betrachtet man den Beladevorgang als solchen, stellt man fest, dass er grundsätzlich manuell durchgeführt wird. Meist kommen hierbei Flurförderzeuge wie Gabelstapler oder Handhubwagen zum Einsatz, die die zu verladene Ware von einem Lager in den Güterwaggon transportieren. Eine sichere und korrekte Beladung ist somit vom jeweiligen Mitarbeiter in der Verladezone abhängig. Um die Fehlerrate beim Be- und Entladevorgang niedrig zu halten, werden deshalb häufig erhebliche technische und zeitintensive Aufwendungen, wie beispielsweise das optische Scannen der Ladeeinheiten und der Verladetore, in Kauf genommen. Materialschäden durch unvorsichtige und unsachgemäße Beladung sowie Fehler in der Zusammenstellung der Ladung sind zwar nicht die Regel, können aber weitreichende Folgen haben und führen in letzter Instanz zu außerplanmäßigen Kosten. Weitere Kostentreiber der manuellen Verladung sind der hohe Personaleinsatz sowie lange Standzeiten der zu be- oder entladenen Verkehrsmittel

Die Beladung eines Güterwaggons unterscheidet sich grundlegend von der eines Lkws. Im Gegensatz zum Lkw, der in der Regel über das Heck verladen wird, kann nicht zeitgleich der gesamte Laderaum zugänglich gemacht werden. Güterwagen werden üblicherweise von der Seite be- oder entladen, wobei jeweils nur ein Teil der Seitenwand aufgeschoben werden kann. Der Laderaum ist hierdurch stets abschnittsweise durch eine Seitenwand gegenüber der Rampe verdeckt und damit nur eingeschränkt zugänglich. Umständliches Rangieren ist oftmals notwendig um eine zufriedenstellende Beladungsdichte zu erreichen.

Der Einsatz automatisierter Gabelstapler, sogenannter Fahrerloser Flurförderzeuge, ist in der Logistikbranche gebräuchlich und weit verbreitet. Sie setzen allerdings gewisse Umgebungsbedingungen voraus. So erfordern sie gewöhnlich einen stabilen ebenen Boden, wie er im industriellen Umfeld die Regel ist. Weiterhin verfahren sie in der Regel auf vorgeplanten Fahrwegen und agieren mit Ladeeinheiten, die an definierten Positionen abgestellt werden. Diese Anforderungen können in der Verladezone, spezielle in den Laderäumen nicht gewährleistet werden.

Das entwickelte System baut auf diesem technischen Stand auf, kombiniert und erweitert ihn an den nötigen Stellen und nutzt Ansätze aktueller Forschungsstände um neue Verfahren zu entwickeln. Die hierbei genutzten Informationen und das Fachwissen basieren auf gesammeltem Wissen und Erfahrungen des PSLT und der E&K sowie grundlegender Fachliteratur.

1.5 Beteiligte Parteien

Neben den Lehrtätigkeiten im universitären Bereich hat sich das Fachgebiet für Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen der Leibniz Universität Hannover, kurz PSLT, in den vergangenen Jahren umfassende Kompetenzen im Bereich Fahrerloser Transportsysteme, kurz FTS, erarbeitet. Mit Forschungsprojekten wie einem personenfolgenden Fahrzeug oder einem Mikrounterfahrschlepper, welcher Transportregale unterfährt, um sie beispielsweise zum Kommissionierer zu ziehen wurde ein weiter Erfahrungsschatz in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten gesammelt. Durch die vom PSLT alle zwei Jahre veranstaltete FTS-Fachtagung besteht seit langer Zeit ein intensiver Gedankenaustausch mit führenden FTS-Herstellern. Das hieraus gewachsene Netzwerk versetzt das PSLT in die Lage, aktuelle Entwicklungen in der Praxis mit zu beeinflussen. Im Rahmen der Forschungsaktivitäten entstanden am Fachgebiet bereits fünf eigenentwickelte Fahrerlose Flurförderzeuge für Forschungs- und Entwicklungsaufgaben. Weitere Forschungsarbeiten befassen sich mit Themengebieten aus der innerbetrieblicher Materialfluss- und Distributionslogistik.

Die E&K Automation GmbH, kurz E&K, ist einer der führenden europäischen Anbieter für Fahrerlose Transportsysteme und ganzheitliche Materialflusssteuerungen. Seit der Gründung wurden mehr als 700 Projekte in unterschiedlichen Industriezweigen realisiert. Mit mehr als 150 Mitarbeitern sowie einer flexiblen und effektiven Organisationsstruktur ermöglicht E&K die langfristige und erfolgreiche Zusammenarbeit mit Endanwendern und Wiederverkäufern.

Die NOSTA Transport GmbH, kurz NOSTA, ist ein kompetenter Dienstleister rund um Transport und Logistik, Lager und Verpackung. Unternehmensschwerpunkt sind kundenindividuelle logistische Dienstleistungen. An verschiedenen Standorten in Deutschland wird dazu der Warenumsschlag mit Güterwaggons realisiert. NOSTA

verfügt damit auf diesem Gebiet über vielfältige Erfahrungen und eine umfassende Datenbasis, die für die Durchführung des Forschungsvorhabens unerlässlich sind.

Die Paul Hartmann AG, kurz Hartmann, ist ein international tätiges Unternehmen im Bereich von Medizin- und Pflegeprodukten. Im Logistikzentrum Nordost am Standort Brück erfolgt der Warenumsschlag zum Teil per Bahn. Der Einsatz eines FTS-Verladesystems zur automatisierten Verladung wird als attraktive Alternative eingeschätzt. Durch die Teilnahme von Hartmann am Forschungsvorhaben wird der notwendige Praxisbezug sichergestellt.

Die Unternehmen Hartmann und NOSTA waren ursprünglich als Industriepartner am Forschungsprojekt beteiligt. Auf Grund des unverhältnismäßig hohen bürokratischen Aufwandes und der Vielfalt der geforderten Informationen wurde diese Teilnahme im Laufe des Projektes seitens der beiden Unternehmen abgebrochen. Sowohl Hartmann, als auch NOSTA stellten auf freiwilliger Basis weiterhin uneingeschränkt ihre Logistikzentren für die geplanten Praxistests zur Verfügung.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse des Forschungsprojektes näher beleuchtet und den vorgegebenen Zielen gegenüber gestellt. Zur übersichtlicheren Darstellung wird die Betrachtungsweise an die während der Projektplanung festgelegten Teilabschnitte angelehnt.

2.1.1 Konzeptionierung

Die an das zu entwickelnde Verladensystem gestellten logistischen und technischen Anforderungen wurden von den Projektpartnern gemeinschaftlich im Rahmen von Projektgesprächen und Vor-Ort-Terminen herausgearbeitet und umfassend dokumentiert. Die als Grundlage der Konzeptionierung dienenden Ausgangssituationen bei den beiden Unternehmen Hartmann und NOSTA wurden detailliert erfasst und analysiert. Aufbauend hierauf wurden Anforderungsprofile, sowohl das System, als auch die Anwender betreffend, entworfen und entsprechende Ablaufbeschreibungen für die einzelnen Verladevorgänge entwickelt. Die Ziele von Arbeitspaket 1.1 „Anforderungen“ sind damit erreicht.

Es wurde ein für das Forschungsprojekt geeignetes Fahrzeugkonzept entwickelt. Auf Grundlage der Anforderungsprofile ergab sich als zwingende Voraussetzung ein freitragender Fahrzeugtyp. Des Weiteren wurden Festlegungen in Bezug auf Fahrzeugrahmen, Fahrwerk, Energieversorgung, Lastaufnahme und eingesetzter Sensorik getroffen. Die Bearbeitung von Arbeitspaket 1.2 „Konzeptionierung“ ist damit erfolgreich abgeschlossen.

Situationsbeschreibung Logistikzentrum Brück

Als Ladehilfsmittel kommen Flachpaletten nach DIN EN 13698-1 mit den genormten Abmessungen von 1.200 mm x 800 mm x 144 mm und betriebseigene Paletten mit den Abmessungen 1.100 mm x 1.300 mm x 144 mm zum Einsatz. Die verwendeten Norm-Paletten werden im Euro-Poolsystem getauscht.

Bei den Ladeeinheiten handelt es sich um palettiertes Stückgut mit einer maximalen Höhe von 2.500 mm. Die Höhenbeschränkung ergibt sich aus der lichten Höhe des

Waggons von 2.600 mm und der maximalen Regalfachhöhe innerhalb des Regallagers von 1.950 mm oder 2.500 mm. Das Gesamtgewicht liegt meist unter 200 kg, Ladeeinheiten bis zu einem Gesamtgewicht von 1.000 kg sind jedoch nicht ausgeschlossen. Zur Verbesserung der Auslastung des Stauraums werden auch einzelne Kartons oberhalb der Ladeeinheit verladen (Bild 2.1).



Bild 2.1: Stauraumoptimierung

Um das Ladegut während des Transports zu fixieren, sind die Ladeeinheiten mit Stretchfolie umwickelt.

Neben dem palettierten Ladegut werden in den Waggons zylindrische Zelluloserollen mit Abmessungen von circa 1.500 x 1.200 mm für die Produktion transportiert. Diese werden ohne Ladehilfsmittel zweifach-hoch gestapelt (Bild 2.5).



Bild 2.2: Eingesetzter Gegengewichtstapler bei der Entladung



Bild 2.3: Fahrerloses Flurförderzeug bei der Lastaufnahme

Zum Be- und Entladen von palettierter Ware werden batteriebetriebene 1,4-Tonnen-Gegengewichtstapler mit 1.200 mm langen Palettengabeln und Seitenverstelleinrichtung eingesetzt (Bild 2.2). Der Weitertransport der Ladeeinheiten erfolgt mit Fahrerlosen Flurförderzeugen, die mittels induktiver Leitlinien geführt werden (Bild 2.3). Alle Fahrzeuge sind auf eine Nutzlast von 1.000 kg ausgelegt.

Die eingesetzten Waggon sind größtenteils vom Typ Hbbillns 305, seltener werden auch Waggon vom Typ Hbbills 311 verwendet. Die wichtigsten Kenngrößen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Kenndaten der eingesetzten Güterwaggon

Bezeichnung	Hbbillns 305	Hbbills 311
Ladelänge	14.236 mm	15.990 mm
Ladelänge, effektiv nutzbar	13.706 mm	15.590 mm
Ladebreite	2.900 mm	2.900 mm
Fußbodenhöhe über Schienenoberkante	1.200 mm	1.200 mm
Schiebetüröffnung, Höhe	2.600 mm	3.215 mm
Schiebetüröffnung, Breite	7.018 mm	7.815 mm
Anzahl Trennwände	6	4
Lastgrenze Streckenklasse C	24,5 t	23,0 t

Die Ladeeinheiten im Waggon sind von den Längsseiten durch je zwei Schiebetüren zu erreichen. Zwischen den Schiebetüren befindet sich an jeder Längsseite ein Holm.

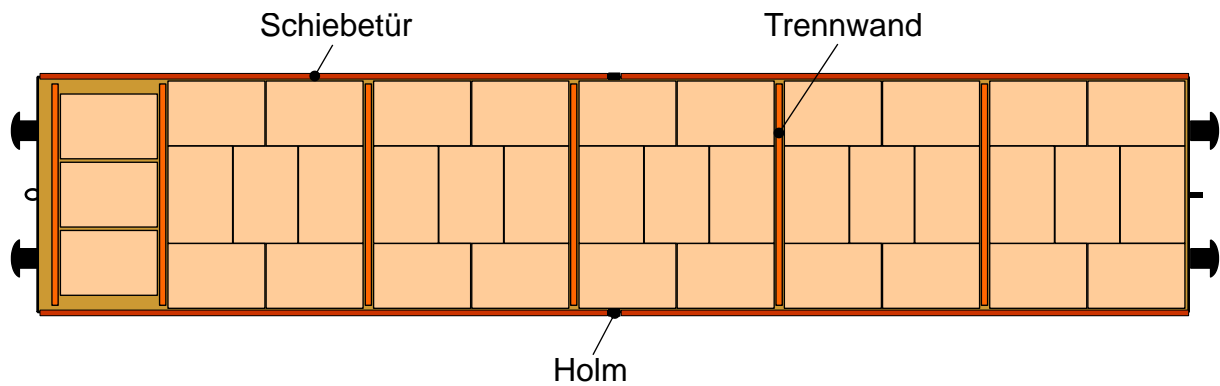


Bild 2.4: Beispielhaftes Beladungsmuster eines Hbbillns 305

Das tatsächliche Beladungsmuster kann bei den eingesetzten Waggontypen variieren und ist an keine Vorgabe gebunden. Um die Ladung während des Transports zu sichern werden Trennwände eingeschoben (Bild 2.4). Hierdurch reduziert sich die effektiv nutzbare Ladelänge wie in Tabelle 1 angegeben.

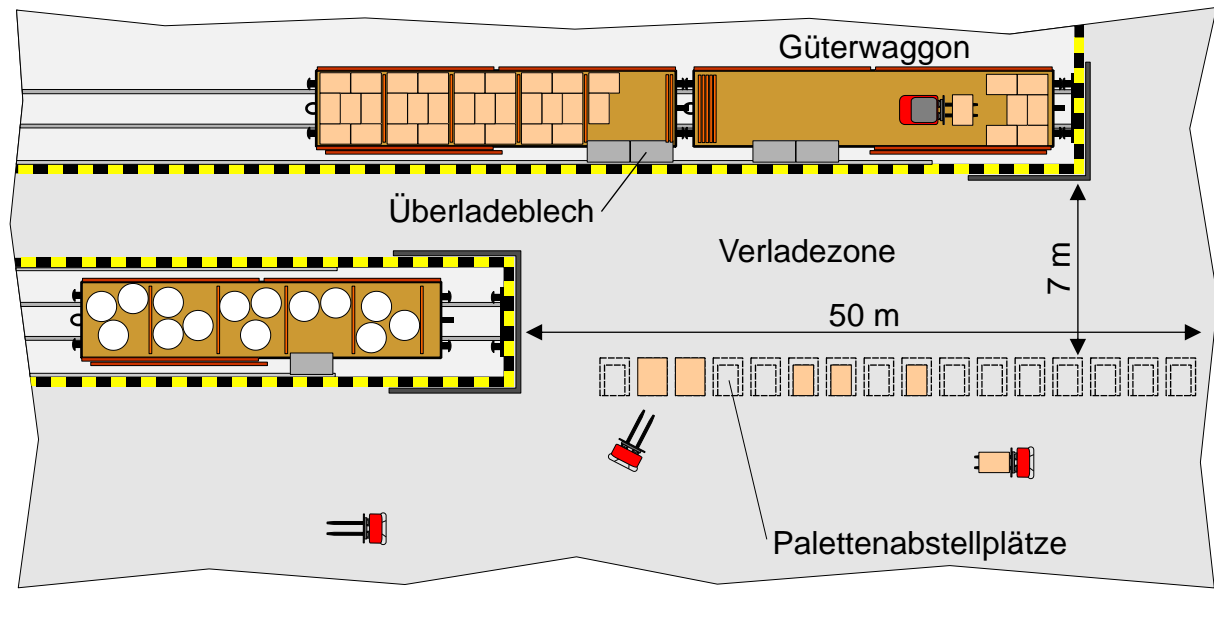
Die Waggons werden während der Be- und Entladung mit Hemmschuhen gegen unbeabsichtigte Bewegungen gesichert.



Bild 2.5: Verladezone

Die Be- und Entladung erfolgt an einer VerladeRampe mit zwei Gleisen auf der Ladefläche der Waggons. Die Überbrückung des etwa 340 mm breiten Spalts zwischen

Rampe und Waggon erfolgt mit Hilfe von Überladeblechen. Diese werden rampen-
seitig in eine Führungsschiene eingehängt und liegen im Waggon frei auf. Die Füh-
rungsschiene endet mehrere Meter vor dem Gleisabschluss. Gegenwärtig werden
Überladebleche vom Typ „Crawford hafa PRG“ mit Abmessungen von 1.450 x
505 mm verwendet (Bild 2.7).



- | | | | |
|---|------------------|---|-----------------------------|
|  | Hartmann-Palette |  | Gegengewichtstapler |
|  | Euro-Palette |  | Fahrerloses Transportsystem |
|  | Rolle | | |

Bild 2.6: Skizze der Verladezone

Die Verladezone enthält 16 markierte Abstellplätze für die Bereitstellung der Lade-
einheiten. An den beiden Gleisen können insgesamt bis zu fünf Waggons gleichzeitig
bearbeitet werden.

Die für die Be- und Entladung nutzbare Fläche hat eine Größe von etwa 350 m² bei
einer Länge von 50 m und einer nutzbaren Breite zwischen den Waggons und Ab-
stellplätzen von 7 m.

Die anzuliefernden Waggons werden gemäß Vorgabe auf die beiden Gleise verteilt.
Rangierarbeiten während der Be- und Entladung sind nicht erforderlich.

Es werden drei bis vier Waggons pro Tag be- und entladen. Davon sind in der Regel zwei komplett mit Zelluloserollen beladen, die restlichen enthalten ausschließlich pallettierte Ware.



Bild 2.7: Eingesetzte Überladebleche

Um den Stauraum optimal auszunutzen, erfolgt die Beladung gemäß Beladungsmuster bis direkt an den Rand der Ladefläche (Bild 2.8). Die erste Reihe Ladeeinheiten wird vom Gabelstapler ohne Überladeblech freitragend über den Spalt gehoben, da die Überladebleche erst ausgelegt werden können, wenn freie Auflagefläche innerhalb des Waggons vorhanden ist (Bild 2.9).

Sobald die ersten Ladeeinheiten entnommen wurden, wird ein Überladeblech zur Überbrückung des Spaltes ausgelegt. Für die folgenden Ladeeinheiten wird in den Waggon eingefahren. Innerhalb des Waggons muss der Gabelstapler auf engstem Raum manövrieren. Das Überfahren der Überladebleche ist durch ihre geringen Abmessungen nicht immer rechtwinklig möglich, Ladeeinheiten werden daher auch schräg aufgenommen oder mittels der Seitenverstelleinrichtung des Gegengewichtstaplers verschoben (Bild 2.14).



Bild 2.8: Ausnutzung der Ladefläche im Güterwaggon



Bild 2.9: Platzverhältnisse für Überladebleche

Die einzeln entladenen Ladeeinheiten werden auf den markierten Bereitstellungsplätzen abgestellt und anschließend von einem Mitarbeiter im System registriert. Hierzu wird ein Etikett mit einem Barcode an der Stirnseite der Ladeeinheit angebracht. Von den Bereitstellungsplätzen werden die Ladeeinheiten automatisiert mittels Fahrerloser Transportsysteme abgeholt und an die erforderliche Übergabestation transportiert.



Bild 2.10: Verladezone mit Abstellplätzen

Die Beladung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge wie die Entladung.

Die Waggons stehen 24 Stunden zur Verfügung. Innerhalb dieser Zeitspanne müssen Be- und Entladung abgeschlossen sein. Die Verladung erfolgt von montags bis samstags.

Alle Paletten weisen eine relativ hohe Qualität auf. Es treten keine gravierenden Beschädigungen auf.



Bild 2.11: Automatisierter Transport von Ladeeinheiten



Bild 2.12: Bodengegebenheiten im Güterwaggon

Die Stretchfolie zur Ladungssicherung verdeckt gemäß einer internen Regelung maximal die beiden oberen Bretter (Deck- und Querbrett) der Palette. Von den Ladeeinheiten hängt im Normalfall keine Folie herab. Die Ladung oberhalb der Ladeeinheiten erfordert eine manuelle Entladung (Bild 2.1).

Der Einsatz manuell bedienter Flurförderzeuge erfordert vom Personal besondere Aufmerksamkeit, um Beschädigungen der Ladeeinheiten zu vermeiden.

Die Qualität der Waggon, insbesondere des Waggonbodens, variiert sehr stark. Der Waggonboden besteht aus Holz und weist starke Beanspruchungsspuren und Unebenheiten auf (Bild 2.12). Die zur Transportsicherung eingesetzten Trennwände lassen sich nur manuell verschieben.



Bild 2.13: Befahren des Überladeblechs

Die Überladungsbleche lassen sich nicht entlang der gesamten Länge der Verlade-rampe und nur von Hand auslegen. Sie verursachen einen Übergangsknick, der vom Fahrzeug zu überwinden ist. Der zu überwindende Neigungswinkel ist abhängig vom Beladungsgewicht des Waggon und verändert sich während der Entladung. Beim Überfahren biegen sich die Überladebleche unter dem Gewicht von Fahrzeug und Ladeeinheit durch.

An der Verloaderampe besteht Absturzgefahr für Mensch und Maschine.



Bild 2.14: Verschieben der Ladeeinheit mit der Seitenverstelleinrichtung

Die Verladezone befindet sich innerhalb einer Halle und ist von den Witterungsbedingungen unabhängig.

Situationsbeschreibung Logistikzentrum Stadthagen

Als Ladehilfsmittel kommen Flachpaletten nach DIN-EN 13698-1 mit den genormten Abmessungen von 1.200 mm x 800 mm x 144 mm zum Einsatz. Die verwendeten Paletten werden im Euro-Poolsystem getauscht.

Bei dem Ladegut handelt es sich um zerbrechliches Stückgut mit unterschiedlichen Abmessungen und Gewichten. Die Höhe regulärer Ladeeinheiten liegt entweder deutlich unter 1.200 mm oder deutlich darüber. Hieraus ergibt sich eine Klassifizierung als „kleine“ beziehungsweise „große Ladeeinheit“. Insgesamt variiert die Höhe der Ladeeinheiten im Normalfall zwischen 800 und 2.000 mm. Das Gesamtgewicht beträgt zwischen 300 und 1.000 kg. Zum Ende einer Charge verpackte Produktions-

überschüsse können vereinzelt Ladeeinheiten mit deutlich geringeren Höhen und Gewichten ergeben.

Um das Ladegut während des Transports zu fixieren, sind die Ladeeinheiten mit Stretchfolie umwickelt. Jede Ladeinheit ist an je einer Längs- und einer Querseite mit einem Barcode-Etikett zur Identifizierung gekennzeichnet.

Für die Verladung der Waggonen werden batteriebetriebene 5-Tonnen-Gegengewichtstapler mit 2.400 mm langen Palettengabeln eingesetzt. Die Vorsortierung und Einlagerung erfolgt mit 1,8-Tonnen-Gegengewichtstaplern. Diese sind mit 800 mm langen Palettengabeln ausgestattet. Alle eingesetzten Fahrzeuge besitzen eine Seitenverstellereinrichtung des Lastaufnahmemittels. Es stehen insgesamt zwei 5-Tonnen und acht 1,8-Tonnen-Gegengewichtstapler zur Verfügung. Im Normalfall werden vier der kleineren und die beiden großen Fahrzeuge eingesetzt (Bild 2.15).



Bild 2.15: Eingesetzte Gabelstapler

Dem Unternehmen stehen 16 Waggonen des Typs Habis 2 zur Verfügung. Die wichtigsten Kenngrößen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Kenndaten der eingesetzten Güterwaggons

Bezeichnung	Habis 2
Ladelänge	20.870 mm
Ladebreite	2.780 mm
Fußbodenhöhe über Schienenoberkante	1.200 mm
Schiebetüröffnung, Höhe	2.500 mm
Schiebetüröffnung, Breite	6.830 mm
Lastgrenze Streckenklasse C	51,0 t

Die Ladeeinheiten im Waggon sind von den Längsseiten durch je drei Schiebetüren zu erreichen. Zwischen den Schiebetüren befinden sich an jeder Längsseite zwei Holme (Bild 2.16).

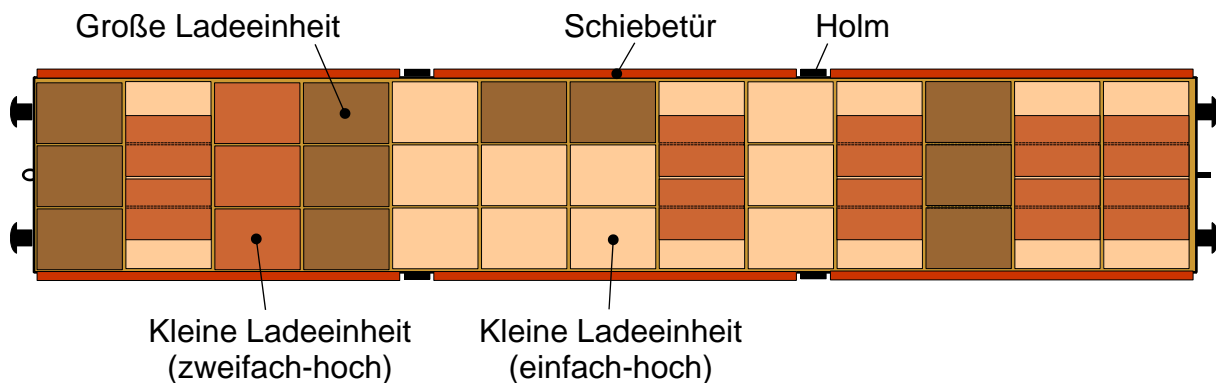


Bild 2.16: Skizze eines beispielhaften Beladungsmusters

Im Waggon werden immer drei Paletten in Längsrichtung in der unteren Ebene verladen. Die großen Ladeeinheiten werden einfach-hoch beladen. Die kleinen Ladeeinheiten werden im Normalfall mit zwei weiteren kleinen Ladeeinheiten im Verbund aufgestockt (Bild 2.18). Theoretisch ist auch eine Aufstockung mit drei weiteren kleinen Ladeeinheiten möglich. Ein solcher Verbund aus sechs Ladeeinheiten weist jedoch eine geringere Stabilität auf und würde unter Umständen die auf 5 Tonnen begrenzte Zuladung der Gabelstapler überschreiten.

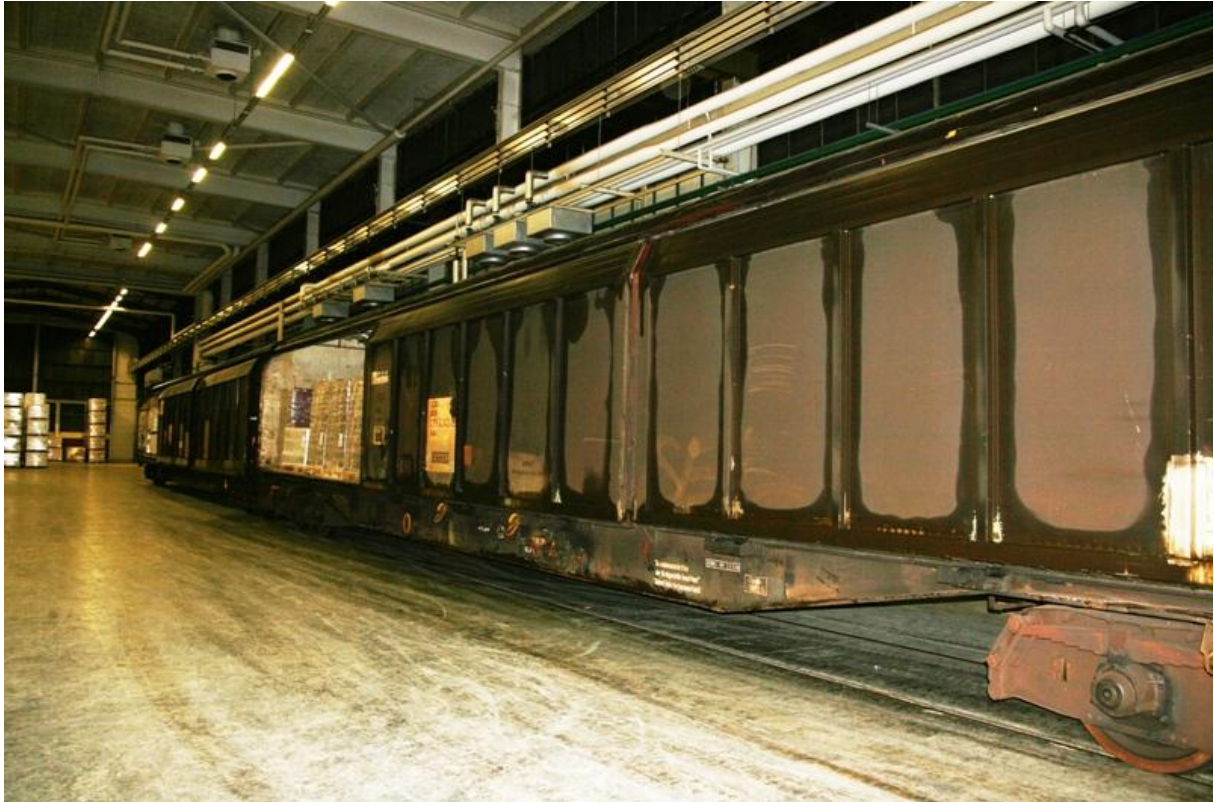


Bild 2.17: Güterwaggons in der Verladezone



Bild 2.18: Zweifach-hohe Verbundstapelung der kleineren Ladeeinheiten

Hinter den Holmen werden drei kleinere Ladeeinheiten einfach-hoch positioniert. Dies erfordert für die Be- und Entladung den Einsatz der Seitenverstelleinrichtung des Gabelstaplers. Vereinzelt werden Überschusspaletten als dritte Lage aufgestockt.

Eine gesonderte Transportsicherung der Ladeeinheiten innerhalb der Waggons findet nicht statt. Die Waggons werden während der Verladung durch die Lokomotive gegen unbeabsichtigte Bewegungen gesichert.



Bild 2.19: Ansicht der Verladezone

Die Entladung erfolgt mittels Gegengewichtstaplern direkt vom Boden aus. Gesonderte bauliche Vorrichtungen, außer den Schienen, sind hierfür nicht vorhanden. Der Bereich vor den Waggons wird als Bereitstellfläche für die Einlagerung verwendet. Insgesamt steht für die Entladung eine Fläche von ungefähr 1.000 m², bei einer Länge von etwa 100 m und einer nutzbaren Breite vor den Waggons von etwa 10 m zur Verfügung (Bild 2.20).

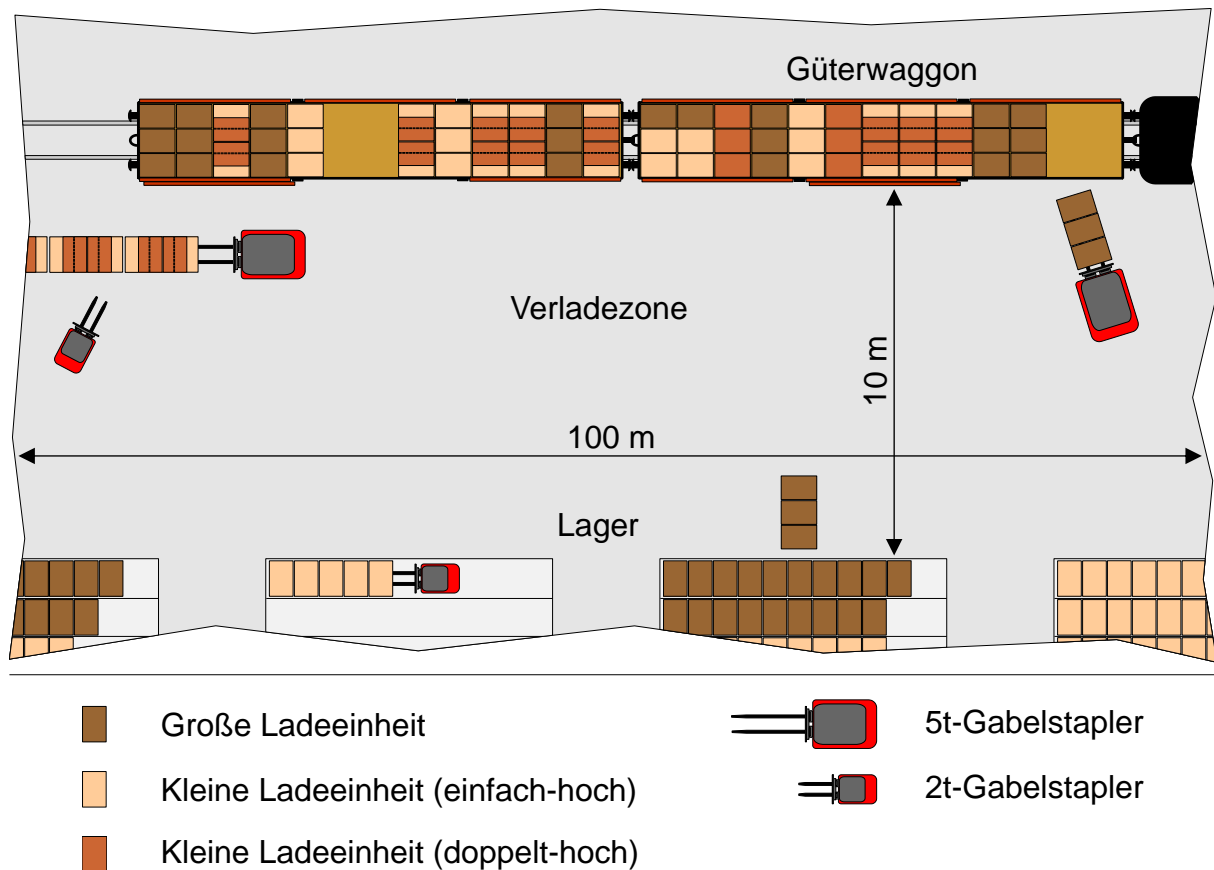


Bild 2.20: Skizze der Verladezone

Die Waggons werden außerhalb des Betriebsgeländes rangiert und abgestellt. Auf dem Betriebsgelände führen die Gleise zunächst durch eine kleinere Lagerhalle und anschließend über einen unüberdachten Bereich in die zur Verladung genutzte Halle (Bild 2.21). Auf der insgesamt zur Verfügung stehenden Gleislänge würden bis zu fünf Waggons Platz finden. Bedingt durch die Tore und den unüberdachten Bereich, wäre die Nutzung der gesamten Gleislänge jedoch mit erheblichen Einschränkungen verbunden.

Im Normalbetrieb sind zwei Waggons gleichzeitig zu entladen. Diese werden vom Lokomotivführer vom Waggonverbund getrennt und in die Verladezone transportiert. Dort verbleiben die beiden Waggons und die Lokomotive bis zur vollständigen Entladung. Im Anschluss werden die entleerten Waggons durch beladene ausgetauscht.

Die Waggons werden durch die 5-Tonnen-Gabelstapler entladen. Hierbei wird in der Regel eine komplette, aus fünf kleinen oder drei großen Ladereinheiten bestehende Beladungsreihe auf einmal entnommen und am Rand der Verladezone zur Einlagerung bereitgestellt. Die hinter den Holmen des Güterwaggons befindlichen Laderein-

heiten sind zunächst mit einer einzelnen Gabelzinke und der Seitenverstelleinrichtung hervorzuziehen, bevor sie entladen werden können.



Bild 2.21: Unüberdachter Bereich zwischen den Lagerhallen

Die Bereitstellung erfolgt soweit möglich gruppiert nach Ladungsorte. Die 1,8-Tonnen-Gabelstapler sortieren die bereitgestellte Ladung, falls erforderlich, für den Transport an den Einlagerplatz vor. Hierzu stellen sie neue Verbünde von maximal drei großen bzw. fünf kleinen Ladeeinheiten zusammen. Der Aufwand für diesen Bearbeitungsschritt hängt von der Anzahl an nicht sortenreinen Beladungsreihen ab (Bild 2.22).

Nachdem die Entladung beider Waggons abgeschlossen ist, erfolgt der Austausch mit beladenen Waggons. Diese Zeit wird genutzt um die vorsortierten Verbünde mit den 5-Tonnen-Gabelstaplern an ihren Einlagerplatz zu transportieren. Dort werden

die Ladeeinheiten einzeln mittels 1,8-Tonnen-Gabelstapler in Zeilenlagerung eingelagert und in der Lagerverwaltungssoftware registriert.



Bild 2.22: Verbunderstellung zum Einlagerungstransport

Eine Beladung der Güterwaggons findet nicht statt.

Die Entladung erfolgt innerhalb der ab 22.00 Uhr beginnenden Nachschicht von montags bis freitags. Für den gesamten Entladevorgang steht ein Zeitraum von fünf Stunden zur Verfügung. Die zeitliche Einschränkung resultiert aus der Freigabe des zum Abstellen und Rangieren der Waggons benötigten Schienennetzes außerhalb des Betriebsgeländes.

Für das Entladen der beiden Waggons steht ein Zeitfenster von 30 Minuten zur Verfügung. Nach dem Entladevorgang sind 15 bis 20 Minuten für den Austausch mit neuen Waggons nötig. Das zweite Zeitfenster wird zur Einlagerung der Transporteinheiten genutzt.

Pro Nachschicht sind zwischen 7 bis maximal 12 Waggons zu entladen.

Die Qualität der Ladehilfsmittel ist unterschiedlich, in einzelnen Fällen treten erhebliche Beschädigungen auf. Sie weisen Spuren von Alter, aber auch vom Staplereinsatz hervorgerufenen Beschädigungen durch Ziehen und Schieben der Ladeeinheiten auf (Bild 2.23 bis Bild 2.26).



Bild 2.23: Beschädigung des Ladehilfsmittels

Das Ladegut ist vereinzelt auf dem Ladehilfsmittel verschoben. Des Weiteren endet die Stretchfolie nicht immer mit dem Ladegut, sondern verdeckt teilweise die Kontur der Palette oder hängt von den Ladeeinheiten herab (Bild 2.27 und Bild 2.28).

Der gleichzeitige Einsatz von mehreren manuell bedienten Flurförderzeugen in der Verladezone erfordert vom Personal besondere Aufmerksamkeit, um Beschädigungen der Ladeeinheiten und Kollisionen zu vermeiden.

Durch die unterschiedlichen Beladungsmuster und die wechselnde Zusammensetzung der Ladung ergeben sich stets neue Gegebenheiten für die Entladung. Insbesondere das unsaubere Stapeln der Ladeeinheiten und die Positionierung von Ladeeinheiten hinter den Holmen der Güterwaggons erschweren die Verladung.



Bild 2.24: Beschädigung des Ladehilfsmittels



Bild 2.25: Beschädigung des Ladehilfsmittels



Bild 2.26: Beschädigung des Ladehilfsmittels



Bild 2.27: Versatz des Ladegutes vom Ladehilfsmittel



Bild 2.28: Folienüberhang beim Ladehilfsmittel



Bild 2.29: Zweifach-hoch gestapelte Ladeeinheiten und Überschusspalette

Das Halleninnere ist nicht vollständig vor Witterungseinflüssen geschützt. Durch von den Waggonen abtropfenden Regen oder abtauenden Schnee, können auf dem Hallenboden Wasseransammlungen auftreten. Des Weiteren bleiben die Tore der Hallen während des gesamten Vorganges geöffnet, da an dieser Stelle die Lokomotive zum Stehen kommt.

Verzögerungen und Störungen auf dem zur Anlieferung genutzten Schienennetz wirken sich direkt auf die beschriebenen Abläufe aus und verkleinern die zur Verfügung stehenden Zeitfenster.

Anforderungsprofil System

Um das Ziel des Forschungsvorhabens zu erreichen sind folgende allgemeine Anforderungen zu erfüllen:

- Es ist der Demonstrator eines Verladesystems für die automatisierte Verladung von Güterwaggonen zu entwickeln.
- Das Verladesystem soll auf Fahrerlosen Flurförderzeugen basieren.
- Das Verladesystem muss mit standardisierten Ladehilfsmitteln wie Paletten, Gitterboxen oder Gestellen arbeiten können.

Für die Umsetzung wurden im Forschungsantrag bereits folgende Anforderungen benannt:

- Das System muss die Position und Orientierung der aufzunehmenden Ladeeinheit selbstständig bestimmen können.
- Bei der Einfahrt in die Güterwaggonen muss die Navigation des Fahrerlosen Flurförderzeugs ohne externe Sensorik erfolgen. Hierzu ist ein geeignetes autonomes Navigationsverfahren zu entwickeln.
- Für die Einfahrt in den Laderaum, die Anfahrt der Ladeeinheiten und die Ausfahrt aus dem Laderaum sind dynamisch Fahrwege zu errechnen.
- Das System muss mit der variablen Positionierung von Güterwaggonen in der Verladezone umgehen können.

- Die zu transportierende Ladeeinheit soll vom System selbstständig identifiziert werden können. Hierzu sollen bewährte berührungslose Erkennungstechniken wie beispielsweise Barcodes eingesetzt werden.
- Das Fahrzeug hat konstruktive Anforderungen für die Fahrt in Laderäumen von Güterwaggons zu erfüllen. Hierzu zählen unter anderem geringe Abmessungen, ein niedriges Gesamtgewicht, ein neigbares Hubgerüst und ein an die Bodengegebenheiten ausgerichtetes Fahrwerk.
- Das System muss den industriellen Anforderungen an die Zuverlässigkeit entsprechen.

Des Weiteren sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Ladeeinheiten sind je nach Anwendungsfall sowohl in Längs- als auch in Querrichtung aufzunehmen.
- Das System muss unterschiedliche Waggontypen mit unterschiedlichen Beladungsmustern bedienen können.
- Das System darf keine Beschädigungen an Ladehilfsmittel, Ladegut, Waggon oder sonstigen Gegenständen verursachen.
- Das Fahrzeug muss mit einem Lastaufnahmemittel ausgestattet sein, das nach Art und Abmessungen auf den Anwendungsfall abgestimmt ist.
- Das Fahrzeug muss mit einer Hubeinrichtung ausgestattet sein, die nach Art und Abmessungen auf den Anwendungsfall abgestimmt ist.
- Ein eventueller Höhenunterschied zwischen Boden und Ladefläche muss vom Fahrzeug überbrückt werden können. (Nosta)
- Bei Einsatz des Systems an einer Verladerampe, müssen die Fahrzeuge wirksam gegen Abstürzen gesichert sein. (Hartmann)
- Das Fahrzeug ist mit den vorgeschriebenen Sicherheitseinrichtungen auszurüsten.

Die Verladung von Güterwaggons erfolgt entweder von innen durch Einfahren in den Waggon oder von außen ohne Einfahren in den Waggon. Aus beiden Varianten resultieren unterschiedliche Anforderungen, die im Folgenden getrennt aufgelistet sind:

- Anforderungen für die Bedienung von innen (Hartmann)
 - Die Abmessungen des Fahrzeugs müssen in Abstimmung auf das Beladungsmuster so gewählt sein, dass alle für die Be- und Entladung erforderlichen Positionen innerhalb des Güterwaggons angefahren werden können.
 - Das Fahrzeug muss bezüglich des Gesamtgewichts so ausgelegt sein, dass die zulässige Bodenbelastbarkeit der Güterwaggons nicht überschritten wird.
 - Das Fahrzeug muss in einigen Anwendungsfällen die äußere Reihe der Ladeeinheiten ohne Überladeblech über den Spalt zwischen Verladerampe und Güterwaggon bewegen können.
 - Das Fahrzeug muss an einer vorgegebenen Stelle über ein Überladeblech in den Waggon einfahren können.

- Anforderungen für die Bedienung von außen (Nosta)
 - Das Fahrzeug muss mehrere Ladeeinheiten gleichzeitig im Verbund aufnehmen können.
 - Das Fahrzeug muss Waggons entlang ihrer gesamten Länge bedienen können.

Um die Tauglichkeit des Systems für den Praxiseinsatz bei den am Kooperationsprojekt teilnehmenden Anwendern zu gewährleisten, sind zusätzlich die folgenden Anforderungen zu erfüllen:

- Die eingesetzten Ladehilfsmittel sind Flachpaletten nach DIN EN 13698-1.
- Die eingesetzten Güterwaggons sind vom Typ Habis 2 (Nosta), Hbbills 305 (Hartmann) und Hbbills 311 (Hartmann).
- Dem System werden feste Bereitstellungsplätze in der Verladungszone vorgegeben, auf die es die Ladeeinheiten nach dem Entladen abstellt. (Nosta, Hartmann).

- Anforderungen für die Bedienung von innen (Hartmann)
 - Die Entladung der äußeren Reihe der Ladeeinheiten erfolgt seitlich ohne Einfahren in den Waggon.
 - Die Entladung der übrigen Ladeeinheiten erfolgt durch Einfahren in den Waggon.
 - Die Aufnahme von Ladeeinheiten erfolgt einzeln in Längs- oder Querrichtung.
 - Das Gesamtgewicht der aufzunehmenden Last beträgt bis zu 800 kg.
 - Die wechselnde Bodenqualität ist zu berücksichtigen.

- Anforderungen für die Bedienung von außen (Nosta)
 - Die Aufnahme von Ladeeinheiten erfolgt ausschließlich in Querrichtung in Verbänden aus bis zu fünf Ladeeinheiten.
 - Das Gesamtgewicht der aufzunehmenden Last beträgt bis zu 4.000 kg.
 - In der Verladezone können Wasseransammlungen durch abtropfendes Wasser auftreten.

Anforderungsprofil Anwender

- Das Ladegut darf die Grundfläche des Ladehilfsmittels nicht überragen. Das System soll möglichst unempfindlich gegenüber überstehendem Ladegut sein.

- Um eine zuverlässige Erkennung der Ladehilfsmittel zu gewährleisten, dürfen die eingesetzten Ladehilfsmittel keine erheblichen Beschädigungen aufweisen. Das System soll möglichst unempfindlich gegenüber beschädigten Ladehilfsmitteln sein.

- Die Kontur des Ladehilfsmittels darf nicht durch herunterhängende Folie oder andere Gegenstände verdeckt oder beeinträchtigt werden. Zur Ladungssicherung verwendete Stretchfolie darf maximal die beiden oberen Bretter (Deck- und Querbrett) einer Flachpalette bedecken. Das System soll möglichst unempfindlich gegenüber Verfälschungen der Palettenkontur sein.

- Das System wird im Rahmen des Forschungsprojekts stets die unterste Ebene der Ladeeinheiten entladen. Bei Stapelung von Ladeeinheiten werden

- die oberen Ladeeinheiten im Verbund mit den unteren Ladeeinheiten entladen.
- Die Beladung gestapelter Ladeeinheiten muss so erfolgen, dass die Entladung im Verbund erfolgen kann. Das Verkanten von Ladeeinheiten bei der Entladung im Verbund muss vom System nicht behoben werden.
 - Die Gesamthöhe von Ladungseinheiten darf die lichte Höhe des Laderaums eines Güterwaggons abzüglich einer festzulegenden Hubhöhe nicht überschreiten.
 - Für alle automatisiert zu entladenden Ladeeinheiten müssen standardisierte Ladehilfsmittel vom gleichen Typ verwendet werden.
 - Automatisiert zu entladende Ladeeinheiten dürfen nicht mit andersartiger Ladung gemischt sein. Andersartige Ladung ist mit Trennwänden von den automatisiert zu entladenden Ladeeinheiten zu trennen.
 - Es darf kein loses Ladegut auf oder zwischen den Ladeeinheiten vorhanden sein.
 - Zu entladende Ladeeinheiten beziehungsweise Verbünde müssen vollständig zugänglich sein. Nicht zulässig sind nur teilweise zugängliche Ladeeinheiten, die nur durch seitliches Ziehen oder Schieben entladen werden können. Dies gilt insbesondere für hinter Holmen positionierte Ladeeinheiten bei der Entladung von außen.
 - Folgende Abläufe sind nicht vom System zu bewerkstelligen:
 - Öffnen der Türen der Güterwaggons
 - Verschieben von Trennwänden
 - Einlegen und Verschieben von Überladeblechen
 - Alle Waggons sind so festzusetzen, dass sie sich nicht von selbst oder durch das Befahren mit einem Fahrzeug in Bewegung setzen können.

Ablaufbeschreibung der Verladevorgänge

Im Folgenden werden die Abläufe der Be- und Entladung sowohl für den Vorgang von außen, als auch für den Vorgang von Innen schematisch dargestellt. Die Erläuterung der einzelnen Sequenzabschnitte folgt im Anschluss.

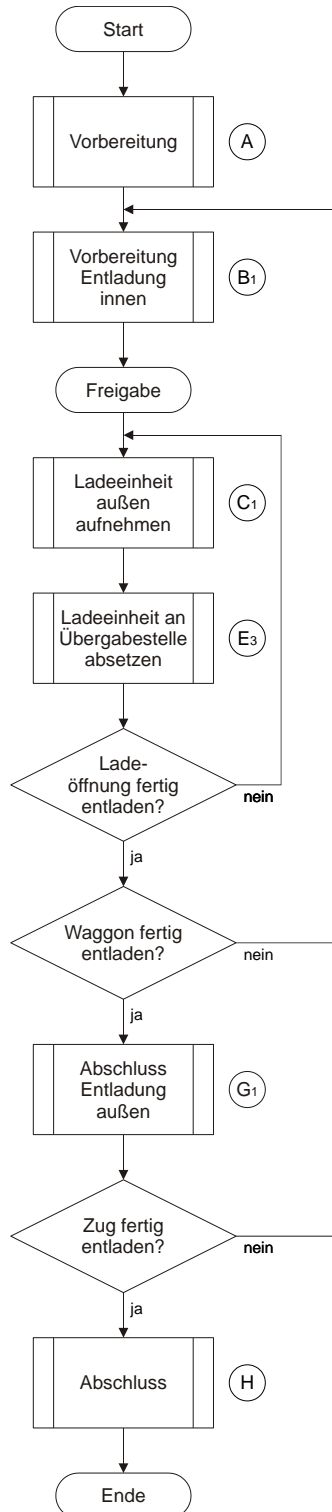


Bild 2.30: Ablauf der Entladung von außen



Bild 2.31: Ablauf der Entladung von innen

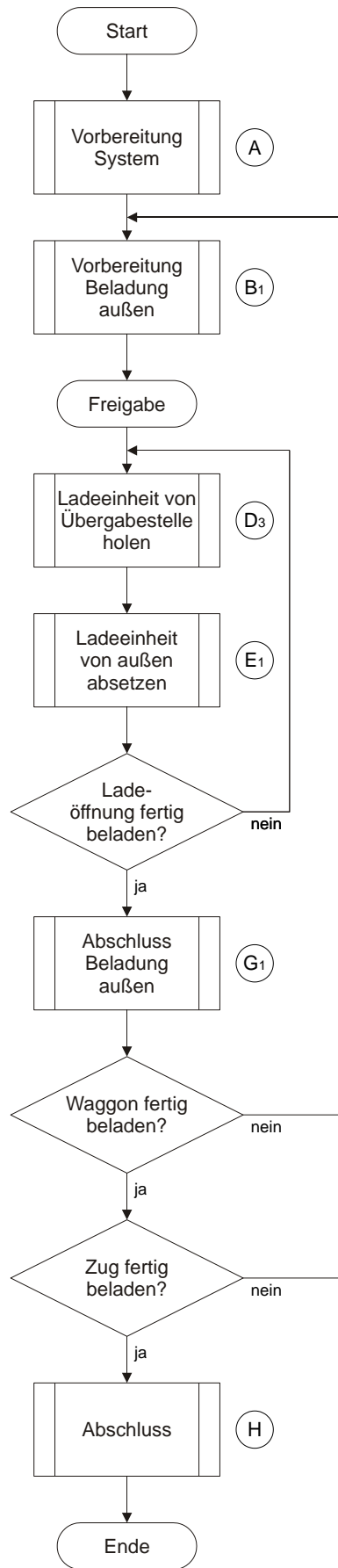


Bild 2.32: Ablauf der Beladung von außen

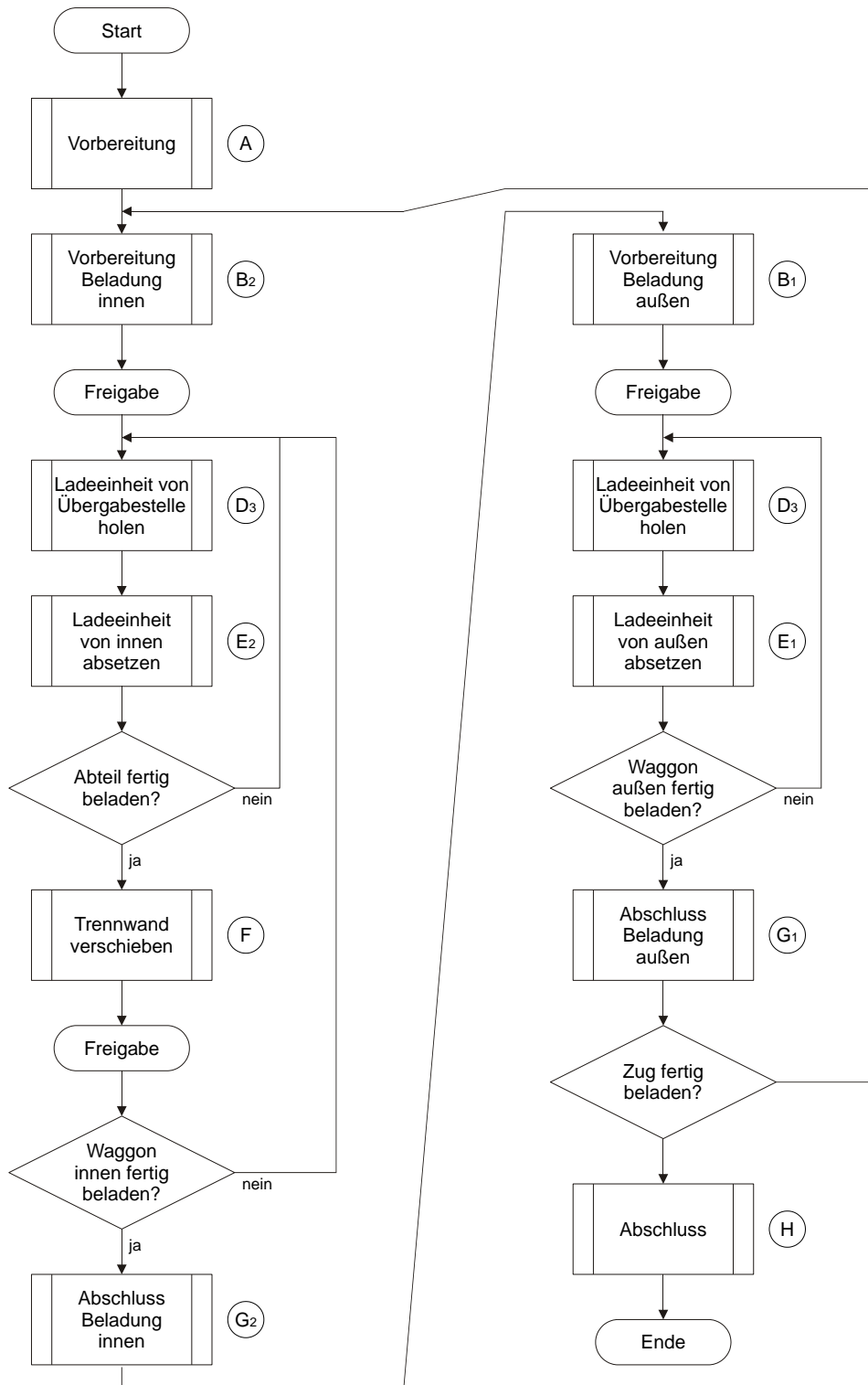


Bild 2.33: Ablauf der Beladung von innen

A1 Vorbereitung

A1a Bereitstellen der Güterwaggons in der Verladezone

A1b Automatisierungsfähigen Zustand von Ladeeinheiten, Waggons, Verladezone usw. bestätigen

A1c Verfügbare Umgebungsinformationen (z.B. Waggontypen, Beladungsmuster) an das System übermitteln

B1 Vorbereitung Außenbe- / entladung

B1a Waggontür öffnen

B1b Freigabe zum Beladen an das System erteilen

B2 Vorbereitung Innenbe- / entladung

B2a Waggontür öffnen

B2b Überladeblech positionieren

B2c Ungefähre Position des Überladeblechs an das System übermitteln

B2d Freigabe zum Beladen an das System erteilen

C1 Position in der Verladezone anfahren

C1a Eigene Position in der Verladezone über Reflektormarken ermitteln

C1b Anfahrweg zur vorgegebenen Position in der Verladezone berechnen

C1c Position anfahren

C2 Position im Laderaum anfahren

C2a Umgebung scannen

C2b Umgebungsbeschreibung aktualisieren

C2c Eigene Position im Laderaum autonom ermitteln

C2d Anfahrweg zur vorgegebenen Position im Laderaum berechnen

C2e Position anfahren

D1 Ladeeinheit von außen aufnehmen

D1a Position zur Ladungserkennung bestimmen

D1a Position zur Ladungserkennung in der Verladezone anfahren (C1)

D1b Ladungserkennung durchführen

D1c Position zur Ladungsaufnahme in der Verladezone anfahren (C1)

D1d Ladung aufnehmen

D1e Abstand zum Waggon einnehmen (C1)

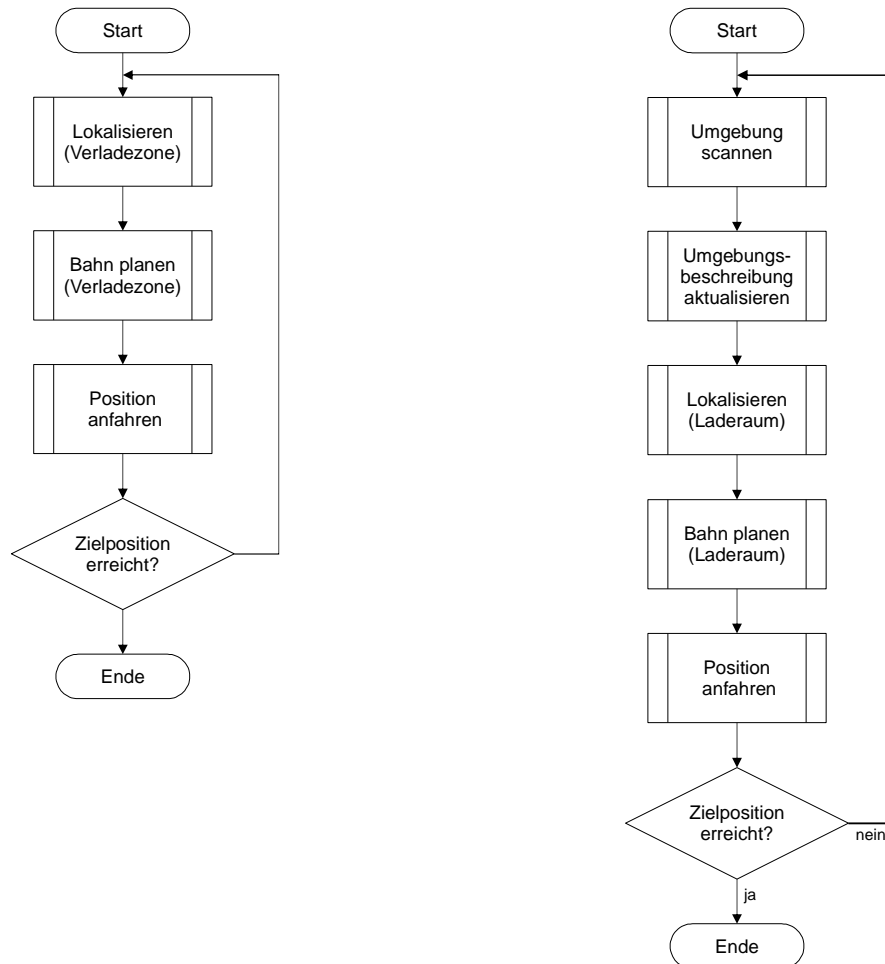


Bild 2.34: Positionsanfahrt in der Verladezone (C1) und im Laderaum (C2)

D2 Ladeeinheit von innen aufnehmen

D1a Position zur Ladungserkennung bestimmen

D2a Position zu Ladungserkennung im Laderaum anfahren (C2)

D2b Ladungserkennung durchführen

D2c Position zur Ladungsaufnahme im Laderaum anfahren (C2)

D2d Ladung aufnehmen

D2e Waggon über Überladeblech verlassen (C2)

D3 Ladeeinheit an der Übergabestelle aufnehmen

D3a Übergabestelle anfahren (C1)

D3b Ladung aufnehmen

- E1 Ladeeinheit von außen absetzen
 - E1a Position zur Ladungsabgabe bestimmen
 - E1b Position zur Ladungsabgabe in der Verladezone anfahren (C1)
 - E1c Ladung absetzen

- E2 Ladeeinheit von innen absetzen
 - E2a Position zur Ladungsabgabe bestimmen
 - E2a Position zur Ladungsabgabe im Laderaum anfahren (C2)
 - E2b Ladung absetzen

- E3 Ladeeinheit an der Übergabestelle absetzen
 - E3a Übergabestelle anfahren (C1)
 - E3b Ladung absetzen

- F Trennwand verschieben
 - Fa Verschieben der Trennwand anfordern und warten
 - Fb Trennwand verschieben
 - Fc Freigabe zum weiteren Be-/ entladen an das System erteilen

- G1 Abschluss Außenbe- / entladung
 - G1a Waggontür schließen

- G2 Abschluss Innenbe- / entladung
 - G2a Überladeblech entfernen

- H Abschluss
 - Ha Fahrzeug in Warteposition fahren
 - Hb Fertigmeldung des Systems

Die Entladung der Güterwaggons geschieht in einer festen Reihenfolge. Für die beiden Einsatzfälle ist diese im Folgenden sowohl für die Be-, als auch für die Entladung dargestellt.

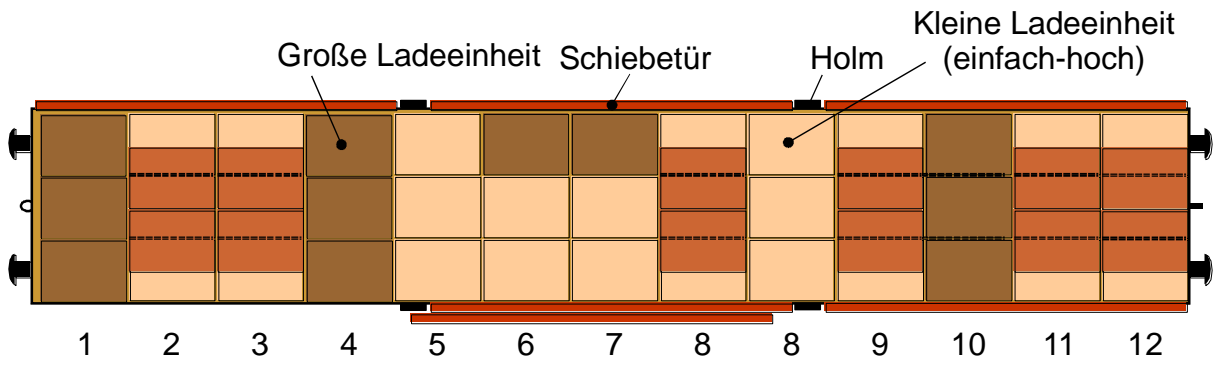


Bild 2.35: Reihenfolge der Entladung von außen

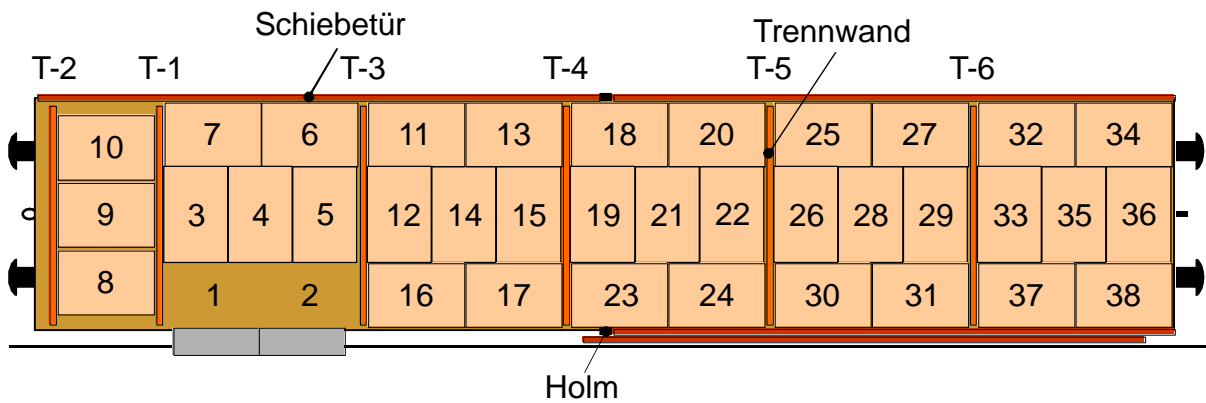


Bild 2.36: Reihenfolge der Entladung von innen

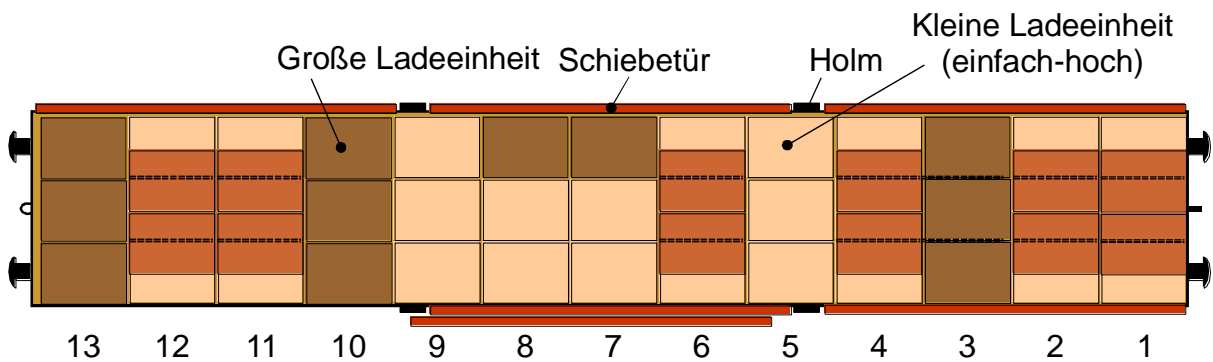


Bild 2.37: Reihenfolge der Beladung von außen

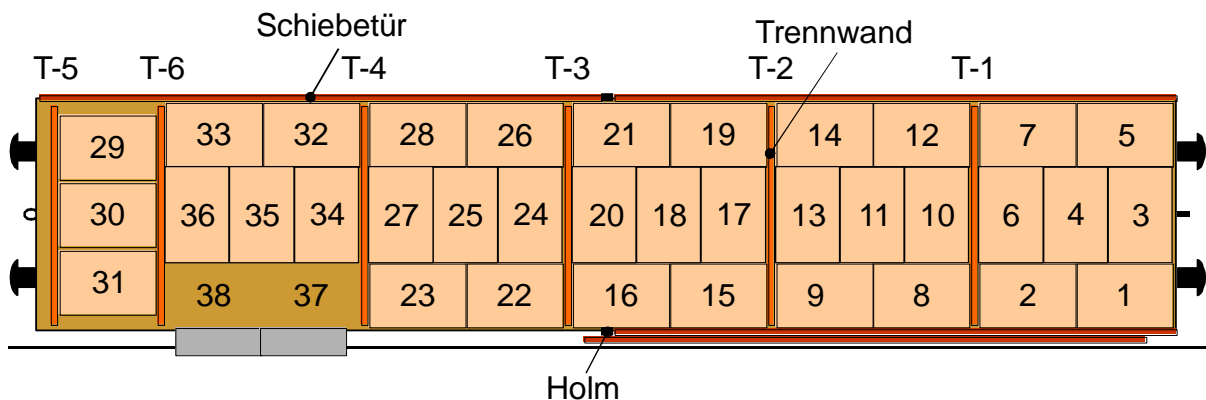


Bild 2.38: Reihenfolge der Beladung von innen

Tabelle 3: Fahrzeugkonzept für die Beladung mit Einfahrt in den Waggon

Bezeichnung	Auswahl	Anforderung
Rahmen		
Fahrzeugbezeichnung:	COMPACT GG	
Fahrzeugtyp:	Gegengewichtsstapler	
Abmessungen:	Breite: ca. 980 mm zzgl. 135 mm Schalleisten	
	Länge: ca. 2.790 mm inkl. Gabel und Schalleisten	
	Höhe: < 2.400 mm	< 2.400 mm (Ladeöffnung)
Radstand:		
Arbeitsgangbreite:	3.200 mm	
Wendekreisradius:		
Eigengewicht:	4.000 kg	
Max. Radlast:	<= 2.500 kg	<= 3.000 kg
Fahrwerk		
Fahrwerktyp:	Dreirad	
Fahrtriebe:	Vorne	
Lenkantriebe:	Vorne	
Bremsen:	Vorne	
Raddurchmesser:	> 200 mm	

Bezeichnung	Auswahl	Anforderung
Zul. Spaltbreite:	< 80 mm	
Reifenmaterial:	Vulkollan-Vollreifen	
Bodenfreiheit	Vorne: ca. 50 mm	Übergangsknick
	Hinten: ca. 30mm	Übergangsknick
Energieversorgung		
Spannung:	48 V	
Typ	PzM	
Kapazität:	420Ah	
Lastaufnahme		
Lastaufnahmemittel:	Typ: Palettengabel	
	Länge: ca. 1.180 mm	
	Nutzlast: 1.200 kg	>= 800 kg
	Lastschwerpunkt: 600 mm	
Seitenverstellung:	Verstellweg: +/- 150 mm	
Gabelneiger:	+/- 7,5°	
Hubgerüst:	Hubhöhe: ca. 2.600 mm	
	Freihub: ca. 1.400 mm	>= 200 mm
Sensorik		
Lokalisierung:	Sick LD-OEM	

Bezeichnung	Auswahl	Anforderung
	Inkrementalgeber Antriebe	
Personenschutz:	Vorne: Sick S300	
	Hinten: Sick S3000	
	Seite: Schaltleiste 65 mm	
Absturzsicherung:	Infrarotsensor / Lichttaster	Hinten und Vorne
Ladungserkennung:	Sick LMS200	Montage an Lastaufnahme für Höhengeneinstellung und Neigungsausgleich
Ladungsidentifizierung:	Sick CLV	Barcodeerkennung (optional)

Tabelle 4: Fahrzeugkonzept für die Verladung von außen

Bezeichnung	Auswahl	Anforderung
Rahmen		
Fahrzeugbezeichnung:	Jungheinrich EFG Vac 25	
Fahrzeugtyp:	Gegengewichtsstapler	
Abmessungen:	Breite: 1.200 mm inkl. Sicherheitseinrichtungen	
	Länge: 2.300 mm inkl. Gabelrücken	
	Höhe: 2.215 mm	
Radstand:		
Arbeitsgangbreite:		
Wendekreisradius:		
Eigengewicht:	4.600 kg	
Max. Radlast:		
Fahrwerk		
Fahrwerktyp:	Vierrad	
Fahrantriebe:	Hinten (Gabelseite)	
Lenkantriebe:	Vorne	
Bremsen:	Hinten	
Raddurchmesser:	22 bzw. 18 Zoll	

Bezeichnung	Auswahl	Anforderung
Zul. Spaltbreite:		
Reifenmaterial:	Gummi-Vollreifen	
Bodenfreiheit	Vorne: 125 mm	Übergangsknick
	Hinten: 125 mm	Übergangsknick
Energieversorgung		
Spannung:	80 V	
Typ:	PzS	
Kapazität:	560 Ah	
Lastaufnahme		
Lastaufnahmemittel:	Typ: Palettengabel	
	Länge: 2.400 mm	
	Nutzlast: 2.000 kg	>= 2.000 kg
	Lastschwerpunkt: 600	
Seitenverstellung:	Verstellweg: +/- 150mm	
Mastneiger:	6 / 8°	
Hubgerüst:	Hubhöhe: 3.100 mm	>= 1.300 mm
	Freihub:	
Sensorik		
Lokalisierung:	Sick LD-OEM	

Bezeichnung	Auswahl	Anforderung
	Inkrementalgeber Antriebe	
Personenschutz:	Vorne: Sick S300	
	Hinten: Sick S3000	
	Seite: Sick S300	
Absturzsicherung:	Nicht erforderlich	
Ladungserkennung:	Sick LMS200	Montage an Lastaufnahme für Höhengeneinstellung und Neigungsausgleich
Ladungsidentifizierung:	Sick CLV	Barcodeerkennung (optional)

2.1.2 Software

Die Steuerungssoftware stellt den eigentlichen Kernpunkt des Forschungsprojektes dar. Sie steuert die einzelnen Komponenten des Systems, verbindet die einzelnen Teilbereiche miteinander und stellt so die Funktionalität des Verladesystems dar.

Das Grundgerüst der Software stellt ein speziell entwickeltes Modulsystem dar. Jede Komponente, jede Schnittstelle und jede Funktion hat ihr eigenes Modul mit einem speziell auf die Anforderung zugeschnittenen, abgegrenzten Aufgabenbereich. Die einzelnen Module können untereinander kommunizieren und Daten austauschen. Dies ermöglicht eine flexible Strukturierung der Gesamtsoftware, einen gezielten Datenfluss und eine multiple Nutzung einzelner Komponenten.

Auf die wichtigsten Funktionen der Software, welche in der Zielsetzung auch als einzelne Arbeitspunkte definiert wurden, soll im Folgenden noch detaillierter eingegangen werden.

Lastpositionserkennung

Vor der automatischen Aufnahme des Ladehilfsmittels ist dessen Position im Laderaum des Transportmittels zu bestimmen. Da in beiden Praxisfällen bei den Projektpartnern Flachpaletten nach DIN-EN 13698-1 als Ladehilfsmittel eingesetzt werden, ist die Lastpositionserkennung speziell auf diese Paletten eingestellt worden (Bild 2.39). Grundsätzlich ist sie auch auf andere Ladehilfsmittel anwendbar.

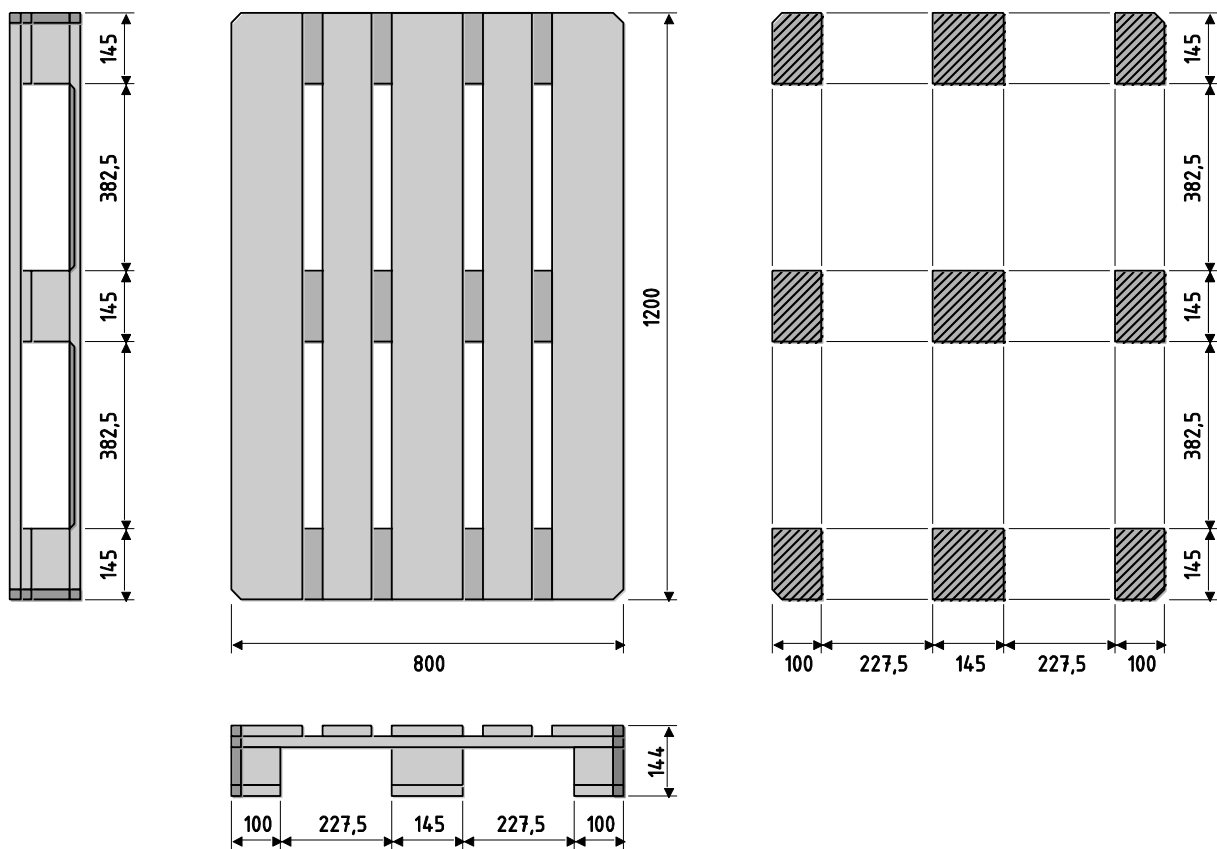


Bild 2.39: Palette nach DIN EN 13698-1

Die Positionsbestimmung ist unerlässlich um Fehlfunktionen bedingt durch Abweichungen von Soll- und Ist-Zustand der Ladung auszuschließen. Derartige Abweichungen können beispielsweise durch Beladungsfehler des Versenders oder das Verrutschen der Ladung während des Transports entstehen. Schon ein paar Zentimeter Versatz oder eine Verdrehung von wenigen Grad können bei einer Aufnahme von einer vermeintlich bekannten Position zu Problemen bis hin zur Unmöglichkeit der Aufnahme führen.

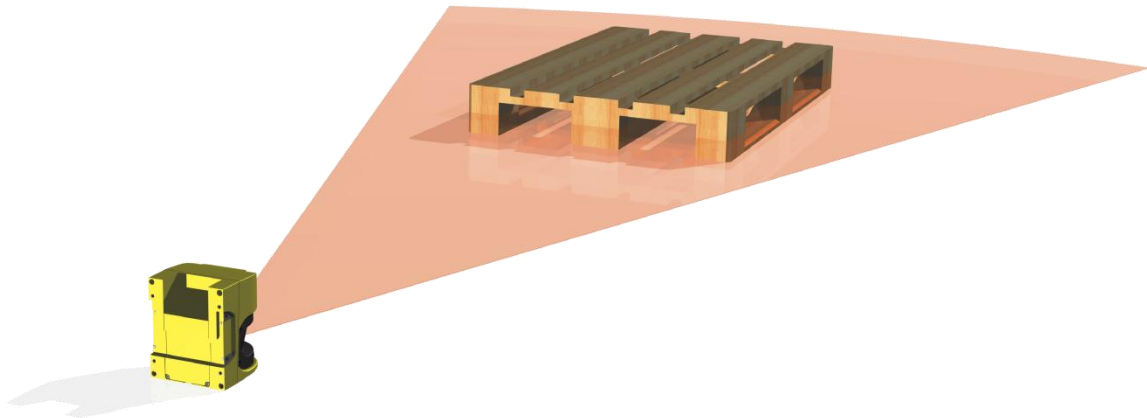


Bild 2.40: Lastpositionserkennung mittels Laserscanner

Aus diesem Grund wurde ein Verfahren zur berührungslosen Erkennung von Ladehilfsmitteln entwickelt. Zur Erfassung der Umgebung wird ein Laserscanner eingesetzt. In einer Ebene, parallel zur Palettenoberfläche, misst dieser die Entfernungen der Umgebung, radial zum Mittelpunkt des Scanners. Die Messebene ist dabei so gewählt, dass sie die Stützklötze der zu identifizierenden Paletten schneidet (Bild 2.40). Bei dieser Anordnung misst der Scanner die Kontur der Klötze der Palette. Aus den Messwerten des Scanners, welche aus Winkeln und Entfernungen der einzelnen Messpunkte bestehen, kann eine zweidimensionale Kontur der erfassten Ebene in Bezug auf den Scanner ermittelt werden (Bild 2.41). Aus dem signifikanten Muster, welches die Klötze der Palette in den Scandaten hinterlassen und den bekannten Abständen und Winkeln der Stützklötze lässt sich die Palette in Hinsicht auf

Position und Orientierung in der gemessenen Ebene identifizieren (Bild 2.42

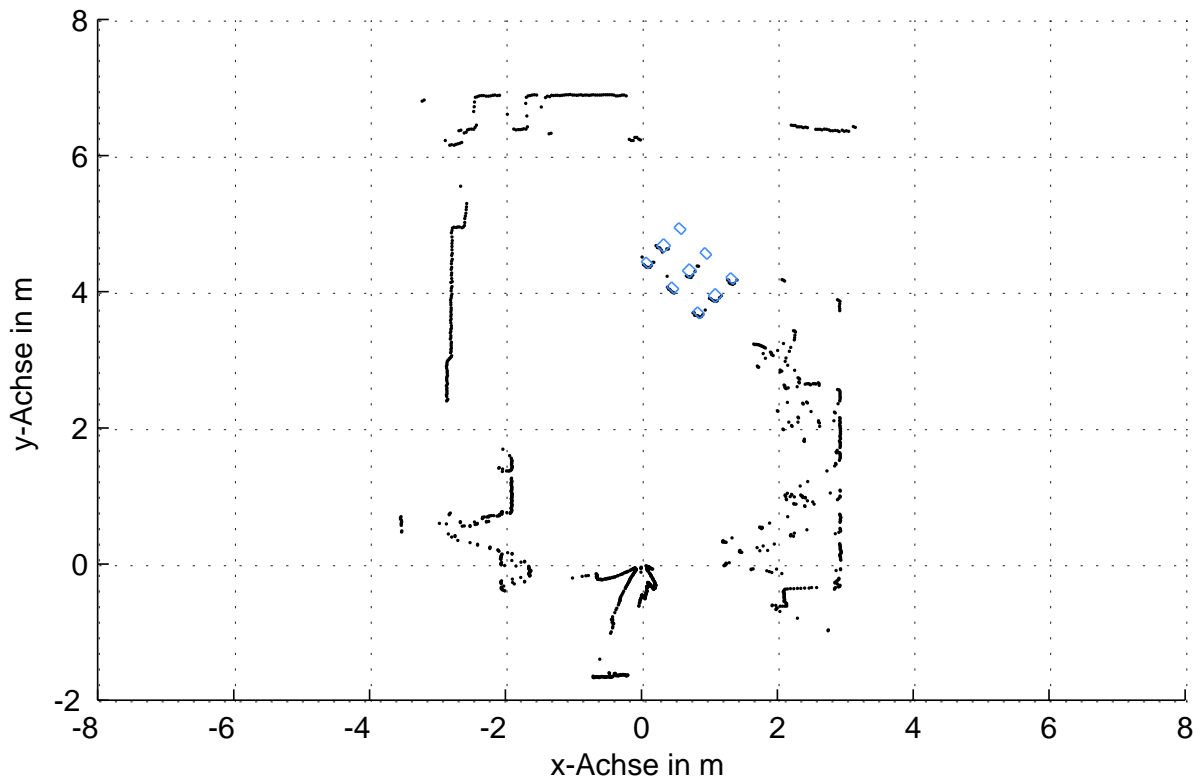


Bild 2.42). Über die bekannte Anordnung des Laserscanners am Fahrerlosen Flurförderzeug kann aus den ermittelten Daten die Position der Palette in Bezug auf das Fahrzeug errechnet werden.

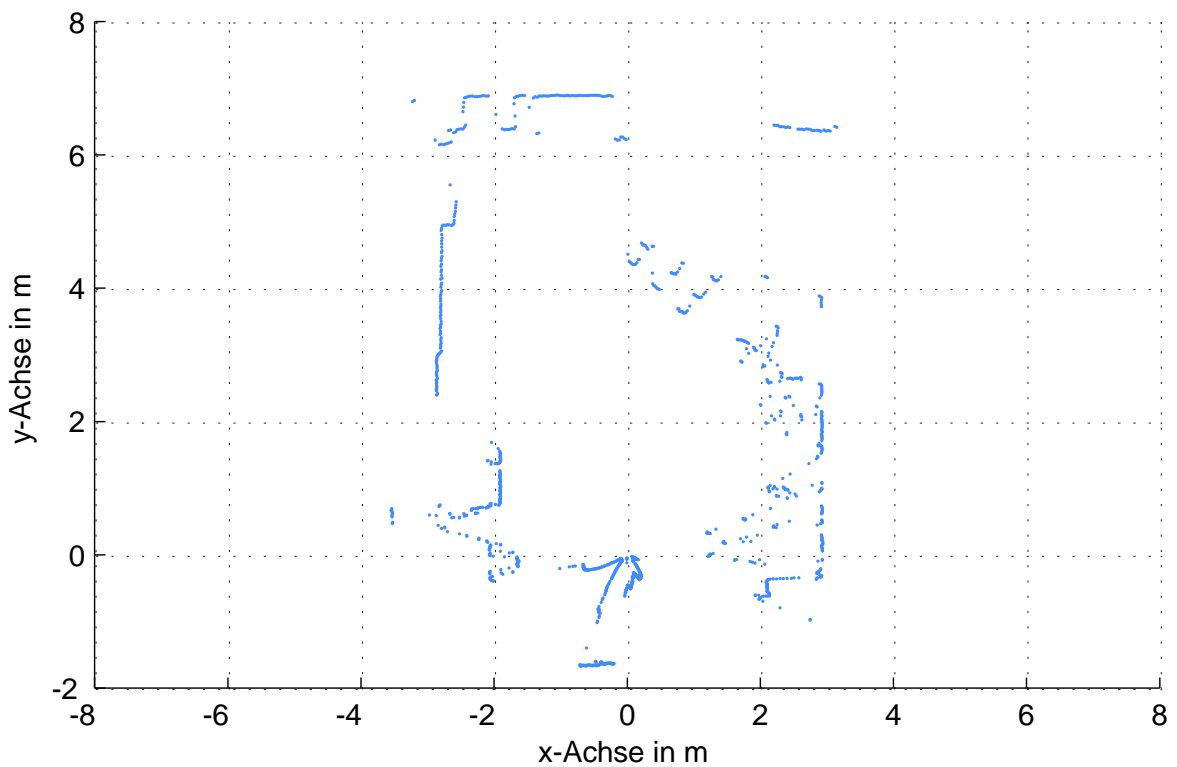


Bild 2.41: Umgebungsscan mit einer Palette

Die Lastpositionserkennung bedarf somit keiner Veränderung der Ladehilfsmittel. Hilfsmarkierungen wie Reflektoren, Farbmarkierungen oder andere Modifizierungen sind nicht erforderlich. Lediglich die genormten Abmessungen der Palette müssen dem System bekannt sein. Beschädigungen an der Palette sowie andere Abweichungen von der vorgegebenen Kontur werden bis zu einem gewissen Grade toleriert.

Das Modul wurde mit Hilfe einer Simulationsumgebung getestet und optimiert. Laborversuche mit realen Ladehilfsmitteln haben gezeigt, dass das System mehrere beliebig positionierte Ladehilfsmittel erkennen und unterscheiden kann (Bild 2.43). Die Bearbeitung des Arbeitspakets 2.1 „Lastpositionserkennung“ ist damit erfolgreich abgeschlossen.

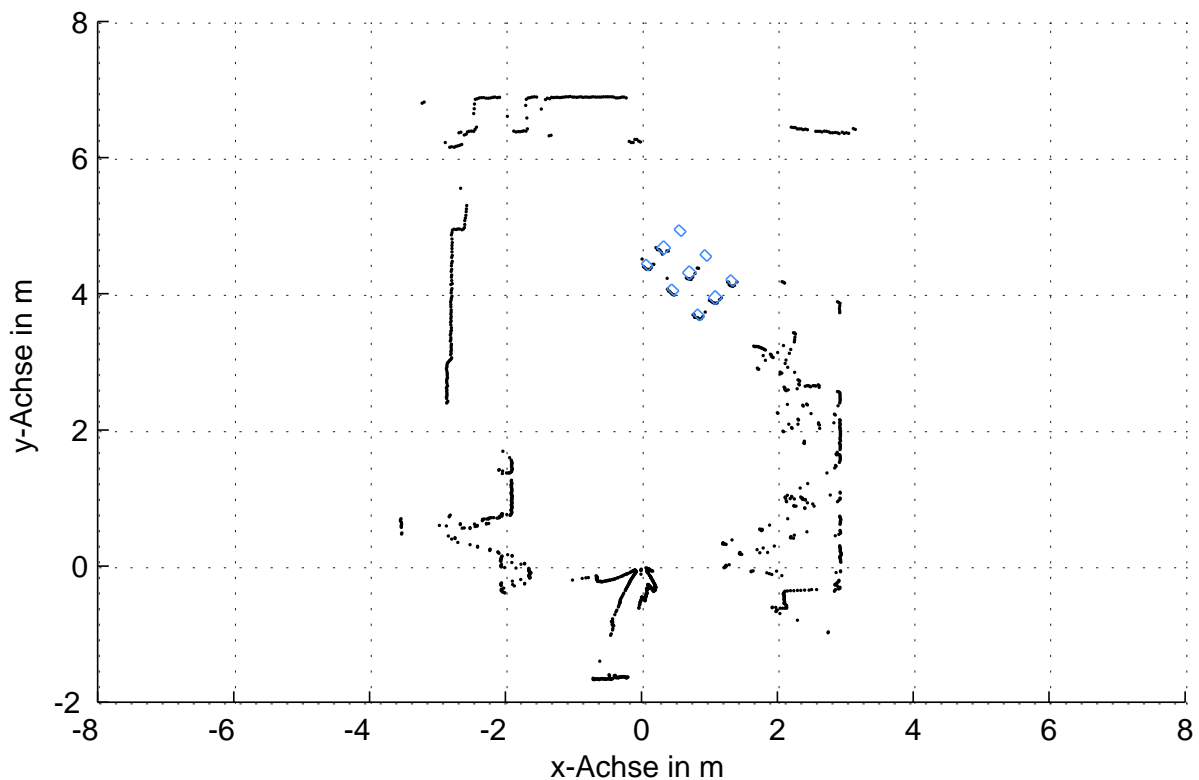


Bild 2.42: Erkannte Palettenklötze im Umgebungsscan



Bild 2.43: Versuchsaufbau zur Lastpositionserkennung



Bild 2.44: Präsentation Lastpositionserkennung, „Nacht die Wissen schafft 09“



Bild 2.45: Präsentation der Lastpositionserkennung, Projekttreffen 25.10.09

Lokalisation in Laderäumen

Eine Zielsetzung des Forschungsprojektes ist es, dass das Fahrerlose Flurförderzeug nicht nur in der Verladezone, sondern auch innerhalb der eingesetzten Verkehrsmittel frei navigieren kann. Eine Grundlage jedes Navigationssystems bildet die Lokalisation, also die Bestimmung von Position und Orientierung des Fahrerlosen Flurförderzeuges in seiner Umgebung. Es gibt eine ganze Reihe gängiger Lokalisationsverfahren. Da aber entsprechend der Zielsetzung des Projekts eine kostenaufwändige Umrüstung der eingesetzten Verkehrsmittel zu vermeiden war, kamen bewährte Methoden wie beispielsweise eine Lokalisation mittels Reflektormarken nicht in Frage.

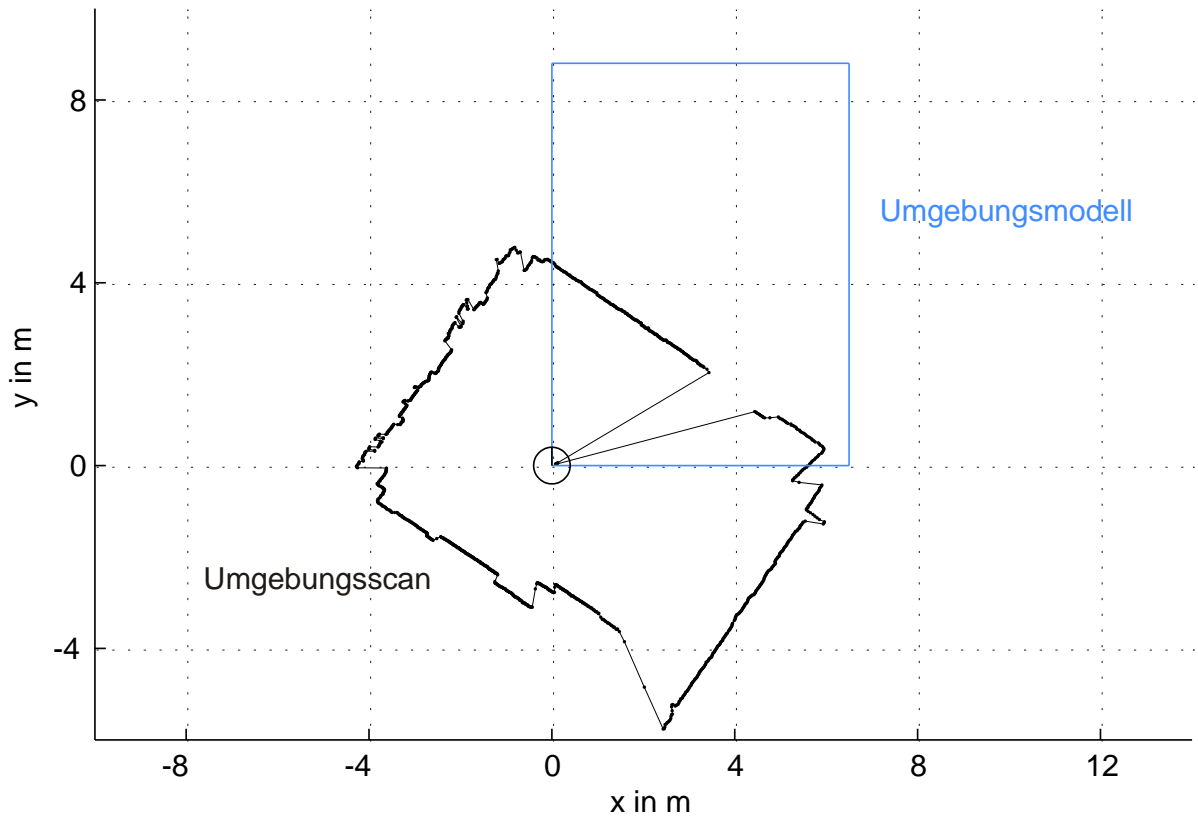


Bild 2.46: Gemessene Umgebung aus Scanwerten und bekannte Umgebung

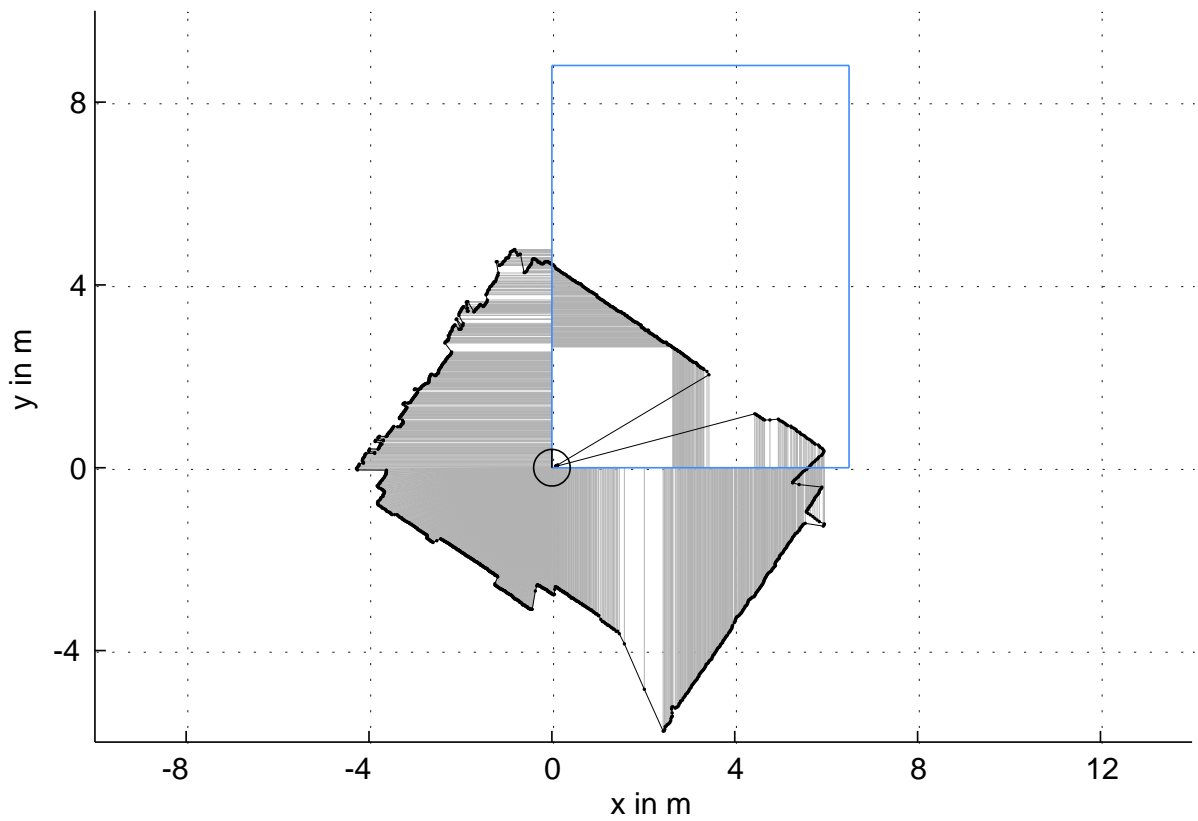


Bild 2.47: Abweichungsfehler zwischen den beiden Umgebungskarten

Es wurde ein Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, das Fahrzeug autonom, ohne die Zuhilfenahme von externen Markierungen, innerhalb des Laderaums zu lokalisieren. Hierzu wird mit einem Laserscanner die Kontur der Umgebung gemessen. Der Scanner ist dabei so am Fahrzeug befestigt, dass er über die im Laderaum befindlichen Ladeeinheiten hinweg scannt. Er erfasst daher eine Augenblicksaufnahme der Kontur des Güterwaggon.

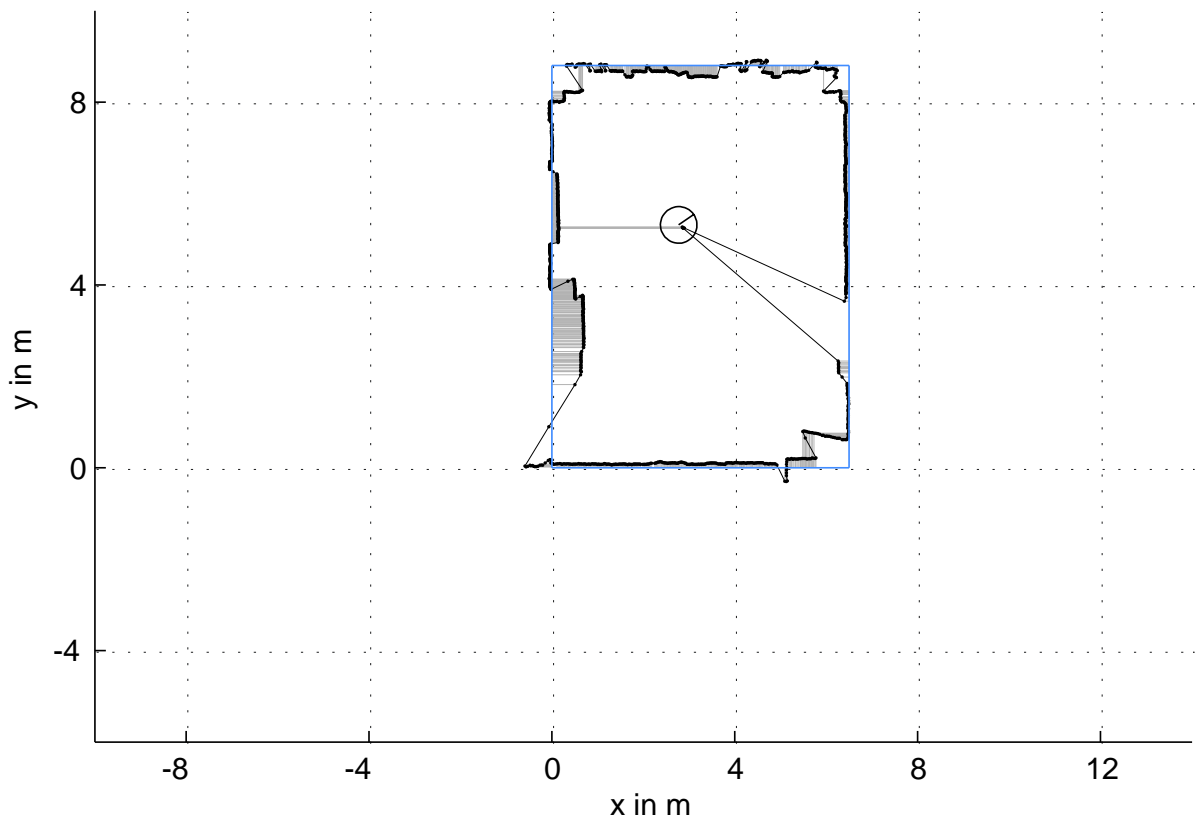


Bild 2.48: Überlagerung bei minimierten Abweichungsfehlern

Mit Hilfe der Scandaten lässt sich im Rahmen der Messungenauigkeiten eine zwei-dimensionale Karte des Laderaumes mit Bezug auf das Fahrerlose Flurförderzeug erstellen. Anhand der Strukturdaten des Güterwagens kann im Vorhinein eine exakte Umgebungsbeschreibung des Laderaums hinterlegt werden. Mittels Scanmatching kann nun die gemessene Umgebung des Fahrerlosen Flurförderzeugs mit der bekannten Umgebung abgeglichen werden (Bild 2.46). Dabei werden die beiden Umgebungskarten überlagert und mittels Minimierung der Abweichungsfehler durch verschieben der Karten gegeneinander die beste Übereinstimmung zwischen den beiden Karten ermittelt (Bild 2.47 und Bild 2.48). Nun lässt sich die Position des Scanners aus der ermittelten in die bekannte Umgebung übertragen. Aus der bekannten

Relation zwischen Scanner und Fahrzeug lassen sich Position und Orientierung des Fahrerlosen Flurförderzeugs innerhalb des Laderaums bestimmen.

Der Algorithmus wurde in einem Versuchsaufbau erprobt und verbessert, bis er eine einsatzbereite und zielsichere Qualität erreicht hat. Damit sind die Zielsetzungen entsprechend des Arbeitspakets 2.2 „Lokalisation in Laderäumen“ erfüllt.

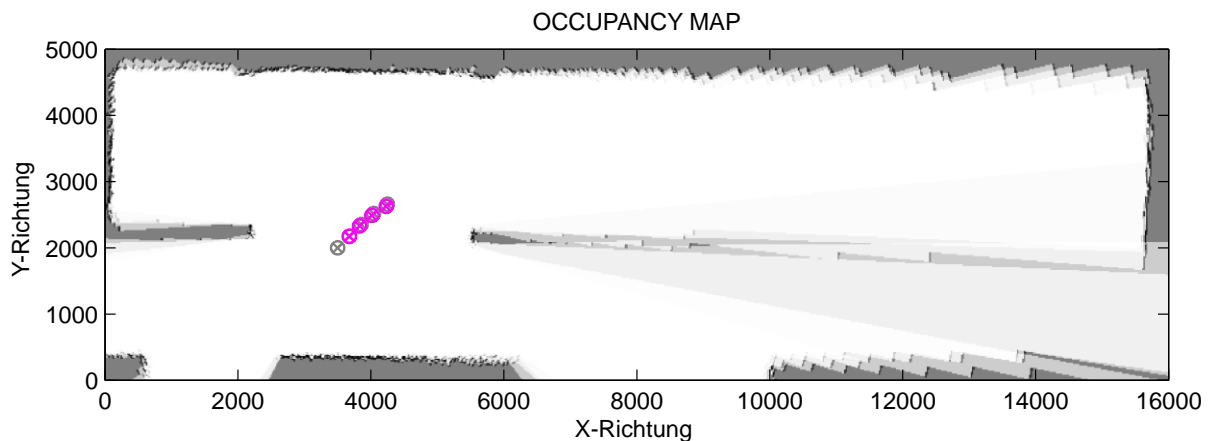


Bild 2.49: Lokalisierung nach fünf Zeitschritten

Es wurden außerdem Ansätze entwickelt, die Umgebungsbeschreibung vom Fahrzeug während der Einfahrt in den Laderaum selbst durchführen zu lassen. Hierzu werden die einzelnen regelmäßig gemessenen Augenblicksaufnahmen der Umgebung immer wieder in die bisherige Umgebungskarte eingearbeitet. Anhand der Häufigkeit, mit der an einer bestimmten Stelle ein Hindernis detektiert wird, kann eine Wahrscheinlichkeit für die Existenz dieses Hindernisses ermittelt werden. Mit steigender Anzahl der Durchläufe werden relativ exakte Konturdaten der Umgebung herausgearbeitet.

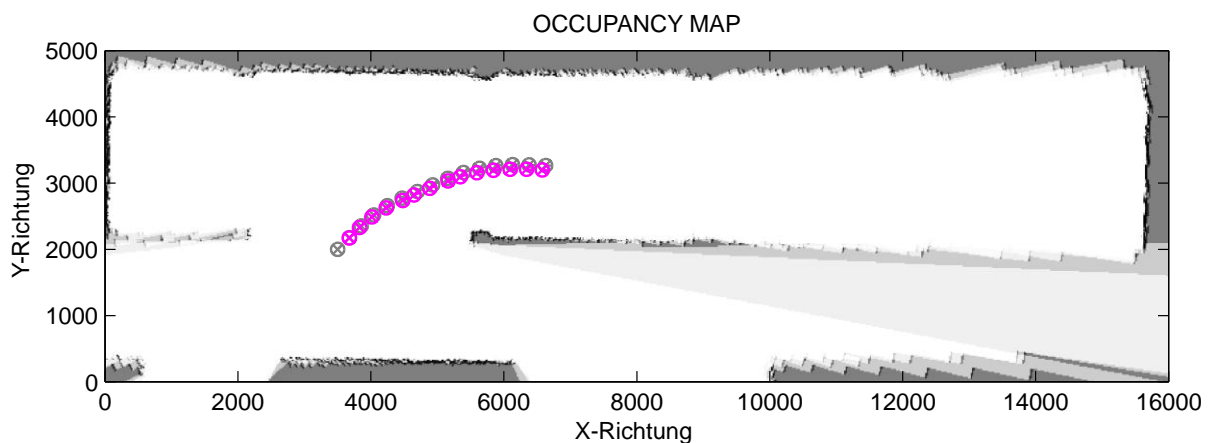


Bild 2.50: Lokalisierung nach 15 Zeitschritten

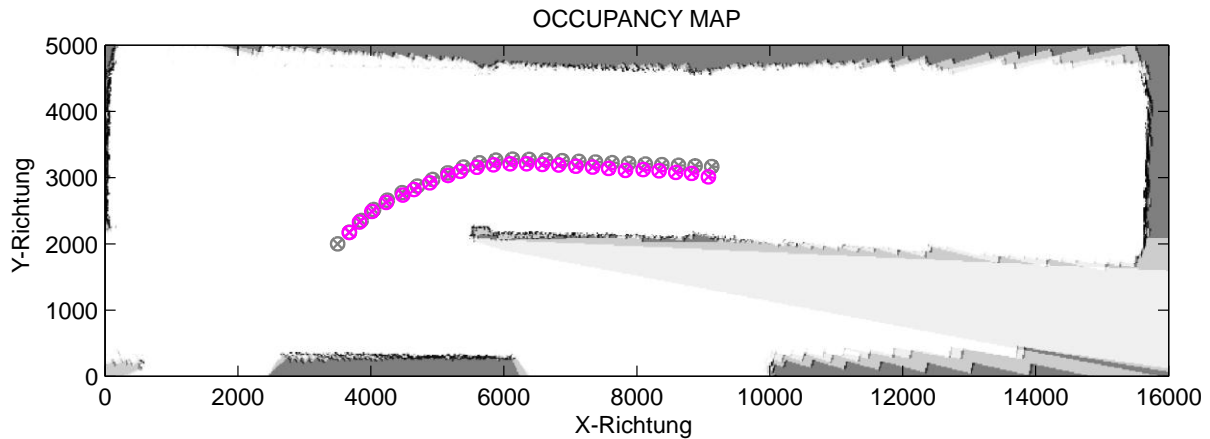


Bild 2.51: Lokalisierung nach 25 Zeitschritten

Fahrwegsplanung

Für eine genaue, zielsichere und kollisionsfreie Fahrt eines Fahrerlosen Flurförderzeugs innerhalb des Arbeitsraums, beispielsweise zur Anfahrt an die Ladeeinheit und Aufnahme der Last, ist zunächst ein entsprechender Fahrweg zu generieren. Dieser Fahrweg wird in Form einer Trajektorie dargestellt und verläuft vom Ausgangspunkt des Fahrzeugs zum geplanten Zielpunkt, wobei sie Hindernisse in ausreichendem Abstand umgeht.

Eine Trajektorie setzt sich aus einer Reihe von Ortsinformationen zusammen, welche als Stützstellen dienen und den Verlauf des Fahrweges im globalen Koordinatensystem festlegen. Diese Ortsinformationen werden als Konfigurationen bezeichnet und setzen sich aus einer exakten Position und Orientierung des Fahrerlosen Flurförderzeugs zusammen.

Auf Grund der im Vorfeld unbekannt und häufig abweichenden Anordnung der Paletten erfordert die Entladung eines Güterwagens eine dynamische Planung des Fahrweges (Bild 2.53). In der Verladezone im Vorfeld der Güterwagen kann hingegen mit statischen, vorgeplanten Fahrwegen gearbeitet werden, wie es beim Einsatz von Fahrerlosen Flurförderzeugen üblich ist (Bild 2.52). Neben der Möglichkeit auf bekannte Verfahren zurückgreifen zu können hat dies den Vorteil, dass die Verladezone sowie das in diesem Forschungsprojekt eingebundene Fahrerlose Flurförderzeug schnittstellenlos in den Materialfluss eines Betriebes eingebunden werden kann. Der Übergang von den statischen zu den dynamischen Fahrwegen erfolgt an definierten Punkten vor der Einfahrt in die Güterwagen.

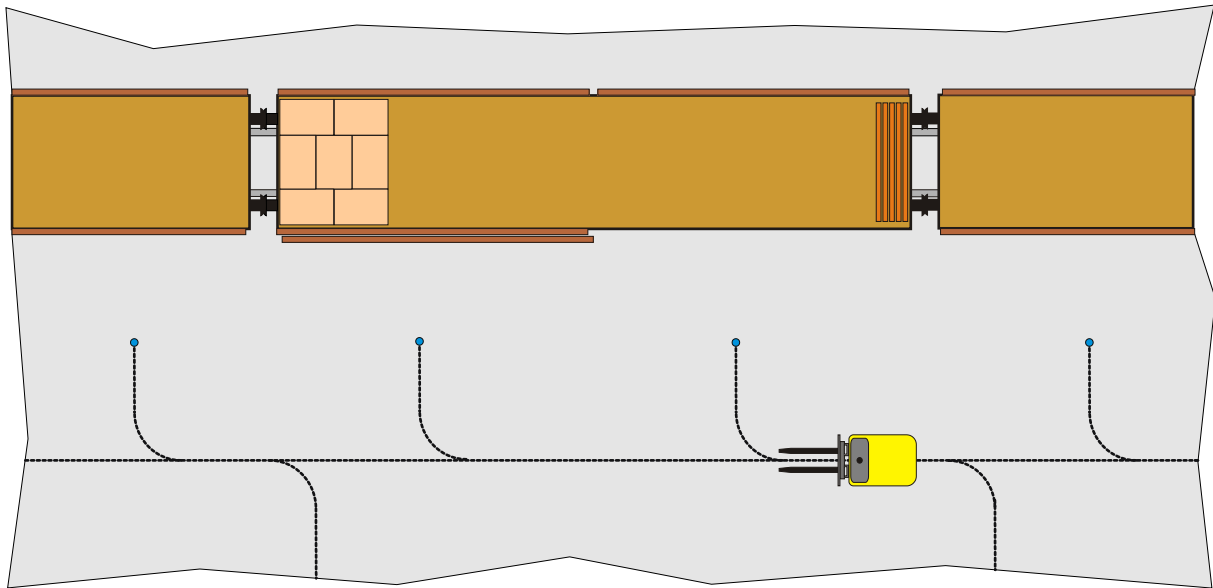


Bild 2.52: Vorgeplante Fahrwege in der Verladezone

Zur Generierung eines dynamischen Fahrweges müssen zunächst die nötigen Kriterien ermittelt werden. Die Planung des Fahrweges basiert grundlegend auf der aktuellen Konfiguration des Fahrerlosen Flurförderzeugs, die von der Lokalisation ermittelt wird. Anhand dieser können die Palettenpositionen aus der Lastpositionserkennung, welche bisher noch auf das Fahrzeug selbst bezogen sind, in das globale Koordinatensystem umgesetzt und in die bekannte Umgebung eingeplant werden. Durch diese Kombination entsteht der Arbeitsraum, in dem das Fahrzeug agiert.

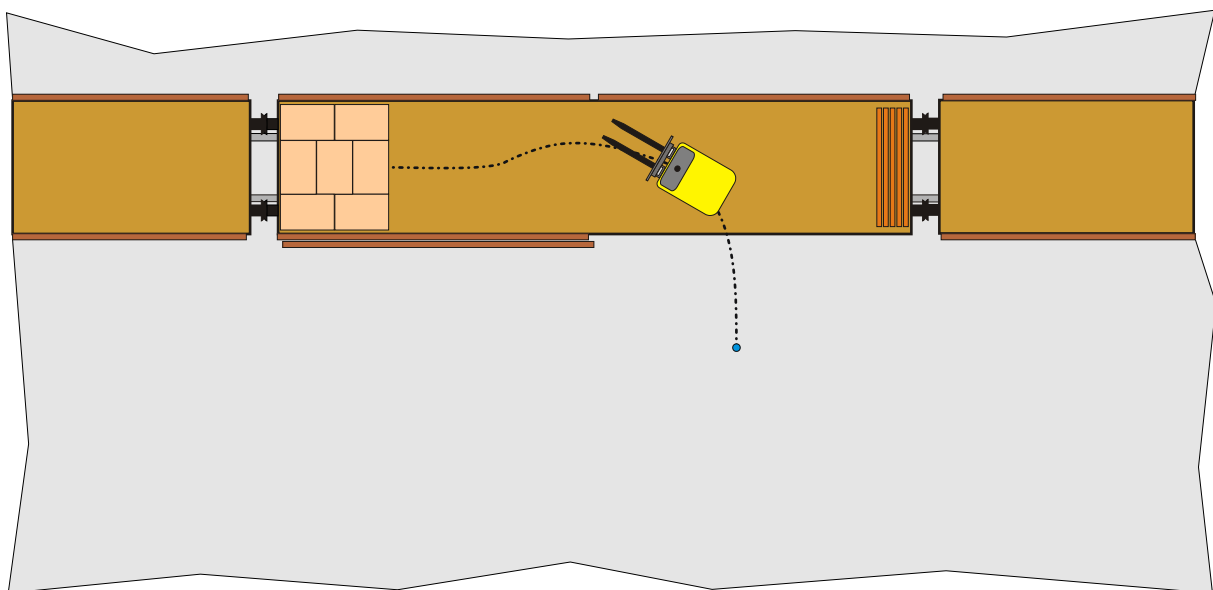


Bild 2.53: Dynamische Fahrwegsplanung im Laderaum

Zielpunkt des Fahrweges ist beispielsweise der Anfahrpunkt einer Palette, welche aufgenommen werden soll, oder ein Übergangspunkt, an dem der dynamische Fahrweg in einen statischen übergeht. Startpunkte sind die Übergangspunkte am Ende der statischen Fahrwege, bzw. der Aufnahmepunkt einer Palette.

Für die dynamische Fahrwegplanung wurden unterschiedliche Verfahren erprobt und anschließend eine geeignete Kombination auf den Anwendungsfall optimiert. Über die Umwandlung des Arbeitsraums in einen Konfigurationsraum wird eine Umgebung erzeugt, die alle möglichen Konfigurationen des Fahrerlosen Flurförderzeugs im Arbeitsraum umfasst. Hierbei unterscheiden sich die Konfigurationsräume abhängig davon, ob das Fahrzeug beladen ist oder nicht. Innerhalb des Konfigurationsraums wird der kürzeste Pfad von der Start- zur Zielkonfiguration ermittelt. Dieser wird anschließend auf optimale Kurvenradien überarbeitet, wieder in den Arbeitsraum übertragen und in eine Trajektorie umgewandelt.

Die Trajektorie wird anschließend an die Bahnregelung des Fahrerlosen Flurförderzeugs übergeben. Diese setzt die Trajektorie in Steuerbefehle für die Motoren um. Die Bahnregelung sorgt weiterhin dafür, dass ermittelte Abweichungen vom Fahrweg ausgeglichen und das Fahrerlose Flurförderzeug entlang der geplanten Trajektorie geführt wird.

Der Ablauf wurde softwaremäßig und im Versuchsaufbau erprobt und optimiert, bis eine einsatzbereite und zielsichere Qualität erreicht war. Damit sind die Zielsetzungen entsprechend des Arbeitspakets 2.3 „Fahrwegplanung“ erfüllt.

Fahrzeugsteuerung

Die Basis für die Fahrzeugsteuerung und die Software-Module aus den Arbeitspaketen 2.1 „Lastpositionserkennung“, 2.2 „Lokalisation in Laderäumen“ und 2.3 „Fahrwegplanung“ stellt ein speziell entwickeltes Modulsystem. Jede Komponente, jede Schnittstelle und jede Funktion wurde als eigenständiges Modul mit einem speziell auf die Anforderung zugeschnittenen, abgegrenzten Aufgabenbereich realisiert. Dies ermöglicht eine abgeschlossene, relativ unabhängige Programmierung der einzelnen Softwareteile sowie eine flexible Strukturierung der Gesamtsoftware und eine multiple Nutzung einzelner Komponenten wie beispielsweise der CAN-Bus Schnittstelle.

Das Modulsystem wurde in Xenomai, einem auf Linux basierenden echtzeitfähigen Kernel-Framework, entwickelt, sodass es möglich ist, den einzelnen Modulen feste Zykluszeiten zuzuweisen und damit zyklische Anforderungen wie etwa den Aufruf eines Regler-Algorithmus zeitgerecht zu gewährleisten.

Für das Zusammenspiel der Software-Module wurde ein zentrales Steuerungsmodul entwickelt. Auf die gemäß Arbeitspaketbeschreibung vorgesehene Anbindung an eine übergeordnete Steuerungsebene konnte verzichtet werden, da sich herausgestellt hat, dass diese Funktionalität für die Durchführung der vorgesehenen Tests nicht erforderlich ist.

Die Interprozesskommunikation der einzelnen Module erfolgt über gemeinsam genutzten Speicher, auf den die Module abwechselnd zugreifen können. Dieser ist als Ringspeicher organisiert, sodass der Speicher nicht überschritten werden kann, sondern ab einer gewissen Grenze alte Bestände überschrieben werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit zur Kommunikation über FIFO-Nachrichtenqueues.

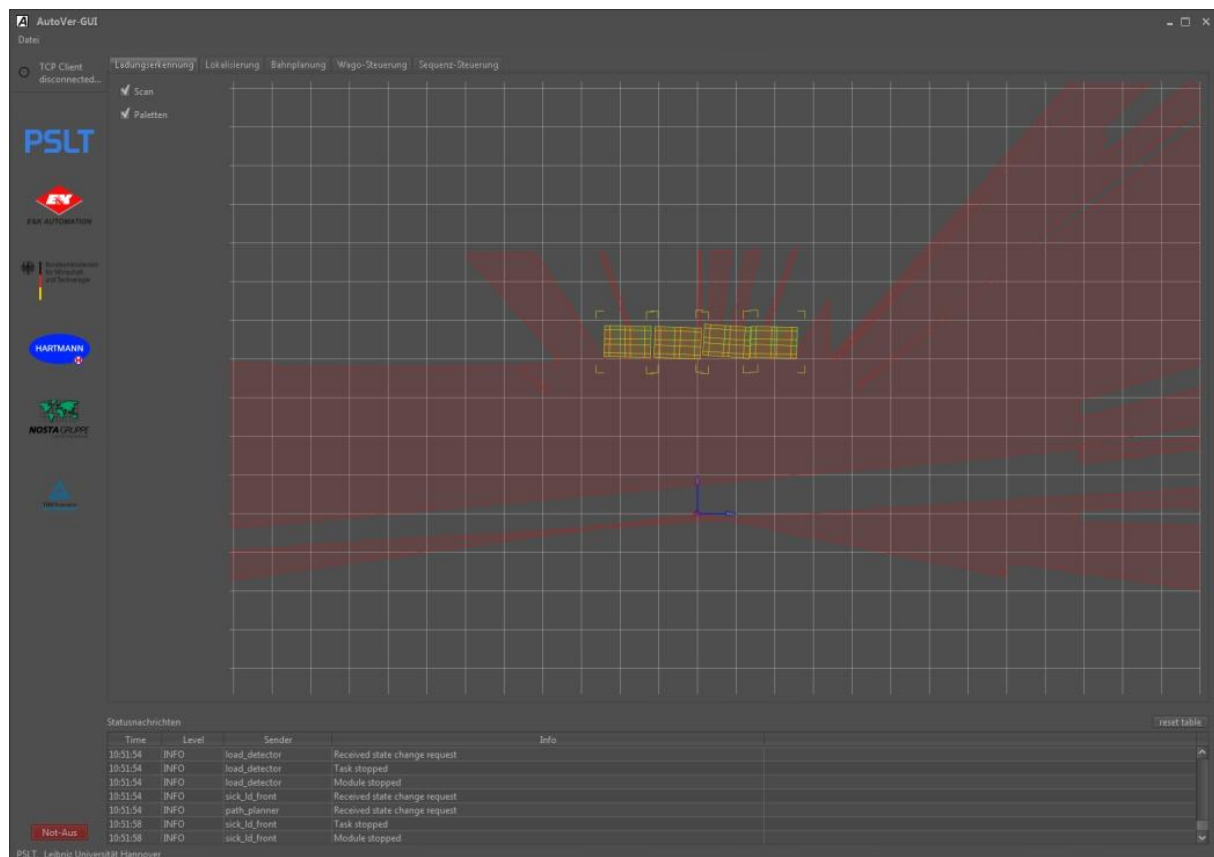


Bild 2.54: GUI mit vier erkannten Paletten bei NOSTA

Die Hardware Schnittstellen der Fahrzeugsteuerung werden jeweils von einem eigenen Modul verwaltet. Dieses verknüpft den Datenverkehr der jeweiligen Schnittstelle mit der Interprozesskommunikation. Alle Module können Daten und Befehle über die Ringspeicher des jeweiligen Schnittstellen-Moduls senden und empfangen. Als Schnittstellen verfügt die Fahrzeugsteuerung über Anschlüsse für Ethernet, CAN-Bus und eine serielle Verbindung sowie eine integrierte Motorsteuerungskarte.

Die Steuerung der Hardwarekomponenten des Fahrzeugs erfolgt ebenfalls softwareseitig. Während die Befehle an die Antriebe über entsprechende Motorsteuerungen umgesetzt werden, läuft die Kommunikation mit den Laserscannern über CAN-Bus bzw. Ethernet. Für die restlichen Komponenten ist ein Feldbusknoten eingesetzt, welcher die Softwarebefehle in entsprechende digitale und analoge Signale umsetzt.

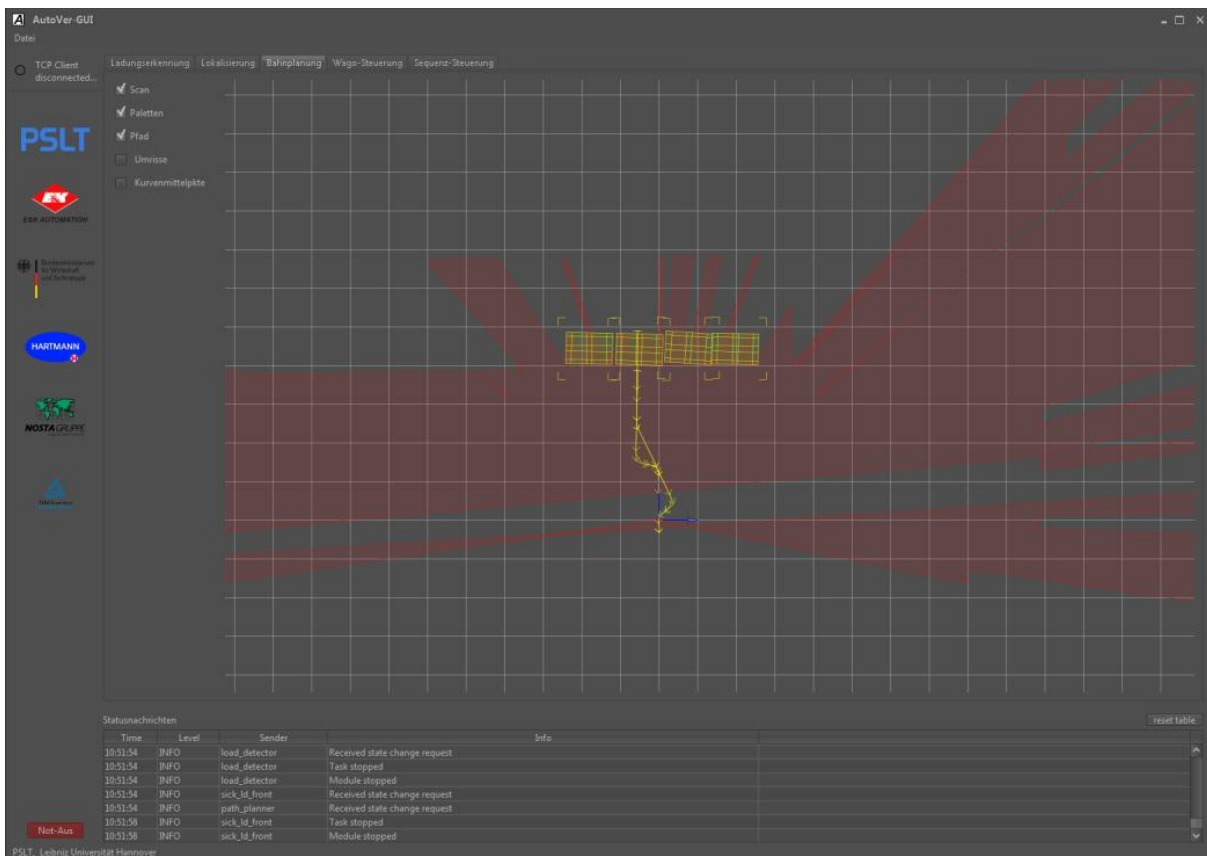


Bild 2.55: GUI mit geplantem Fahrweg zur Zielpalette

Zur Überwachung der laufenden Prozesse und zur Visualisierung der Vorgänge wurde eine grafische Benutzerschnittstelle, kurz GUI, entwickelt (Bild 2.54 und Bild 2.55). Diese wird auf einem externen Computer ausgeführt und kommuniziert über Wireless LAN mit der Fahrzeugsteuerung. Das GUI dient hauptsächlich der Be-

obachtung des Systems und ist für die Funktion des Fahrerlosen Flurförderzeugs nicht notwendig.

Die Softwaremodule wurden während der einzelnen Entwicklungsschritte regelmäßig erprobt und stetig optimiert. Die drei großen Module „Lastpositionserkennung“, „Lokalisation in Laderäumen“ und „Fahrwegplanung“ wurden zusätzlich simuliert und auf sichere Funktion getestet. Die Bearbeitung des Arbeitspakets 2.4 „Fahrzeugsteuerung“ ist damit erfolgreich und den Anforderungen entsprechend abgeschlossen.

Funktionstest

Zur endgültigen Erprobung der Software und Optimierung des Zusammenspiels erfolgte nach Abschluss der Softwareentwicklung eine schrittweise Implementierung in den Labordemonstrator. Auf dieser eigens für die Erprobung erstellten Plattform konnte zuerst die Ansteuerung der einzelnen Komponenten und dann das Zusammenspiel erprobt werden. Die Abläufe vom ersten Blinken einer Signalleuchte bis hin zur selbstständigen Aufnahme einer Palette in einer Testumgebung wurden ausgiebig getestet und gefundene Fehler beseitigt.

Labor-Demonstrator

Zur Erprobung der einzelnen Softwaremodule und zur Entwicklung von Funktionsroutinen wurde im Labor des PSLT ein Demonstrator gebaut, der Abläufe unter realitätsnahen Bedingungen ermöglicht. Entsprechend den Anforderungen in Arbeitspaket 3 „Labor-Demonstrator“ ist dies ein maßstäbliches Fahrerloses Flurförderzeug.

Die Planung des Demonstrators umfasste alle ersichtlichen Einsatzszenarien und berücksichtigte die entsprechenden Anforderungen (Bild 2.56). Das Fahrzeug wurde im Vorfeld als CAD-Modell in Autodesk Inventor entwickelt (Bild 2.57). Die anschließende Umsetzung erfolgte entsprechend der Konstruktionspläne (Bild 2.58)

Der Demonstrator ist als Gegengewichtsstapler gestaltet, um den Spalt zwischen Verladezone und Güterwaggon bei der Verladung der vorderen Paletten besser überbrücken zu können. Hubmast und Gabel sind neigbar und für die Aufnahme von Paletten nach DIN EN 13698-1 ausgelegt. Als Gegengewicht dienen hauptsächlich die Energiespeicher des Fahrzeugs.

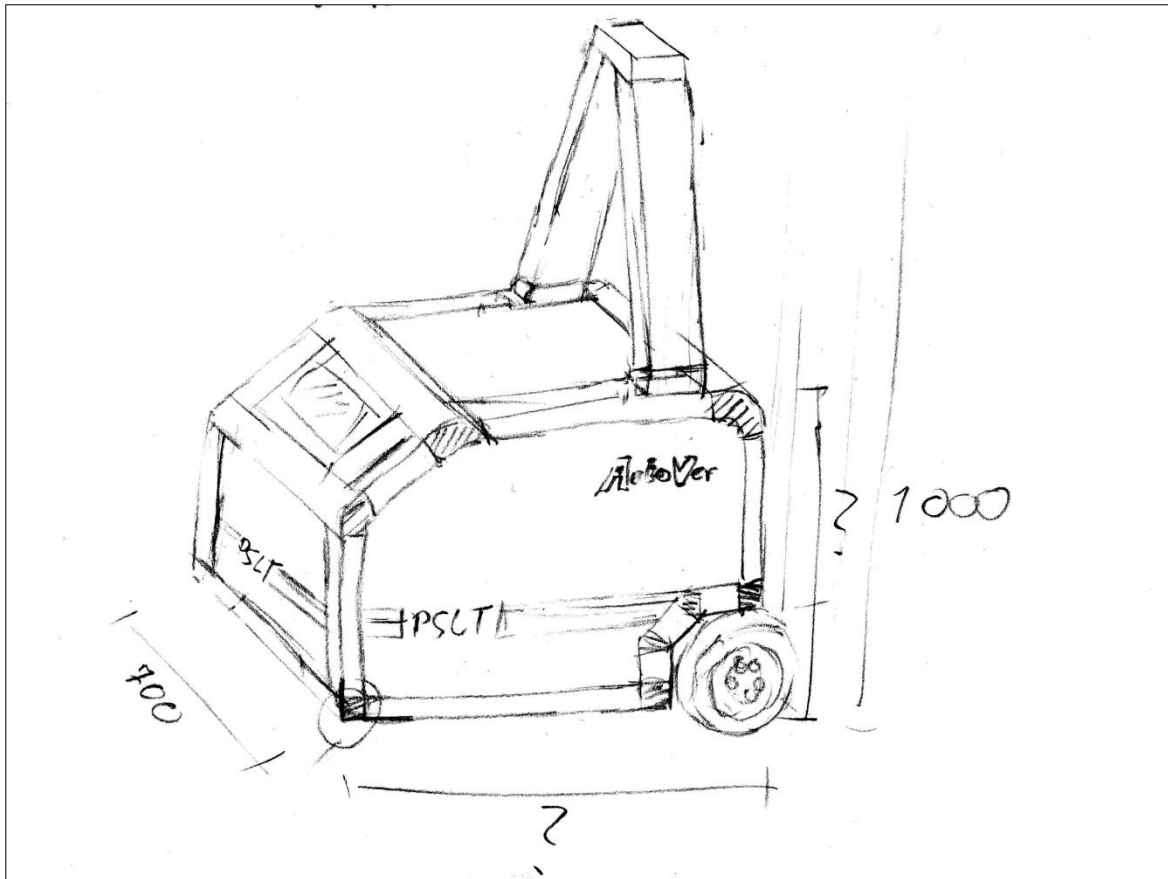


Bild 2.56: Erste Entwurfsskizze des Labor-Demonstrators

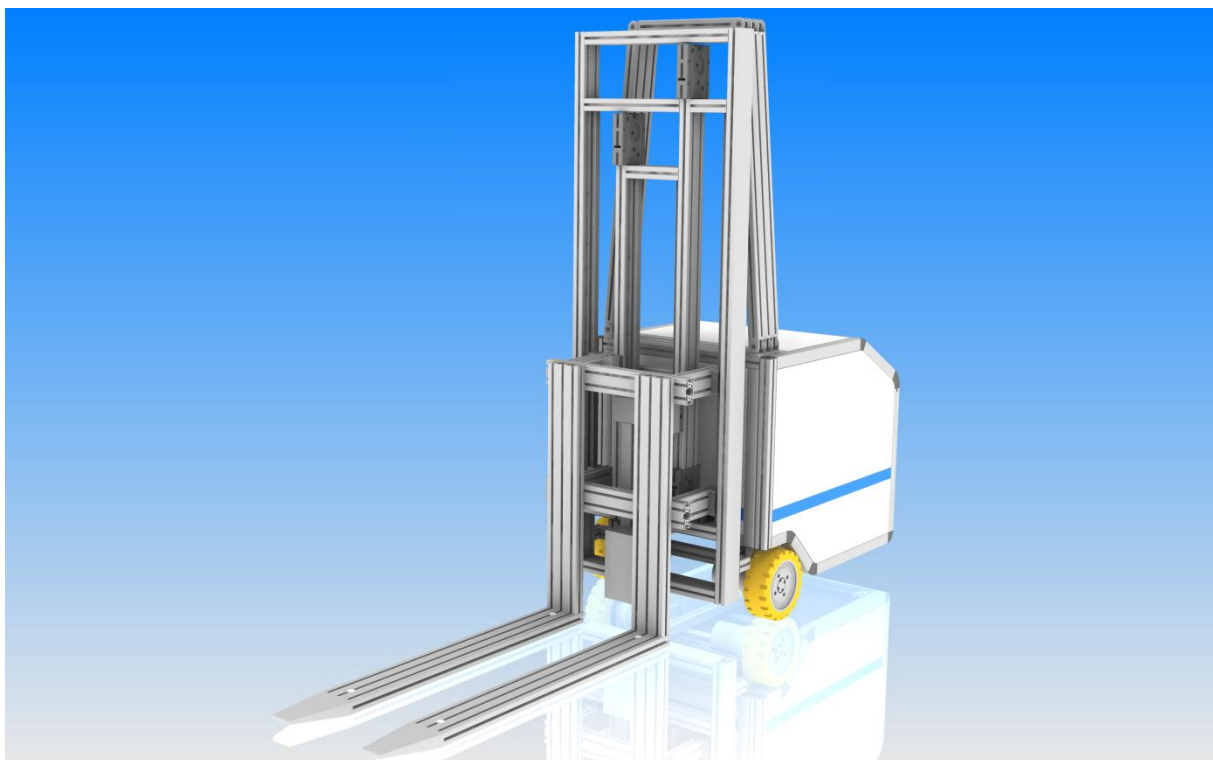


Bild 2.57: CAD-Modell des Labor-Demonstrators

Der Demonstrator hat einen Differenzialantrieb bestehend aus zwei Elektromotoren mit einer jeweiligen Nennleistung von 280 W. Unterstützt durch ein freilaufendes Stützrad unter dem Gegengewicht ist das Fahrzeug mit dieser Anordnung in der Lage, beliebige Kurvenradien bis hin zu Drehung auf der Stelle zu realisieren.

Bestehend aus Chassis, Gehäuse, Hubmast, Gabel und Turm ist das Fahrerlose Flurförderzeug in seine Einzelteile zerlegbar. Die Grundstruktur ist aus Aluminiumprofilen der Firma item konstruiert. Vereinzelt wurden kleinere Bauteile wie Halterungen speziell angefertigt. Die Verkleidung besteht aus beklebten Kunststoffplatten. Das Fahrzeug ist ausgestattet mit zwei Laserscannern der Sick LD-Serie. Darüber hinaus verfügt es über Wireless LAN und Ethernet Anschlüsse, einen internen CAN-Bus, einen seriellen Anschluss sowie diverse Signal- und Notfallperipherie.

Die Energieversorgung erfolgt über vier geschlossene Bleiakkumulatoren aus der OPTIMA Batteries Serie. Durch eine Parallelschaltung von jeweils zwei in Reihe geschalteten Akkumulatoren entsteht ein 24V Akkublock. Ein spezieller Equalizer sorgt für ein stabiles Spannungsverhältnis zwischen den Akkumulatoren, während eine Ladestandskontrolle sie gegen Tiefenentladung schützt. Durch den Einsatz von Bleiakkumulatoren sind auch hohe Ströme, wie sie etwa bei der Beschleunigung der Antriebsmotoren gefordert werden, realisierbar.

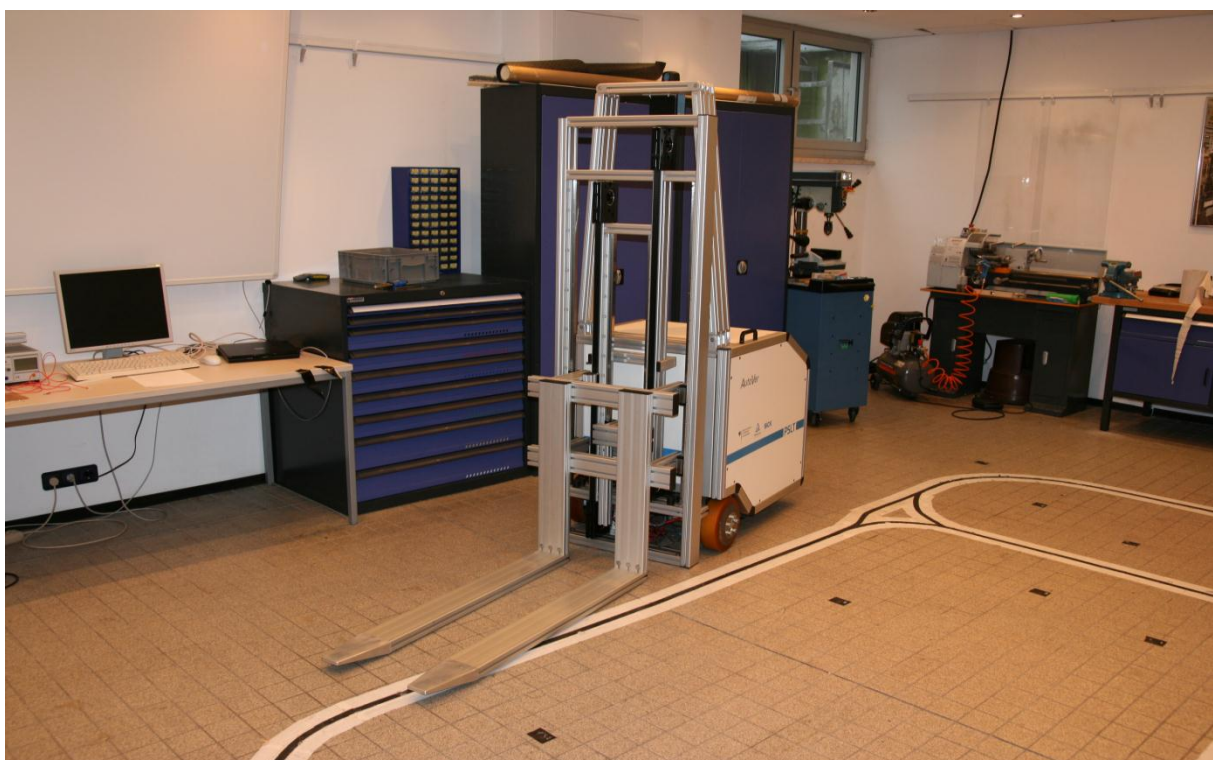


Bild 2.58: Labor-Demonstrator

Für die Erprobung der Verladeabläufe wurde ein Labormodell eines Güterwaggons konstruiert. Dieses besteht aus einem rechteckigen Holzgerüst mit den Abmessungen eines verkürzten Güterwaggons. Das Modell begrenzt durch entsprechende Beplankung sowohl den Messbereich der Laserscanner, als auch den Arbeitsbereich des Labor-Demonstrators auf die geforderten Abmessungen (Bild 2.59).

Die Entwicklung des Labor-Demonstrators für den Einsatz unter Laborbedingungen ist somit erfolgreich entsprechend der Anforderungen abgeschlossen. Das entstandene Fahrerlose Flurförderzeug ermöglichte eine intensive Entwicklung und Erprobung der Softwaremodule und Verladeabläufe.

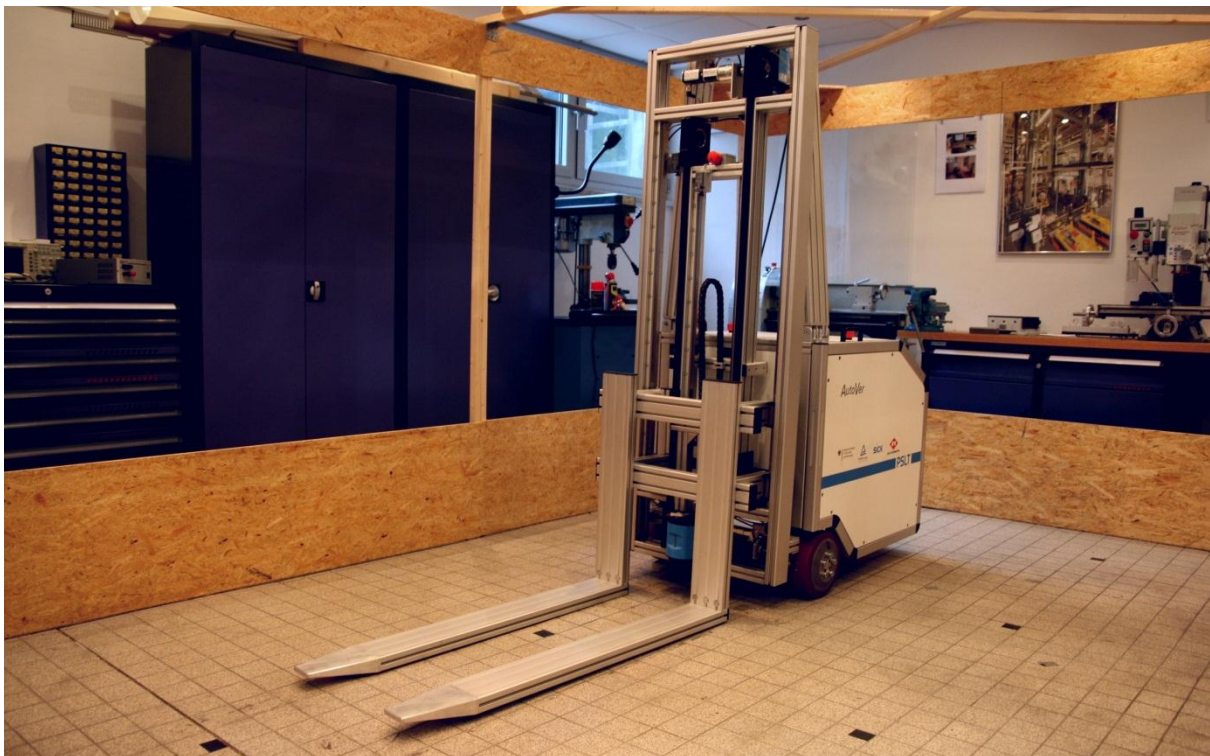


Bild 2.59: Labor-Demonstrator mit Versuchsumgebung

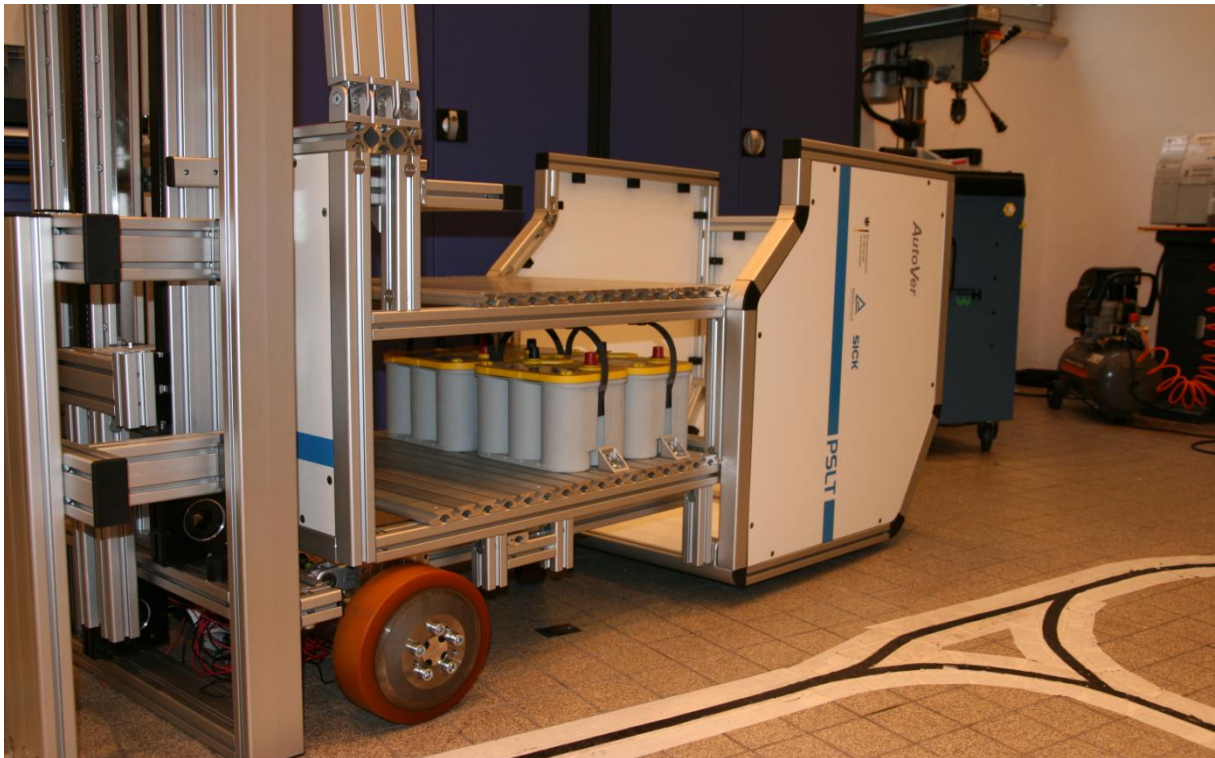


Bild 2.60: Energieversorgung



Bild 2.61: Seitenverkleidung



Bild 2.62: Industrie-Demonstrator während des Projekttreffens am 25.10.2009



Bild 2.63: Entwicklungsstand des Industrie-Demonstrators am 15.02.2010

2.1.3 Industrie-Demonstrator

Aufbauend auf den gesammelten Erkenntnissen bezüglich der Anforderungen und Schnittstellen wurde von der E&K Automation ein Industrie-Demonstrator entwickelt. Entsprechend dem Labor-Demonstrator ist auch dieser Demonstrator als Gegengewichtsstapler ausgeführt, wurde aber in Hinsicht auf eine Anwendung im Industriebereich ausreichend leistungsstark konzipiert (Bild 2.64).

Das Fahrzeug verfügt über die für ein Fahrerloses Transportsystem nötige Sicherheitssensorik. Laserscanner überwachen Sicherheitszonen um das Fahrzeug, in denen detektierte Hindernisse zu entsprechenden Reaktionen des Fahrzeuges führen. Die Front und die Seiten sind zusätzlich mit druckempfindlichen Sicherheits-Bumpfern ausgestattet.

Im Innenraum des Fahrzeuges ist eine Aufnahme für die Fahrzeugsteuerung des Labor-Demonstrators vorgesehen. Für den Betrieb wird diese hier eingesetzt und kann über eine entsprechende Schnittstelle mit dem Industrie-Demonstrator kommunizieren. Die Verladung erfolgt somit bei beiden Demonstratoren auf Grundlage derselben Software.

Zur Erprobung des Zusammenspiels und für Anpassungen auf Unterschiede zwischen den Systemen diente auch für den Industrie-Demonstrator ein Güterwaggon-Modell als Testfeld (Bild 2.65). Aufbauend auf den bereits gesammelten Erkenntnissen wurde zudem die Navigation in der Verladezone integriert und der Übergang zwischen den Navigationsvarianten erprobt. Im Rahmen des Forschungsprojektes fiel die Wahl des für die Navigation im Vorfeld des Güterwaggons nötigen Lokalisationsverfahrens auf die verbreitete Variante mittels Reflektormarken.

2.1.4 Erprobung

Um die Einsetzbarkeit des entwickelten Systems unter realen Bedingungen zu demonstrieren wurden mehrtägige Versuche in Betrieben mit Schienenanbindung durchgeführt. Die Firmen Paul Hartmann AG und NOSTA-Transport GmbH haben sich bereit erklärt, die Verladezonen in ihren Logistikzentren in Brück bei Berlin beziehungsweise in Stadthagen bei Hannover als Testfelder zur Verfügung zu stellen.



Bild 2.64: Industrie-Demonstrator



Bild 2.65: Industrie-Demonstrator mit Testfeld

Paul Hartmann AG

Die Verladezone des Logistikzentrums von Hartmann ist relativ zu den Schienen so weit erhöht, dass ein ebenerdiges Einfahren der Flurförderzeuge in den Waggon mit Überrollblechen möglich ist. Die Ladung wird auf Paletten nach DIN EN 13698-1 geliefert, wobei die Ladehilfsmittel eine sehr gute Qualität aufweisen.

Für die Versuche sollte der Industrie-Demonstrator ein Abteil eines nach Beladungsplan beladenen Güterwaggons vom Typ Hbbillns 305 automatisch entladen (Bild 2.66). Nach Aufbau der Reflektormarken-Navigation im Vorfeld des Waggons und grundlegender Einstellungen des Systems musste in Folge eines Höhenunterschiedes zwischen Verladezone und Ladefläche vor allem der vordere, für die Lastpositionserkennung zuständige Laserscanner neu ausgerichtet werden.



Bild 2.66: Praxistest im Logistikzentrum Brück

Die anschließenden Entladevorgänge verliefen relativ erfolgreich und der Waggon wurde vollständig entladen. Unterbrechungen gab es zum einen durch ein leichtes Aufsetzen der Gabel bei der Einfahrt in den Waggon. Dieses war eine Folge des Überfahrens der Überrollbleche und der für die zeitgleiche Aufnahme der mittleren Paletten nötigen geringen Bodenfreiheit der Gabelspitzen. Zum anderen verursachte

die sich während des Entladeprozess verändernde Neigung der Ladefläche ein gelegentlich unvollständiges Erfassen der Ladeeinheiten, da die zuvor sorgfältig ausgerichtete Scanebene des Laserscanner nicht mehr parallel zur Ladefläche verlief.

NOSTA-Transport GmbH

Im Logistikzentrum der NOSTA-Transport GmbH in Stadthagen verlaufen die Schienen auf Höhe der Verladezone und die Verladung geschieht ohne Rampe. Der Höhenunterschied zwischen der Verladezone und der Ladefläche müssen vom entladenden Flurförderzeug ausgeglichen werden, wobei eine Einfahrt in den Waggon nicht möglich ist. Unter Einsatz von überlangen Gabeln wird die Aufnahme von bis zu drei Paletten hintereinander ermöglicht, wodurch jeweils eine vollständige Reihe ausgeladen werden kann. Die Ladung wird auf Paletten nach DIN EN 13698-1 geliefert. Die Ladehilfsmittel zeigen deutliche Gebrauchsspuren und weisen häufig Beschädigungen auf.



Bild 2.67: Praxistest im Logistikzentrum Stadthagen

Die an den Industrie-Demonstrator gestellte Aufgabe war die automatische Entladung eines Abteils des Güterwaggon. Da die Abläufe für den Einsatz von normal- und überlangen Gabeln analog verlaufen, ergibt sich für die automatische Entladung

in beiden Fällen ein nahezu identischer Vorgang. Im Rahmen des Versuches wurde daher nur die vordere Kante des Waggons mit Paletten bestückt, da der Industriedemonstrator auf Grund konstruktiver Einschränkungen bislang nicht mit überlangen Gabeln eingesetzt werden kann. Jede der Paletten stand damit symbolisch für eine ganze Reihe (Bild 2.66).

Neben der Einrichtung der Reflektormarken-Navigation im Bereich vor dem Güterwaggon mussten vor allem der Gabelhub und die Ausrichtung der Scanebene auf die Höhe der Ladefläche eingestellt werden. Die anschließende automatisierte Entladung verlief erfolgreich. Auch die teilweise beschädigten Paletten wurden erkannt.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wesentlichen Ausgaben des Vorhabens sind die Personalkosten in den unterschiedlichen Fachbereichen der E&K Automation GmbH und des PSLT an der Leibniz Universität Hannover. Weitere nennenswerte Kostenpunkte sind die beiden zur Erprobung entwickelten Demonstratoren. Die Einzelpositionen sind dem abschließenden Verwendungsnachweis zu entnehmen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Aufgrund der flexibleren Einsetzbarkeit und oft besseren Umsetzbarkeit wird gegenwärtig ein Großteil des jährlichen Güterverkehrsaufkommens in Deutschland mittels Lkw abgewickelt. Obwohl der Verkehrsträger Schiene insbesondere im Langstreckenverkehr wirtschaftlich potentiell deutliche Vorteile bietet, fällt die Entscheidung häufig zu Gunsten der Straße aus. Attraktive Konditionen ergeben sich meist nur für Unternehmen mit direktem Bahnanschluss und mit Sendungseinheiten im Umfang ganzer Güterwaggons. Hohe Kosten durch lange Standzeiten sowie aufwendige manuelle Beladung minimieren zudem die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsträgers. Das Forschungsprojekt präsentiert ein automatisiertes System für die Verladung von Güterwaggons und fördert damit sowohl den Kombinierten Verkehr zwischen Bahn und Lkw als auch den Direktverkehr auf der Schiene. Hierdurch wird eine Verlagerung des Güterverkehrsaufkommens von der Straße auf die Schiene begünstigt.

Aufgrund der weltweit steigenden CO₂-Belastung sowie der zunehmenden und zum Teil übermäßigen Beanspruchung der Straßenverkehrs-Infrastruktur, sind dringend Konzepte erforderlich, die eine Nutzung des alternativen Verkehrsträgers Bahn för-

dern. Zum einen wird dadurch der CO₂-Ausstoß je transportierter Einheit gesenkt und zum anderen die Belastung des Straßenverkehrs durch Lkw-Transporte gemindert. Durch die automatisierte Verladung wird die Attraktivität des Verkehrsträgers Schiene in der Transportlogistik gestärkt, da die Verladung der Sendungseinheiten effizienter gestaltet werden kann.

2.4 Voraussichtliches Nutzen und Verwertbarkeit

Der Nutzen der automatisierten Verladung mit Güterwaggons kann sich sowohl in ökologischer und ökonomischer Hinsicht entfalten. Durch die Forschungsergebnisse kann die Nutzung des Verkehrsträgers Schiene gestärkt werden, wenn die entsprechenden Verladesysteme an den Anbindungspunkten implementiert werden. Damit ist eine Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene zu erwarten.

Unternehmen mit direkter Anbindung an das Schienennetz bietet sich die Alternative des Direktverkehrs auf der Schiene. In vielen Fällen wird bisher allerdings trotzdem der Transport mittels Lkw vorgezogen. Mit dem neuartigen FTS-Verladesystem wird die Unternehmenslogistik über eine neue Verladetechnik verfügen, die es ermöglicht, die Güterwaggons effizient, flexibel und automatisiert zu be- und entladen. Die automatisierte Verladung ermöglicht deutliche Einsparungen im Bereich der Personalkosten und erhöht die Verladesicherheit.

Ein praktikables Konzept, das den Einsatz des Verkehrsträgers Schiene auch für Unternehmen ohne direkten Bahnanschluss erschließt, ist der Kombinierte Verkehr nach dem Modell Straße-Schiene-Straße. Die flächendeckende Verfügbarkeit des Lkw wird hier mit den ökologischen und ökonomischen Vorteilen des Transports per Bahn im Langstreckenverkehr verbunden. Bisher konnte dieses Verfahren jedoch nur für Container und Wechselbehälter nennenswerte Akzeptanz erzielen. Ein manuelles Umladen der einzelnen in der nationalen Distribution dominierenden Ladeeinheiten auf Paletten oder in Gitterbox ist in den meisten Fällen keine effiziente Alternative zum reinen Transport auf der Straße. Das Forschungsprojekt präsentiert hier einen automatisierten Ansatz, der sowohl die Kosten der Verladung reduziert als auch zur Erhöhung der Transportsicherheit beiträgt.

Das automatisierte Verladesystem zeigt zudem den Vorteil zeitunabhängiger Einsatzbarkeit auf. Ebenso sind Umgebungsbedingungen wie Beleuchtung und eine

beheizte Arbeitsumgebung nicht erforderlich. Die Ergebnisse ermöglichen beispielsweise den Einsatz von Fahrerlosen Flurförderzeugen zur Verladung von bereit gestellten Güterwaggons über Nacht in einer unbeleuchteten Verladezone, ohne die Sicherheit der Verladung zu reduzieren.

Unternehmen, die ihren Materialfluss mit dem Einsatz Fahrerloser Flurförderzeuge realisieren, können die Fahrzeuge der automatischen Verladung direkt in die Intralogistik mit einbeziehen. Es entfallen die Schnittstellen zwischen der Verladezone und den restlichen Unternehmensbereichen. Dies spart Zeit und Kosten.

Von den aus dem Forschungsvorhaben resultierenden Entwicklungen und Erkenntnissen wird die gesamte FTS-Branche, die von mittelständischen Unternehmen geprägt ist, Impulse für Neuentwicklungen und innovative Applikationen erhalten. Damit werden von den Ergebnissen insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, kurz KMU, profitieren. Neben einer Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen im internationalen Vergleich ist daher von der Sicherung bestehender und der Schaffung zusätzlicher qualifizierter Arbeitsplätze insbesondere in den Bereichen Produktion, Entwicklung und Vertrieb auszugehen.

Anwendungen für das neue FTS-Verladesystem ergeben sich europaweit in allen Branchen immer dort, wo hohe Umschlagleistungen bei der Be- und Entladung von Güterwaggons zu erbringen sind. Es liegen bereits Interessensbekundungen von der VW Nutzfahrzeuge AG, der Daimler AG und der Floragard Vertriebs GmbH vor. Dies unterstreicht, dass ein erhebliches Interesse der Wirtschaft für flexible, automatisierte Verladungen in Form des FTS-Verladesystems vorliegt.

2.5 Fortschritt bei anderen Stellen

Bei dem Forschungsprojekt AutoVer handelt es sich um ein neuartiges Konzept. Dem Zuwendungsempfänger sind während der Projektlaufzeit keine Arbeiten anderer Stellen bekannt geworden, die sich mit der automatischen Verladung von Güterwaggons befassen. Ob und in welcher Form andere Stellen korrespondierende Projekte unter weitest gehendem Ausschluss der Öffentlichkeit durchführen, entzieht sich der Kenntnisnahme des Zuwendungsempfängers.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Buhrs, S.: Entwicklung eines autonomen mobilen Roboters für den automatisierten Umschlag von palettierten Gütern. Eingereichte Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2011

Schulze, L.: Verbundprojekt AutoVer, Abschlussveranstaltung Förderbekanntmachung „Intelligente Logistik“, BMWi, Berlin, 2011