



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



Diplomarbeit

Entwicklung einer Manipulationsvorrichtung für 20-Fuß-Container

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Kartnig

(E307 Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung,
Forschungsbereich Konstruktionslehre, Fördertechnik und Ecodesign)

Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Decker

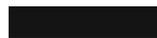
(E307 Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung,
Forschungsgruppe Konstruktionslehre und Fördertechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Bernhard Klug B.Sc.



Wien, im März 2025

Bernhard Klug B.Sc.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Eidesstattliche Erklärung

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde.

Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einem_r Beurteiler_in zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachter_innen beurteilten Arbeit überein.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, im März 2025

Bernhard Klug B.Sc.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich auf unterschiedlichste Weise bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit unterstützt haben.

Mein Dank gebührt Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Herrn Georg Kartnig und Herrn Dipl.-Ing. Dr. Klaus Decker für die Betreuung meiner Diplomarbeit. Der inhaltliche Austausch, die konstruktive Kritik und fachliche Begleitung haben mir bei dem Verfassen der Arbeit geholfen.

Ebenfalls möchte ich meinen Kommilitonen Johannes Schwarzmann und Kaan Babayigit für die vorausgegangene Aufarbeitung der Ausgangsbedingungen im Rahmen deren studentischen Arbeit bedanken.

Abschließend danke ich meiner Familie, die mir das Studium ermöglicht hat und mir in jeder Situation unterstützend zur Seite steht.

In der vorliegenden Arbeit wird darauf verzichtet, bei Personenbezeichnungen sowohl die weibliche als auch die männliche und diverse Form zu nennen. Das generische Maskulinum adressiert alle Geschlechter, sofern dies nicht explizit ausgeschlossen wird.

Kurzfassung

In der D-A-CH-Region weist der derzeitige Umschlagvorgang von Containern zwischen Eisenbahn und LKW einen geringen Automatisierungsgrad auf, insbesondere im Vergleich zu Umschlagprozessen in Häfen. Ausgangsbasis dieser Arbeit ist eine Anforderungsliste mit Forderungen und Wünschen, die sich aus den Rahmen- und Umgebungsbedingungen von Eisenbahn-/LKW-Umschlagplätzen ableiten. Gefordert wird ein Umschlagprozess, bei dem eine Person durch Steuerung eines Containerumsetzers einen Container aufnehmen und umschlagen kann. Ziel dieser Arbeit ist die methodische Entwicklung eines Konzeptes für eine Container-Manipulationsvorrichtung eines entsprechenden Containerumsetzers. Eine initiale Recherche zum Stand der Technik hat das vorliegende Problem verdeutlicht, da keine geeigneten Lösungen identifiziert wurden. Aktuelle Normen für die Containermanipulation sowie eine angepasste Anforderungsliste bilden die Grundlage zur Konzipierung einer Manipulationsvorrichtung. Die identifizierte Gesamtfunktion „Container manipulieren“ wird in eine Vielzahl von Teil-, und Nebenfunktionen aufgeteilt, für die anschließend Wirkprinzipien gesucht werden. Durch eine Analyse mittels einer Auswahlliste sowie einer Verträglichkeitsmatrix wird ein finaler morphologischer Kasten aufgestellt, aus dem günstige Gesamtkombinationen abgeleitet werden. Schlussendlich werden drei Varianten konzipiert, zwei davon weisen eine Top-lift Aufnahme und eine weist eine Side-lift-2 Aufnahme entsprechend der ISO 3874:2017 auf. Alle drei Varianten erfüllen die Anforderungen der Anforderungsliste und werden abschließend einer Bewertung hinsichtlich der technischen Wertigkeit unterzogen. Die höchstbewertete Variante weist einen Teleskoparm als Hebevorrichtung auf, der mittels Führungsmittel mit einer Aufnahmevorrichtung verbunden ist, die durch die Side-lift-2 Aufnahme einen Container aufnimmt. Die vorliegende Arbeit bietet die Grundlage der weiteren Konzipierung eines Abstützungssystems für den Containerumsetzer sowie für den weiteren methodischen Entwicklungsprozess eines der drei Konzepte.

Abstract

In the D-A-CH region, the common transshipment process of containers between rail and truck has a low degree of automation, especially compared to transshipment processes in ports. The starting point for this thesis is a requirement-list comprising requirements and wishes derived from the environmental and general conditions of rail/truck transshipment points. The goal is a handling process in which a person can manipulate a container by controlling a container handler device. The aim of this thesis is the methodical development of a concept for a container manipulation device of a corresponding container handler. Initial research into the state of the art has highlighted the problem at hand, as no suitable solutions have been identified. Current standards for container manipulation and an adapted list of requirements form the basis for the design of a manipulation device. The overall function “container manipulation” is divided into sub-functions and secondary functions, for which operating principles are then sought. Through an analysis using a selection list and a compatibility matrix, a final morphological box is created from which favorable combinations are derived. Finally, three variants are designed, two of which comprise a top-lift mount, and one has a side-lift-2 mount in accordance with ISO 3874:2017. All three variants meet the requirements of the list of requirements and are then assessed in terms of their technical value. The variant with the highest rating comprises a telescopic arm as a lifting device, which is connected to a pick-up device by means of links, which picks up a container through the side-lift pick-up. The present thesis provides the basis for the further design of a support system for the container mover as well as for the further methodical development process of one of the three concepts.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Aufbau und Struktur der Arbeit	2
2	Ausgangssituation	3
2.1	Version 1 der Anforderungsliste eines Containerumsetzers	3
2.1.1	Grundlegendes	3
2.1.2	Geometrie	5
2.1.3	Masse eines Containerumlagesystems	5
2.1.4	Kinematik	6
2.1.5	Abstützdruck	6
3	Stand der Technik	8
3.1	Firmenübersicht	8
3.1.1	BOXmover GmbH	8
3.1.2	Rail Cargo Group	9
3.1.3	InnovaTrain AG	10
3.1.4	Steelbro	11
3.1.5	Hammar Maskin	13
3.1.6	Megalift	15
3.1.7	Kalmar	16
3.2	Baugruppen	17
3.2.1	Aufnahmevorrichtung	17
3.2.2	Verbindungsvorrichtung	18
3.2.3	Hebevorrichtung	19
3.2.4	Stützvorrichtung	19
3.3	ISO 3874:2017	21
3.3.1	Allgemeines	21
3.3.2	Überblick Manipulationsvarianten	22
4	Klären der Aufgabenstellung	24
4.1	Schematischer Ablauf des Umschlagevorganges	24
4.1.1	Grundlagen des Szenarios	24
4.2	Anforderungsliste-V2 eines Containerumsetzers	25
4.2.1	Grundlegendes	25
4.2.2	Masse	26
4.2.3	Kinematik	27
4.2.4	Geometrie	28
4.3	Aufgabenstellung	28
5	Konzipierung der Manipulationsvorrichtung	30
5.1	Definition	30

5.1.1	Gesamtfunktion.....	31
5.2	Teilfunktionen	33
5.3	Kreation	36
5.3.1	Wirkprinzipien der Teilfunktionen	37
5.3.2	Auswahlliste und Verträglichkeitsmatrix – Teilfunktionen	53
5.3.3	Kombinationen und Auswahl	58
5.4	Konkretisierung.....	60
5.4.1	Variante 1, Zwei-Arm Anschlagmittel	61
5.4.2	Variante 2, Zwei-Arm Führungselemente.....	67
5.4.3	Variante 3, Teleskop-Ein-Arm	69
5.4.4	Analyse hinsichtlich der Realisierbarkeit	72
5.5	Bewertung nach VDI 2225:1998.....	77
5.5.1	Bewertungskriterien.....	77
5.5.2	Bewertung der Konzepte	81
5.6	Auswertung und Diskussion	83
6	Zusammenfassung und Ausblick	85
7	Anhang	89
8	Literaturverzeichnis	95
9	Abbildungsverzeichnis	98
10	Tabellenverzeichnis	100
11	Abkürzungsverzeichnis	101

1 Einleitung

Mit Voranschreiten der Digitalisierung und Automatisierung werden immer mehr Bereiche der Logistik, wie der Umschlag von Containern, optimiert. Insbesondere der Umschlag in den Häfen vom Schiff auf LKWs oder Eisenbahnwaggons ist weitgehend automatisiert. In Europa und in der D-A-CH-Region ist jedoch häufig ein Umschlag von Containern von der Bahn auf den LKW erforderlich.

Allein das Güterzentrum Wien Süd setzt jährlich 210 000 Ladeeinheiten um, eine Erweiterung auf 310 000 ist geplant. Herausfordernd beim Umschlagen von Containern von Eisenbahnwaggons auf LKWs ist der derzeitige hohe Bedarf an manuellen Tätigkeiten sowie die oftmals gegebenen räumlichen Einschränkungen aufgrund von Oberleitungen oder anderen Infrastruktureinrichtungen. Besonders bei kleineren Güterbahnhöfen, die nicht für ein automatisiertes Umschlagen konzipiert wurden, ist dies zutreffend.¹

1.1 Problemstellung

Im Rahmen einer studentischen Projektarbeit „Anforderungsliste eines Containerumsetzers“ am Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung der Technischen Universität Wien wurde eine Analyse der örtlichen Rahmenbedingungen durchgeführt und eine Anforderungsliste für einen Containerumsetzer erstellt. Durch die identifizierten Anforderungen ergeben sich Eigenschaften für einen Containerumsetzer, die es zu evaluieren gilt.

Besonders die Kombination aus einer geringen Maximalarbeitshöhe sowie den geforderten verschiedenen Manipulationsvarianten und dem Wunsch nach einem möglichst hohen Automatisierungsgrad stellen eine Herausforderung dar. Weiters ist gefordert, dass der Containerumsetzer primär dem Umsetzen von Containern dient und nicht dem Transport über größere Strecken. Dafür soll das Umsetzen selbst deutlich schneller und effizienter ablaufen als beim derzeitigen Stand der Technik. Der Containerumsetzer soll für einen Sattelaufleger, der von einer üblichen Sattelzugmaschine gezogen wird, konzipiert werden.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist Erstellung eines Lösungskonzeptes einer Manipulationsvorrichtung, die den gegebenen Anforderungen Rechnung trägt. Konkrete Ziele sind der Abschluss der ersten zwei Hauptphasen der Produktentwicklung nach der VDI 2221:2019, das Planen und Klären der Aufgabe sowie die Konzipierung, des Entwicklungsprozesses. Die Klärung der Aufgabenstellung wurde bereits in einer Projektarbeit, durch die Erstellung einer Anforderungsliste, bearbeitet und wird im Rahmen dieser Arbeit analysiert und ggfs. adaptiert.

Abgeschlossen wird die Konzipierung durch die Festlegung einer oder mehrerer prinzipiellen Lösungen, in Form von einem oder mehreren Konzepten. Dabei spielt auch die abschließende Bewertung eine kritische Rolle, um die nächste Hauptphase, das Entwerfen, einzuleiten. Es

¹ (ÖBB, 2024)

gilt somit als Ziel der Arbeit die Findung eines Konzeptes einer oder mehrerer Manipulationsvarianten, die nach abschließender Bewertung die Grundlage für den weiteren Entwicklungsprozess darstellen.

In dieser Arbeit wird eine Abstützung des Gesamtsystems nicht behandelt.

1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit

Aufbauend auf die Zielsetzung der Arbeit wird in Kapitel 2 auf die Ausgangssituation eingegangen und es werden die Anforderungen und Wünsche, die in der Anforderungsliste genannt werden, erläutert.

Im Kapitel 3 wird mittels einer Recherche zum Stand der Technik geprüft, ob bereits realisierte Lösungen oder Lösungskonzepte vorhanden sind, die den Anforderungen Rechnung tragen. Dabei werden auch Patente und Patentanmeldungen der identifizierten Firmen geprüft, da oftmals Firmen über ihre tatsächlichen Entwicklungen und Produkte hinaus Schutzansprüche anmelden. Weiters wird die ISO 3874:2017 in Hinblick auf die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit analysiert. Diese beschreibt Methoden der allgemeinen Handhabung und Sicherung von beladenen als auch leeren Containern und stellt damit in der Konzipierungsphase eine entscheidende Grundlage dar.

In Kapitel 4 wird die Aufgabenstellung anhand der in Kapitel 2 und 3 erläuterten Grundlagen geklärt und formuliert. Im Zuge dessen wird eine zweite angepasste Version der Anforderungsliste erstellt.

Mit Kapitel 5 startet die zweite Hauptphase der Produktentwicklung, die Konzipierung, die den größten Anteil der vorliegenden Arbeit ausmacht. Dabei wird entsprechend der VDI 2221:2019 sowie in Anlehnung an die Lehrmeinung der Technischen Universität Wien vorgegangen.

In Kapitel 6 werden Aufgabenstellung, Methode und Ergebnisse zusammengefasst und abschließend ein Ausblick für den weiteren Entwicklungsprozess präsentiert.

In der gesamten Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Leser Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Produktentwicklung und der höheren Konstruktionslehre besitzen.

2 Ausgangssituation

In diesem Kapitel wird die Ausgangssituation vermittelt, die für das Verständnis der Problemstellung sowie den Annahmen und Entscheidungen im Konzipierungsprozess notwendig sind. Die Projektarbeit „Anforderungsliste eines Containerumsetzers“ stellt die Ausgangssituation der vorliegenden Arbeit und dementsprechend den Ausgangspunkt der Entwicklung dar. Einführend werden allgemeine Begriffe für ein einheitliches Verständnis erläutert.

Als Manipulationsvorrichtung wird dabei eine Vorrichtung definiert, die das tatsächliche Manipulieren eines Containers durchführt. Darin enthalten sind die folgenden Unterbaugruppen: Aufnahme-, Verbindungs- und Hebevorrichtungen.

Aufnahmevorrichtungen repräsentieren die direkte Schnittstelle zu den Containern und stehen somit in direktem physischen Kontakt zum Container. Die Aufnahmevorrichtung kann weitere, unter anderem standardisierte Unterkomponenten wie Twistlocks oder ähnliches aufweisen, die beispielsweise einen Container an der Aufnahmevorrichtung sichern.

Verbindungsvorrichtungen verbinden als Schnittstelle die Aufnahmevorrichtungen mit einer Hebevorrichtung. Beispielsweise verbindet ein Gelenk eine Aufnahmevorrichtung mit einer Hebevorrichtung.

Hebevorrichtungen führen die Bewegung bzw. die Manipulation durch und sind mit einer weiteren Verbindungsvorrichtung mit einem Sattelaufleger verbunden.

Nicht in der Manipulationsvorrichtung enthalten sind Stützvorrichtungen, die das Gesamtsystem des Containerumsetzers stützen.

2.1 Version 1 der Anforderungsliste eines Containerumsetzers

Version 1 der Anforderungsliste eines Containerumsetzers kann den nachfolgenden Tabellen entnommen werden. Dabei gliedert sich die Anforderungsliste in die Abschnitte: Grundlegendes, Geometrie, Masse, Kinematik und Abstützdruck. Die einzelnen Abschnitte werden bei der jeweiligen Tabelle, siehe Tabelle 2 bis Tabelle 5, erläutert, die gesamte Anforderungsliste V1 ist im Anhang 1 zu finden.

Da diese Tabellen zitiert werden, sind etwaige Fehler oder Formatierungsunterschiede zu vernachlässigen.

2.1.1 Grundlegendes

Aus dem Abschnitt „Grundlegendes“ der Version 1 der Anforderungsliste lässt sich ableiten, dass die Primärfunktion ein situationsbedingtes Heben, Manipulieren und Senken eines Containers darstellt.

Tabelle 1: Grundlegendes²

0	Container-umsetzer	K. Babayigit, J. Schwarzmann	[14.07.2024 V1]	Version 1		
Auftragsnr.	Produkt	Bearbeiter	Datum	Genehmigt: AL		
Gliederung	FF	Anforderungen Containerumsetzer			Verantwortlichen Klärung durch	
	BF	Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung		V.
ZF						
Grundlegendes	FF	1	Funktion	Situationsbedingtes Heben, Manipulieren und Senken eines Containers	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	2	Manipulationsvarianten	Verladen des Containers: 1. vom Containerwagen auf den Umsetzer (anschließend auf einen LKW-Sattelanhängen; oder umgekehrt) 2. von einem Zwischenlager auf den Umsetzer (oder umgekehrt) 3. vom Umsetzer auf einen LKW-Sattelanhängen (oder umgekehrt) 4. vom Umsetzer auf einen Containerstapel (oder umgekehrt)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	3	Anwendungsort	Umschlagbahnhöfe in Österreich (Terminals wie Wien Süd und Wels)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	4	Anwendungsort	kleinere Umschlagpunkte, an denen kein Portalkran vorhanden ist	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	5	Container-Typen	"20-Fuß Container" ISO 668 1CC 6.058x2.438x2.591 [LxBxH in mm]	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	6	Container-Masse	≤ 2.250kg (Eigenmasse) ≤ 30.480kg (maximale Gesamtmasse)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	7	Beidseitiges Operieren	Der Umsetzer kann auf beiden Seiten, sowohl auf rechter als auch auf linker Seite der Fahrtrichtung um-/ ab-/ aufladen Im Idealfall kann der Container somit von einem Containerwagen direkt auf einen LKW-Sattelanhängen geladen werden	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	8	Autonomie	Vollautomatisierte Herstellung einer Verbindung zwischen Umsetzer und Container, anschließendes automatisches Verladen (oder umgekehrt)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

Verschiedene Manipulationsvarianten werden gefordert, wobei jeweils beide Richtungen möglich sein müssen. In anderen Worten, es muss eine Manipulation eines Containers von einem Containerwagen auf den Umsetzer erfolgen sowie ein direkt anschließendes Umsetzen auf einen LKW möglich sein. Weiters muss auch die Manipulation zwischen einem Zwischenlager und dem Umsetzer erfolgen können sowie die Manipulation zwischen dem Umsetzer und einem LKW-Sattelanhängen als auch zwischen dem Umsetzer und einem Containerstapel.³

Als geforderte Umschlagumgebung werden Bahnhöfe, welche speziell für den Umschlag gebaut sind, genannt. Die Terminals Wien Süd und Wels werden als Beispiele aufgeführt. Der Umschlag an Orten, die keine besonders günstigen Umgebungsbedingungen aufweisen, wird als Wunsch angegeben. An solchen ist unter anderem mit einer Bodenbefestigung mit Schotter anstelle von Beton zu rechnen. Weiters kann keine Höhendifferenz zwischen Schienenoberkante und Umschlagposition angenommen werden.⁴

Als geforderter Container wird ein 20-Fuß (fortan 20') Container nach ISO 668:2019 der Klasse 1CC (20 foot standard) mit den Maßen 6 058 x 2 438 x 2 591 [L x B x H in mm] angegeben. Die geforderte maximale Gesamtmasse ist mit 30 480 kg angegeben.⁵

² (Schwarzmann & Babayigit, 2024), Seite 60

³ (Schwarzmann & Babayigit, 2024),

⁴ Ebd.

⁵ Ebd.

2.1.2 Geometrie

Tabelle 2: Geometrie⁶

Geometrie	BF	9	Länge des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 16,50m (Zugmaschine mit Sattelanhänger)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	10	Breite des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 2,55m (für nicht klimatisierte Verkehrsmittel); ≤ 2,60m (für klimatisierte Verkehrsmittel)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	11	Höhe des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 4,000m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	12	Höhe während der Manipulation auf Flächen mit Oberleitungen	≤ 4,700m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	13	Höhe während der Manipulation auf Flächen ohne Oberleitungen	≤ 6,000m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	14	Breite der Manipulationsarme (wenn zwischen verladenen Containern operiert werden muss)	≤ 75mm	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

Im Abschnitt Geometrie werden die verschiedenen Maße angeführt, die einzuhalten sind, wobei verschiedene Maße für unterschiedliche Tätigkeiten gegeben sind. So darf das Umlagesystem während einer Fahrt auf Flächen, auf denen die StVO gilt, die dafür maximal zulässigen Dimensionen nicht überschreiten. Während der Manipulation von Containern gilt es zu beachten, ob Oberleitungen vorhanden sind oder nicht. Die Maximalhöhe von 4,7 m bei Oberleitungen wird angenommen, so dass das übliche Mindestmaß von Oberleitungen mit 4,8 m nicht erreicht wird. Für den Fall, dass keine Oberleitungen vorhanden sind, wird die geforderte Maximalhöhe mit 6 m angegeben, so dass zwei aufeinander gestapelte Container, mit einem Spiel von rund 0,8 m bei den oberen Eckbeschlägen, verwendet werden können.

Falls zwischen zwei nebeneinanderstehenden Containern ein Manipulationsarm durchgreifen muss, darf dieser eine maximale Operationsbreite von 75 mm aufweisen.⁷

2.1.3 Masse eines Containerumlagesystems

Tabelle 3: Masse⁸

Masse	BF	15	Gesamtmasse des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 40,000t (Zugmaschine mit Anhänger oder "Gesamtmasse") ≤ 44,000t (Bei Vor- und Nachlaufverkehr)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	16	Eigenmasse des Umsetzers (Referenzwert: Reach Stacker statt StVO)	≤ 68,500t	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	17	Masse der Manipulatoreinheit (Referenzwert: Nutzlast-Sattelanhänger statt StVO)	≤ 2,720t (bei maximaler Containerbeladung) ≤ 7,742t (bei z.B. Roggen, Containergesamtmasse = 25,458t)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

Als maximale Masse einer Manipulationseinheit, die auf einem Sattelaufleger angebracht ist, werden 2,72 t angenommen. Dieser Wert ergibt sich aus der Nutzung eines marktüblichen Sattelanhängers beispielsweise dem Fliegel SDS 380 Vario mit einer Nutzlast von rund 33 t, bei dem Umschlag eines maximal beladenen Containers.⁹

⁶ (Schwarzmann & Babayigit, 2024), Seite 60

⁷ Ebd.

⁸ (Schwarzmann & Babayigit, 2024), Seite 60

⁹ (Schwarzmann & Babayigit, 2024)

2.1.4 Kinematik

Tabelle 4: Kinematik¹⁰

Kinematik	FF	18	ΔX	$= 0,000\text{m}$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	19	ΔX (bei voller Automatisierung)	$0,000\text{m} \leq \Delta X \leq 0,400\text{m}$ (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	20	ΔY	$2,985\text{m} \leq \Delta Y \leq 5,763\text{m}$ (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	21	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs auf gleicher Höhe wie Bahnsteig)	$0,000\text{m} \leq \Delta Z \leq 2,591\text{m}$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	22	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs unter Bahnsteig)	$-0,760 \leq \Delta Z \leq 2,591\text{m}$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

ΔX repräsentiert dabei den Versatz beim Umschlagevorgang in Längsrichtung des LKWs bzw. des Containers. Gefordert ist kein ΔX , jedoch ist als Wunsch bei einer vollständig automatisierten Lösung ein Bereich von 0-0,4 m gegeben.¹¹

ΔY entspricht der Distanz von der Containermitte eines Containers, der an einem Ausgangsort steht, bis zur Mittelachse des LKWs. Als Ausgangsort kann beispielsweise ein Containerwaggon dienen. Es ist dabei gefordert, dass jeder Wert in dem gegebenen Intervall von 2,985 und 5,763 m angenommen werden kann.¹²

ΔZ entspricht der Höhendifferenz, wobei ein Intervall von 0-2,591 m gefordert ist. Als Wunsch ist das Intervall -0,76-2,591 m angegeben. Das Nullniveau ist dabei der Untergrund, im Wesentlichen die Bodenoberfläche, auf der die Umschlaglösung steht. Das negative Wunsch-Niveau ist dabei auf das Szenario, dass die Schienenoberkante unterhalb des Untergrundes des Umschlagessystems liegt, zurückzuführen.¹³

2.1.5 Abstützdruk

Tabelle 5: Abstützdruk¹⁴

Abstützdruk	BF	23	Abstützung im Gleisbereich (Schotterbett)	$\leq 30\text{N/cm}^2$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	24	Abstützung auf Vignolschiene	$\leq 32.480\text{N/cm}^2$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	25	Abstützung auf Schotter(-straße)	$\leq 35\text{N/cm}^2$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	26	Abstützung auf Asphalt(-straße)	$\leq 700\text{N/cm}^2$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	27	Abstützung auf Beton(-straße)	$\leq 3.700\text{N/cm}^2$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

Der Abstützdruk ist bei der Wahl der Abstützungslösung zu beachten, die nicht Teil dieses Entwicklungsprojektes ist. Der Vollständigkeit halber werden in Tabelle 5 die Maximalgrenzen für Abstützungen auf verschiedenen Untergründen angegeben.¹⁵

¹⁰ (Schwarzmann & Babayigit, 2024), Seite 60

¹¹ (Schwarzmann & Babayigit, 2024)

¹² Ebd.

¹³ Ebd.

¹⁴ (Schwarzmann & Babayigit, 2024), Seite 60

¹⁵ (Schwarzmann & Babayigit, 2024)

Die Ausgangsbasis der Anforderungen an einen Containerumsetzer ist somit erläutert und analysiert. Folgend werden nun die Ergebnisse der Recherche zum Stand der Technik und bereits vorhandene mögliche Lösungen zu den vorliegenden Anforderungen dargestellt.

3 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Recherche zum Stand der Technik dargestellt. Die Recherche überprüft, ob bereits Lösungsansätze zu den im vorherigen Kapitel dargestellten Forderungen vorhanden sind. Die Recherche zum Stand der Technik zeigt die identifizierten Lösungsansätze, dabei wird zwischen den bereits erläuterten Baugruppen, Aufnahme-, Verbindungs- und Hebevorrichtungen sowie Stützvorrichtungen, unterschieden. Die Recherche zeigt, dass eine Vielzahl an Firmen mit unterschiedlichen und teilweise ähnlichen Lösungsansätzen vorhanden ist. Die einzelnen Lösungsansätze der Firmen sind im folgenden Kapitel 3.1 einleitend beschrieben, im Kapitel 3.2 werden die Erkenntnisse zusammengefasst und entsprechend den Baugruppen aufgeschlüsselt. Kapitel 3.3 offenbart den anerkannten Stand der Technik zu allgemeinen Varianten der Containermanipulation durch die ISO 3874:2017.

3.1 Firmenübersicht

Dieses Kapitel zeigt den recherchierten Stand der Technik nach Firmen gegliedert. Dabei wurden auch eventuelle Patente/Patentanmeldungen der jeweiligen Firmen evaluiert.

3.1.1 BOXmover GmbH



Abbildung 1: BOXmover BM16¹⁶

Laut Hersteller bietet der in Abbildung 1 dargestellte BOXmover.eu-BM16 erhebliche Vorteile für den Transport mit Wechselbehältern/Containern, die besonders für den inländischen Verkehr geeignet sind. Die Technologie ermöglicht laut Hersteller das flexible Be- und Entladen von Ladeeinheiten auf jedem Höhenniveau und die Querbalkenkonstruktion sorgt für einen horizontal ausbalancierten Umschlag. Außerdem erwähnt der Hersteller die Reduktion der Personalkosten durch einfache Handhabung. Mit einem geringen Aufbaugewicht

¹⁶ (Hubauer, 2024)

beeinträchtigt die Umschlagvorrichtung die Nutzlast des LKWs nicht, wodurch eine Kompatibilität mit marktüblichen LKWs erreicht wird.¹⁷



Abbildung 2: BOX-mover-BM Bahn¹⁸

Laut Hersteller bietet die BOXmover.BM Bahn-Lösung, dargestellt in Abbildung 2, die auf Eisenbahnwaggons montiert wird, eine signifikante Effizienzsteigerung im Containerumschlag von der Straße zur Schiene. Diese Technologie ermöglicht das beidseitige Umschlagen von Containern verschiedener Größen (20', 30', 40'), angeblich innerhalb von 5 Minuten. Durch die Installation als optionale Ausrüstung von Containertragwagen ist auch dieses System nachrüstbar und kann auf Standardwaggons eingerichtet werden.¹⁹

Es wurden zum Zeitpunkt der Recherche keine relevanten Patente identifiziert.

3.1.2 Rail Cargo Group

Laut der Rail Cargo Group ermöglicht das „Mobiler-System“, dargestellt in Abbildung 3, einen schnellen und unkomplizierten Umschlag von Containern zwischen Lkw und Eisenbahnwaggons ohne den Einsatz von Kranen oder eigenen Gleisanschlüssen.



Abbildung 3: Mobiler²⁰

¹⁷ (Hubauer, 2024)

¹⁸ Ebd.

¹⁹ Ebd.

²⁰ (Rail-Cargo-Group, 2024)

Dabei wird mittels einer Förderschiene ein Container vom LKW auf einen Eisenbahnwagon verladen. Bei dieser Lösung, wie in Abbildung 3 ersichtlich, muss der Container an die Förderschiene angepasst sein, um manipuliert zu werden. Nicht klar ersichtlich ist, wie weit der Container überstehen kann ohne, dass der LKW ins Kippen kommt. Naheliegender wäre, dass der Container ab einer gewissen ausgefahrenen Distanz auf dem Eisenbahnwagon aufgestützt wird, jedoch ist fraglich, ob dies mit marktüblichen, nicht angepassten, Eisenbahnwagons realisiert wird.²¹

Es wurden keine relevanten Patente der RAIL CARGO AUSTRIA AG, zum Zeitpunkt der Recherche, gefunden.

3.1.3 InnovaTrain AG



Abbildung 4: ContainerMover²²

Der ContainerMover der InnovaTrain AG, siehe Abbildung 4, ist ein Umschlaggerät, das auf einem LKW-Chassis montiert wird. Es dient dem direkten Umschlag von Containern zwischen Lkw und Bahn. Das System nutzt zwei Förderschiene, um den Container umzuschlagen. Hierbei ist auch zu erkennen, dass ein spezieller Rahmen auf einem marktüblichen Eisenbahnwagon aufgelegt werden muss, um die Technologie zu verwenden.²³

Die InnovaTrain AG hat ein Patent (CH703859B1) angemeldet, das Aspekte des ContainerMover schützt, sowie einige Patentanmeldungen, die Bezug zu Containern und deren Lagerung haben, jedoch ist keine davon zum Zeitpunkt der Recherche erteilt. Weiters wird den Patentanmeldungen keine Relevanz für diese Arbeit zugesprochen.

²¹ (Rail-Cargo-Group, 2024)

²² (van den Bold, 2024)

²³ Ebd.

Der Vollständigkeitshalber ist der öffentlich einsehbare erste unabhängige Anspruch des erteilten Schweizer Patentes CH703859B1 angegeben:

1. Umschlagvorrichtung für einen Horizontalumschlag bei einem Container-Transportsystem im Bahn- und/oder Strassenbereich, mit zumindest einer Verschub- und Hebeplatte (7), die lösbar auf einem Trägerfahrzeug, insbesondere LKW (1), anbringbar ist, zumindest einem Hubadapter (9), der lösbar auf einem Container-Tragwagen (5) oder an einem Standort anbringbar ist, zu dem bzw. von dem ein Wechsel eines Containers (3), insbesondere ISO-Containers oder Wechselbehälters, vorgesehen ist, und mit welchem die zumindest eine Verschub- und Hebeplatte (7) wechselwirken kann, und hydraulischen, pneumatischen oder elektromechanischen Mitteln zum Anheben und Verschieben der zumindest einen Verschub- und Hebeplatte (7) zum Anheben und Verschieben des Containers (3). (Schweiz Patentnr. CH 703 859 B1, 2010), (Seite 6, Anspruch 1).

3.1.4 Steelbro

Die Firma Steelbro bietet eine Bandbreite an Umschlagelösungen für Containern mittels LKWs an, wobei einige Produkte speziell auf den Umschlag von Containern von LKWs auf Eisenbahnwaggons und umgekehrt zugeschnitten ist.²⁴



Abbildung 5: Brückenbein²⁵

Der in Abbildung 5 dargestellte SB363-Rail-Sidelifter ist speziell für den Einsatz im Schienenverkehr konzipiert und kann sowohl 20' als auch 40' Container umschlagen. Weiters bietet das Produkt die Möglichkeit, Container zu stapeln. Der Umschlag von Containern im Bahnbetrieb ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt.²⁶

²⁴ (Steelbro, 2024)

²⁵ Ebd

²⁶ Ebd.

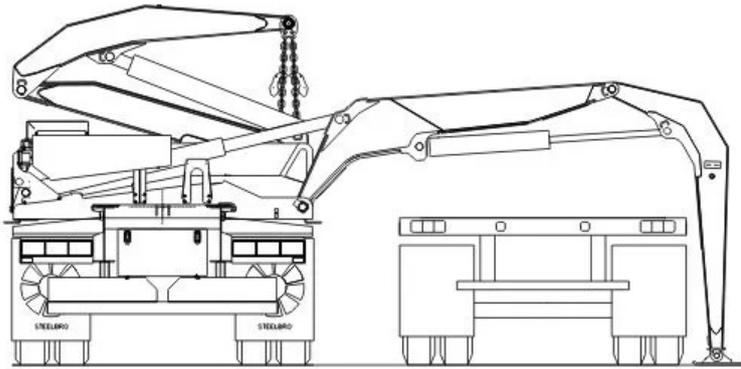


Abbildung 6: Brückenbein Querschnitt²⁷

Ein Stützbein bzw. Brückenbein wird durch die Zwischenräume der Waggons durchgeführt und stützt somit den Kran. Ein Kran hebt den Container an, wobei dieser händisch mittels Ketten fixiert wird.²⁸

Der Sidelifter-450 ist ein weiteres Produkt für den Umschlag mit Eisenbahnwaggons. Hierbei wird der Kran auf dem Eisenbahnwaggon abgestützt, siehe Abbildung 7, und kann somit einen Container umschlagen.²⁹



Abbildung 7: Sidelifter-450³⁰

Der Sidelifter-450 ist bei Bedarf um zwei Stützvorrichtungen erweiterbar, die zusätzlich abstützen.

²⁷ (Steelbro, 2024)

²⁸ Ebd.

²⁹ Ebd.

³⁰ Ebd.

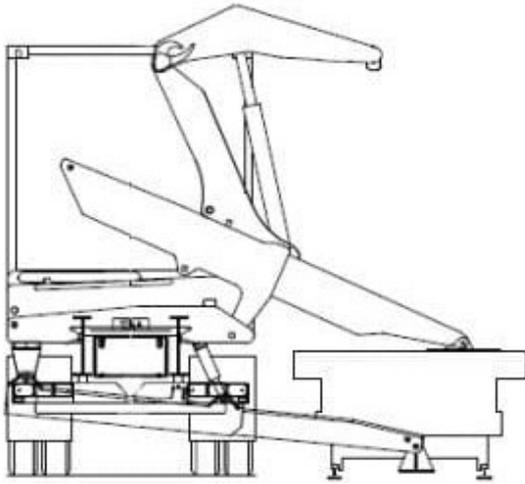


Abbildung 8: Rail Underbelly Leg³¹

Das in Abbildung 8 schematisch dargestellte Rail-Underbelly-Leg ist eine der optionalen Stabilisierungsvorrichtungen für den Sidelifter-450, die speziell für den Einsatz in Bereichen mit begrenztem Platz konzipiert wurde. Dieser Stabilisator ermöglicht das Heben schwerer Container zu und von Eisenbahnwaggons.³²

Steelbro hält ein neuseeländisches Patent (NZ614801B) bzgl. dem Verbinden von Containern sowie einige weitere Patentanmeldungen, wobei keines der Dokumente zum Zeitpunkt der Recherche inhaltlich relevant erscheinen.

3.1.5 Hammar Maskin

Hammar Maskin bietet ebenfalls eine breitere Palette an Lösungsansätzen an.



Abbildung 9: Hammar 140³³

³¹ (Steelbro, 2024)

³² Ebd.

³³ (Hammar Maskin, 2024)

Der in Abbildung 9 dargestellte Hammar 140 ist eine Clip-on-Einheit und speziell für marktübliche LKW-Chassis konzipiert. Die Vorrichtung kann auf Chassis oder Anhänger aufgesetzt und über standardisierte Twistlocks verriegelt wird. Mittels Stützbeinen, die sich auf einem Eisenbahnwaggon abstützen können, kann ein Container umgeschlagen werden. Es wird ebenfalls ein Kran verwendet, an dem ein Container händisch mit Ketten befestigt wird.³⁴



Abbildung 10: Hammar 155³⁵

Der in Abbildung 10 dargestellte Hammar 155 weist zwei Stützbeine, die über einen Eisenbahnwaggon gestützt werden, auf. Auch bei dieser Lösung wird ein Kran mit Ketten zur Fixierung des Containers für den Umschlag verwendet.³⁶

Hammar Maskin hält zwei Patente, die Aspekte einer Umschlagevorrichtung, die von einem LKW gezogen wird, schützen.

Das Patent EP3330211B1 schützt dabei die Kranvorrichtung, der erst unabhängige Anspruch ist vollständigheitshalber folgend zitiert.

1. *Tragstruktur (1, 501) für ein Fahrzeug, das mit einem Lastkran (2, 502) mit einem Kranfuß ausgestattet ist, wobei die Tragstruktur Folgendes umfasst:
einen Stützbalken (4, 504), der mit dem Kranfuß verbindbar ist;
ein Stützbein (6, 506),
wobei ein proximales Ende (22, 522) des Stützbeins an einem Schwenkpunkt (10, 510) mit dem Stützbalken derart verbunden ist, dass das Stützbein um den Schwenkpunkt herum relativ zum Stützbalken schwenkbar ist;
eine mit dem Stützbein verbundene Betätigungsvorrichtung (12, 512) zum Schwenken des Stützbeins relativ zum Stützbalken;
wobei die Betätigungsvorrichtung ausgelegt ist, um durch Justieren einer Verlängerung der Betätigungsvorrichtung die Tragstruktur in zumindest einem Tunnel-Modus und einem Diagonal-Modus derart anzuordnen, dass:
im Tunnel-Modus, ein distales Ende (24, 524) des Stützbeins dazu positioniert ist, an einer Stützfläche anzuliegen, auf welcher das Fahrzeug steht; und dadurch gekennzeichnet, dass*

³⁴ (Hammar Maskin, 2024)

³⁵ Ebd.

³⁶ Ebd.

im Diagonal-Modus, ein Knie (8, 508) der Tragstruktur oder zumindest ein Teil einer lateralen Seite des Stützbeins dazu positioniert ist, an die Stützfläche anzuliegen, auf welcher das Fahrzeug steht. (Europa Patentnr. EP 3 330 211 B1, 2016), Seite 7&8 Anspruch1.

Das Patent EP1795436B1 schützt dabei einen LKW-Auflieger (Sattelaufleger), der längsweise verlängert bzw. verkürzt werden kann. Weiters wird eine Kranvorrichtung, gezeigt, die längsverschiebbar auf dem Auflieger angeordnet ist.

Der unabhängige Anspruch 1 ist vollständigkeithalber zitiert:

1. Sattelaufleger (1) zum Transportieren von Containern, der mit einer Zugmaschine verbunden werden kann und ein Schwanenhalsfahrgestell (2) und eine Containerhubvorrichtung mit mindestens einem Kranteil (3), der entlang dem Fahrgestell (2) verschoben werden kann, umfasst, wobei das Fahrgestell Rahmenabschnitte (4, 5) umfasst, die vertikal relativ zueinander verschoben werden und einen Übergang zwischen sich aufweisen, wobei der in der vertikalen Richtung verfügbare Platz für die Antriebsvorrichtung des verschiebbaren Kranteils (3) insbesondere in dem Übergang (6) zwischen den Rahmenabschnitten begrenzt ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschiebung des Kranteils (3) an einem Rahmenabschnitt des Fahrgestells (2) mittels eines linear arbeitenden, in Längsrichtung variablen länglichen Aktuators (7) erfolgt, der sowohl im eingefahrenen als auch im ausgefahrenen Zustand im Wesentlichen innerhalb der Höhenbegrenzungen des Fahrgestells positioniert ist und einen im Wesentlichen konstanten Winkel zu dem Fahrgestell (2) einnimmt, wobei ein vertikal abknickbarer Verbindungsarm (8) an einem Ende mit einem Antriebsteil des Aktuators (7) verbunden ist und am anderen Ende an dem verschiebbaren Kranteil (3) angelenkt ist. (Europa Patentnr. EP 1 795 436 B1, 2006), Seite 5, Patentanspruch 1.

Besonders das zweite zitierte Patent sollte hinsichtlich der Produktentwicklung beachtet werden, falls eine verschiebbare Kranlösung angedacht ist.

Weitere Patente oder Patentanmeldungen werden zum Zeitpunkt der Recherche als nicht relevant erachtet.

3.1.6 Megalift

Die Firma Megalift bietet ebenfalls eine Kranlösung mit Brückenbeinen an, wobei, wie in Abbildung 11 gezeigt, auch eine Abstützung der eingeklappten Brückenbeinen direkt auf dem Eisenbahnwaggon möglich ist.



Abbildung 11: Megalift³⁷

Die Verwendung der Brückenbeine als Stütze für die Krane ist in Abbildung 12 dargestellt. Anhand der Abbildung ist gut erkennbar, dass die Brückenbeine zwischen zwei Containerwaggons hindurch passen.³⁸



Abbildung 12: Megalift Brückenbeine³⁹

Wie bei den bereits erläuterten Kranlösungen werden Ketten, die manuell angebracht werden müssen, zum Anheben der Container verwendet. Laut Hersteller können 20' und 40' Container gehoben werden, sowie auch zwei 20' Container gleichzeitig.⁴⁰

3.1.7 Kalmar

Die Kalmar Germany GmbH stellt verschiedene Containerstapler her, die Container mittels eines Spreaders aufnehmen, siehe Abbildung 13. Dabei ist zu erwähnen, dass diese Containerstapler eigenständige Fahrzeuge sind. Besonders interessant sind jedoch die Aufnahmevorrichtung und das Kippgelenk für den weiteren Entwicklungsprozess.

³⁷ (Megalift, 2024)

³⁸ Ebd.

³⁹ Ebd.

⁴⁰ Ebd.



Abbildung 13: Containerstapler⁴¹

Kalmar hält eine Vielzahl von Patenten die Manipulation von Containern betreffend, jedoch wurde bei einer Recherche kein Dokument gefunden, das als relevant für die vorliegende Arbeit eingestuft wird.

3.2 Baugruppen

Die Ergebnisse der Recherche zum Stand-der-Technik werden in diesem Kapitel nach Baugruppen gelistet, um das Automatisierungspotential einfacher identifizieren zu können. Das Kapitel wird in vier Baugruppen unterteilt: Aufnahme-, Verbindungs-, Hebe- und Stützvorrichtungen.

Lösungsansätze mittels Förderschienen werden nur grob analysiert, da von einer ähnlichen Lösung aufgrund der Anforderungen abgesehen wird.

3.2.1 Aufnahmevorrichtung

Der am meisten verwendete Lösungsansatz für die Aufnahmevorrichtung ist die Verwendung von Ketten, die manuell an den Containern angebracht werden. Dabei werden die Ketten an den Containerseiten, die in der Regel die in Längsrichtung gesehen Vorder- und Hinterseiten sind, mittels Seitenaufnahmen angebracht. Eine Seitenaufnahme, wie sie in Abbildung 14 dargestellt ist, ist ein Standardteil, das marküblich verwendet wird. Diese Seitenaufnahmen können je nach Ausführung und Design an allen Seitenaufnahmepunkten der Container angeordnet werden.

⁴¹ (Kalmar Germany GmbH, 2025)

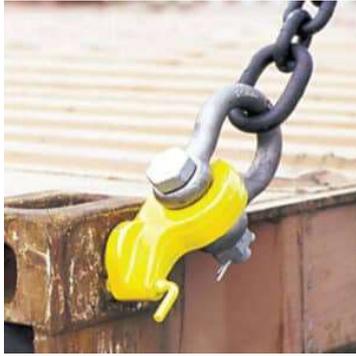


Abbildung 14: Seitenaufnahme mit Haken⁴²

Bei Lösungsansätzen, die bei horizontal laufende Förderschienen verwendet werden, werden die Förderschienen als Aufnahmevorrichtung genutzt. Manipulierte Container liegen auf den Schienen auf und werden gemeinsam mit diesen aufgenommen.

3.2.2 Verbindungsvorrichtung

Bei einer Aufnahme durch Ketten sind bei allen bekannten Lösungsansätzen die Ketten über drehbar gelagerte Anschlagmittel mit der Hebevorrichtung verbunden. Dabei sind die Ketten in Längsrichtung des Containers drehbar an den Hebevorrichtungen gelagert, um das Umschlagen zu erlauben. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 15 zu sehen. Diese Art der Verbindungsvorrichtung ist besonders einfach umzusetzen, da auf Standardteile zurückgegriffen werden kann und diese kostengünstig sind.

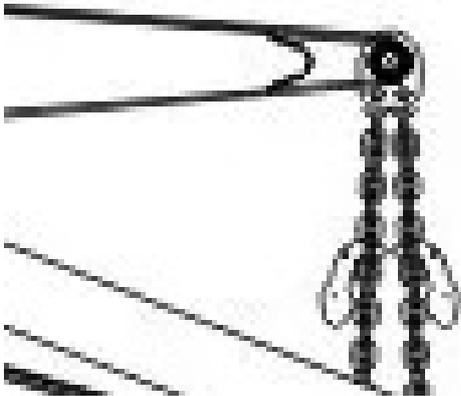


Abbildung 15: Verbindung Ketten⁴³

Bei Lösungsansätzen mit Förderschienen ist auf dem LKW-Auflieger ein Aufnahmegerüst für die Förderschienen angebracht, damit die Förderschienen wie gewünscht operieren können. Die genaue Gestaltung der Verbindungsvorrichtung ist aus den recherchierten Unterlagen nicht hervorgegangen.

⁴² (SkySol Media, 2024)

⁴³ (Steelbro, 2024)

3.2.3 Hebevorrichtung

Die am weitest verbreitete Hebevorrichtung ist der Seitenlader (Sidelifter), der in der Regel aus mehreren Armsegmenten und Aktuatoren in Form von Hydraulikzylindern besteht. Die identifizierten Seitenlader bestehen aus zwei schwenkbaren Armsegmenten, die jeweils von einem (oder auch zwei) Hydraulikzylinder manipuliert werden. In Abbildung 16 ist ein Seitenlader, mit zwei Armsegmenten und pro Armsegment jeweils einem Hydraulikzylinder dargestellt.



Abbildung 16: Seitenlader ⁴⁴

3.2.4 Stützvorrichtung

Stützvorrichtungen dienen der Stützung des Umschlagevorganges. Dabei unterscheiden sich die Stützvorrichtungen der Seitenlader -Lösungsansätze in der Positionierung der Stützen. Die häufigsten Varianten sind die Abstützung auf dem Untergrund oder eine Abstützung auf dem Containerwagen bzw. eine Kombination aus beiden.

Eine Abstützung auf dem Untergrund, entweder dem Schotterbett, den Schienen oder falls vorhanden einem betonierten/asphaltiertem Untergrund, ist auch bekannt. Hierbei kann in Abstützungen in eine Umschlagrichtung vor dem Eisenbahnwagen und in Abstützungen hinter dem Wagen unterschieden werden. Die meistverbreitete Lösung ist dabei eine Brückenbeinlösung, wie sie in Abbildung 17 dargestellt ist. Dabei werden Stützbeine zwischen dem Wagen am Untergrund positioniert, um die Last des Umschlagevorgangs zu tragen.

⁴⁴ (Hammar Maskin, 2024)



Abbildung 17: Brückenbein⁴⁵

Eine Abstützung auf einem Eisenbahnwaggon ist in Abbildung 18 zu sehen. Zu erwähnen ist, dass die meisten Brückenbeine für verschiedene Abstützungsvarianten ausgelegt sind.



Abbildung 18: Stützung auf dem Waggon⁴⁶

Eine Übersicht über verschiedene Brückenbeinstützpositionen kann den folgenden Abbildungen des Patents EP3330211B1 von Hammar Maskin entnommen werden.

Abbildung 19 zeigt eine Abstützung der Brückenbeins in einer Umschlagposition zwischen LKW und dem nicht dargestellten Untergrund. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass kein Umschlag von einem Eisenbahnwaggon direkt auf den Untergrund erfolgen kann, ohne dazwischen den LKW zu repositionieren, da der Umschlagsvorgang nur auf einer Längsseite des Seitenlader durchgeführt werden kann.

⁴⁵ (Megalift, 2024)

⁴⁶ Ebd.

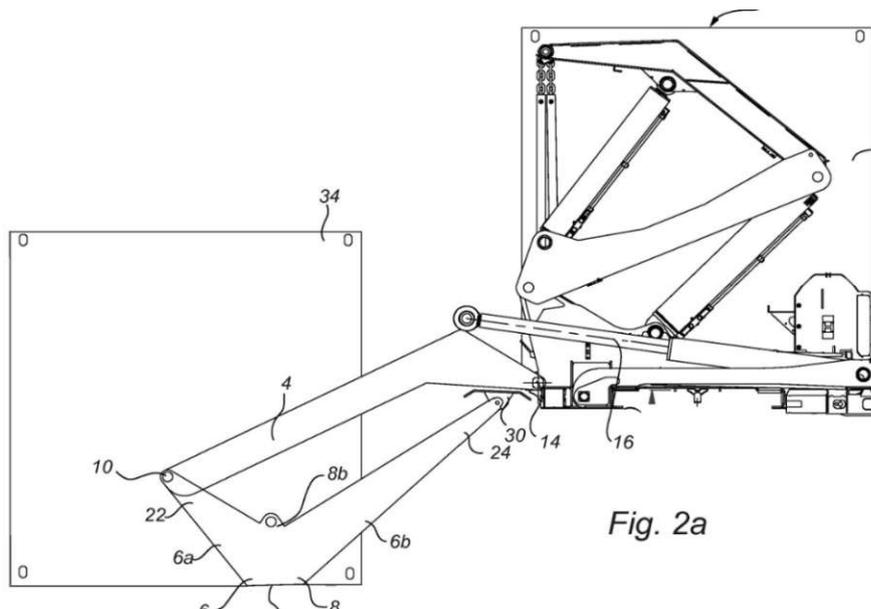


Abbildung 19: Bodenabstützung⁴⁷

Eine weitere Variante für die Abstützung einer Brückenbein-Stützvorrichtung ist in Abbildung 20 dargestellt. Dabei dient die Längsfläche des Brückenbeins als Auflagefläche. Vorteilhaft ist dies vor allem bei unebenem oder eventuell nachgebendem Untergrund wie Schotter. Diese Position des letzten Stützsegmentes dient dem Umschlag zwischen LKW und Untergrund.

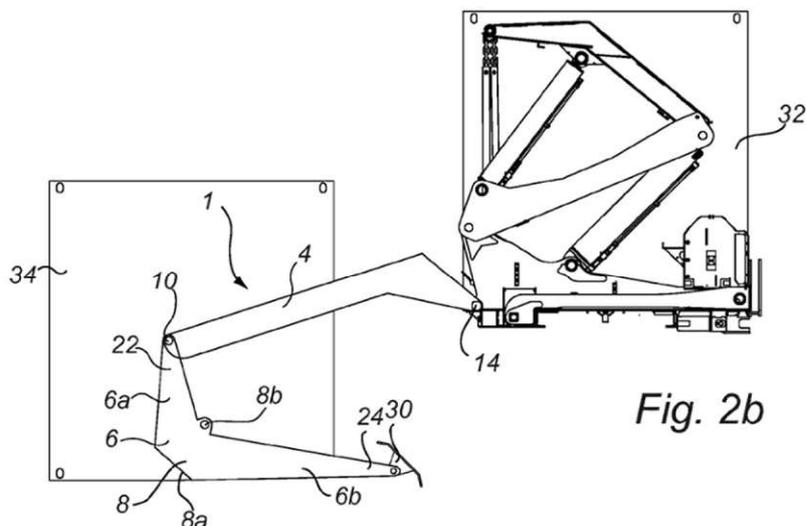


Abbildung 20: Längs-Bodenabstützung⁴⁸

3.3 ISO 3874:2017

3.3.1 Allgemeines

Die ISO 3874:2017 in der sechsten Edition vom Oktober 2017 ist die neueste Auflage des Internationalen Standards für das Manipulieren und Sichern von ISO-Containern, klassifiziert

⁴⁷ (Europa Patentnr. EP 1 795 436 B1, 2006)

⁴⁸ Ebd.

nach der ISO 668 und getestet nach ISO 1496. Es werden verschiedene Methoden zur Manipulation und Sicherung von sowohl leeren als auch beladenen Containern gezeigt.

Die ISO 3874:2017 wurde lizenziert über die Technische Universität Wien mittels des „Lesesaals“ der Austrian Standards plus GmbH abgerufen.

3.3.2 Überblick Manipulationsvarianten

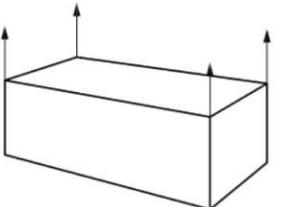
Die ISO 3874:2017 offenbart fünf verschiedene Arten von Manipulationskategorien, die nach dem Kraftangriff der Aufnahme kategorisiert, sind: Top-lift, Bottom-lift, Side-lift, End-lift und Fork-lift. Im Folgenden werden nur Kategorien und Varianten erläutert, die den Anforderungen aus Kapitel 2.1 Rechnung tragen. Damit soll der Umfang einer Veröffentlichung der ISO 3874:2017 durch diese Arbeit möglichst gering gehalten werden.⁴⁹

Sämtliche End-lift Ansätze sowie die Side-lift-3 Variante erlauben nur eine Manipulation von leeren Containern der Klasse CC, womit die Varianten aufgrund des Merkmals 6 der Anforderungsliste nicht umsetzbar sind. Die Varianten Top-lift-sling sowie Bottom-lift-sling benötigen jeweils Hebeschlingen, die unter einem Mindestwinkel von 45° bei Containern der Klasse CC angebracht werden müssen. Aufgrund der Geometrie liegen die zentralen Hebepunkte so hoch über dem Container, so dass dem Merkmal 12 nicht nachgekommen werden kann.⁵⁰

Alle Varianten der End-lift Kategorie sowie die Top-lift-sling, Bottom-lift-sling und Side-lift-3 Varianten werden nicht näher erläutert. Auch die Fork-lift Variante wird nicht erläutert, da weder als Forderung noch als Wunsch gegeben ist, dass die Container spezielle Aufnahmetaschen entsprechend der ISO 1496-1:2013 aufweisen.⁵¹

In Tabelle 6 sind die verschiedenen Varianten sowie deren mögliche Verwendungszwecke gelistet. Die Verwendungszwecke sind entsprechend der ISO 6346:1996 angegeben, wobei nur Verwendungszwecke analysiert werden, die üblicherweise im Eisenbahngüterverkehr zu Einsatz kommen: General purpose (GP, VN); Bulk-non pressurized (BU); Thermal (RE, RT, RS); Open top (UT) und Tank for liquids and gases (TN, RT, TG). Die Verwendungszwecke werden jeweils für einen Container des Typs CC nach ISO 668:2020 angegeben.⁵²

Tabelle 6: Manipulationsvarianten ISO 3874:2017

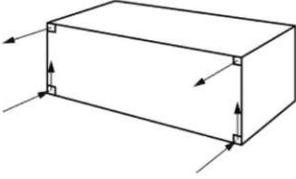
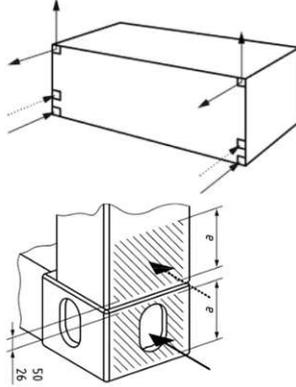
Name	Figur	Beschreibung	Verwendungszweck(e)
Top-lift-spreader		Bei dieser Variante werden Containern an nach oben hin orientierten Öffnungen der Eckbeschläge manipuliert. Die Hubkräfte werden dabei vertikal angesetzt.	-) GP, VN -) UT -) BU -) RE, RT, RS

⁴⁹ (International Organization for Standardization, 2017)

⁵⁰ Ebd.

⁵¹ (International Organization for Standardization, 2017)

⁵² Ebd.

Side-lift- 1		<p>Bei dieser Variante wird der Container mittels der zwei unteren Eckbeschläge einer Längsseite gehoben, dabei müssen die oberen zwei Eckbeschläge der gleichen Längsseite in Querrichtung gesichert werden.</p> <p>Weiters müssen an den unteren Eckbeschlägen Ausgleichskräfte in Querrichtung auf den Container angebracht werden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -) GP, VN -) UT -) BU* -) RE, RT, RS*
Side-lift- 2		<p>Hierbei werden die Hubkräfte vertikal an den oberen zwei Eckbeschlägen einer Längsseite gehoben. Dabei werden jedoch nicht die nach oben hin orientierten Öffnungen (Top-lift-spreader) verwendet, sondern jene die entsprechend der Längsseite orientiert sind. Dabei müssen an den oberen Eckbeschlägen Ausgleichskräfte in Querrichtung auf den Container angebracht werden.</p> <p>Zusätzlich müssen auch an der unteren Längsseite Ausgleichskräfte angebracht werden. Diese können in den Eckbeschlägen angeordnet sein, oder auch in gleichem Ausmaß oberhalb der Eckbeschläge.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -) GP, VN -) UT -) BU* -) RE, RT, RS*
* Zu beachten ist ein möglicherweise mobiler Schwerpunkt.			

Die Recherche zum Stand der Technik hat keine technischen Lösungsansätze identifiziert, die den Forderungen der Anforderungsliste aus Kapitel 2 gerecht werden. Zum Zeitpunkt der Recherche über den realisierten Stand der Technik wurden bei keiner der identifizierten Firmen relevante Patentdokumente gefunden.

Die ISO 3874:2017 wird als nächstliegende Norm des vorliegenden Themas betrachtet und verwendet.

Es gilt nun aus den gewonnenen Erkenntnissen die Aufgabestellung zu formulieren.

4 Klären der Aufgabenstellung

Nach der Analyse der Ausgangssituation und dem Stand der Technik kann nun die Aufgabenstellung geklärt und formuliert werden. Ziel dieses Kapitels ist die Erstellung einer Anforderungsliste, die auf die Manipulationsvorrichtung zugeschnitten ist und auf der Basis der in Kapitel 2 erörterten Anforderungsliste aufbaut.

4.1 Schematischer Ablauf des Umschlagevorganges

Um die Aufgabenstellung klar zu definieren, wird in diesem Kapitel ein Beispielszenario in Form eines schematischen Ablaufs eines Umschlagevorganges erläutert. Dieses soll keine einschränkende Wirkung haben, sondern soll die Grundlage für einen kreativen Schaffungsprozess bilden.

4.1.1 Grundlagen des Szenarios

Als Grundlage wird der Umschlagevorgang von einem Eisenbahnwaggon auf einen LKW herangezogen.

In der folgenden Abbildung 21 ist eine schematische Draufsicht gegeben.

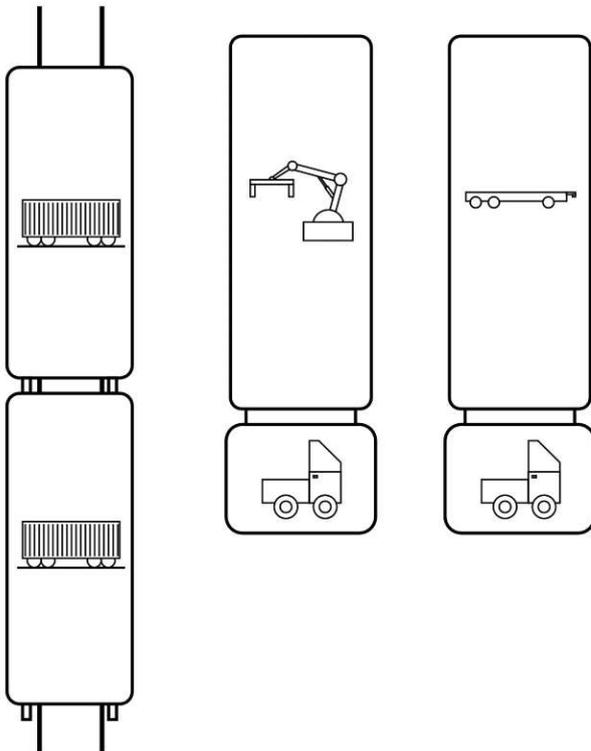


Abbildung 21: Beispielszenario

Die Annahme besteht darin, einen Container, der sich auf einem Eisenbahnwaggon befindet, auf einen Sattelaufleger eines LKWs umzuschlagen, der sich auf der anderen Seite der Umschlaganlage befindet. Nach dem Umschlagvorgang fährt der Umsetzer in Längsrichtung weiter, um sich für den Umschlagvorgang des nächsten Containers vorzubereiten. Sobald dies

ermöglicht ist, sollte vorzugsweise ein neuer LKW bereitstehen, um den nächsten Container aufzunehmen.

Der umzuschlagende Container kann sich auf einem anderen Sattelaufleger oder einem Containerstapel befinden. Gleichermaßen könnte auch von einem Containerstapel oder Sattelaufleger auf einen Eisenbahnwaggon umgeschlagen werden. Im Beispielszenario nimmt der mittig angeordnete Umsetzer einen Container vom Eisenbahnwaggon auf und schlägt ihn auf einen Sattelaufleger um, der auf der anderen Seite steht.

4.2 Anforderungsliste-V2 eines Containerumsetzers

Aus der Analyse und kritischen Diskussion der Anforderungsliste der Projektarbeit „Anforderungsliste eines Containerumsetzers“ mit den involvierten Parteien der vorliegenden Arbeit ergeben sich einzelne Änderungen mit der Intention die Anforderungen an die Containermanipulationsvorrichtung zu präzisieren. Die Anpassungen werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert, die gesamte neue Anforderungsliste ist im Anhang 2 zu finden.

4.2.1 Grundlegendes

Tabelle 7: Anforderungsliste-V2 Grundlegendes

Grundlegendes	FF	1	Funktion	Situationsbedingtes Heben, Manipulieren und Senken eines Containers	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
				Verladen des Containers: 1. vom Containervagen auf den Umsetzer (anschließend auf einen LKW-Sattelanhängler; oder umgekehrt) 2. von einem Zwischenlager auf den Umsetzer (oder umgekehrt) 3. vom Umsetzer auf einen LKW-Sattelaufleger (oder umgekehrt) 4. vom Umsetzer auf einen Containerstapel (oder umgekehrt)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	2	Manipulationsvarianten			
	FF	3	Anwendungsort	Umschlagbahnhöfe in Österreich (Terminals wie Wien Süd und Wels)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	4	Anwendungsort	kleinere Umschlagpunkte, abweichende Umgebungsbedingungen	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	5	Container-Typen	"20-Fuß Container" ISO 668 1CC 6.058x2.438x2.591 [LxBxH in mm]	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	B F	6	Container-Masse	≤ 2.250 kg (Eigenmasse) ≤ 30.480 kg (maximale Gesamtmasse)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	7	Beidseitiges Operieren	Der Umsetzer kann auf beiden Seiten, sowohl auf rechter als auch auf linker Seite der Fahrtrichtung um-/ ab-/ aufladen und auch auf einer Seite aufladen und im gleichen Umschlagevorgang auf der anderen Seite abladen.	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
FF	8	Autonomie	Herstellung einer Verbindung zwischen Umsetzer und Container ohne manuelles Einwirken, Umschlagen nur mittels Steuereinheit des Containerumsetzers möglich.	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung	

Merkmal 4:

Merkmal 4 wird in der Formulierung angepasst. Es verdeutlicht, dass auch ein Umschlag an Orten, die sich hinsichtlich der Umgebungsbedingungen von typischen Umschlagbahnhöfen unterscheiden, siehe 2.1.1, gewünscht ist.

Merkmal 7:

Das Merkmal 7 ist dahingehend angepasst, dass aus dem Wunsch eine Festforderung hervorgeht. Das Umschlagen von einer zur anderen Seite, wie im Beispielszenario veranschaulicht, ist essenziell für einen effizienten logistischen Ablauf. Andernfalls müsste der Umsetzer jeden zu verladenden Container aufnehmen und anschließend rangieren, um auf der gleichen Seite, auf der der Container aufgenommen wurde, den Container abzuladen.

Merkmal 8:

Wie in Tabelle 7 zu sehen, ist das Merkmal 8 entsprechend angepasst, so dass eine Festforderung vorliegt, die jedoch auch inhaltlich verändert ist. Eine vollautomatisierte Herstellung einer Verbindung impliziert, dass keine Steuerungstätigkeiten einer operierenden Person (folgend Operator) vorgenommen werden. Auch ein automatischer Verladungsvorgang ist in der Version 1 gewünscht. Aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen und großen Anzahl an Variablen der möglichen Einsatzzwecke und Einsatzorte ist eine vollautomatisierte Lösung wirtschaftlich und logistisch attraktiv. Es ist davon auszugehen, dass eine Person die Umschlagevorrichtung mittels LKW an ihren Einsatzort transportiert, somit steht ein potenzieller Operator vor Ort, der die Steuerung der Umschlagevorrichtung durchführen kann. Merkmal #8 wird somit geändert, dass eine Herstellung einer Verbindung zwischen Umsetzer und Container ohne manuelles Einwirken möglich ist. Manuelle Tätigkeiten, wie das Anbringen von Ketten, wie es im Stand der Technik üblich ist, sollen somit vermieden werden. Weiters ist gefordert, dass das Umschlagen somit nur mittels einer Steuereinheit, die die Umschlagevorrichtung steuert, ermöglicht werden muss. Ein Operator muss somit weiterhin die visuelle Kontrolle des Gefahrenbereiches durchführen und verifizieren, dass der Umschlagevorgang entsprechend den Vorgaben sicher ablaufen kann.

4.2.2 Masse

Tabelle 8: Anforderungsliste-V2 Masse

Masse	BF	15	Gesamtmasse des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 40,000 t (Zugmaschine mit Anhänger oder "Gesamtmasse")	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
-------	----	----	---	--	-----	---

Merkmal 15

Merkmal 15 liefert eine Einschränkung, dass die Gesamtmasse des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen maximal 40 t bzw. 44 t im kombinierten Verkehr aufweisen darf. Der Fall des kombinierten Verkehrs wird jedoch nicht eintreffen, da nach der Definition durch die Richtlinie 96/53/EG des Rates der Europäischen Union eine Haupttransportstrecke der Eisenbahn oder Schifffahrt vorliegen müsste. In diesem Fall dürfte die Gesamtmasse 44 t lediglich im Vor- und Nachlauf aufweisen. Der Umsetzer soll jedoch auch nur über einen LKW transportiert werden dürfen, somit wird die Bereichsforderung ≤ 44 t fallen gelassen.

Merkmal 16

Merkmal 16 wird aufgrund der Redundanz fallen gelassen, da Merkmal 15 bereits eine Bereichsforderung mit ≤ 40 t aufweist. Eine weitere Bereichsforderung ≤ 68,5 t ist somit überflüssig.

Merkmal 17

Die maximale Masse der gesamten Manipulationsvorrichtung ist bei einem maximal beladenen Container mit rund 2,7 t in Merkmal 17 gefordert. Der Wert ergibt sich aus der Annahme, dass ein marktüblicher Sattelanhänger als Basis der Umschlagevorrichtung verwendet wird. Ein

solcher, beispielsweise ein SDS 380 Vario V1 der Fliegl Fahrzeugbau GmbH (Fliegl Fahrzeug GmbH, 2025), weist eine Nutzlast von rund 33,3 t auf. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Nutzlasten in der Regel durch die Achslast definiert sind und den Fall betreffen, dass das zu tragende Gewicht auf dem Sattelanhänger und dessen Achsen lastet. Bei einem Umschlagvorgang bedarf es jedoch einer Abstützung des Gesamtsystems, wodurch die Last nicht direkt auf den Sattelanhänger übertagen wird. Soll die gesamte Last auch vom Anhänger getragen werden können, so gibt es eine Vielzahl von Tiefladerlösungen, die Nutzlasten von über 50 t aufweisen.

Weiters ist zu beachten, dass bereits die Seitenlader, die im Stand der Technik identifiziert wurden und mit Ketten arbeiten, ein Eigengewicht zwischen 3,5 t bis 6 t aufweisen. Da zugunsten der Flexibilität des Umsetzers keine Einschränkung des maximalen Containergewichtes gewünscht ist, werden die verschiedenen Forderungen aus Merkmal 17 fallen gelassen.

Resultierend kann die einzige Anforderung bzgl. der Masse wie folgt beschrieben werden: Es gilt den Umsetzer so zu konzipieren, dass das Gesamtsystem eine maximale Masse von 40 t entsprechend der StVO aufweist. Daraus lässt sich ableiten, dass bei üblichen Zugmaschinen-Leergewichten von rund 6,5 t der Umsetzer bestehend aus der Manipulationsvorrichtung, der Stützvorrichtung und Anhängerbasis rund 33 t nicht überschreiten darf.

4.2.3 Kinematik

Tabelle 9: Anforderungsliste-V2 Kinematik

Kinematik	FF	19	ΔX (bei voller Automatisierung)	$-0,400\text{m} \leq \Delta X \leq 0,400\text{ m}$ (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	20	ΔY	$2,985\text{ m} \leq \Delta Y \leq 5,763\text{ m}$ (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	21	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs auf gleicher Höhe wie Bahnsteig)	$0,000\text{ m} \leq \Delta Z \leq 2,591\text{ m}$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	22	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs unter Bahnsteig)	$-0,760\text{ m} \leq \Delta Z \leq 2,591\text{ m}$	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

Merkmal 18 & 19

Merkmal 18 offenbart eine Festforderung, die besagt, dass ein Versatz in Längsrichtung (ΔX) nicht gefordert wird. Dies wird damit begründet, dass bei der Verwendung von Ketten Distanzabweichungen von bis zu 0,5 m ausgeglichen werden können. Der Einsatz von Ketten, wie er im Stand der Technik identifiziert wurde, weist sehr geringe Automatisierungsoptionen auf und würde auch eine Verbindungsvorrichtung durch Ketten implizieren. Die Forderung von Merkmal 18 wird daher fallen gelassen. Merkmal 19 wird dahingehen angepasst, dass ein Versatz in Längsrichtung von $-0,4\text{ m} \leq \Delta X \leq 0,4\text{ m}$ gefordert wird. Mit anderen Worten wird somit die Korrekturmöglichkeit von Ausrichtungsabweichungen zwischen +/- 0,4 m sowohl im belasteten als auch unbelastetem Zustand gefordert. Dies ist notwendig, da nicht angenommen werden kann, dass LKWs, die die Container ab- oder antransportieren, perfekt positioniert werden können. Auch der Umsetzer selbst müsste sich bei jedem Containerumschlag perfekt neben den Eisenbahnwaggon positionieren. Es ist somit erwünscht, dass der Umsetzer Abweichungen in Längsrichtung ausgleichen kann, ohne dabei seine gestützte Position relativ zur Umgebung verlassen zu müssen.

4.2.4 Geometrie

Bezüglich der Geometrie werden keine Änderungen in der Anforderungsliste vorgenommen. Jedoch wird im Folgenden eine Auswirkung des Merkmals 12 erläutert. Merkmal 12 fordert eine maximale Höhe des Umsetzers von 4,7 m bei einem Umschlagvorgang unterhalb von Oberleitungen. Im Falle, dass ein Containerwaggon noch unterhalb von Oberleitungen steht, kann davon ausgegangen werden, dass vor dem Umschlagevorgang die Oberleitungen durch Fachpersonal abgeschaltet werden, damit keine Gefahrenzone vorliegt. Ein Umschlagevorgang unterhalb Oberleitungen, die unter Spannung stehen, ist verboten. Dennoch muss gewährleistet werden, dass die Oberleitungen nicht durch die Manipulationsvorrichtung beschädigt werden. Durch das Merkmal 12 ist ein Mindestabstand von 100 mm zu Oberleitungen gesichert. Der Operationsspielraum der Manipulationsvorrichtung ergibt sich somit aus einer Subtraktion der Containerhöhe plus der Höhe eines Containerwaggons von der maximalen geforderten Höhe in Merkmal 12. In Abbildung 22 ist der Operationsspielraum schematisch veranschaulicht. Dabei wird für die Darstellung angenommen, dass die Gleisoberkante auf gleicher Höhe wie der Untergrund des Umsetzers liegt, entsprechend der Forderung aus Merkmal 21. Der Operationsspielraum entspricht in diesem Szenario 959 mm.

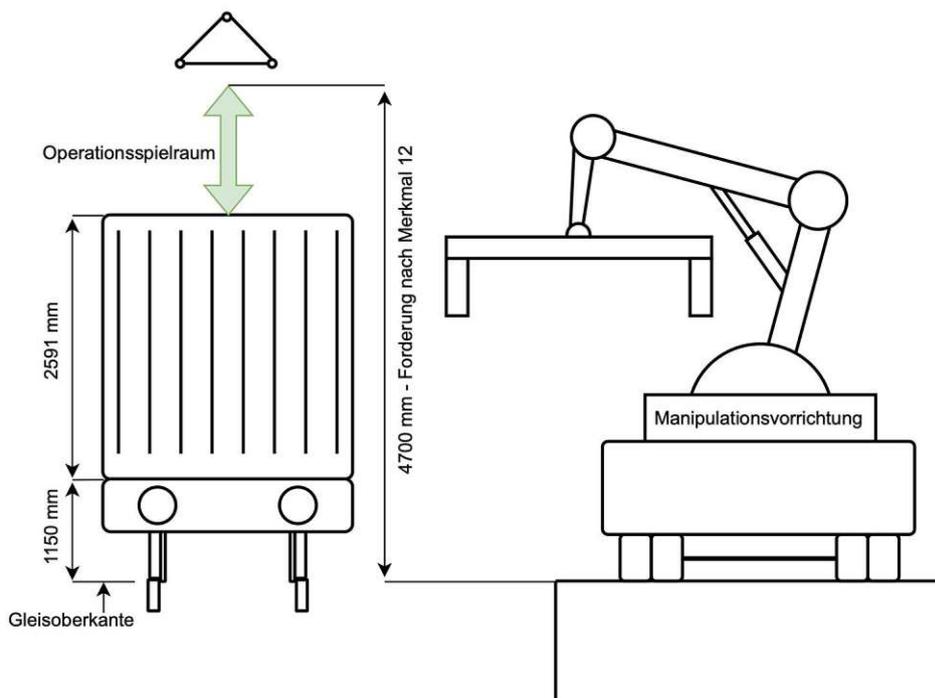


Abbildung 22: Operationsspielraum

4.3 Aufgabenstellung

Aus der neuen Anforderungsliste und dem Beispielszenario kann nun die Aufgabenstellung formuliert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Aufgabenstellung nur in Kombination mit der neuen Anforderungsliste bestehen kann.

Es gilt eine Manipulationsvorrichtung zu konzipieren, die das Manipulieren in Form von Umschlagen von 20' Containern an einem gewünschten Ort unter den Forderungen und

Wünschen der Anforderungsliste ermöglicht. Dabei ist das Ziel, den Umschlagvorgang ohne manuelle Tätigkeiten, wie das Anbringen von Ketten, zu ermöglichen. Die Manipulationsvorrichtung soll dabei auf einem Sattelaufleger angeordnet sein.

Durch die Klärung der Aufgabenstellung und Überarbeitung der Anforderungsliste kann nun die zweite Hauptphase der Produktentwicklung nach der VDI 2221:2019 eingeleitet werden, das Konzipieren.

5 Konzipierung der Manipulationsvorrichtung

Das Konzipieren kann als prinzipielle Festlegung einer Lösungsvariante verstanden werden und ist der nächste Schritt nach der Klärung der Aufgabenstellung. Der Gesamtprozess gliedert sich dabei in drei verschiedene Bereiche, die Definition, die Kreation und die Beurteilung.

Bei der Definition wird die Aufgabenstellung abstrahiert, um die wesentliche Problemstellung und zugehörigen Herausforderungen zu identifizieren. Anschließend wird mittels der gewonnenen Informationen eine Funktionsstruktur der Gesamtfunktion aufgestellt, die in weiterer Folge in Teilfunktionen aufgelöst wird.

Der Kurationsprozess startet mit der Suche und Identifikation von Wirkprinzipien, die den zuvor analysierten Teilfunktionen Rechnung tragen. Die identifizierten Wirkprinzipien werden anschließend kombiniert, um die Gesamtfunktion zu erfüllen. In der Regel werden verschiedene Kombinationen erarbeitet, wobei die am besten Geeigneten gewählt und konkretisiert werden.

Abschließend erfolgt eine Beurteilung der verschiedenen Lösungsvarianten entsprechend der VDI 2225:1998⁵³.

5.1 Definition

Ziel dieses Kapitels ist die Identifikation der Gesamtfunktion der Manipulationsvorrichtung und Erstellung einer Funktionsstruktur. Das Vorgehen und die Begriffsdefinition hält sich an die Richtlinie VDI 2222:1997 „Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien“⁵⁴.

Die Gesamtfunktion soll dabei in Teilfunktionen, bestehend aus Hauptfunktionen und Nebenfunktionen, zerlegt werden, um die Darstellung mittels Funktionsstruktur zu ermöglichen. Die Funktionsstruktur stellt somit die Verknüpfung von mehreren Teilfunktionen zu der Gesamtfunktion dar.

Unter einer Funktion wird der Zusammenhang bzw. die Abbildung zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen eines Systems verstanden, ohne dabei vorzugeben, wie der Zusammenhang umgesetzt werden soll.⁵⁵

Hauptfunktionen beschreiben dabei die Prozesse bzw. zu erfüllenden Aufgaben der Gesamtaufgabe. Nebenfunktionen repräsentieren dabei Prozesse und zu erfüllende Aufgaben, welche nicht direkt mit dem konkreten Inhalt der Gesamtfunktion zusammenhängen, sondern in der Regel für eine Vervollständigung der Hauptfunktionen notwendig sind. Beispiele hierfür sind, Dicht- und Temperaturkontrollfunktionen sowie Stütz- oder Lagerfunktionen.⁵⁶

⁵³ (Verein Deutscher Ingenieure, 1998)

⁵⁴ (Verein Deutscher Ingenieure, 1997)

⁵⁵ Ebd.

⁵⁶ Ebd.

Entsprechend der VDI 2222:1997 werden die Funktionen mittels Blockdarstellung erläutert, insbesondere der Zustand bzw. Fluss von Energie, Signal/Information und/oder Stoff. Für die Vervollständigung einer Funktion müssen die Größen (Energie, Signal/Information und Stoff) mittels Prädikats ergänzt werden. Dabei bietet es sich an, die Aufgaben bzw. Teilaufgaben initial zu formulieren und diese dann mittels abstrahierter Operationen zu beschreiben.⁵⁷

Aus der VDI 2222:1997 gehen die folgenden fünf Operationen hervor:

- Leiten, die Änderung des Orts
- Speichern, die Änderung der Zeit
- Umformen, die Änderung der Erscheinungsform
- Wandeln, die Änderung der Art
- Verknüpfen, die Änderung der Anzahl, hier wird zwischen kumulativ und distributiv unterschieden.⁵⁸

In Abbildung 23 ist die Darstellung der Funktionsstrukturen erläutert, die Darstellung entspricht dabei der üblichen Verwendung der VDI 2222:1997.

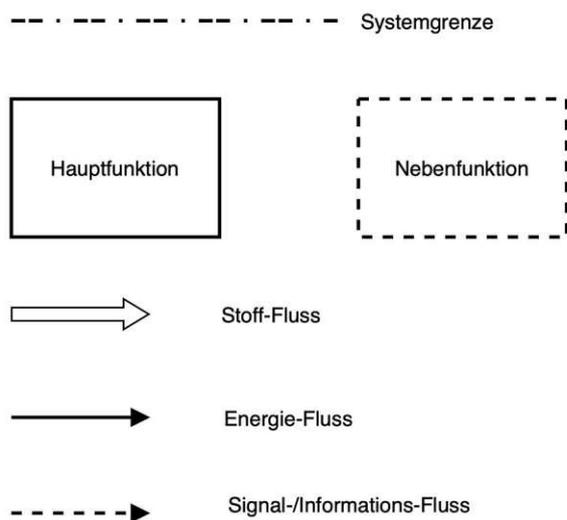


Abbildung 23: Funktionsdarstellung

5.1.1 Gesamtfunktion

Die Gesamtfunktion der Manipulationsvorrichtung lässt sich aus der Aufgabenstellung in Kapitel 4.3 entnehmen, wobei verschiedenen Aufgaben Rechnung getragen werden muss.

- Umschlagen von Eisenbahnwaggon auf Umsetzer und vice versa
- Umschlagen von LKW auf Umsetzer und vice versa
- Umschlagen von Zwischenlager auf Umsetzer und vice versa
- Stapeln eines Containers auf einen anderen am Boden stehenden Container
- Umschlagen in Form von sämtlichen Kombinationen der oben genannten Fälle.

⁵⁷ (Verein Deutscher Ingenieure, 1997)

⁵⁸ Ebd.

Aus den oben genannten Aufgaben lässt sich entnehmen, dass im Kern bei jeder Aufgabe ein Container manipuliert werden muss. Die Aufgaben beinhalten alle als Stoff einen Container, elektrische und voraussichtlich hydraulische Energie, sowie Eingangs und Ausgangssignale.

Entsprechend der VDI 2222:1997 werden nur gewollte Fluss-Größen dargestellt, eventuelle thermische Energie in Form von Abwärme oder durch Reibung wird somit vernachlässigt und nicht dargestellt.⁵⁹

Entsprechend der neutralen Formulierung ist die Gesamtfunktion mit „Container leiten“ zu benennen. Um jedoch etwas mehr Aussagekraft zu erhalten, wird die Gesamtfunktion als „Container manipulieren“ definiert.

Abbildung 24 zeigt ein Blockdiagramm der Gesamtfunktion nach VDI 2222:1997, siehe auch Abbildung 23. Um die Aussagekraft nicht zu mindern, wurde von einer weiteren Abstrahierung der Operation des Stoffflusses abgesehen.

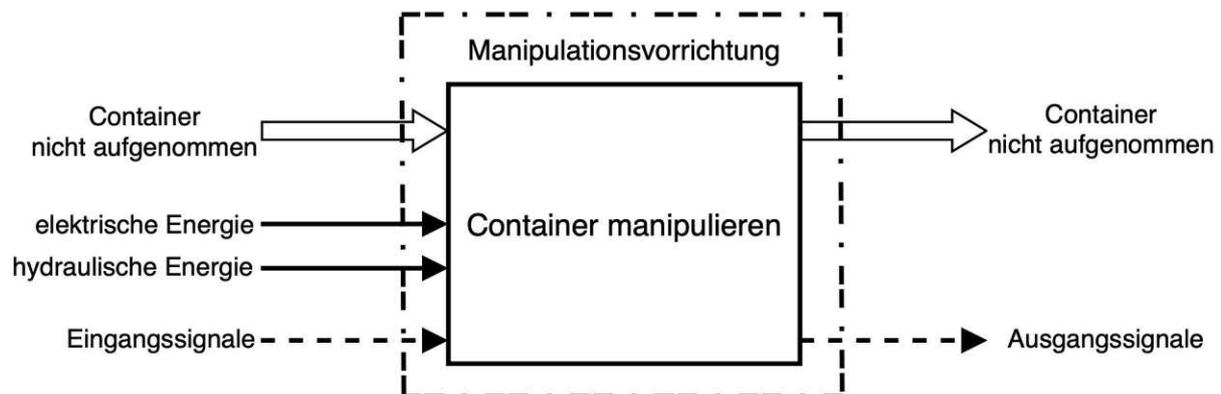


Abbildung 24: Gesamtfunktion

Der Stofffluss lässt sich abermals mittels dem in Kapitel 4.1.1 dargelegten Beispielszenario beschreiben. Zu Beginn des Umschlagevorgangs steht der Container an einer Anfangsposition. Die Manipulationsvorrichtung muss in einem ersten Schritt den Container aufnehmen. Folgend wird der Container angehoben und in Richtung des Umsetzers bewegt. Je nach Szenario kann der Container direkt auf einen Zielort verladen werden oder der Umsetzer muss eventuell noch seinen Ort verändern. In beiden Fällen endet der Umschlagevorgang mit dem Verladen des Containers, so dass sich kein Container mehr an/auf der Manipulationsvorrichtung befindet.

Im Energiefluss ist bewusst elektrische und hydraulische Energie dargestellt. Ohne bereits Lösungsvarianten vorzugeben, ist aus technischer Sicht zu erwarten, dass hydraulische und elektrische Komponenten zur Anwendung kommen.

Im Informations- bzw. Signalfluss gehen Eingangssignale einer Steuereinheit ein und es werden Ausgangssignale ausgegeben. Die Eingangssignale repräsentieren dabei Signale, die von einer Steuereinheit ausgehen. Die Steuereinheit wird von einem Operator bedient, der

⁵⁹ (Verein Deutscher Ingenieure, 1997)

mittels einer gängigen Schnittstell die Steuerung der Manipulationsvorrichtung durchführt. Die Ausgangssignale der Manipulationsvorrichtung sind dabei als Status- bzw. Feedbacksignale zu verstehen. Sie erlauben eine Übersicht über den jeweiligen Zustand in vollem Umfang und können auch für eventuelle weitere Komponenten des gesamten Umsetzers als Eingangsgrößen dienen. Auf die genaue Art der übertragenen Signale sowie deren Logistik wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen.

5.2 Teilfunktionen

Die in Kapitel 5.1.1 dargestellte Gesamtfunktion wird folgend in einzelne Teilfunktionen zerlegt. Da bei der Gesamtfunktion das mechanische Manipulieren eines Containers im Zentrum steht, wird bei der Zerlegung nur der Stofffluss des Containers beachtet. Der Energie- sowie Signalfluss spielen bei dem Konzipierungsvorgang eine untergeordnete Rolle, da sie oftmals durch die Lösungsansätze für den Stofffluss vorgegeben werden.

Die Teilfunktionen spiegeln dabei alle Teilfunktionen sämtlicher Aufgaben wider. Eine Funktionsstruktur ist in Abbildung 26 dargestellt. Die einzelnen Haupt- und Nebenfunktionen werden im folgenden Abschnitt näher beleuchtet.

Containerverbindung herstellen:

Als erster Schritt bzgl. des Stoffflusses muss eine Verbindung zwischen der Manipulationsvorrichtung und dem Container hergestellt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass gefordert ist, dass die Verbindung ohne manuelle Hilfstätigkeiten eines Operators erfolgen kann, daher wird dieser Vorgang als Hauptfunktion betrachtet. Ein zentraler Aspekt, die Variante der Verbindung mit dem Container, wird bereits in Kapitel 3.3 dargestellt. Die ISO 3874:2017 liefert einen richtungsweisenden Rahmen, der die Aufnahmevariante und Lastanbringung an einem Container vorgibt. Nach einer ersten Analyse, siehe Kapitel 3.3, zeigt die ISO 3874:2017 drei verschiedene Varianten, die im Kapitel 5.3 weiter behandelt werden.

Damit die Verbindung passend hergestellt werden kann, ist es notwendig, dass die Aufnahmevorrichtung entsprechend dem Container ausgerichtet wird, damit gewährleistet ist, dass Sicherungselemente korrekt in die Eckbeschläge des Containers eingreifen. Die Funktion „Aufnahmevorrichtung ausrichten“ ist dabei als Nebenfunktion dargestellt.

Die Verbindung muss abschließend gesichert werden, um zu garantieren, dass der Operator mit dem Manipulationsvorgang fortfahren kann. „Verbindung sichern“ ist als Nebenfunktion der Hauptfunktion „Containerverbindung herstellen“ dargestellt.

Container anheben:

Ein Container wird in der Regel von einem Ort angehoben, an dem er gesichert aufgestellt ist. Im Falle eines Containerwaggons ist ein Container mittels Aufnahmezapfen gegen ein Verrutschen in der Auflageebene gesichert. Bei Containerlagern, beispielsweise Containerstapeln werden ähnliche Zapfenvorrichtungen verwendet, LKWs nutzen oftmals Twistlocks, die den Container auch gegen ein ungewolltes Abheben sichern. Diese

Sicherungsmittel weisen einen zapfenartigen Querschnitt auf und sind in die Eckbeschläge des zu sichernden Containers eingeschoben. Die Eckbeschläge und Zwischenbeschläge (Twistlocks) werden in der ISO 1161:2016 standardisiert.

Die ISO 1161:2016 wurde lizenziert über die Technische Universität Wien mittels des „Leesesaals“ der Austrian Standards plus GmbH abgerufen.

Aus der ISO 1161:2016 lässt sich entnehmen, dass die Höhe der verschiedenen Twistlocks mit maximal 105 mm angenommen werden kann. Entsprechend muss die Manipulationsvorrichtung nach dem Herstellen der Verbindung den Container mindestens um die Höhe der Sicherungsmittel linear in senkrechtem Verlauf der z-Achse anheben. Während des Hebevorgangs muss vermieden werden, dass der Container in der x,y-Ebene, entsprechend der Auflageebene des Containers bewegt wird, um die Bildung von Scherkräften zu vermeiden.⁶⁰

In Abbildung 25 sind zwei Varianten von Twistlocks entsprechend ISO 1161:2016 dargestellt.

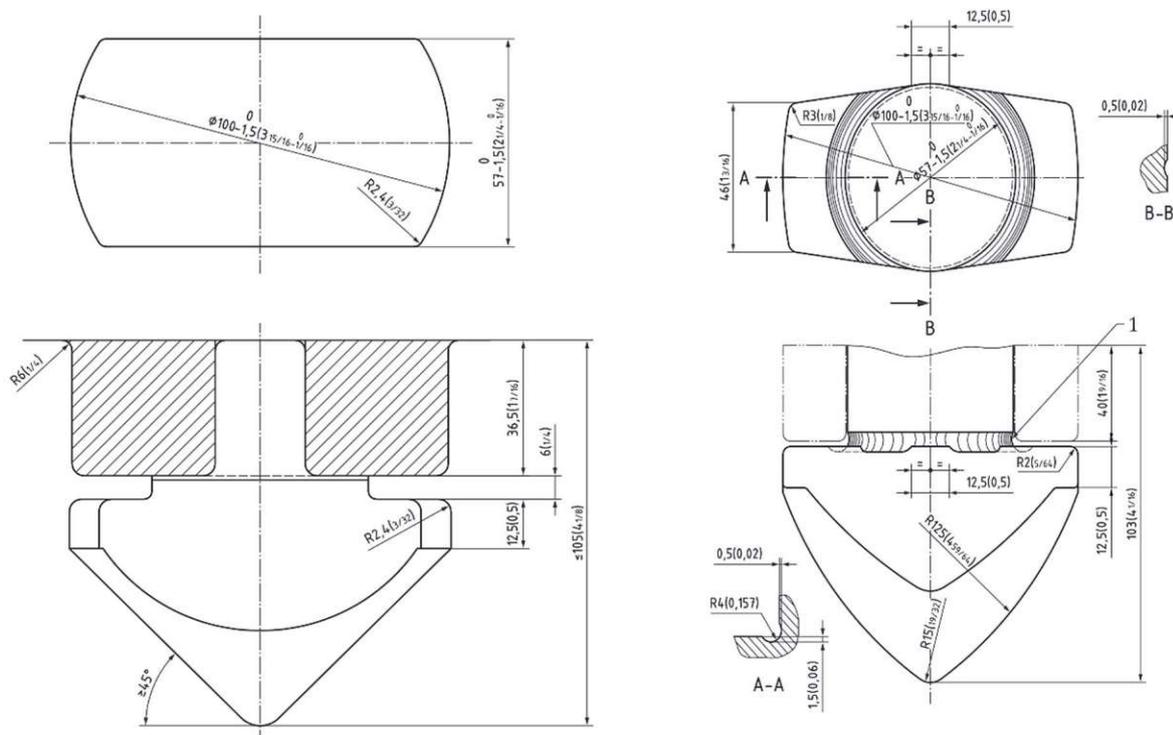


Abbildung 25: Twistlocks ISO 1161⁶¹

Versatz ausgleichen:

Der gesamte Umsetzer wird vor einem Umschlagevorgang von einem Operator, so ideal wie möglich, neben einem Container positioniert, jedoch ist davon auszugehen, dass bei Umschlagevorgängen ein gewisser Versatz ausgeglichen werden muss. Dieser Versatz kann in allen drei räumlichen Dimensionen auftreten. Beispielhaft hierfür wäre, dass der Untergrund, auf dem der Umschlagvorgang stattfindet, nicht niveaugleich zur Ebene des Containers ist, beispielsweise zur Auflagefläche eines Containerwaggons. Der Umsetzer hätte somit

⁶⁰ (International Organization for Standardization, 2016)

⁶¹ Ebd.

gegenüber dem Container eine Schräglage. Hinzu kommt, dass zu erwarten ist, dass der Umsetzer nicht exakt parallel zum Container positioniert werden kann. Es muss somit ein Versatz, der sich in einem Toleranzrahmen befindet, in alle Dimensionen ausgeglichen werden können.

Container bewegen:

Der gesamte Manipulationsprozess muss auf beiden Seiten des Umsetzers erfolgen können sowie auch von einer Seite auf die andere. Dabei ist zu beachten, dass die Manipulationsvorrichtung so gestaltet werden muss, dass sowohl der Bewegungsablauf durchführbar ist, sowie, dass der Container möglichst wenig manipuliert werden sollte.

Container abstellen:

Der Container muss als abschließende Bewegung abgestellt werden, wobei hier, wie auch beim Anheben, davon auszugehen ist, dass der Container mittels Aufnahmezapfen oder Twistlocks gegen ungewollte Bewegung gesichert wird. Es gilt somit abermals eine rein lineare senkrechte Bewegung mit dem Container durchzuführen. Hierbei ist die Linearität der Bewegung nicht so streng gefordert wie beim Anheben, da sobald die Sicherungen des Zielortes in die Eckbeschläge eingreifen, die Bewegung durch die Sicherungsmittel geleitet wird. Um einen erfolgreichen Abstellvorgang zu ermöglichen, ist eine vorhergehende Ausrichtung des Containers entsprechend den Sicherungsmitteln erforderlich. Das Ausrichten des Containers ist hierbei als Nebenfunktion „Container ausrichten“ dargestellt.

Containerverbindung lösen:

Die im ersten Schritt hergestellte Verbindung muss abschließend wieder gelöst werden. Es gilt somit den Container, nachdem er abgelegt wurde, zu entriegeln und die Verbindung zu lösen. In diesem Schritt stellt das Entsichern der Sicherungsmittel die Hauptfunktion dar, da erst durch diese die Manipulationsvorrichtung getrennt werden kann. Das Entfernen der Manipulationsvorrichtung sollte anschließend keine technische Herausforderung darstellen.

Alle erläuterten Teilfunktionen und Nebenfunktionen werden entsprechend dem Ablauf des Beispielszenarios in der Funktionsstruktur dargestellt, siehe Abbildung 26.

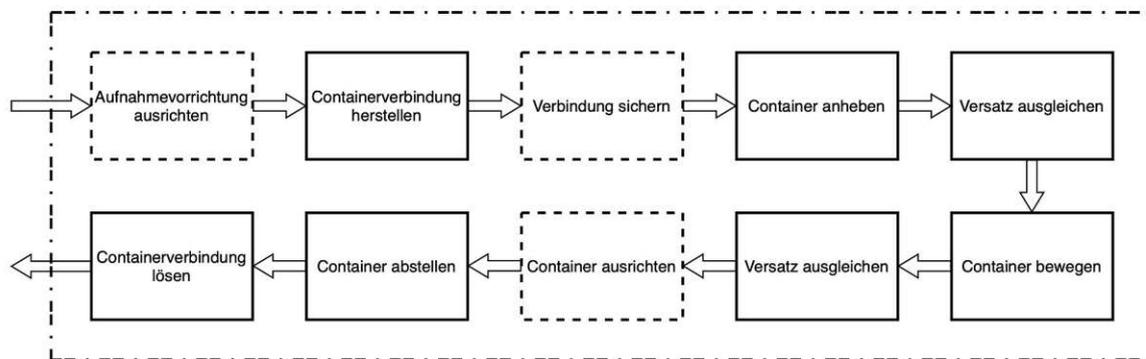


Abbildung 26: Funktionsstruktur

Nachdem nun die Teilfunktionen sowie die Nebenfunktionen allgemein aufgestellt sind, kann der Kurationsprozess starten.

5.3 Kreation

Ziel dieses Kapitels ist die Kreation verschiedener Konzepte zur Erfüllung der Gesamtfunktion, die anschließend in Kapitel 5.5 bewertet werden.

Die allgemeinen Teilfunktionen werden den in Kapitel 2 eingeführten Baugruppen zugeordnet. Dies dient einer besseren Identifikation von möglichen Wirkprinzipien. Die Baugruppen sind repräsentiert, durch: Aufnahme-, Verbindungs- (zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung), Hebe- sowie Verbindungsvorrichtungen zwischen der Hebevorrichtung und einem LKW-Sattelaufleger.

Einführend in das Kapitel 5.3.1 wird in Abbildung 27 ein erster Morphologischer Kasten als Überblick der verschiedenen Teilfunktionen vorweggenommen. Es gilt zu beachten, dass nicht alle identifizierten Teilfunktionen erläutert werden, da einzelne bereits durch die Wahl der Wirkprinzipien von vorherigen Teilfunktionen gelöst werden.

Für ein besseres Verständnis können die Teilfunktionen den erläuterten Baugruppen wie folgt zugeordnet werden:

Aufnahmevorrichtungen:

- Aufnahmevorrichtung ausrichten
- Verbindung mit Container herstellen
- Verbindung sichern
- Verbindung mit Container lösen

Verbindungsvorrichtungen:

- Versatz ausgleichen
- Container ausrichten
- Container bewegen

Hebevorrichtungen:

- Container anheben
- Container bewegen
- Container abstellen
- Container ausrichten

Verbindungseinheiten:

- Versatz ausgleichen
- Container ausrichten
- Container bewegen

Einzelne Teilfunktionen sind mehreren Baugruppen zugeordnet, da diese durch verschiedene Prinzipien bzw. das Zusammenspiel von verschiedenen Baugruppen ermöglicht werden können.

Die folgende Benennung der Funktionen wird verwendet:

- NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten
- TF1.1: Containerverbindung herstellen (Aufnahmevariante nach ISO 3874:2017)
- TF1.2: Containerverbindung herstellen (Technologiewirkprinzipien)
- NF2: Verbindung sichern
- TF2: Container anheben
- TF3.1: Versatz ausgleichen (zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung)
- TF3.2: Versatz ausgleichen (zwischen Hebevorrichtung und Sattelanhänger)
- TF4: Container bewegen
- NF3: Container ausrichten
- TF5: Container abstellen
- TF6: Containerverbindung lösen.

Wirkprinzip → Teilfunktion ↓	1	2	3	4	5	6	7
NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten	Äußerliches Ausrichten	Innerliches Ausrichten	Optische Sensorik	Nicht-optische Sensorik			
TF1.1: Containerverbindung herstellen Aufnahmevariante nach ISO3874	Top-lift	Side-lift 1	Side-lift 2				
TF1.2: Containerverbindung herstellen Bauteile	Karabiner	Haken	Standard TL	Semiautomatische Twistlocks	Hydraulische Twistlocks	Kraftschlüssig	Stoffschlüssig
NF2: Verbindung sichern	Geometrisch/konstruktive Sicherung	Fail-Safe Sicherung	Redundante Sicherung				
TF2: Container anheben	Mechanische Hebe-mechanismen	Anschlagmittel	Abstützung				
TF3.1: Versatz ausgleichen zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung	Führungselemente	Anschlagmittel	Elastische Elemente				
TF3.2: Versatz ausgleichen zwischen Hebevorrichtung und Sattelanhänger	Führungselemente	Anschlagmittel	Elastische Elemente				
TF4: Container bewegen	Ein-Arm-Systeme	Zwei-Arm-Systeme	Teleskop-Systeme	Gelenk-Glied-Systeme	Führungsschienen-Systeme		
NF3: Container ausrichten	Äußerliches Ausrichten	Innerliches Ausrichten	Optische Sensorik	Nicht-optische Sensorik			
TF5: Container abstellen	Bereits durch Technologie für TF2 erfüllt						
TF6: Containerverbindung lösen	Bereits durch Technologie für TF1 erfüllt						

Abbildung 27: Morphologischer Kasten

Die verschiedenen Wirkprinzipien werden im Kapitel 5.3.1 erläutert, wobei bei der Erläuterung auf Vor- und Nachteile der jeweiligen Wirkprinzipien eingegangen wird. Die Vor- und Nachteile sowie Kernpunkte der Erläuterung werden anschließend im Kapitel 5.3.2 durch eine Auswahlliste sowie eine Verträglichkeitsmatrix analysiert. Der morphologische Kasten wird im Verlauf der Arbeit iterativ adaptiert. Nach der Analyse mittels Auswahlliste und Verträglichkeitsmatrix werden Kombinationen der einzelnen Lösungen dahingehend analysiert, ob diese vorteilhaft gegenüber der Einzellösungen sind. Mit anderen Worten wird der morphologische Kasten nach der Auswahlliste und Verträglichkeitsmatrix reduziert und anschließend um günstige Kombinationen erweitert.

5.3.1 Wirkprinzipien der Teilfunktionen

Zur Findung von Wirkprinzipien werden die Teilfunktionen in einem sehr groben Kontext analysiert und es wird nach bereits bekannten technischen Prinzipien gesucht.

TF1.1 Containerverbindung herstellen (Aufnahmevariante nach ISO 3874:2017)

Beim Herstellen der Verbindung mit dem Container kann zur Findung von Wirkungsprinzipien das generelle Herstellen einer Verbindung mit einem zu manipulierenden Objekt betrachtet werden. Eine Verbindung zwischen zwei Körpern kann auf verschiedene Weise hergestellt werden, wobei diese in der Regel in drei Kategorien aufgeteilt werden:

- Formschlüssige Verbindungen
- Stoffschlüssige Verbindungen
- Kraftschlüssige Verbindungen.

Aus jenen Kategorien werden verschiedene Verbindungsarten, die sich zum Manipulieren von Objekten eignen, analysiert.

Formschlüssige Verbindungen:

Bei formschlüssigen Verbindungen spielt besonders die ISO 3874:2017 eine zentrale Rolle, da diese bei korrekter Umsetzung einen Sicherheitsgarant bietet. Wie bereits in Kapitel 3.3 beschrieben, erläutert die ISO 3874:2017 verschiedene Varianten des Kraftangriffes bei einer Aufnahme des Containers. Die Varianten werden im Folgenden genauer ausgeführt.

Top-lift Variante:

Wie der Name bereits impliziert, ist diese Variante besonders für Spreader gedacht, die in die oberen Eckbeschläge, genauer in die nach oben hin orientierten Öffnungen des Eckbeschlags, eingreifen.

Abbildung 28 zeigt eine schematische Darstellung der Top-lift Variante.

Vorteile:

- Schwerpunkt des Containers hat wenig Einfluss auf Manipulationsvorgang
- Nur eine Belastungsart (Zugbelastung)

Nachteile:

- Nach oben und unten ausgerichtete Öffnungen der Eckbeschläge sind oftmals stark verschlissen/beschädigt
- Benötigt Platz oberhalb des Containers, problematisch bei geringem Operationsspielraum aufgrund von Oberleitungen.

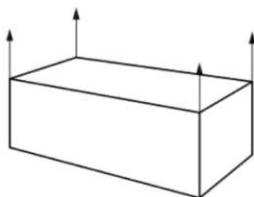


Abbildung 28: Top-lift Variante⁶²

⁶² (International Organization for Standardization, 2017)

Side-lift-1 Variante:

Bei dieser Variante greifen die Hubkräfte an den unteren Eckbeschlägen einer Längsseite an. Dabei werden die zur Längsseite deckungsgleichen Öffnungen verwendet. Um ein Kippen des Containers um seine Längsachse zu verhindern, bedarf es einer Druckkraft an den unteren und einer Zugkraft an den oberen Eckbeschlägen.

Abbildung 29 zeigt eine schematische Darstellung der Silde-lift-1 Variante.

Vorteile:

- Bei nach oben beengten Manipulationsvorgängen vorteilhaft
- Mehr Gestaltungsspielraum bzgl. der Dimension der Verbindungsvorrichtung
- Seitlich ausgerichtete Öffnungen der Eckbeschläge oftmals in besserem Zustand als nach oben ausgerichtete.

Nachteile:

- Einseitige Belastung des Containers
- Mobiler Schwerpunkt beeinflusst Manipulationsverhalten.

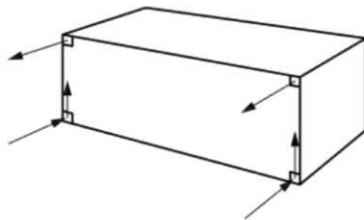


Abbildung 29: Side-lift-1 Variante⁶³

Silde-lift-2 Variante:

Wie auch bei der Side-lift-1 Variante wird die Verbindung von der Seite hergestellt. Der Unterschied besteht darin, dass die Hubkräfte an den oberen Eckbeschlägen angreifen, abermals in jenen Öffnungen, die deckungsgleich mit der Längsseite sind. Auch bei dieser Variante bedarf es zusätzlicher Zug- und Druckkräfte, um ein Kippen des Containers um die Längsachse zu verhindern. Die an den unteren Eckbeschlägen angeordneten Druckkräfte können in diesem Fall ca. um die Höhe der Öffnung nach oben verlegt werden. In Abbildung 30 ist die Side-lift-2 Variante schematisch dargestellt.

Vorteile:

- Bei nach oben beengten Manipulationsvorgängen vorteilhaft
- Mehr Gestaltungsspielraum bzgl. der Dimension der Verbindungsvorrichtung
- Seitlich ausgerichtete Öffnungen der Eckbeschläge oftmals in besserem Zustand als nach oben ausgerichtete.

⁶³ (International Organization for Standardization, 2017)

Nachteile:

- Einseitige Belastung des Containers
- Mobiler Schwerpunkt beeinflusst Manipulationsverhalten.

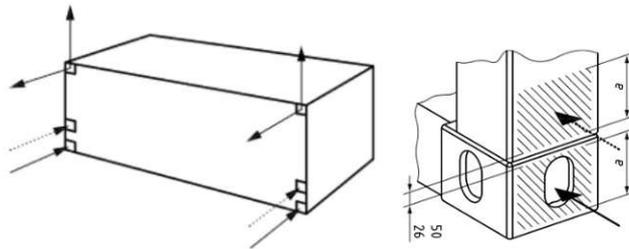


Abbildung 30: Side-lift-2 Variante⁶⁴

TF1.2 Containerverbindung herstellen (Technologiewirkprinzipien)

Formschlüssige Wirkprinzipien:

Möglichkeiten für eine formschlüssige Verbindung mit dem Container können die folgenden sein: Karabiner, Haken und Twistlocks.



Abbildung 31: Karabiner⁶⁵ & Haken⁶⁶

Karabiner sind im Stand der Technik für die Containermanipulation weit verbreitet und werden insbesondere im Zusammenspiel mit Ketten verwendet. Es sind Standardkomponenten, die genormt und zertifiziert im Handel erworben werden können.

Vorteile:

- Standardteil
- Sichere Verbindung
- Einfach zu realisieren
- Kostengünstig.

Nachteile:

- Manuelles Herstellen der Verbindung notwendig
- An Nutzung von Ketten gebunden
- Großer Operationsraum über dem Container benötigt.

⁶⁴ (International Organization for Standardization, 2017)

⁶⁵ (Mitari Hijstechniek B.V., 2025)

⁶⁶ (Mitari Hijstechniek B.V., 2025)

Haken, insbesondere Containerhaken, bieten eine weitere Eingriffsmöglichkeit. Auch diese sind weit verbreitet und an die Verwendung von Ketten gebunden. Gegenüber Karabinern bedarf es weniger manueller Eingriffe, um die Verbindung zu lösen, jedoch bieten Karabiner einen größeren Schutz gegenüber einem unbeabsichtigten Lösen der Verbindung.

Vorteile:

- Standardteil
- Einfach zu realisieren
- Kostengünstig.

Nachteile:

- Manuelles Herstellen der Verbindung notwendig
- An Nutzung von Ketten gebunden
- Großer Operationsraum oberhalb des Containers benötigt.

Twistlocks bestehen in der Regel aus einem konischen Zapfen, die in die Eckbeschläge eingreifen. Der Zapfen ist drehbar entlang seiner Längsachse gelagert und wird nach dem Einführen um 90° verdreht, wodurch der Container formschlüssig verbunden wird. Twistlocks können in drei Hauptkategorien unterteilt werden:

- Standard-Twistlocks
- Semiautomatische Twistlocks
- Vollautomatische Twistlocks.

Beispielhafte Ausführungen sind in Abbildung 32: Twistlock Varianten dargestellt.



Standard-Twistlock



Semiautomatisches
Twistlock



Vollautomatisches
Twistlock

Abbildung 32: Twistlock Varianten⁶⁷

Bei einem Standard-Twistlock wird der Zapfen manuell mittels Hebel um 90° verdreht. Je nach Ausführungsvariante sind Möglichkeiten für die Sicherung des Hebels verfügbar, so dass dieser nicht durch ungewollte äußere Einflüsse betätigt wird.

⁶⁷ (VS&B Containers Group, 2025)

Vorteile:

- Standardbauteil
- Zuverlässig
- Eingreifen von allen Seiten in Eckbeschläge möglich
- Für die Verwendung mit ISO-Containern konzipiert
- Einfache visuelle Kontrolle der Verbindungsherstellung möglich.

Nachteile:

- Benötigt manuelles Eingreifen einer Person am Twistlock beim Herstellen der Verbindung
- Benötigt manuelles Eingreifen einer Person am Twistlock beim Lösen der Verbindung
- Präzises Ausrichten notwendig.

Semiautomatische Twistlocks verriegeln automatisch aufgrund ihrer Geometrie beim Eingreifen in Eckbeschläge, müssen aber manuell entriegelt werden. Dies geschieht in der Regel über das Betätigen eines Seilzuges.

Vorteile:

- Standardbauteil
- Zuverlässig
- Eingreifen von allen Seiten in Eckbeschläge möglich
- Für Verwendung mit ISO-Containern konzipiert
- Automatisches Herstellen der Verbindung möglich
- Lösen der Verbindung über Seilzug möglich.

Nachteile:

- Benötigt physischen Zug zum Lösen der Verbindung mit dem Container
- Sicherstellung der korrekten Herstellung der Verbindung schwierig
- Präzises Ausrichten notwendig
- Seilzug notwendig.

Vollautomatische Twistlocks lassen sich weiters in verschiedene Kategorien unterteilen. Stacking-Twistlocks, wie in Abbildung 32 dargestellt, verriegeln mittels ihrer geometrischen Eigenschaften und werden in der Regel nur für das Stapeln von Containern verwendet. Bei einem Aufsetzen eines Containers verriegeln diese, sobald der Container angehoben wird, entriegeln sie automatisch.

Vorteile:

- Standardbauteil
- Zuverlässig
- Für Verwendung mit ISO-Containern konzipiert
- Automatisches Herstellen und Lösen der Verbindung möglich.

Nachteile:

- Für Stapeltätigkeiten konzipiert, nicht für Manipulationsvorgänge geeignet.

Unter die Kategorie der vollautomatischen Twistlocks fallen auch hydraulisch betätigte Twistlocks. Diese finden vor allem bei Hafenspreadern Anwendung. Bei diesen verriegeln und entriegeln die Twistlocks anhand von Signaleingängen und werden hydraulisch betätigt. Wie in Abbildung 33 wird der Verriegelungshebel eines hydraulischen Twistlocks mittels einem Hydraulikzylinder von einer Position in die andere bewegt.



Abbildung 33: Hydraulisches Twistlock⁶⁸ & Spreader⁶⁹

Vorteile:

- Für Verwendung mit ISO-Containern konzipiert
- Automatisches Herstellen und Lösen der Verbindung möglich
- Ausfallsichere Lösungen sind Stand der Technik.

Nachteile:

- Kontrolle der Verbindungsherstellung schwierig
- Hydraulische Leitungen notwendig
- Präzises Ausrichten notwendig
- Kostenintensiver als andere Twistlock Varianten.

Stoffschlüssige Verbindungen:

Diese haben oftmals die Eigenschaft, dass sie nach dem Herstellen der Verbindung nicht zerstörungsfrei lösbar sind, beispielhaft wären hierfür Schweiß- oder Klebeverbindungen, die aufgrund dieser Eigenschaft nicht weiter beachtet werden.

Eine Ausnahme der stoffschlüssigen Verbindungen stellen magnetische Verbindungen dar. Diese sind in der Fördertechnik etabliert und für verschiedene Anwendungsfälle, wie beispielsweise das Heben von Stahlplatten oder Stahlspulen, gut geeignet. Weiters bringt eine magnetische Verbindung einige Vorteile mit sich. Das Herstellen und Lösen der Verbindung ist zeitlich sehr effizient und die Aufnahmevorrichtung weist einen geringen Komplexitätsgrad auf. Dennoch gibt es einige klar ersichtliche Nachteile. Container sind nicht dafür konzipiert

⁶⁸ (VirtualExpoGroup, 2025)

⁶⁹ (Stinis, 2025)

über die Decken-, Boden- oder Seitenwände manipuliert zu werden. So bleiben nur die Eckbeschläge für die Verbindungsherstellung, wobei diese eine sehr kleine Fläche zu Verbindungsherstellung aufweisen. Aufgrund der räumlichen Begrenzung müsste die Stromstärke enorm hoch sein, um einen maximal beladenen Container zu manipulieren. Hinsichtlich der Sicherheit, der technologischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit kann eine magnetische Verbindung ausgeschlossen werden.

Kraftschlüssige Wirkprinzipien:

Kraftschlüssige Wirkprinzipien, beispielsweise basierend auf Reibung, würden enorme Anpresskräfte benötigen, für die ein Standard-Container nicht ausgelegt ist. Die ISO 3874:2017 soll eben solche Normalkräften, die auf den Container gerichtet sind, vermeiden, da diese unter jenen Lasten versagen können. Einzig eine Kraftbelastung entsprechend dem Stapeln von Containern kann aufgebracht werden. Dabei würde die Kraft von oben bzw. von unten auf die Eckbeschläge wirken. Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass die Container beim Start- und Zielort primär stehen, sind die unteren Eckbeschläge nicht für eine Krafteinwirkung zugänglich. Weitere kraftschlüssige Lösungen wie Schrauben lassen sich nicht mit einem Container verbinden.

NF1 Aufnahmevorrichtung ausrichten

Mechanisches Ausrichten:

Mechanisches Ausrichten, wie beispielsweise durch Führungsstifte, hat den Vorteil, dass es eine exakte Verbindungsherstellung ermöglicht. In der Regel muss beim mechanischen Ausrichten eine grobe initiale Ausrichtung vorgenommen werden. Beispielhaft könnte darunter das ungefähre Ausrichten eines Getriebegehäusedeckels verstanden werden. Führungsstifte richten bei diesem Beispiel anschließend final aus.

Für die Ausrichtung an Eckbeschlägen bieten sich verschiedene Varianten an. Es kann außen am Eckbeschlag ausgerichtet werden oder mittels Zapfen innerhalb der Öffnung des Eckbeschlags.

Äußerliches Ausrichten:

Das äußerliche Ausrichten erfolgt in der Regel mit schrägen Führungselementen, die eine größere Aufnahmegrundfläche im Vergleich zur Containergrundfläche aufweisen. Durch schräge Kontaktflächen wird eine Aufnahmeeinheit auf die Containeroberfläche zentriert. Diese Form von Ausrichtungen wird vor allem bei Hafenspreadern, die mittels Seilzügen operieren, verwendet. Abbildung 34 zeigt eine Ausführungsvariante einer entsprechenden Ausführung.



Abbildung 34: Äußerliches Ausrichten ⁷⁰

Vorteile:

- Kostengünstig
- Zuverlässiger Zentrierungsvorgang
- Standardbauteil.

Nachteile:

- Vorzentrierung notwendig
- Platzbedarf
- Verschleiß.

Innerliches Ausrichten:

Beim inneren Ausrichten greifen Führungszapfen in die Öffnungen der Eckbeschläge ein. Anschließend kann eine Aufnahmevorrichtung an den anderen Öffnungen der Eckbeschläge angreifen, um den Container zu manipulieren.

Vorteile:

- Kein Platzbedarf nach außen hin.

Nachteile:

- Blockieren Öffnungen
- Vorzentrierung notwendig.

Unterstützungsvorrichtungen:

Es gibt verschiedenste Unterstützungsvorrichtungen, insbesondere Sensoren, die den Ausrichtvorgang für einen Operator vereinfachen.

⁷⁰ (OUCO, 2025)

Optische Sensorik:

Kameras bieten eine Möglichkeit den Ausrichtungsvorgang visuell zu überprüfen. Abbildung 35 zeigt ein marktübliches Kamerasystem, das für Containerspreader optimiert ist.



Abbildung 35: Optische Sensorik⁷¹

Vorteile:

- Intuitiv für Operator
- Hohe Präzision
- Je nach Technologie auch bei schlechten Lichtverhältnissen realisierbar
- Erkennung von Schäden an Eckbeschlägen vor Manipulationsvorgang möglich.

Nachteile:

- Je nach Technologie lichtabhängig
- Kostenintensiv
- Benötigt Energieversorgung.

Nicht-optische Sensorik:

Sensoren, wie Laserdistanzsensoren, sind in der Containermanipulation bereits in Verwendung. Abbildung 36 zeigt eine schematische Darstellung einer solchen Anwendung.



Abbildung 36: Nicht-optische Sensorik⁷²

⁷¹ (Stoneridge, Inc., 2025)

⁷² (Hans Turck GmbH & Co. KG, 2025)

Vorteile:

- Hohe Präzision der Messungen
- Unabhängig von Lichtverhältnissen
- Geringer Energiebedarf
- Geringer Platzbedarf.

Nachteile:

- Pro Sensor nur eine Messung
- Hoher Interpretationsaufwand
- Stark abhängig von Verschmutzung der Sensoren
- Einschätzung des Zustands der Eckbeschläge kaum möglich.

NF2: Verbindung sichern

Die Teilfunktion „Verbindung sichern“ wird, je nach Verbindungsherstellung, bereits beim Herstellungsvorgang der Verbindung, beispielsweise durch Twistlocks, durchgeführt. Dennoch gibt es weitere Möglichkeiten, um Verbindungen zusätzlich zu sichern, insbesondere für den Fall, dass für das Verbindungsherstellen ein Energiefluss benötigt wird. Hierbei gilt es sicherzustellen, dass bei einem Ausfall des Energieflusses der Container nicht aus der Verbindung fallen gelassen wird.

Mechanische Sicherung:

Mechanische Sicherungen, wie beispielsweise Selbsthemmung oder Geometriesicherungen, bieten eine Möglichkeit die Sicherung konstruktiv vorzusehen. Ein Beispiel hierfür wäre ein Karabiner, wie er in Abbildung 31 zu sehen ist. Durch die Geometrie kann sich der Container nicht vom Karabiner lösen. Twistlocks hingegen sind beispielsweise oftmals so konstruiert, dass sich bei einer Kraftbelastung der Aufnahmezapfen nicht mehr um 90° drehen lässt.

Vorteile:

- Konstruktiv implementierbar
- Oftmals bereits durch Geometrie gegeben
- Energie unabhängig
- Keine zusätzlichen Bauteile.

Nachteile:

- Aufwändig im Design
- Teilweise nicht automatisierbar
- Anfällig für Korrosion und Verschleiß.

Fail-Safe Sicherung:

Fail-Safe Sicherungen sorgen in der Regel dafür, dass der entscherte Zustand nur durch Energieaufwendung erreichbar ist. Als Beispiel kann eine Federkraftunterstützung bei einer Fahrzeugbremse herangezogen werden. Dabei drücken Federn eine Bremsscheibe auf ein

Gegenstück, das mit dem Antriebssystem verbunden ist. Dadurch wird ein Stillstand des Fahrzeugs erreicht. Nur durch ein Aufrechterhalten einer Magnetkraft wird die Bremsscheibe vom Gegenstück weggezogen und somit das Antriebssystem freigegeben. Im Falle eines Energieausfalls greift somit automatisch die Bremse und das Fahrzeug kommt zum Stehen.

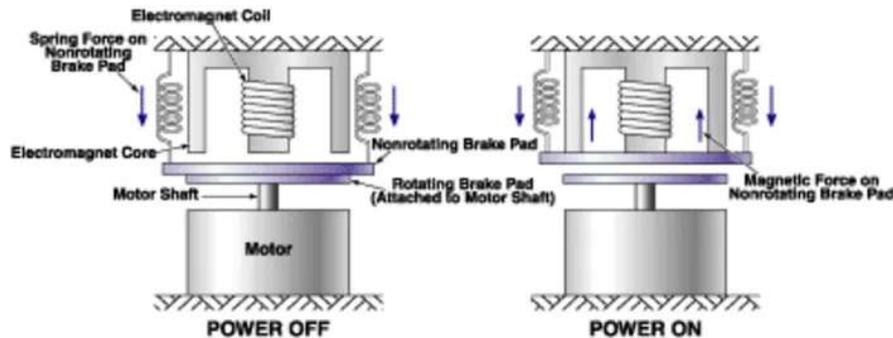


Abbildung 37: Fail-safe Sicherung⁷³

Vorteile:

- Zuverlässig
- Oft geeignet für automatisierte Bauteile.

Nachteile:

- Integrationshürde
- Platzverbrauch.

Redundante Sicherung:

Redundante Sicherungen sind vor allem aus der Luftfahrt bekannt. Sie basieren darauf, dass gleiche Komponenten zumindest zweimal vorhanden sind, um zu gewährleisten, dass beim Ausfall einer Komponente die zumindest zweite Komponente die Sicherung übernehmen kann. Das typische Beispiel hierfür sind Flugzeugtriebwerke, die so konzipiert sind, dass ein Flugzeug auch mit einem Triebwerk den Flug sicher fortsetzen bzw. zumindest das Flugzeug zumindest sicher landen kann.

Vorteile:

- Zuverlässig
- Intuitiv.

Nachteile:

- Doppelte Komponenten benötigt
- Realisierung abhängig vom Anwendungsfall

⁷³ (SAE Media Group, 2025)

TF2: Container anheben

Mechanische Hebemechanismen:

Hebemechanismen bestehend aus einzelnen Armsegmenten, die über Gelenke verbunden sind und mittels hydraulischer Zylinder bewegt werden, sind in der Fördertechnik weit verbreitet und werden entsprechend dem ermittelten Stand der Technik angewendet. Eine rein lineare Bewegung in vertikaler Richtung ist mittels Gelenkkombination realisierbar. Auch Linearmotoren, Kugelumlaufspindeln oder generelle Spindelantriebe sind mechanische Standardkomponenten, die sich dafür eigenen lineare Bewegungen durchzuführen. In der Regel werden diese jedoch für geringer belastete Anwendungen verwendet.

Vorteile:

- Präzise Bewegungsabläufe möglich
- Geeignet für hohe Lasten
- Standardbauteile
- Resistent gegen Umwelteinflüsse.

Nachteile:

- Platzbedarf
- Erlauben wenig Spiel
- Wartungsbedarf.

Anschlagmittel:

Unter Anschlagmittel werden Seile, Ketten oder Lastgurte verstanden. Diese können linear über Rollen mittels Winde als Zugsysteme verwendet werden und ermöglichen dadurch eine vertikale Manipulation eines Containers. Beispielhaft könnte ein Seilzug oder Kettenzug verwendet werden.

Vorteile:

- Flexibel
- Erlaubt Ausgleich
- Platzbedarf anpassbar.

Nachteile:

- Kontrolle von Anschlagmittel notwendig
- Geringe Präzision.

Abstützung:

Mobile Kransysteme stützen sich in der Regel auf gesonderte Stützen, die das Gesamtsystem um einige Zentimeter vom Untergrund abheben. Dabei wird oftmals eine Mehrzahl an Teleskopstützen verwendet, die aufgrund ihrer Gestaltung in rein vertikaler Richtung

ausfahren. Entsprechend kann das Stützsystem so ausgelegt werden, dass das Anheben und Abstellen des Containers in rein vertikaler Richtung mit der Abstützung durchgeführt werden.

Vorteile:

- Stützsystem ohnehin benötigt
- Technologie für vertikale Bewegung ausgelegt
- Vereinfachung des Gesamtsystems.

Nachteile:

- Dynamische Last mit Container und Gesamtsystem sehr hoch
- Einschränkung der Abstützungsvariante.

TF3.1 & TF3.2 Versatz ausgleichen

Es ist zu erwarten, dass sowohl ein Versatz zwischen Container und Aufnahmevorrichtung als auch ein Versatz zwischen der Manipulationsvorrichtung und dem Sattelaufleger ausgeglichen werden muss.

Führungselemente:

Unter Führungselementen werden Lager sowie Gelenke verstanden, die je nach Ausführung einen Versatz um mindestens eine Achse (ein Freiheitsgrad) erlauben. Eine Variante für einen mehrachsigen Versatz wäre beispielsweise ein Kugelgelenk oder eine kardanische Lagerung.

Vorteile:

- Mechanisch einfach
- Benötigt nicht gezwungenermaßen eine aktive Steuerung
- Flexible Anwendungsvarianten.

Nachteile:

- Mehrzahl an Gelenkfreiheitsgraden notwendig
- Mehrachsige Gelenke komplex
- Wartungsaufwand.

Anschlagmittel:

Auch diese Teilfunktion kann von Anschlagmitteln durchgeführt werden. Ketten, wie sie laut dem Stand der Technik verwendet werden, erlauben einen Versatz in allen drei Dimensionen, da der Versatz in die verschiedenen Bewegungsrichtungen durch die Ketten ausgeglichen werden kann.

Vorteile:

- Flexibel
- Einfach zu realisieren
- Platzbedarf gering

- Kostengünstig
- Standardkomponente.

Nachteile:

- Kontrolle von Anschlagmittel notwendig
- Erlaubt Ausgleich nur zwischen Container und Manipulator
- Geringe Präzision.

Elastische Elemente:

Verbindungselemente aus einem Material mit elastischen Verhalten können bestimmte Versätze durch ihre elastische Verformung ausgleichen, ohne sich dabei dauerhaft zu verformen.

Vorteile:

- Flexibel
- Geringer Wartungsbedarf

Nachteile:

- Geringe Lasten möglich
- Witterungsanfällig.

TF4: Container bewegen

Das Ziel ist es, den Container beidseitig zu manipulieren, bzw. den Container von einer Seite auf die andere zu bewegen. Dabei ist zu beachten, dass der Container auf der jeweils anderen Seite abgeladen werden muss.

Ein-Arm-Systeme:

Aus der Containermanipulation sind Containerstapler die Standardlösung, um Container innerhalb eines Umschlagplatzes, zu manipulieren. Dabei kommt ein Ein-Arm-System in Form eines teleskopischen Arms zum Einsatz, der den Container manipuliert. Diese Ein-Arm-Systeme sind in der Regel hydraulisch gestützt und verwenden einen Spreader als Aufnahmevorrichtung.

Vorteile:

- Keine Selbsthemmung aufgrund mehrerer Arme
- Bekannte Bauteilgruppen
- Hohe Lasten möglich.

Nachteile:

- Verbindung mit Aufnahmevorrichtung komplex
- Schwerpunktfrage vom Container relevant.

Zwei-Arm-Systeme:

Auch bereits aus dem Stand der Technik für Containermanipulation bekannt, sind verschiedene Zwei-Arm-Systeme, die meistens aus Gelenk-Glied-Verbindungen bestehen. Dabei wird die Arbeitshöhe und -reichweite aufgrund der Gelenk-Glied-Kinematik erreicht.

Vorteile:

- Gleichmäßige Lastverteilung
- Höhere Lasten möglich
- Kompaktere Bauweise möglich.

Nachteile:

- Komplexere Mechanik (Selbsthemmung)
- Seite-zu-Seite Bewegungen komplex.

Teleskop-Systeme:

Teleskopsysteme generell beruhen darauf, dass mehrere Glieder eines Arms ineinander geschoben werden können. Die einzelnen Glieder werden beispielsweise hydraulisch entlang von Führungsschienen geführt und erlauben somit eine sehr platzeffiziente Nutzung des Arms.

Vorteile:

- Kompakte Bauweise
- Flexible Reichweiten
- Hohe Lasten möglich.

Nachteile:

- Abstützung notwendig
- Hoher Energieaufwand der Hydraulik.

Gelenk-Glied-Systeme:

Kranarme, die aus mehreren Gliederungen und Gelenken bestehen, wurden mehrfach bei der Recherche zum Stand der Technik für die Manipulation von Containern mittels Anschlagmitteln identifiziert. Aufgrund der Mehrzahl an Gelenken lassen sich viele Positionen ansteuern. Dadurch sind diese Systeme äußerst flexibel.

Vorteile:

- Hohe Beweglichkeit
- Flexibel.

Nachteile:

- Komplexe Gestaltung und Steuerung
- Größerer Platzverbrauch.

Führungsschienen:

Lineare Führungsschienen können die Bewegung von Verbindungsgliedern linear einschränken, beispielsweise durch Spindelantriebe oder Wälzführungen. Dabei bewegen sie Verbindungsglieder von einem Ende der Führungsschiene an das andere Ende. Auch diese sind in großen Dimensionen aus dem Umschlag von Containern bekannt.

Vorteile:

- Exakt bei linearer Führung
- Einfache Seite-zu-Seite Bewegung
- Einfach umzusetzen.

Nachteile:

- Unflexibel
- Steigungen schwierig
- Integrationshürden.

NF3: Container Ausrichten

Für die Nebenfunktion „NF3 Container ausrichten“ treffen die gleichen Wirkprinzipien, wie für die Nebenfunktion „NF1 Aufnahmevorrichtung ausrichten“, zu. Daher wird auf den entsprechenden Abschnitt verwiesen.

TF5: Container abstellen & TF6 Containerverbindung lösen

Diese beiden Teilfunktionen werden bereits implizit durch das Erfüllen vorhergehender Funktionen gelöst.

Somit sind für alle Teilfunktionen Wirkprinzipien identifiziert und im folgenden Kapitel werden diese nun hinsichtlich der Anforderungsliste und deren Verträglichkeit analysiert.

5.3.2 Auswahlliste und Verträglichkeitsmatrix – Teilfunktionen

Ziel dieses Kapitels ist es, die Anzahl der Wirkprinzipien, um jene zu reduzieren, die nicht den geforderten Kriterien, dargestellt in Kapitel 4, entsprechen. Damit wird die Anzahl der zu bewertenden Kombinationen reduziert. Die folgenden Kriterien (A-D) werden in der gelisteten Reihenfolge analysiert:

- A: Ist das Wirkprinzip mit der Aufgabenstellung und/oder folgenden Wirkprinzipien verträglich?
- B: Erfüllt das Wirkprinzip die jeweilige Forderung(en) der Anforderungsliste?
- C: Ist das Wirkprinzip in Bezug auf die Forderungen realisierbar?
- D: Ist der erwartete Realisierungsaufwand zumutbar?

Unter „folgenden Wirkprinzipien“, wie in Kriterium A, werden jene verstanden, die die nächste Teilfunktion erfüllen. Besonders hinsichtlich der Baugruppenzuordnung ist dies von Relevanz,

da es Kombinationen zu identifizieren gilt, die nicht innerhalb einer Baugruppe oder über die Baugruppen hinaus miteinander kombinierbar sind.

Zur besseren Darstellung wird die Auswahlliste in zwei Teilen gezeigt. Tabelle 10 zeigt Teil 1/2 und Tabelle 11 Teil 2/2. Die vollständige Tabelle ist im Anhang 3 zu finden.

Tabelle 10: Auswahlliste Teil 1/2

TU Wien	Auswahlliste der Wirkprinzipien für Teilfunktionen				Teil 1/2	
Lösungsvarianten: T/N F#-#(Wirkprinzip)	Erfüllung des Kriteriums?				Wirkprinzip weiter	
	"+"...ja "-"...nein "?"...Informationsmangel					
	Verträglichkeit				"+"...ja "-"...nein	
	Anforderung(en)					
	Realisierung				Entscheidungen	
	Realisierungsaufwand					
	A	B	C	D		Bemerkungen
	NF1-1	+	+	+	+	+
	NF1-2	-				Blockierung der Eckbeschläge
	NF1-3	+	+	+	+	+
NF1-4	+	+	+	-	Reine nicht-optische Sensorik aufwändig	
TF1.1-1	+	+	+	+	+	
TF1.1-2	+	+	+	-	Realisierungsaufwand > als Side-lift 2	
TF1.1-3	+	+	+	+	+	
TF1.2-1	+	-			Nicht automatisierbar	
TF1.2-2	+	-			Nicht automatisierbar	
TF1.2-3	+	-			Nicht automatisierbar	
TF1.2-4	-				Nicht zum Heben geeignet	
TF1.2-5	+	+	+	+	+	
TF1.2-6	-				Technisch auszuschließen	
TF1.2-7	-				Technisch auszuschließen	
NF2-1	+	+	+	+	+	
NF2-2	+	+	+	+	+	
NF2-3	+	-			Blockierung der Eckbeschläge	

Tabelle 11: Auswahlliste Teil 2/2

TU Wien	Auswahlliste der Wirkprinzipien für Teilfunktionen				Teil 2/2
Lösungsvarianten: T/N F#-#(Wirkprinzip)	Erfüllung des Kriteriums?				Wirkprinzip weiter
	"..."...ja "..."...nein "?"...Informationsmangel				"..."...ja "..."...nein
	Verträglichkeit				
	Anforderung(en)				Entscheidungen
	Realisierung				
	Realisierungsaufwand				
	A	B	C	D	Bemerkungen
TF2-1	+	+	+	+	+
TF2-2	+	+	+	+	+
TF2-3	+	+	+	+	+
TF3.1-1	+	+	+	+	+
TF3.1-2	+	+	+	+	+
TF3.1-3	-				Technisch auszuschließen
TF3.2-1	+	+	+	+	+
TF3.2-2	-				Technisch auszuschließen
TF3.2-3	-				Technisch auszuschließen
TF4-1	+	+	+	+	+
TF4-2	+	+	+	+	+
TF4-3	+	+	+	+	+
TF4-4	+	+	+	+	+
TF4-5	+	-			Stapelung nicht durchführbar
NF3-1	-				Müsste am Container angebracht sein
NF3-2	-				Müsste am Container angebracht sein
NF3-3	+	+	+	+	+
NF3-4	+	+	+	-	Reine nicht-optische Sensorik aufwändig

Nach der Analyse der Teilfunktionen mittels der Auswahlliste kann nun der morphologische Kasten wie folgt angepasst werden.

Wirkprinzip → Teilfunktion ↓	1	2	3	4	5	6	7
NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten	Äußeres Ausrichten	Innerliches Ausrichten	Optische Sensorik	Nicht-optische Sensorik			
TF1.1: Containerverbindung herstellen Aufnahmevariante nach ISO3874	Top-lift	Side-lift 1	Side-lift 2				
TF1.2: Containerverbindung herstellen Bautelle	Karabiner	Haken	Standard TL	Semiautomatische Twistlocks	Hydraulische Twistlocks	Kraftschlüssig	Stoffschlüssig
NF2: Verbindung sichern	Geometrisch/konstruktive Sicherung	Fail-Safe Sicherung	Redundante Sicherung				
TF2: Container anheben	Mechanische Hebemechanismen	Anschlagmittel	Abstützung				
TF3.1: Versatz ausgleichen zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung	Führungselemente	Anschlagmittel	Elastische Elemente				
TF3.2: Versatz ausgleichen zwischen Hebevorrichtung und Sattelanhängen	Führungselemente	Anschlagmittel	Elastische Elemente				
TF4: Container bewegen	Ein-Arm-Systeme	Zwei-Arm-Systeme	Teleskop-Systeme	Gelenk-Glied-Systeme	Führungsschiene-Systeme		
NF3: Container ausrichten	Äußeres Ausrichten	Innerliches Ausrichten	Optische Sensorik	Nicht-optische Sensorik			
TF5: Container abstellen	Bereits durch Technologie für TF2 erfüllt						
TF6: Containerverbindung lösen	Bereits durch Technologie für TF1 erfüllt						

Abbildung 38: Morphologischer Kasten Anpassung

Einzelne Wirkprinzipien bieten sich zur Kombination mit Wirkprinzipien der gleichen Teilfunktion an. Um die verschiedenen möglichen Kombinationen innerhalb des morphologischen Kastens zu berücksichtigen, werden diese im folgenden Abschnitt kurz erläutert und dem morphologischen Kasten hinzugefügt bzw. werden bereits vorhandene Wirkprinzipien kombiniert und angepasst.

NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten:

- Kombination von äußerlichem Ausrichten mit der Sensorik (optisch/nicht-optisch)
- Kombination der Sensorik.

TF4: Container bewegen:

- Kombination vom Ein-Arm-System mit dem Teleskop-System, besonders für Ein-Arm-Systeme sind Teleskoparme gut geeignet, da diese schwere Lasten gut aufnehmen können. Gelenk-Glied-Systeme sind technisch schwieriger als Ein-Arm-Systeme umzusetzen, da die Gelenke eines einzelnen Arms bei maximaler Last schwierig zu realisieren sind.
- Kombination von Zwei-Arm Systemen mit Gelenk-Glied-Systemen (dies stellt im Prinzip eine Auswahl einer Technologie für ein Wirkprinzip dar)
- Kombination von Gelenk-Glied-Systemen mit Teleskop-Systemen (dies stellt eine Auswahl einer Technologie für ein Wirkprinzip dar).

Der adaptierte morphologische Kasten ist in der folgenden Abbildung 39 dargestellt.

Wirkprinzip → Teilfunktion ↓	1	2	3
NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten	Äußeres Ausrichten	Ausrichten mittels Sensorik	Kombination von 1 & 2
TF1.1: Containerverbindung herstellen Aufnahmevariante nach ISO3874	Top-lift	Side-lift 2	
TF1.2: Containerverbindung herstellen Bauteile	Hydraulische Twistlocks		
NF2: Verbindung sichern	Geometrisch/konstruktive Sicherung	Fail-Safe Sicherung	
TF2: Container anheben	Mechanische Hebemechanismen	Anschlagmittel	Abstützung
TF3.1: Versatz ausgleichen zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung	Führungselemente	Anschlagmittel	
TF3.2: Versatz ausgleichen zwischen Hebevorrichtung und Sattelanhänger	Führungselemente		
TF4: Container bewegen	Ein-Arm-Teleskop-System	Zwei-Arm-Teleskop-System	Zwei-Arm-Gelenk-Glied-Systeme
NF3: Container ausrichten	Ausrichten mittels Sensorik		

Abbildung 39: Finaler Morphologischer Kasten

Bevor nun mögliche Kombinationen mittels des morphologischen Kastens bestimmt werden können, ist es zweckmäßig Kombinationen zu identifizieren, die hinsichtlich einer Baugruppengestaltung nicht verträglich sind. Diese Kombinationen können von vornherein ausgeschlossen werden. Als Werkzeug dafür dient eine Verträglichkeitsmatrix. Nicht verträglich kann beispielsweise die Kombination innerhalb einer Baugruppe sein, oder eben auch über Baugruppen hinaus. Ein Beispiel hierfür wären Anschlagmittel als Wirkprinzip der Teilfunktion „Container anheben“. Dieses Wirkprinzip lässt sich kaum mit einer der Side-lift Varianten vereinbaren, da Anschlagmittel darauf beruhen, dass sie eine Last in Gravitationsrichtung aufnehmen, bei einem seitlichen Angreifen mittels Twistlocks ist dies nicht möglich.

Die Verträglichkeitsmatrix ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Verträglichkeitsmatrix

Verträglichkeitsmatrix: ✓ verträglich ~ gleiche Teilfunktion X nicht verträglich	NF1-1: Äußerliches Ausrichten	NF1-2: Ausrichten mittels Sensorik	NF1-3: Kombination aus NF1-1&2	TF1.1-1: Top-lift	TF1.1-2: Side-lift 2	TF1.2-2: Hydraulische TL	NF2-1: Geometrische/konstruktive Sicherung	NF2-2: Fail-Safe Sicherung	TF2-1: Mechanische Hebe-mechanismen	TF2-3: Anschlagmittel	TF2-4: Abstützung	TF3.1-1: Führungselemente	TF3.1-2: Anschlagmittel	TF3.2-1: Führungselemente	TF4-1: Ein-Arm-Teleskop Systeme	TF4-2: Zwei-Arm Teleskop Systeme	TF4-3: Zwei-Arm-Gelenk-Glied Systeme	NF3-1: Ausrichten mittels Sensorik	
	NF1-1: Äußerliches Ausrichten	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
NF1-2: Ausrichten mittels Sensorik	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
NF1-3: Kombination aus NF1-1&2	~	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF1.1-1: Top-lift	~	~	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF1.1-2: Side-lift 2	~	~	~	~	✓	~	~	~	~	X	~	~	X	~	~	~	~	~	~
TF1.2-2: Hydraulische TL	~	~	~	~	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
NF2-1: Geometrische/konstruktive Sicherung	~	~	~	~	~	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
NF2-2: Fail-Safe Sicherung	~	~	~	~	~	~	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF2-1: Mechanische Hebe-mechanismen	~	~	~	~	~	~	~	~	✓	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF2-3: Anschlagmittel	~	~	~	~	X	~	~	~	~	~	~	X	~	~	X	~	~	~	~
TF2-4: Abstützung	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF3.1-1: Führungselemente	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF3.1-2: Anschlagmittel	~	~	~	~	X	~	~	~	~	~	~	~	~	~	X	~	~	~	~
TF3.2-1: Führungselemente	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF4-1: Ein-Arm-Teleskop Systeme	~	~	~	~	~	~	~	~	~	X	~	X	~	~	~	~	~	~	~
TF4-2: Zwei-Arm Teleskop Systeme	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
TF4-3: Zwei-Arm-Gelenk-Glied Systeme	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
NF3-1: Ausrichten mittels Sensorik	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

Anhand der Verträglichkeitsmatrix ist ersichtlich, dass die folgenden Kombinationen nicht verträglich sind:

- Anschlagmittel und Side-lift 2
- Anschlagmittel und Ein-Arm-Teleskop Systeme
- Anschlagmittel (TF2-3) und Führungselemente.

Nachdem nun ein finaler morphologischer Kasten erstellt ist und die Wirkprinzipien hinsichtlich ihrer Verträglichkeit analysiert sind, kann mit der Kombination der Wirkprinzipien und Auswahl von Gesamtlösungskonzepten gestartet werden.

5.3.3 Kombinationen und Auswahl

In diesem Kapitel wird die Identifikation verschiedener Kombinationen mit Hilfe des morphologischen Kastens unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Verträglichkeitsmatrix hergeleitet. In einem ersten Schritt werden verschiedene Kombinationen durch eine Pfaderstellung innerhalb des morphologischen Kastens identifiziert. Dabei wird jeweils ein Wirkprinzip einer Teilfunktion mit einem verträglichem Wirkprinzip einer folgenden Teilfunktion kombiniert. Es ist vorteilhaft zu prüfen, ob bestimmte Kombinationen einzelner Wirkprinzipien

besonders gut zusammenpassen. Folgend werden einige Kombinationen/Entscheidungen erörtert. Eine erste Übersicht günstiger Kombinationen ist in Abbildung 40 dargestellt.

Wirkprinzip → Teilfunktion ↓	1	2	3
NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten	Äußerliches Ausrichten	Ausrichten mittels Sensorik	Kombination von 1 & 2
TF1.1: Containerverbindung herstellen Aufnahmevariante nach ISO3874	Top-lift	Side-lift 2	
TF1.2: Containerverbindung herstellen Bauteile	Hydraulische Twistlocks		
NF2: Verbindung sichern	Geometrisch/konstruktive Sicherung	Fail-Safe Sicherung	
TF2: Container anheben	Mechanische Hebemechanismen	Anschlagmittel	Abstützung
TF3.1: Versatz ausgleichen zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung	Führungselemente	Anschlagmittel	
TF3.2: Versatz ausgleichen zwischen Hebevorrichtung und Sattelanhänger	Führungselemente		
TF4: Container bewegen	Ein-Arm-Teleskop-System	Zwei-Arm-Teleskop-System	Zwei-Arm-Gelenk-Glied-Systeme
NF3: Container ausrichten	Ausrichten mittels Sensorik		

Abbildung 40: Morphologischer Kasten, günstige Kombinationen

- Die Wahl von NF1-3 ist vorteilhaft, da beide Wirkprinzipien lösbar an der Manipulationsvorrichtung angebracht werden können und in Kombination Standardbauteile in der Containermanipulation sind. Die Merkmale können somit auch im Nachhinein noch weggelassen werden, sollte es Kriterien geben, die dafürsprechen.
- Die Kombination von TF1.2-2 mit NF2-2 ist vorteilhaft, da sich der Hydraulikmechanismus dafür anbietet, mittels Fail-Safe Sicherung gesichert zu werden. So könnte eine Feder den Twistlockbolzen in die gesicherte Stellung drücken und der Hydraulikmechanismus überführt den Bolzen von der gesicherten in die entscherte Position.
- Die Kombination von TF2-2 und TF3.1-2 bietet sich an, da die Teilfunktionen im Wesentlichen das gleiche Wirkprinzip darstellen.

Trotz dieser vorteilhaften Einschränkungen in den Kombinationen gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Gesamtkombinationen. Es gilt nun eine Auswahl von bevorzugten Kombinationen für die weitere Entwicklung zu wählen. Im Rahmen einer Brainstorming Session mit den projektbeteiligten Parteien wurde entschieden, dass drei verschiedene

Konzepte weiterverfolgt und analysiert werden. Dabei sollen alle drei in der ersten Betrachtung vielversprechend sein und sich in der Kombination möglichst unterscheiden.

Tabelle 13 zeigt die gewählten verschiedenen Varianten der Kombinationen innerhalb des morphologischen Kastens. Dabei wurde auf eine maximierte Vielfalt abgezielt, um möglichst viele Informationen im weiteren Entwicklungsprozess zu gewinnen.

Tabelle 13: Gewählte Kombinationen

Varianten →	1	2	3
Teilfunktion ↓			
NF1: Aufnahmevorrichtung ausrichten	Kombination von 1 & 2	Kombination von 1 & 2	Kombination von 1 & 2
TF1.1: Containerverbindung herstellen Aufnahmevariante nach ISO3874	Top-lift	Top-lift	Side-lift 2
TF1.2: Containerverbindung herstellen Bauteile	Hydraulische Twistlocks	Hydraulische Twistlocks	Hydraulische Twistlocks
NF2: Verbindung sichern	Fail-Safe Sicherung	Fail-Safe Sicherung	Fail-Safe Sicherung
TF2: Container anheben	Anschlagmittel	Abstützung	Mechanische Hebemechanismen
TF3.1: Versatz ausgleichen zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung	Anschlagmittel	Führungselemente	Führungselemente
TF3.2: Versatz ausgleichen zwischen Hebevorrichtung und Sattelanhänger	Führungselemente	Führungselemente	Führungselemente
TF4: Container bewegen	Zwei-Arm-Gelenk-Glied- Systeme	Zwei-Arm-Gelenk-Glied- Systeme	Ein-Arm-Teleskop-System
NF3: Container ausrichten	Ausrichten mittels Sensorik	Ausrichten mittels Sensorik	Ausrichten mittels Sensorik

Nachdem nun drei verschiedene Varianten ausgewählt sind, kann der Konkretisierungsprozess starten.

5.4 Konkretisierung

Das Ziel dieses Kapitel ist die Konkretisierung der gewählten Kombinationen. Dabei gilt es zu beachten, ob die Gesamtkombination weiterhin die Anforderungen der Anforderungsliste erfüllt werden, ggfs. können naheliegende Alternativen erläutert werden. Weiters gilt es grundlegende Rechnungen bzgl. der Dimensionierung durchzuführen und mittels schematischer Skizzen die Varianten zu veranschaulichen. Die Varianten werden dabei entsprechend der Zuordnung der Wirkprinzipien zu den Baugruppen aufgerollt und erläutert. Als globales Koordinatensystem wird, wie auch bei der Anforderungsliste der Längsachse von

einem Sattelaufleger, die x-Achse zugeordnet, normal in der Ebene liegend die y-Achse, und die z-Achse entsprechend der vertikalen Richtung.

5.4.1 Variante 1, Zwei-Arm Anschlagmittel

Aufnahmevorrichtung:

Die Aufnahmevorrichtung wird maßgeblich durch zwei Wirkprinzipien bestimmt. Aufgrund der Top-lift Variante bedarf es vier Twistlocks, die in die vier oberen Eckbeschläge des Containers eingreifen. Dabei greifen diese in die nach oben ausgerichteten Öffnungen ein. Durch die Verwendung von Anschlagmitteln ist es vorteilhaft, eine Aufnahmevorrichtung in Form eines Rahmens zu verwenden. Zwei getrennte Rahmen, wobei jeweils einer in zwei Eckbeschläge eingreift, bieten sich bei der Verwendung von Anschlagmitteln nicht an, da Anschlagmittel allein keine Kontrolle über die Verdrehung in der normal zum Anschlagmittel stehenden Ebene erlauben. Ketten oder Seile können aufgrund der Biegeschlaffheit nur Zugkräfte entlang der Seil-/Kettenlinie übertragen. Lasten, die an Anschlagmitteln hängen, können dennoch mittels der Anschlagmittel in der Ebene normal auf die Seil-/Kettenlinie bewegt werden. Wie bei einem Kran bestimmt die Bewegung des Freigabepunktes die Bewegung der Last. Der Freigabepunkt ist jener Punkt, ab dem das Anschlagmittel samt Last hängt und nicht mehr geführt wird. Durch das Ausschwenken in horizontaler Richtung wird das Anschlagmittel in einen schrägen Spannungszustand versetzt, der auch Horizontalkräfte überträgt. Eine Drehung in einer horizontalen Ebene ist somit durch mindestens zwei, nicht miteinander verbundene Anschlagmittel möglich, da diese eine vollständige Bewegung innerhalb einer Ebene ermöglichen. Nun gilt es den Container gegen eine Verschwenkung entlang der Längsachse zu sichern. Beispielsweise ein exzentrischer Schwerpunkt benötigt mehr als zwei Angriffspunkte, da der Container sonst in eine Schräglage kippen könnte. Da die Variante 1 ein Zwei-Arm-System beinhaltet, ist es naheliegend vier unabhängig voneinander laufende Anschlagmittel zu verwenden, zwei pro Arm.

Verbindungsvorrichtung zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung:

Die Anschlagmittel dienen als Verbindungsvorrichtung zum Ausgleich von Versätzen. Der große Vorteil der Anschlagmittel ist, dass nachdem die Aufnahmevorrichtung platziert ist und im Eingriff steht, die Anschlagmittel den rein vertikalen Hub durchführen und nachdem der Container angehoben ist, die Anschlagmittel den Versatz automatisch ausgleichen. Anschließend werden die Teleskoparme eingefahren, wobei darauf zu achten ist, dass der Container nicht am Eisenbahnwaggon anschlägt.

Hebevorrichtung:

Die Hebevorrichtung(en) sind durch die zwei Teleskoparme gegeben. Die Arme bzw. die einzelnen Module werden so konzipiert, dass diese neben den offensichtlichen Eigenschaften auch die Anschlagmittel führen, da diese für den rein vertikalen Hub eingefahren werden. Bei dieser Variante ist gedacht, dass die Teleskoparme symmetrisch um die Längsachse des Sattelauflegers verschwenkt werden können, ohne dass die Verbindungsvorrichtung zwischen Hebevorrichtung und dem Sattelaufleger große Drehungen durchführen muss.

Verbindungsvorrichtung zwischen Hebevorrichtung und Sattelaufleger:

Die Verbindungsvorrichtung in Form eines Drehgelenkes verbindet einerseits den/die Teleskoparm(e) mit dem Sattelaufleger und erlaubt auch das Ausgleichen des Versatzes durch die Drehung in der Ebene des Sattelauflegers. Weiters erlaubt es die symmetrische Bewegung der Teleskoparme von einer Seite auf die andere. Weiters gilt es die Last der Teleskoparme zu stützen, da die Teleskoparme voraussichtlich nicht nur über jeweils ein aktiv gesteuertes Gelenk am Ende der Arme verschwenkt werden können.

Darstellung:

Für eine grobe Dimensionierung wurden die Teleskoparme sowie die Aufnahmevorrichtung überschlagsmäßig bzgl. der Biegung berechnet. Dabei wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Materialwahl, S960, dieser Stahl wird beispielsweise von Liebherr für Teleskopausleger verwendet⁷⁴
- Sicherheitsfaktor 2
- Zusatzgewicht von 2 Tonnen (Eigengewicht der Aufnahmevorrichtung).

Die Berechnung, sowie die gewählten Dimensionen sind im Anhang 4 zu finden. Abbildung 41 bis Abbildung 47 zeigen schematische Darstellungen des Konzeptes mit entsprechender Dimensionierung. Der Vollständigkeit halber wird erwähnt, dass es sich bei den Darstellungen um nicht vollkommene Darstellungen handelt, physikalische Widersprüche, wie beispielsweise fehlende Stützen oder über-/unterdimensionierte Stützen, sind zu vernachlässigen. Es soll auch erwähnt sein, dass sich mit der verwendeten CAD-Software SolidWorks keine physikalischen Anschlagmittel wie Seile/Ketten darstellen lassen. Es werden am Ende der Arme sphärische Platzhalter angeordnet, die visualisieren, dass die Anschlagmittel variabel aus dem Teleskoparm austreten.

Aus der initialen Konzipierung ergeben sich einige Eigenschaften bzw. Bedingungen, die im Folgenden genauer beleuchtet werden.

Abbildung 41 zeigt eine schematische Darstellung der Teleskoparme samt Gelenkverbindung zum Sattelaufleger des Lösungskonzeptes der Variante 1. Alle Längen sind in Millimeter angegeben.

⁷⁴ (Liebherr-International Deutschland GmbH, 2025)

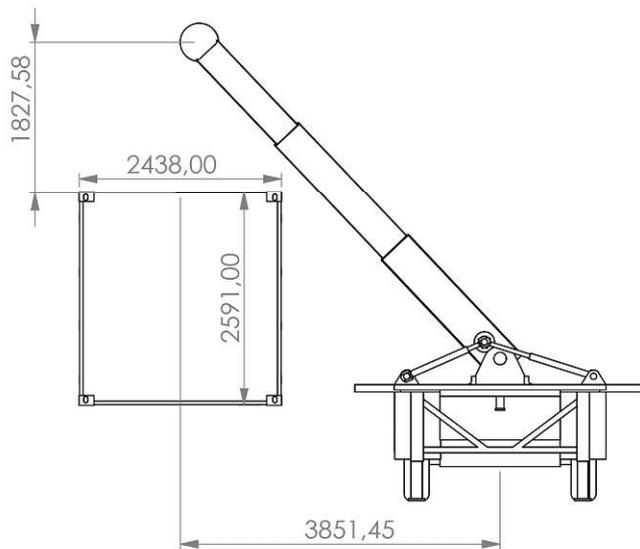


Abbildung 41: Variante 1-Problemstellung (Längenangaben in mm)

Die Teleskoparme sind nur entlang ihrer Längsrichtung verschiebbar. Bei einer Containeraufnahme müssen die Endpunkte der Teleskoparme, aus denen die Anschlagmittel austreten, für eine Aufnahme mittels Anschlagmittel zentral über dem Container stehen. Wie in Abbildung 41 erkennbar, liegt der Container innerhalb des in Merkmal 20 geforderten Intervalls von $2,985 \text{ m} \leq \Delta Y \leq 5,763 \text{ m}$. Aufgrund der geometrischen Eigenschaften ist der Höhenbedarf über dem Container deutlich über dem kalkuliertem Operationsspielraum von $\sim 960 \text{ mm}$, siehe Abbildung 22: Operationsspielraum.

Naheliegender wäre es, die Arme neben den Container zu verschwenken, um so eine geringere Höhe über dem Container zu erreichen, siehe Abbildung 42.

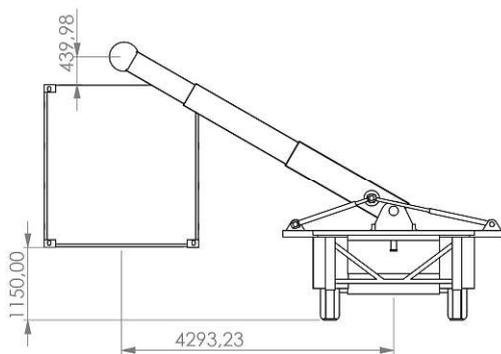


Abbildung 42: Variante 1-Containerseite (Längenangaben in mm)

Dies ist jedoch nicht zielführend, da davon ausgegangen werden muss, dass bei Umschlagvorgängen von Eisenbahnwaggons weitere Container auf den benachbarten vorherigen und folgenden Waggons vorhanden sind. Bei einem Verschwenken zwischen den Waggons dürften die einzelnen Segmente eine maximale Breite von $<75 \text{ mm}$ aufweisen, siehe Merkmal 14. Weiters wäre beim Fall, dass die Arme zwischen zwei Containern angeordnet sind, eine Verschwenkung innerhalb der horizontalliegenden Drehachse nicht möglich, wodurch auch kein Versatz ausgeglichen werden könnte.

Eine weitere theoretische Möglichkeit für die Lösung dieses Problems wäre die Erhöhung der Teleskoparmbasis. Abbildung 43 zeigt schematisch eine Ansicht, bei der die drehbare Stützplatte vertikal überdimensional stark vergrößert ist.

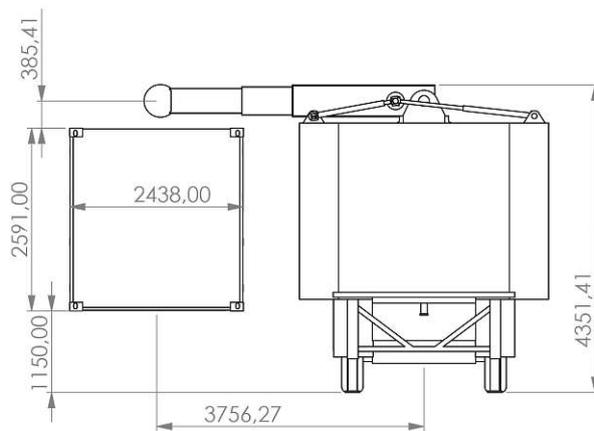


Abbildung 43: Variante 1-Hochlagerung (Längenangaben in mm)

Die technische Realisierung dieser Ausführung ist jedoch als unrealistisch einzustufen. Die Verbindung zum Sattelaufleger wäre aufgrund des hohen Eigengewichtes herausfordernd, die Funktion des Containers auf dem Sattelaufleger abzustellen, wäre nur bedingt gegeben, weiters wird das Gesamtsystem mit über 4 m zu hoch für den Transport auf öffentlichen Straßen, siehe Merkmal 11.

Das Konzept der Variante 1 mit der ausschließlichen Verwendung von Teleskoparmen ist somit nicht entsprechend den Anforderungen zu realisieren.

Eine Alternative, fortan als Variante 1.5 bezeichnet, bietet die Integration eines Gelenkgliedes als letztes Segment des Armes. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 44 ersichtlich. Durch diese Abänderung könnte der Vorteil der Hydraulikarme genutzt werden und der Operationsspielraum wird nicht überschritten. Die Integration des Gelenkgliedes wurde in der Berechnung der groben Dimensionierung berücksichtigt.

Die dargestellte Position des Containers entspricht der weitest entfernten Position entsprechend den geforderten Merkmalen 20 und 21. Der Container ist dabei auf einer Höhe von 1150 mm von einer nicht dargestellten Gleisoberkante angeordnet, wobei die nicht dargestellte Gleisoberkante auf der gleichen Höhe liegt wie die Bodenoberfläche des Sattelauflegers (Merkmal 21). Der Mittelpunkt des Containers ist entsprechend Merkmal 20 5763 mm vom Mittelpunkt des Sattelauflegers entfernt, geringere Abstände sind durch das neu integrierte Gelenkglied kein Problem.

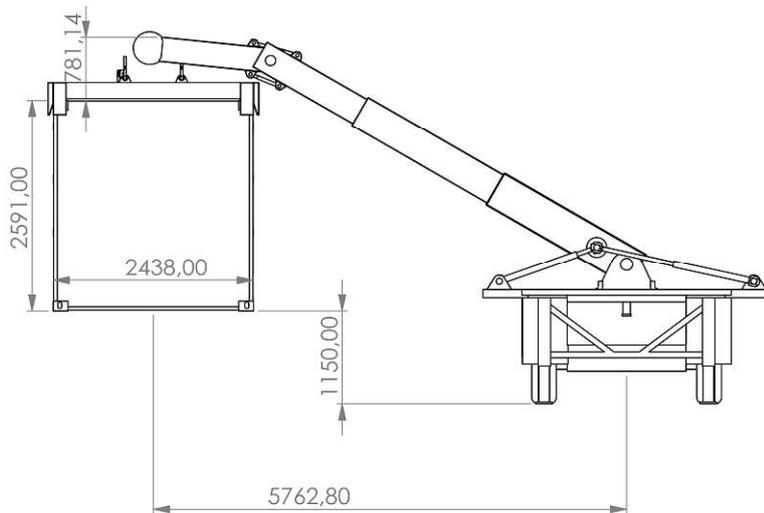


Abbildung 44: Variante 1.5-Aufnahmen (Längenangaben in mm)

In Abbildung 45 ist auch die Aufnahmevorrichtung dargestellt, samt angedeutetem Anschlagmittel, Führungskeilen zum äußerlichen Ausrichten und Kameras zur optischen Unterstützung. Die Kameras können auch zum Ausrichten beim Abstellen des Containers verwendet werden. Hier gilt es beim Entwerfen einen geeigneten Montageort zu wählen.

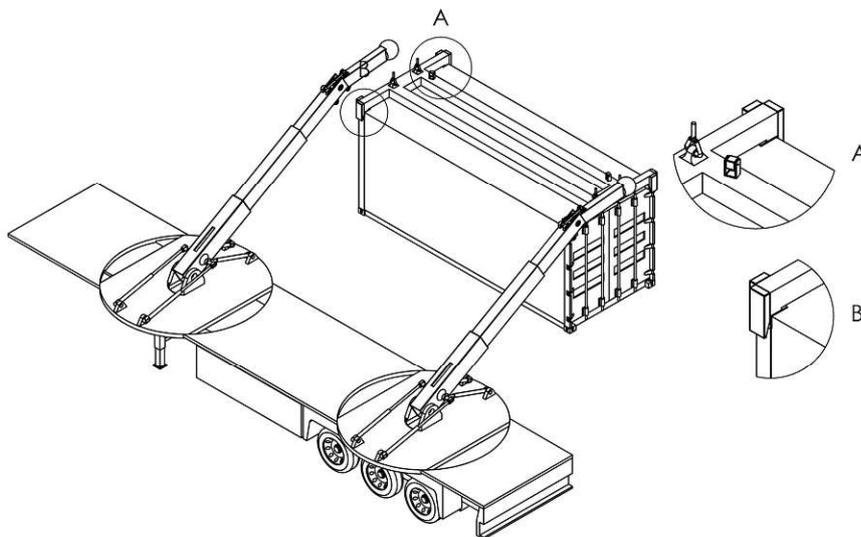


Abbildung 45: Variante 1.5-Aufnahmen-Isometrisch

Die folgende Abbildung 46: Variante 1.5-Stapeln zeigt Variante 1.5 beim Stapeln des Containers auf einen weiteren Container. Dabei steht der weitere Container auf gleicher Untergrundhöhe wie der Sattelaufleger (Merkmal 2).

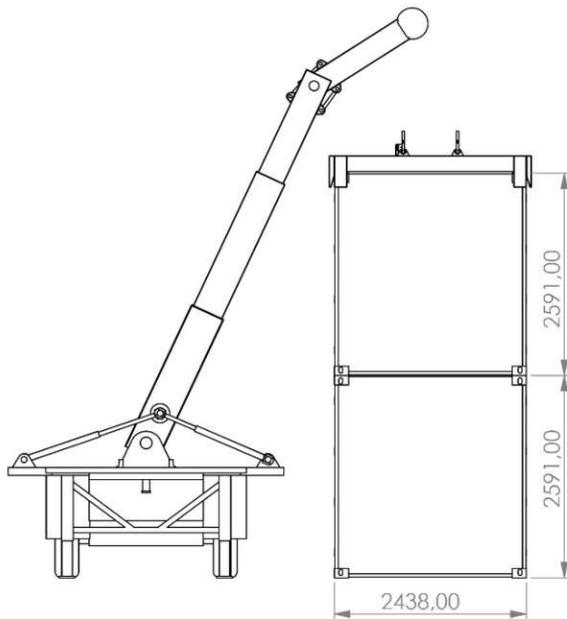


Abbildung 46: Variante 1.5-Stapeln (Längenangaben in mm)

Abbildung 47 zeigt wie der Container auf dem Sattelaufleger angeordnet werden kann. Hier ist zu beachten, dass die Teleskoparme nur eine bestimmte Mindesthöhe erreichen können, während sie mit dem Container verbunden sind. Eine andere Dimensionierung der Teleskoparme, während des Entwerfens, kann diese Eigenschaft verbessern. Den Anforderungen widerspricht die Eigenschaft nicht, da sich der Container in dieser Lage nicht unterhalb von Oberleitungen befindet. Somit müssen lediglich die 6 m des Merkmals 13 eingehalten werden.

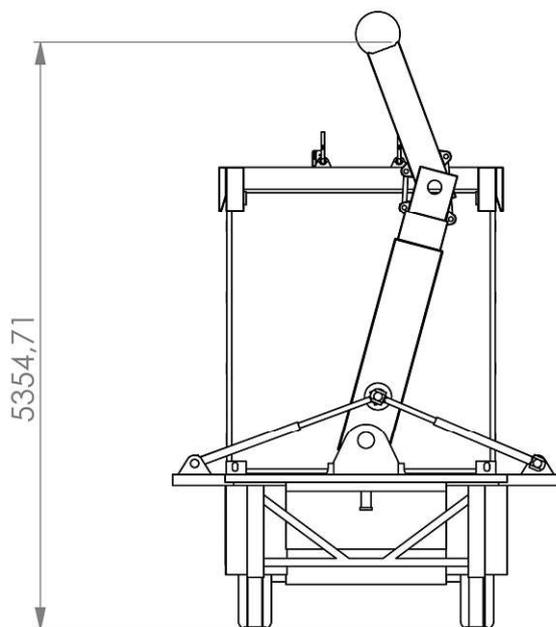


Abbildung 47: Variante 1.5-Sattelaufleger (Längenangaben in mm)

5.4.2 Variante 2, Zwei-Arm Führungselemente

Aufnahmevorrichtung:

Wie auch bei Variante 1 muss die Aufnahmevorrichtung für die Top-lift Variante konzipiert sein. Es bedarf vier hydraulischer Twistlocks, die in die jeweils nach oben ausgerichteten Öffnungen der oberen Eckbeschläge eingreifen. Gegenüber Variante 1 bietet es sich bei Variante 2 an, dass die Aufnahmevorrichtung nicht aus einem Rahmen bestehen muss. So ermöglichen zwei getrennte Baugruppen beispielsweise ein hohes Maß an Flexibilität. Die Arme sind somit nur über den Container miteinander verbunden. Die einzelnen Baugruppen greifen somit in jeweils zwei Eckbeschläge ein. Dabei bieten sich die stirn- und endseitigen Eckbeschläge an, da Container in der Regel normal zu ihrer Längsachse manipuliert werden. Bei der Verwendung von zwei einzelnen Baugruppen gilt es darauf zu achten, dass das äußerliche Ausrichten dennoch zuverlässig durchgeführt werden kann. Weiters können benötigte Leitungen und Reservoirs für die hydraulischen Twistlocks direkt an den Aufnahmevorrichtungen angebracht werden, oder beispielsweise kann das Reservoir am Sattelaufleger angeordnet sein und nur die Leitungen sind entlang der Baugruppen verlegt.

Verbindungs Vorrichtung zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung:

Die Verbindungs Vorrichtung zwischen der Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung muss das Ausgleichen eines Versatzes ermöglichen. Dabei wird auf eine Gelenkverbindung zurückgegriffen. Für den Fall, dass die Gelenke nur lose gelagert sind, sie also kein Drehmoment auswirken können, gilt es zu beachten, dass abermals exzentrische Schwerpunkte von Containern diese zum Ausschwingen bringen können.

Hebevorrichtungen:

Bei Variante 2 kommen zwei Gelenk-Glied-Arme zum Einsatz, die den Vorteil gegenüber den Teleskoparmen haben, dass sie flexibler in der Positionssteuerung sind. Zu beachten ist jedoch, dass die Gelenke dieser Arme in der Regel passiv gestaltet werden müssen. So wird eine geeignete Abstützung, beispielsweise mittels hydraulischer Stützen, implementiert.

Verbindungs Vorrichtung zwischen Hebevorrichtung und Sattelaufleger:

Die Verbindungs Vorrichtung zwischen der Hebevorrichtung und dem Sattelaufleger gestaltet sich ähnlich zu jenen aus Variante 1, da auch bei Variante 2, zwei Arme in der horizontalen Ebene des Sattelauflegers verdreht werden müssen, um Versätze in dieser Ebene auszugleichen, jedoch werden hier größere Drehungen vorgenommen, da ein symmetrisches Schwenken der Hebevorrichtung nicht konzipiert ist.

Darstellung:

Bei der Dimensionierung der zwei Gelenk-Glied-Arme wurden die Werte und Maße der Variante 1 herangezogen, da diese im Wesentlichen für den berechneten Fall der Biegung die gleichen Bedingungen aufweisen. Die Berechnung der Variante 1 ist im Anhang 4 zu finden.

Die Abbildungen Abbildung 48 bis Abbildung 51 zeigen schematische Darstellungen der Konzeptvariante 2. Der Vollständigkeit halber wird abermals erwähnt, dass es sich bei den

Darstellungen um nicht vollkommene Darstellungen handelt. Physikalische Widersprüche, wie beispielsweise fehlende Stützen oder über-/unterdimensionierte Stützen, sind zu vernachlässigen. In diesem Fall ist bei Variante 2 angedacht, dass der reine vertikale Versatz über die Abstützung erfolgt. Diese Ausführung ist somit nicht schematisch gezeigt.

Abbildung 48 zeigt das Aufnehmen eines nach Merkmal 20 maximal-entfernten Containers. Der Container ist auf einer Höhe von 1150 mm relativ zur Sattelaufleger-Bodenoberfläche entsprechend Merkmal 2 angeordnet. Der Operationsspielraum kann durch eine beim Entwerfen verbesserte Geometrie/Dimensionierung der Armglieder noch weiter optimiert werden.

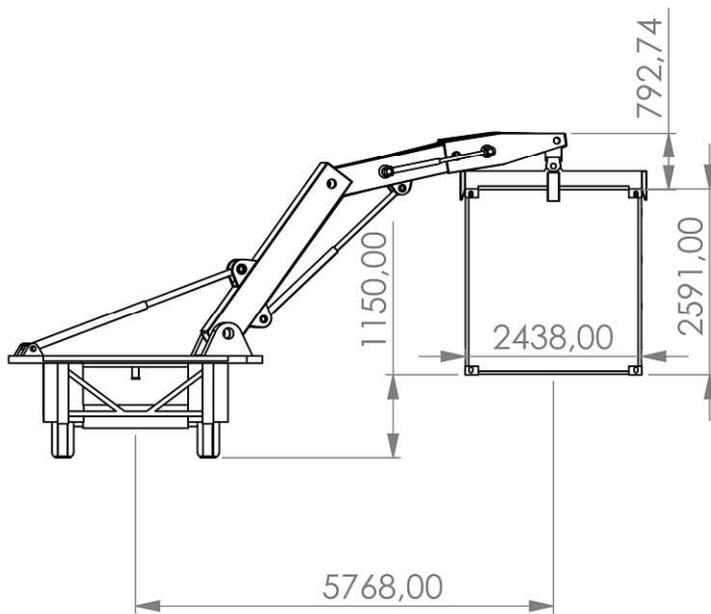


Abbildung 48: Variante 2-Aufnehmen, (Längenangaben in mm)

In der folgenden Abbildung 49 ist eine isometrische Ansicht des Aufnehmens samt Detailansichten dargestellt. In den Detailansichten sind schematische Führungskeile zum äußerlichen Ausrichten sowie Kameras zur Unterstützung dargestellt.

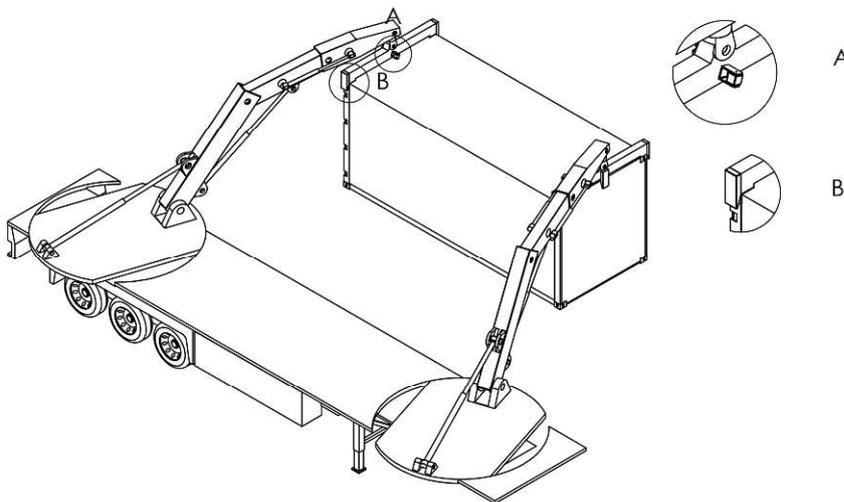


Abbildung 49: Variante 2-Aufnehmen-Isometrisch

Abbildung 50 zeigt zwei Ansichten des Konzeptes nach Variante 2 beim Stapeln von einem aufgenommenen Container auf einem weiteren, wobei der weitere Container auf gleicher Höhe wie der Sattelaufleger angeordnet ist (Merkmal 2).

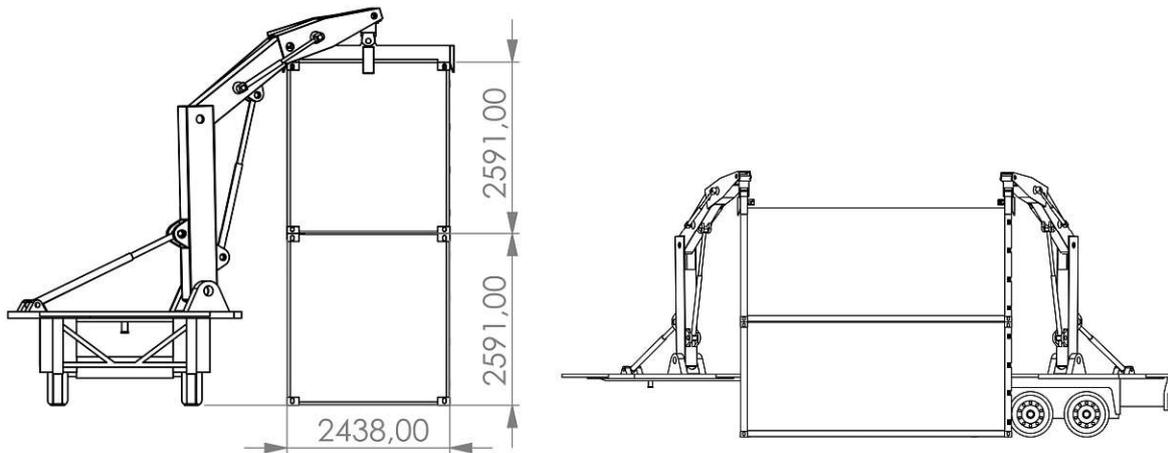


Abbildung 50: Variante 2-Stapeln (Längenangaben in mm)

Die Abbildung 51 zeigt den Container abgestellt auf dem Sattelaufleger. Anders als zur Variante 1.5 werden die Arme bei der Variante 2 nicht symmetrisch verschwenkt, sondern drehen mittels der Verbindungsvorrichtung zwischen den Armen und dem Sattelaufleger in der Ebene des Sattelauflegers. Die zwei Arme müssen dementsprechend weit genug voneinander entfernt am Sattelaufleger angeordnet sein, um einen Container auf diesem abzustellen.

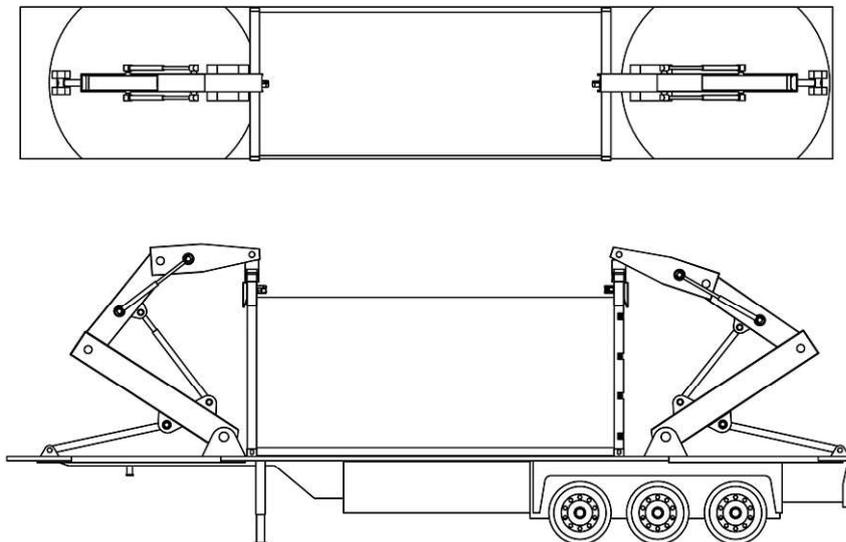


Abbildung 51: Variante 2-Sattelaufleger

5.4.3 Variante 3, Teleskop-Ein-Arm

Aufnahmevorrichtung:

Variante 3 beruht auf dem Side-lift-2 Prinzip und es wird nur ein Teleskoparm verwendet. Dabei wird in den oberen zwei längsseitigen Eckbeschlägen eine Hubkraft angesetzt. Bei

dieser Variante bedarf es demnach nur zwei Twistlocks. Zum Ausgleich des Kippmomentes sind Ausgleichskräfte notwendig, die den Container entgegen die Kipprichtung drücken. Realisiert wird dies durch einen Rahmen mit einem hohlen Rechteckquerschnitt. Im Unterschied zu einer Aufnahmevorrichtung von oben, gilt es beim äußerlichen Ausrichten auf die Ausführung zu achten. Beim Ausrichten von oben kommen alle vier Seiten des Containers bei Draufsicht in Frage, bei der Aufnahme von der Seite fällt die unterste Seite, auf der der Container aufliegt, weg. Wie auch bei den Varianten 1.5 und 2 gilt es zu berücksichtigen, dass für die hydraulischen Twistlocks Leitungen und Reservoirs eingeplant werden müssen.

Verbindungsvorrichtung zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung:

Die Verbindungsvorrichtung zwischen der Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung muss wie auch schon bei Variante 1.5 und 2 das Ausgleichen eines Versatzes ermöglichen. Zusätzlich muss sie bei dieser Ein-Arm Variante das beidseitige Aufnehmen und Abstellen ermöglichen. Dabei wird auf eine Gelenkverbindung zurückgegriffen, wobei davon ausgegangen wird, dass diese eine aktiv gesteuerte Gelenkverbindung ist, wodurch sie Drehmomente erwirken kann. Der Schwerpunkt ist in dieser Variante immer exzentrisch.

Hebevorrichtung:

Bei Variante 3 kommt ein Teleskoparm mit ineinander verfahrbaren Segmenten zum Einsatz. Besonders die Abstützung des Teleskoparms ist ein zentraler Aspekt und wird mittels hydraulischer Stützen gelöst.

Verbindungsvorrichtung zwischen Hebevorrichtung und Sattelaufleger:

Die Verbindungsvorrichtung zwischen der Hebevorrichtungen und dem Sattelaufleger gestaltet sich ähnlich zu jenen aus Variante 1.5, jedoch ist zu beachten, dass die wirkenden Kräfte deutlich höher sind, da nur ein Arm verwendet wird.

Darstellung:

Für eine grobe Dimensionierung wurde der Teleskoparm sowie die Aufnahmevorrichtung überschlagsmäßig bzgl. Biegung berechnet. Dabei wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Materialwahl S960, dieser Stahl wird beispielsweise von Liebherr für Teleskopausleger verwendet⁷⁵
- Sicherheitsfaktor 2
- Zusatzgewicht von 4 Tonnen (Eigengewicht)
- Zusatzdistanz von 3 m für exzentrische Schwerpunkte.

Die Berechnung, sowie die gewählten Dimensionen sind im Anhang 5 zu finden. Abbildung 52 bis Abbildung 54 zeigen schematische Darstellungen des Konzeptes mit entsprechender Dimensionierung. Der Vollständigkeit halber wird erwähnt, dass es sich bei den Darstellungen um unvollkommene Darstellungen handelt. Physikalische Widersprüche, wie beispielsweise fehlende Stützen oder über-/unterdimensionierte Stützen, sind zu vernachlässigen.

⁷⁵ (Liebherr-International Deutschland GmbH, 2025)

Abbildung 52 zeigt das Konzept der Variante 3 beim Aufnehmen eines Containers. Dabei entspricht die Position des Containers der am weitesten entfernte Position entsprechend den geforderten Merkmalen 20 und 21. Der Container ist dabei auf einer Höhe von 1150 mm von einer nicht dargestellten Gleisoberkante angeordnet, wobei die nicht dargestellte Gleisoberkante auf der gleichen Höhe liegt wie die Auflageebene des Sattelauflegers (Merkmal 21). Der Mittelpunkt des Containers ist vom Mittelpunkt des Sattelauflegers 5763 mm entfernt (Merkmal 20), geringere Abstände sind aufgrund des Teleskoparmes kein Problem. In den Detailansichten ist schematisch eine Kamera dargestellt, die beim Ausrichten unterstützt. Äußerliche Keile zentrieren geometrisch die Aufnahmevorrichtung und leiten diese somit über den Kontakt zu den Eckbeschlägen in die korrekte Aufnahmeposition.

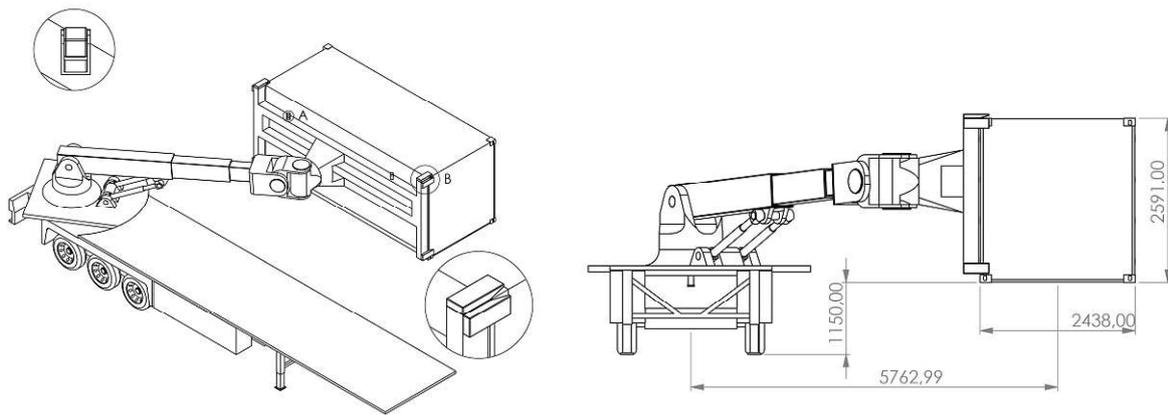


Abbildung 52: Variante 3-Aufnehmen (Längenangaben in mm)

Die Abbildung 53 zeigt zwei Ansichten des Konzepts der Variante 3 beim Stapeln des Containers auf einem anderen Container. Dabei steht ein Container auf dem gleichen Untergrund wie der Sattelaufleger. Der aufgenommene Container wird dabei auf den Container aufgesetzt (Merkmal 2).

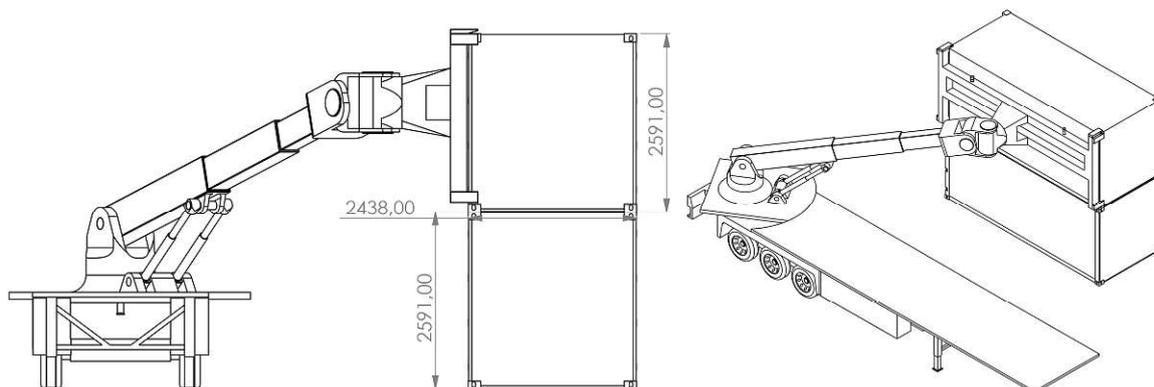


Abbildung 53: Variante 3-Stapeln (Längenangaben in mm)

Abbildung 54 zeigt den Container auf dem Sattelaufleger angeordnet. Dabei ist zu erkennen, dass besonders die Geometrie des Gelenkes ausschlaggebend ist, ob der Teleskoparm am Container anschlägt oder nicht. Weiters ist zu erwähnen, dass die Verbindungsvorrichtung (das Gelenk) nicht zentral an der Aufnahmevorrichtung positioniert ist. Ein gewisser Versatz, abhängig von der Gesamtgeometrie, ist notwendig, damit der Container entsprechend auf dem Sattelaufleger positioniert werden kann.

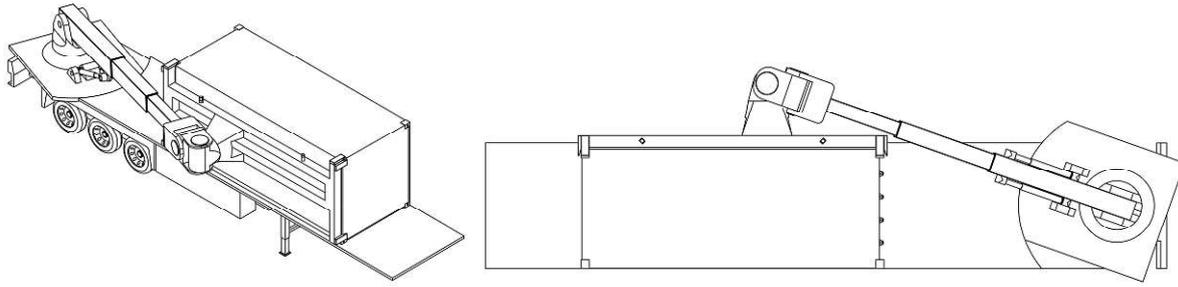


Abbildung 54: Variante 3-Sattelaufleger

Es liegen nun Konzepte in Form von drei verschiedenen Varianten vor, die allgemein beschrieben und schematisch dargestellt sind. Basierend darauf kann nun eine Analyse hinsichtlich der Baugruppen durchgeführt werden.

5.4.4 Analyse hinsichtlich der Realisierbarkeit

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die Baugruppen der einzelnen Varianten hinsichtlich einer allgemeinen Realisierbarkeit zu analysieren. Dabei werden die Baugruppen mit dem Stand der Technik verglichen, ob Technologien, wie sie für die Baugruppen in den jeweiligen Konzepten verwendet werden, bereits im Stand der Technik bekannt sind. Diese Analyse bietet weiters eine Einschätzungsgrundlage für die Bewertung in Kapitel 5.5.

Bevor auf die einzelnen Varianten eingegangen wird, werden Bauteile/Unterbaugruppen analysiert, die bei allen Varianten zum Einsatz kommen.

Hydraulische Twistlocks:

Hydraulische Twistlocks mit einer Failsafe-Sicherung sind dem Stand der Technik entsprechend bekannt. Abbildung 55 zeigt den technischen Aufbau eines marktüblichen hydraulischen Twistlocks, der mittels Feder gesichert wird. Ein solcher Twistlock kann, wie vom Konzept vorgesehen, die Funktionen „Containerverbindung herstellen“ und „Verbindung sichern“ erfüllen. Im weiteren Entwicklungsprozess kann somit auf Standardbauteile zurückgegriffen werden.

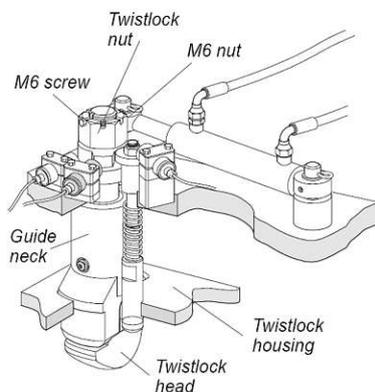


Abbildung 55: Hydraulisches Twistlock⁷⁶

⁷⁶ (Clayton, 2025)

Kameras und Keile:

Sowohl Kameras als auch geometrische Zentrierungen in Form von Keilen sind dem Stand der Technik entsprechend bekannt. In den Konzepten sind diese schematisch veranschaulicht. In Abbildung 56 ist ein Teil der Kamera zu sehen, der auf ein Twistlock samt Führungskeilen gerichtet ist. Die Funktion „Aufnahmevorrichtung ausrichten“ wird somit durch Standardteile erfüllt. Die Funktion „Container ausrichten“ kann gleichermaßen von Standardteilen, in Form von Kameras, ausgeführt werden.

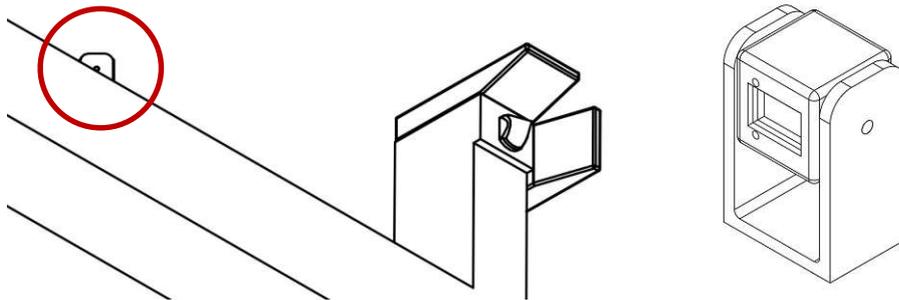


Abbildung 56: Ausrichten

Drehgelenkbasis (Verbindungs- vorrichtung zwischen Hebevorrichtung und Sattelaufleger):

Alle drei Varianten weisen ein Drehgelenk zur Erfüllung der Funktion „TF3.2: Versatz ausgleichen“ auf, mit dem die Hebevorrichtungen mit dem Sattelaufleger verbunden sind. Die Gelenke unterscheiden sich lediglich durch die zu bewegenden Lasten (Ein-Arm/Zwei-Arm). Solche Drehgelenke sind technologisch von mobilen Teleskopkranen bekannt, siehe Abbildung 57. Es gilt zu beachten, dass die Gelenke im Gegensatz zu den bereits erläuterten Bauteilen/Unterbaugruppen keine Standardkomponenten sind, jedoch als technologisch realisierbar gesehen werden.

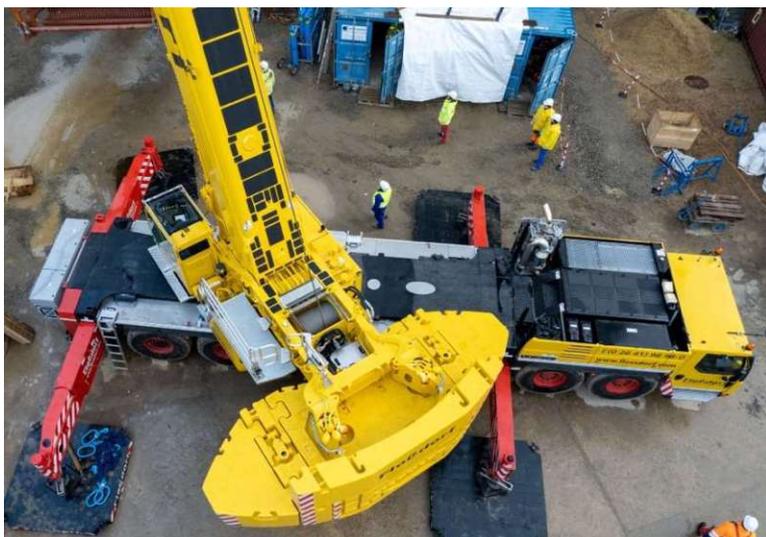


Abbildung 57: Drehgelenk Teleskopkran⁷⁷

⁷⁷ (V22 Media, 2025)

Variante 1.5:Aufnahmevorrichtung:

Die Aufnahmevorrichtung ist im Wesentlichen ein starrer Rahmen, der vier hydraulische Twistlocks aufweist. Die bereits beschriebenen Führungskeile und Kameras sind an der Aufnahmevorrichtung angeordnet und vier Angriffspunkte für die Anschlagmittel sind gegeben. Starre Rahmen sind dem Stand der Technik in Form von Spreadern bereits bekannt, siehe Abbildung 33. Die Aufnahmevorrichtung der Variante 1.5 wird somit als technisch realisierbar angesehen und erfüllt dabei die Teilfunktion „TF1: Containerverbindung herstellen“.

Verbindungs Vorrichtung zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung:

Anschlagmittel sind ein schon lange bekannter Stand der Technik und werden somit nicht zusätzlich erläutert. Durch die Anschlagmittel werden die Teilfunktionen „TF2: Container anheben“ und „TF3.1: Versatz ausgleichen, zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung“ erfüllt.

Hebevorrichtungen:

Die Teleskoparme bringen in der Konzipierung von Variante 1.5 einige komplexe Eigenschaften mit sich. Einerseits muss das Ende der Teleskoparme, der Freigabepunkt der Anschlagmittel, so entworfen werden, dass sich die Anschlagmittel mit dem Verschwenken der Teleskoparme mitdrehen können, ohne, dass die Anschlagmittel durch Reibung beschädigt werden. Weiters ist durch das symmetrische Schwenken, wie es in den Abbildungen der Variante 1.5 dargestellt ist, mit großen Lasten auf den Stützen zu rechnen. Ein solches Konzept wurde nicht bei der Recherche zum Stand der Technik identifiziert und wird daher als schwierig/komplex zu lösen aber dennoch als realisierbar angesehen. Die Hebevorrichtungen erfüllen die Teilfunktion „TF4: Container“ bewegen.

Variante 2:Aufnahmevorrichtungen:

In Variante 2 kommen zwei getrennte Aufnahmevorrichtungen in Form von länglichen Rahmen zum Einsatz. Auf jedem der Rahmen ist schematisch eine Kamera sowie eine Mehrzahl an Führungskeilen angeordnet. Pro Rahmen kommen je zwei hydraulische Twistlocks zum Einsatz. Solche einzelnen Rahmen wurden bei der Recherche zum Stand der Technik nicht identifiziert, sind jedoch im Wesentlichen reduzierte Spreader, wie sie dem Stand der Technik entsprechend bekannt sind. Die Aufnahmevorrichtungen werden als technisch realisierbar gesehen und erfüllen die Teilfunktion „TF1: Containerverbindung herstellen“.

Verbindungs Vorrichtungen zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung:

Die Verbindungs Vorrichtungen sind konzeptionell durch verbundene Gelenke dargestellt und sind die komplexeste Baugruppe der Variante 2. Gelenkverbindungen, die, wie beim Konzept der Variante 2, eine Neigung um zwei Achsen als auch eine Verdrehung erfüllen, sind in größerer Ausführung dem Stand der Technik nach bekannt, siehe Abbildung 58. Wie auch im Kapitel „Stand der Technik“ dargestellt, werden die Gelenke durch die Top-lift Variante auf Zug

belastet. Die Verbindungsvorrichtungen werden somit auch als realisierbar gesehen und erfüllen die Teilfunktion „TF3.1: Versatz ausgleichen, zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung“.

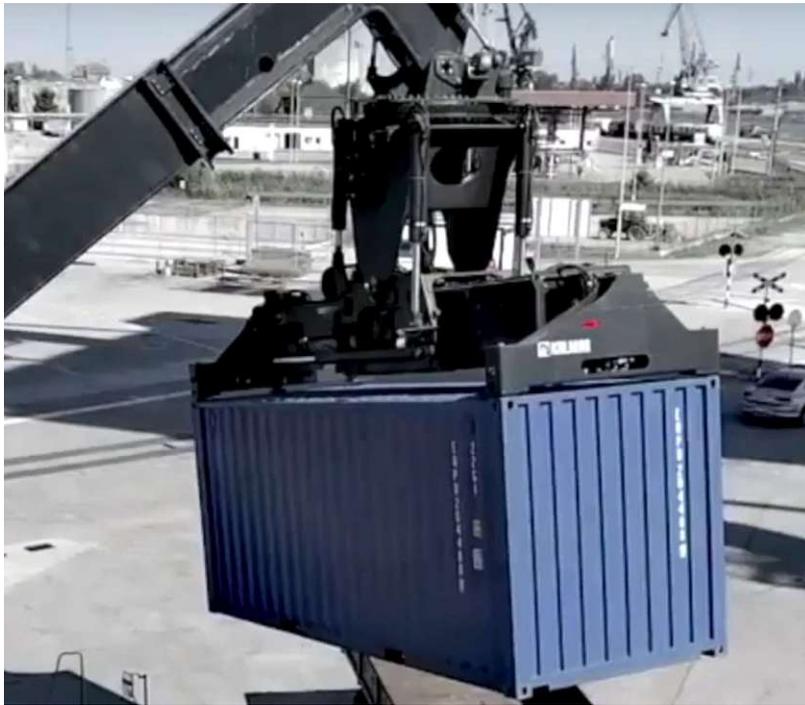


Abbildung 58: Mehrachsgelenk⁷⁸

Hebevorrichtungen:

Mehrgliedrige Gelenk-Glied-Arme wurden bereits in der Recherche zum Stand der Technik in Kapitel 3 identifiziert. Bei der Variante 2 kommen drei-gliedrige Arme zum Einsatz, wodurch diese als komplex angesehen werden. Einerseits ist die Abstützung zwischen den Armen zu berücksichtigen, andererseits ist die kinematische Steuerung aufwändig. Die Hebevorrichtungen erfüllen die Teilfunktion „TF1: Containerverbindung herstellen“.

Nicht schematisch dargestellt ist bei Variante 2, dass die Teilfunktion TF2: Container anheben durch die Abstützung realisiert wird. Der Container muss somit nach dem Anheben entlang der horizontalen y-Richtung manipuliert werden.

Variante 3:

Aufnahmevorrichtung:

Die Aufnahmevorrichtung der Variante 3 unterscheidet sich von Variante 1 und 2 primär durch die seitliche Aufnahme des Containers. Es werden nur zwei hydraulische Twistlocks benötigt und die Aufnahmevorrichtung wird durch die seitliche Aufnahme auf Biegung belastet, siehe Anhang 6. Die Verbindungsvorrichtung zwischen Aufnahme- und Hebevorrichtung muss, um den Container auf dem Sattelaufleger abzustellen, dezentral angeordnet sein, somit muss sich die Aufnahmevorrichtung in Längsrichtung anpassen können. Dies ist aus dem Stand der Technik technologisch bekannt, beispielsweise durch teleskopische Spreader, siehe

⁷⁸ (Kalmar, 2025)

Abbildung 59 und Abbildung 13. Die Aufnahmevorrichtung der Variante 3 wird somit in Hinblick auf die Aufnahmevorrichtung als technologisch realisierbar angesehen und erfüllt dabei die Teilfunktion „TF1: Containerverbindung herstellen“.



Abbildung 59: Teleskopischer Spreader⁷⁹

Verbindungs- und Hebevorrichtung zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung:

Die Verbindungs- und Hebevorrichtung, die konzeptionell durch verbundene Gelenke dargestellt wird, siehe beispielsweise Abbildung 52, ist augenscheinlich die komplexeste Baugruppe dieser Variante. Aus dem Stand der Technik sind Gelenkverbindungen bekannt, die auch eine starke Verneigung, wie sie zum Abstellen des Containers auf dem Sattelaufleger notwendig ist, ermöglichen, siehe Abbildung 58 und Abbildung 13. Diese Gelenke erlauben sowohl eine Neigung um zwei Achsen des Containers als auch eine Verdrehung um die Gelenkachse und erfüllen somit technologisch das Konzept der Verbindungs- und Hebevorrichtung sowie die Teilfunktion „TF3.1: Versatz ausgleichen, zwischen Aufnahmevorrichtung und Hebevorrichtung“. Auch die Teilfunktion „TF2: Container anheben“ wird durch das Drehen des Containers ermöglicht. Zu beachten ist, dass durch die Seitenaufnahme eine höhere Last auf den einzelnen Gelenken lastet als bei der Top-lift Aufnahme.

Hebevorrichtung:

Die Hebevorrichtung ist im Wesentlichen ein Standard-Teleskoparm, wie er laut Recherche zum Stand der Technik bekannt ist, und erfüllt die Teilfunktion „TF4: Container bewegen“.

Alle Baugruppen der verschiedenen Varianten sind somit als realisierbar angesehen. Einige sind in Form von Standardkomponenten umzusetzen, andere müssen individuell gefertigt werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann nun die Bewertung der Varianten durchgeführt werden.

⁷⁹ (RAM Spreaders, 2025)

5.5 Bewertung nach VDI 2225:1998

Ziel dieses Kapitels ist die Bewertung der in Kapitel 5.4 konkretisierten Konzepte. Bei der technischen Bewertung wird entsprechend der VDI 2225:1998 vorgegangen. Die VDI 2225:1998 wurde über das Normen-Portal der Technischen Universität Wien abgerufen.

5.5.1 Bewertungskriterien

Die Identifikation geeigneter Bewertungskriterien ist ein zentraler Aspekt jeder Bewertung. Zur Findung der Bewertungskriterien ist es notwendig zu beachten, was bewertet wird, da es sich im vorliegenden Stadium um verschiedene Konzepte handelt. Ziel dieser Bewertung ist somit zu entscheiden, ob einzelne Konzepte weiterverfolgt werden und falls mehrere in Frage kommen, welche zu priorisieren sind. Die Kriterien gehen somit nicht nur auf die Bedingungen der eigentlichen Aufgabenstellung ein, sondern stehen auch in Zusammenhang mit der weiteren Entwicklung.

Die VDI 2225:1998 gibt eine Punktbewertungsskala vor, die die Beurteilung der Kriterien entsprechend der folgenden Einschätzung zeigt:

- Sehr gute (ideale) Erfüllung des Kriteriums: p = 4 Punkte
- Gute Erfüllung des Kriteriums: p = 3 Punkte
- Ausreichende Erfüllung des Kriteriums: p = 2 Punkte
- Gerade noch tragbare Erfüllung des Kriteriums: p = 1 Punkt
- Unbefriedigende Erfüllung des Kriteriums: p = 0 Punkte.⁸⁰

Wie durch die Wortwahl der Kriterien impliziert, legt die VDI 2225:1998 auch eine Verwendung einer positiven Benennung nahe, beispielsweise wartungsarm statt wartungsintensiv.

Die Kriterien werden unter anderem anhand der Anforderungsliste bestimmt, da diese die relevanten Themen vorgibt. Nun sind die verschiedenen Konzepte so ausgelegt, dass alle Forderungen der Anforderungsliste erfüllt werden können. Trotz dieser Erfüllung eignen sich einige Forderungen als Kriterium hinsichtlich einer vorteilhaften Über-/Unterschreitung von Mindest-/Maximalforderungen. Auch die potenzielle Erfüllung von Wünschen wird als Kriterium einbezogen.

Nicht als Kriterium formuliert, wird das Merkmal 4. Dieses stellt den Wunsch dar, den Einsatzes der Konzepte an Anwendungsorten mit abweichenden Umgebungsbedingungen zu ermöglichen. Dabei spielt vor allem die Gleisoberkantenposition eine wichtige Rolle. Liegt diese merklich ober- oder unterhalb der Bodenoberfläche des Umsetzers, muss dies durch die Manipulationsvorrichtung ausgeglichen werden. Jeglicher Versatz in eine x-, y-, oder z-Richtung bedingt jedoch ein eigenes Kriterium und wird im Folgenden entsprechend erläutert.

Kriterium 1: Maximaler Versatz in x-Richtung

Als Forderung durch Merkmal 19 wird der Versatz auf +/- 400 mm begrenzt, wobei jeder Wert dazwischen realisierbar sein muss. Das Kriterium 1 bewertet, ob ein Konzept über diesen Wert

⁸⁰ (Verein Deutscher Ingenieure, 1998) Blatt 3, Seite 4

hinaus manipulieren kann. Dies ist für einen direkten Umschlagvorgang vorteilhaft, da so ein eventuell notwendiges Abstellen des Containers und Repositionieren des Sattelauflegers vermieden werden kann.

- Ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in beide Richtungen des Intervalls möglich, werden 4 Punkte vergeben
- Ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in eine Richtung des Intervalls sowie eine moderate Überschreitung in die entgegengesetzte möglich, werden 3 Punkte vergeben
- Ist eine moderate Überschreitung des Intervalls in beide Richtungen möglich oder ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in eine Richtung sowie eine geringe Überschreitung in die andere möglich, werden 2 Punkte vergeben
- Ist eine geringe Überschreitung in beide Richtungen des Intervalls möglich, wird 1 Punkt vergeben
- Ist keine Überschreitung in beide Richtungen des Intervalls möglich, werden 0 Punkte vergeben.

Kriterium 2: Maximaler Versatz in y-Richtung

Das Merkmal 20 fordert einen maximalen Versatz des Containers im Intervall $2,985 \text{ m} \leq \Delta Y \leq 5,763 \text{ m}$. Bei einem Standard-Sattelaufleger mit einer Breite von 2550 mm entspricht dies einem Abstand zwischen der Außenseite des Sattelauflegers und zugewandter Containeraußenseite von 491 mm bis 3269 mm. Nun kann bei abweichenden Bedingungen dieser Abstand geringer oder auch größer sein. Wie auch bei Kriterium 1 wird bewertet, ob eine Überschreitung des Intervalls möglich ist.

- Ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in beide Richtungen des Intervalls möglich, werden 4 Punkte vergeben
- Ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in eine Richtung des Intervalls sowie eine moderate Überschreitung in die entgegengesetzte möglich, werden 3 Punkte vergeben
- Ist eine moderate Überschreitung des Intervalls in beide Richtungen möglich oder ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in eine Richtung sowie eine geringe Überschreitung in die andere möglich, werden 2 Punkte vergeben
- Ist eine geringe Überschreitung in beide Richtungen des Intervalls möglich, wird 1 Punkt vergeben
- Ist keine Überschreitung in beide Richtungen des Intervalls möglich, werden 0 Punkte vergeben.

Kriterium 3: Maximaler Versatz in z-Richtung

Beim Stapeln von dem aufgenommenen Container auf einen weiteren Container wird davon ausgegangen, dass der weitere Container auf der gleichen Untergrundhöhe wie auch der Sattelaufleger angeordnet ist. Nun kann der weitere Container jedoch auf einem dafür vorgesehenen Gestell, das eine gewisse Höhe aufweist, abgestellt sein, oder der Untergrund liegt deutlich unterhalb der Bodenoberfläche des Sattelauflegers. Wie auch bei den Kriterien 1 und 2 wird auch bei diesem Kriterium bewertet, ob eine Überschreitung des Intervalls möglich ist. Dieses Kriterium repräsentiert den Wunsch von Merkmal 22, dass gilt $-0,760 \text{ m} \leq \Delta Z \leq 2,591 \text{ m}$.

- Ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in beide Richtungen des Intervalls möglich, werden 4 Punkte vergeben
- Ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in eine Richtung des Intervalls sowie eine moderate Überschreitung in die entgegengesetzte Richtung möglich, werden 3 Punkte vergeben
- Ist eine moderate Überschreitung des Intervalls in beide Richtungen möglich, oder ist eine deutliche Überschreitung (>100%) in eine Richtung sowie eine geringe Überschreitung in die andere Richtung möglich, werden 2 Punkte vergeben
- Ist eine geringe Überschreitung in beide Richtungen des Intervalls möglich, wird 1 Punkt vergeben
- Ist keine Überschreitung in beide Richtungen des Intervalls möglich, werden 0 Punkte vergeben.

Kriterium 4: Anpassungsmöglichkeit für 20´ und 40´ Container

Gefordert wird die Manipulation von 20´ Containern, wobei somit eine Anpassung für 20´ & 40´ Container ebenfalls naheliegend ist. Mit diesem Kriterium soll bewertet werden, ob eine Anpassung für eine variable Aufnahme von 20´ oder 40´ Containern realisierbar erscheint.

- Scheint eine variable Aufnahme von 20´ & 40´ Containern realisierbar werden 4 Punkte vergeben
- Scheint eine nicht-variable Aufnahme von 20´ & 40´ Containern realisierbar, also könnte das gleiche Konzept unter Anpassung auch für 40´ Container verwendet werden, werden 2 Punkte vergeben
- Sind nur 20´ Container, auch unter Berücksichtigung einer Anpassung möglich, werden 0 Punkte vergeben.

Kriterium 5: Einfach zu transportieren

Die Merkmale 9-11 stellen verschiedene Anforderungen an die Gesamtvorrichtung beim Transport auf StVO gebundenen Straßen. Dabei bietet sich keine der einzelnen Forderungen als Bewertungskriterium an, jedoch spielt die Einfachheit des Transportes der Manipulationsvorrichtung(en) in der Gesamtbetrachtung eine Rolle. Alle Konzepte müssen in eine Transportposition vor dem Transport überführt werden. Das Kriterium soll bewerten, wie effizient dieser Prozess realisierbar ist sowie ob die Position selbst vorteilhaft ist.

- Ist eine Überführung in eine Transportposition einfach und ist die Position für den Transport vorteilhaft, werden 4 Punkte vergeben
- Ist eine Überführung in eine Transportposition moderat und ist die Position für den Transport vorteilhaft oder der gegengleiche Fall liegt vor, werden 3 Punkte vergeben
- Ist eine Überführung in eine Transportposition moderat und ist die Position für den Transport moderat, werden 2 Punkte vergeben
- Ist eine Überführung in eine Transportposition schwierig und ist die Position für den Transport moderat oder der gegengleiche Fall liegt vor, wird 1 Punkt vergeben
- Ist eine Überführung in eine Transportposition schwierig und ist die Position für den Transport schwierig, werden 0 Punkte vergeben.

Kriterium 6: Bedienungskomfort

Alle Konzepte haben ein gewisses Maß an Bedienungskomfort, da alle Konzepte Baugruppen aufweisen, die, um eine erfolgreiche Manipulation durchzuführen, entsprechend gesteuert werden müssen. Der Signalfluss sowie die Komplexität dieser Steuerung hängen somit von der Komplexität bzw. Effizienz der Bewegungsabläufe und den dafür notwendigen Eingangssignalen des Operators ab. Ziel dieses Kriteriums ist es zu bestimmen, bei welchen Konzepten ein hoher Bedienungskomfort zur Steuerung möglich ist.

- Erscheint das Konzept sehr komfortabel zu bedienen, werden 4 Punkte vergeben
- Erscheint das Konzept komfortabel zu bedienen, werden 3 Punkte vergeben
- Erscheint das Konzept moderat komfortabel zu bedienen, werden 2 Punkte vergeben
- Erscheint das Konzept wenig komfortabel zu bedienen, wird 1 Punkt vergeben
- Erscheint das Konzept nicht komfortabel zu bedienen, werden 0 Punkte vergeben.

Kriterium 7: Geringe Komplexität

Die Konzepte sollten eine möglichst geringe Komplexität aufweisen. Einzelne Bauteile/Baugruppen, die sich schon im Konzeptstadium als äußerst komplex herausstellen, sind bei dem Entwerfen teilweise nur schwer realisierbar bzw. kombinierbar. Somit ist es erstrebenswert, eine Verringerung der Komplexität der einzelnen Baugruppen zu erreichen.

- Ist keine der vier Baugruppen als besonders komplex eingestuft, werden 4 Punkte vergeben
- Ist eine der vier Baugruppen als besonders komplex eingestuft, werden 3 Punkte vergeben
- Sind zwei der vier Baugruppen als besonders komplex eingestuft, werden 2 Punkte vergeben
- Sind drei der vier Baugruppen als besonders komplex eingestuft, wird 1 Punkt vergeben
- Sind alle vier Baugruppen als besonders komplex eingestuft, werden 0 Punkte vergeben
- Gilt eine Baugruppe als äußerst komplex, wird ein zusätzlicher Punkt abgezogen, wobei nicht weniger als 0 Punkte vergeben, werden.

Kriterium 8: Niedrige Entwicklungskosten

Die zu erwarteten Entwicklungskosten hängen stark von der Komplexität, Kriterium 7, ab. Eine ausführliche wirtschaftliche Bewertung, inklusive Materialkosten, Energiekosten etc., ist in diesem Stadium noch nicht zielführend. Aussagekräftiger für das Gesamtprojekt sind die erwarteten Entwicklungskosten für die weitere Entwicklung der Konzepte, die in Abhängigkeit von Kriterium 7 qualitativ geschätzt werden.

- Sind die erwarteten Entwicklungskosten im Verhältnis zu den anderen sehr niedrig, werden 4 Punkte vergeben
- Sind die erwarteten Entwicklungskosten niedrig im Verhältnis zu den anderen, werden 3 Punkte vergeben

- Sind die erwarteten Entwicklungskosten moderat im Verhältnis zu den anderen, werden 2 Punkte vergeben
- Sind die erwarteten Entwicklungskosten hoch im Verhältnis zu den anderen, wird 1 Punkte vergeben
- Sind die erwarteten Entwicklungskosten sehr hoch im Verhältnis zu den anderen, werden 0 Punkte vergeben.

Gewichtung:

Von einer Gewichtung ist generell in diesem Stadium abzusehen, da der bekannte Informationsstand allgemein in der Phase des Konzipierens gering ausfällt. Durch das Vermeiden einer Gewichtung wird verhindert, dass falsche Gewichtungsannahmen zu einer falschen Bewertung und somit zu möglicherweise falschen Entscheidungen führen. Dennoch ist zu beachten, dass das Kriterium 7 die Konzepte in ihrer Gesamtheit bewertet und für die weitere Entwicklung die größte Aussagekraft hat. Da das Kriterium 8 jedoch direkt vom Kriterium 7 abhängt, ist die tatsächliche Gewichtung von Kriterium 7 bereits höher als die Gewichtung der anderen Kriterien. Auf eine zusätzliche Gewichtung der einzelnen Kriterien wird aufgrund dieser Tatsache verzichtet.

5.5.2 Bewertung der Konzepte

Die Bewertung erfolgt anhand der Berechnung der technischen Wertigkeit entsprechend der folgenden Bestimmung:

$$x = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n * p_{max}} = \frac{\bar{p}}{p_{max}}$$

- x entspricht der technischen Wertigkeit
- p_i entspricht der Punktezahl des Kriteriums „i“
- \bar{p} entspricht dem arithmetischen Mittelwert von $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$
- p_{max} entspricht der maximalen Punkteanzahl ($p_{max}=4$).⁸¹

Eine Übersicht der Bewertung sowie der technischen Wertigkeit der verschiedenen Konzepte ist in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Bewertung

Technische Wertigkeit	Variante 1.5	Variante 2	Variante 3
Kriterium 1: Maximaler Versatz in x-Richtung	4	4	4
Kriterium 2: Maximaler Versatz in y-Richtung	2	2	3
Kriterium 3: Maximaler Versatz in z-Richtung	2	2	2
Kriterium 4: Anpassungsmöglichkeit für 20´ und 40´ Container	2	2	0
Kriterium 5: Einfach zu transportieren	2	3	4
Kriterium 6: Bedienungskomfort	3	2	4
Kriterium 7: Geringe Komplexität	2	2	2
Kriterium 8: Niedrige Entwicklungskosten	2	2	2
Summe:	19	19	21
Technische Wertigkeit	0.59	0.59	0.66

⁸¹ (Verein Deutscher Ingenieure, 1998), Blatt 3, Seite 4

Folgend wird die Bewertung der verschiedenen Varianten erläutert. Dabei wird pro Kriterium angegeben, warum die verschiedenen Varianten ihre jeweilige Punktbewertung erhalten haben.

Kriterium 1: Maximaler Versatz in x-Richtung

In x-Richtung sind alle drei Konzepte geeignet, das vorgegebene Mindestintervall deutlich zu überschreiten. Das Drehgelenk, das zwischen dem Sattelaufleger und der jeweiligen Hebevorrichtung angeordnet ist, ermöglicht dabei die notwendige Verschwenkung.

Kriterium 2: Maximaler Versatz in y-Richtung

In y-Richtung sind alle Varianten geeignet, um auch deutliche näherstehende Container zu manipulieren. Container, die deutlich außerhalb des Intervalls liegen, sind für alle Varianten herausfordernd. Eine deutliche (>100%) Überschreitung wird aufgrund des großen Hebels für die Abstützungen als nicht realisierbar gesehen. Variante 3 hat jedoch den Vorteil, dass sie nicht von oben die Container aufgreift, wodurch die Hebevorrichtung bei kürzerer Länge der Hebevorrichtung Container in größerer Distanz manipulieren kann.

Kriterium 3: Maximaler Versatz in z-Richtung

In z-Richtung haben die Varianten 1.5 und 2 den Vorteil, dass diese einfacher tieferliegende Container manipulieren können. Variante 1.5 kann über die Anschläge theoretisch deutlich tiefer liegende Container manipulieren. Variante 2 hat den Vorteil, dass durch die flexiblere Kinematik in die vertikale Richtung nach unten gegriffen werden kann. Beide Varianten können jedoch nur schwierig höher stapeln, da sie beide von oben angreifen müssen und somit deutlich in der einzelnen Segmenthöhe zulegen müssten. Variante 3 kann kaum weiter nach unten greifen, jedoch aufgrund der Seitenaufnahme deutlich weiter nach oben stapeln.

Kriterium 4: Anpassungsmöglichkeit für 20' & 40' Container

Die Varianten 1.5 und 2 können mit einem größeren Sattelaufleger auch 40' Container manipulieren. Bei Variante 3 ist anzumerken, dass die Drehung des Containers sowie die dezentrale Anordnung des Gelenks zwischen Aufnahme- und Hebevorrichtung nicht realisierbar ist. Eine kombinierte Aufnahmemöglichkeit wäre durch die getrennten Aufnahmevorrichtungen bei Variante 2 möglich, jedoch stellt das notwendigerweise verschiebbare Drehgelenk eine sehr schwierige technologische Problemstellung dar und wird für dieses Konzept als nicht realisierbar angesehen.

Kriterium 5: Einfach zu transportieren

Variante 3 wird als einfacher zu transportieren angesehen, da lediglich ein Arm in einer Transportposition gehalten werden muss. Weiters ist die einzige Aufnahmevorrichtung über Führungsmittel mit der Hebevorrichtung verbunden und muss somit nicht besonders gegenüber seitlichem Verrutschen gesichert werden. Bei Variante 2 müssen zwei verschiedene Arme gesichert werden, jedoch sind auch hier die Aufnahmevorrichtungen über Führungsmittel mit den Hebevorrichtungen verbunden. Bei Variante 1.5 müssen zwei Arme gesichert werden sowie zusätzlich die Aufnahmevorrichtung, da diese aufgrund der biegeschlaffen Anschlagmittel verrutschen kann.

Kriterium 6: Bedienungskomfort

Für einen Operator ist der Bedienungskomfort bei Variante 3 am höchsten, da nur ein Teleskoparm sowie ein Gelenk gesteuert werden muss. Durch die Verwendung von einer Verbindungsvorrichtung ist das Ausrichten dieser auch einfach durchführbar. Bei Variante 1.5 müssen zwei Arme gesteuert werden, jedoch erlauben die Anschlagmittel kombiniert mit einer Aufnahmevorrichtungen auch eine einfache Ausrichtung. Variante 2 ist am schwierigsten zu bedienen, da zwei Arme gesteuert werden müssen, die aufgrund der Gelenk-Gliedzusammensetzung auch schwieriger zu steuern sind. Weiters müssen beide Aufnahmevorrichtungen einzeln ausgerichtet werden.

Kriterium 7: Geringe Komplexität

Alle drei Varianten weisen zwei komplexe Baugruppen auf. Bei Variante 1.5 ist die Hebevorrichtung, insbesondere die Abstützung dieser, um ein symmetrisches Verschwenken zu erlauben, komplex. Weiters wird die Freigabe der Anschlagmittel aus dem letzten Armsegment als komplex erachtet, da die Anschlagmittel mit dem Container mitschwingen müssen, ohne dabei durch Reibung beschädigt zu werden.

Bei Variante 2 sind Verbindungsvorrichtungen zwischen den Hebevorrichtungen und den Aufnahmevorrichtung als komplex identifiziert, sowie die Ausführung der Gelenk-Gliedarme.

Bei Variante 3 ist auch die Verbindungsvorrichtung zwischen der Hebe- und Aufnahmevorrichtung als komplex eingestuft, da sich diese in Längsrichtung des Containers anpassen können muss, um die Drehung des Containers zu ermöglichen.

Kriterium 8: Niedrige Entwicklungskosten

Die Entwicklungskosten werden entsprechend Kriterium 7 qualitativ bewertet.

Im folgenden Kapitel wird die Bewertung der verschiedenen Varianten analysiert. Die drei Varianten werden auch gegenüber dem recherchierten bereits bekannten Stand der Technik kritisch diskutiert.

5.6 Auswertung und Diskussion

Wie anhand der Ausführungen im vorherigen Kapitel zu sehen ist, liegt nur Variante 3 mit einem Wert von 0.66 über 60%. Nach der VDI 2225 sollen Konzepte, die unter dem Schwellenwert von 60% liegen, nicht weiterverfolgt werden.⁸² Es ist jedoch bei dieser Bewertung zu beachten, dass bei drei der acht Kriterien die Varianten bezüglich einer 100%-Über-/Unterschreitung der geforderten Merkmale bewertet werden. In einer üblichen Erfüllungsbewertung der Forderungen dieser Kriterien würden die drei Varianten jeweils mit der vollen Punktezahl bewertet werden, da oftmals bei der Bewertung der Konzepte der erwartete Erfüllungsgrad der Forderungen bewertet wird. Bei einer solchen Bewertung erreichen alle drei Konzepte eine technische Wertigkeit von über 70%.

⁸² (Verein Deutscher Ingenieure, 1998)

Variante 3 schneidet bei der Bewertung aus den folgenden Gründen am besten ab. Besonders bei der reinen Manipulation von 20' Containern bietet die seitliche Aufnahme viele Vorteile. Es können einfacher größere Höhen erreicht werden, außerdem können weitere Distanzen manipuliert werden. Die komplexen Baugruppen, die verschiebbare Aufnahmevorrichtung sowie das Gelenk zwischen Arm und Aufnahmevorrichtung, sind technologisch in ähnlicher Dimension bekannt. Bei einer Weiterentwicklung kann auf diesem Wissen aufgebaut werden. Durch die Verwendung von nur einem Arm ist auch der Bedienungskomfort für einen Operator bei dieser Variante am höchsten.

Variante 1.5 und 2 weisen beide die gleiche technische Wertigkeit auf. Hinsichtlich des Über-/Unterschreitens der Intervalle bei den Kriterien 1-3 sind beide Varianten durch die Top-lift Aufnahme limitiert. Beide Varianten könnten auch auf umgesetzte Wirkprinzipien der jeweils anderen Variante zurückgreifen. So könnte Variante 2 eine einzelne Aufnahmevorrichtung, die wie bisher mittels Führungselementen mit den Hebevorrichtungen verbunden ist, aufweisen. Dadurch würde Variante 2 bei Kriterium 6: Bedienungskomfort besser bewertet werden. Auch die Verwendung von Anschlagmittel bei Variante 2 wäre denkbar, dies scheint jedoch bei einer ersten Betrachtung keine großen Vorteile zu bringen.

Bei Variante 1.5 ist es naheliegend, dass auf ein symmetrisches Umschwenken der Hebevorrichtung um die Längsachse des Sattelauflegers verzichtet werden kann und stattdessen, wie bei Variante 2 ein Durchschwingen durch die Drehung des Verbindungsvorrichtung zwischen Sattelaufleger und Hebevorrichtung in der x-y Ebene realisiert wird. Dadurch würde sowohl die Abstützung der Hebevorrichtungen weniger komplex werden als auch der Austritt der Anschlagmittel. Dadurch verbessern sich die Bewertungen bei den Kriterien 7 und 8.

Gegenüber dem identifizierten Stand der Technik weisen alle drei Varianten ein höheres Maß an Automatisierung auf. Es sind bei keiner der drei Varianten manuelle Tätigkeiten notwendig, abgesehen von der Steuerung für den Manipulationsvorgang des Containers durch einen Operator. Der Automatisierungsgrad des gesamten Umschlagprozesses hängt davon ab, mit welchen Sicherungsmitteln der Container an seinem Ausgangsort gesichert ist. Bei einer Sicherung durch ein automatisches Twistlock, siehe Abbildung 32, kann ein Container direkt umgeschlagen werden. Bei einer Sicherung durch ein herkömmliches Standard Twistlock, siehe Abbildung 32, ist trotz der automatisierten Manipulationsvorrichtung ein manueller Tätigkeitsbedarf in Form der Entriegelung der Sicherungsmittel gegeben, bevor der Container aufgenommen werden kann.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Umschlagvorgänge von Containern von Eisenbahnwaggonen auf LKWs weisen im Vergleich zum Umschlag in Häfen einen geringeren Automatisierungsgrad auf. Dennoch ist gerade in der D-AC-H-Region der Bedarf für einen Containerumschlag zwischen Eisenbahn und LKW besonders hoch. Ausgangssituation der vorliegenden Entwicklung ist eine Anforderungsliste eines Containerumsetzers, die aus der vorangegangenen Projektarbeit „Anforderungsliste eines Containerumsetzers“ hervorgeht.⁸³ Die Anforderungsliste stellt die Anforderungen und Wünsche dar, die sich aus unterschiedlichsten Umschlagplätzen und deren Rahmenbedingungen ergeben. Eine Recherche zum Stand der Technik hat eine Vielzahl an verschiedenen Umschlagvorrichtungen für Containern identifiziert. Dabei hat sich herausgestellt, dass besonders beim Umschlag zwischen Eisenbahn und LKW primär Seitenlader zum Einsatz kommen. Diese Seitenlader weisen im Wesentlichen zwei Gelenk-Glied-Arme auf, die mittels Ketten einen Container anheben, um diesen auf einen Sattelaufleger abzustellen oder von einem Sattelaufleger abzuladen. Einerseits der geringe Automatisierungsgrad aber auch andererseits die Eigenschaft, dass die umschlagende Einheit gleich der transportierenden Einheit ist, bieten Optimierungspotential für einen effizienteren Umschlageprozess. Auch andere Lösungen, wie Systeme basierend auf Führungsscheinen mit der Verwendung von speziellen Containern sowie aus Hafenanlagen bekannte Containerstapler, wurden identifiziert. Keines dieser Systeme wird jedoch den Forderungen der initialen Anforderungsliste gerecht. Weiters wird die ISO 3874:2017 als thematisch nächstliegende Norm und somit bekanntem Stand der Technik bezüglich der allgemeinen Aufnahme und Manipulation von Containern identifiziert.⁸⁴

Auf dieser Basis wird die Aufgabenstellung geklärt, bevor die ersten Konzipierungsschritte gesetzt werden. Ein schematisches Beispielszenario schafft dabei eine Verständnisgrundlage. Das Szenario, dargestellt in Abbildung 21, besteht aus einem Eisenbahnwaggon, auf dem ein 20´Container geladen ist, einem Containerumsetzer für das Umschlagen des 20´Containers, sowie einem weiteren LKW samt Sattelaufleger für den An-/Abtransport. Der Ablauf ist wie folgt, der Containerumsetzer wird ungefähr parallel zu dem 20´Container angeordnet und nimmt den Container auf. Ein Sattelaufleger wird an der gegenüberliegenden Seite angeordnet. Der Containerumsetzer kann in einem Vorgang den 20´Container von dem Eisenbahnwaggon auf den Sattelaufleger auf der anderen Seite umschlagen, ohne dabei manuelle Tätigkeiten, wie das Herstellen der Verbindung zum Container, durchzuführen. Die einzige Tätigkeit eines Operators besteht in der Steuerung des Umsetzers.

Da sich die vorliegende Arbeit mit der Entwicklung der Manipulationsvorrichtung nach VDI 2221:2019, jedoch nicht der Abstützung des Systems befasst, wird für die Klärung der Aufgabenstellung eine zweite Version der Anforderungsliste erstellt, bei der alle Merkmale der Version 1 der Anforderungsliste analysiert und ggf. angepasst werden.⁸⁵ Bei dieser Analyse wird auch der Operationsspielraum, siehe auch Abbildung 22, zwischen möglichen Oberleitungen und dem umzuschlagenden Container erläutert. Dieser Operationsspielraum ist

⁸³ (Schwarzmann & Babayigit, 2024)

⁸⁴ (International Organization for Standardization, 2017)

⁸⁵ (Verein Deutscher Ingenieure, 2019)

aufgrund seiner niedrigen Höhe von 959 mm ausschlaggebend für die Konzipierung. Aus der in der vorliegenden Arbeit erstellten Anforderungsliste wird die Aufgabenstellung formuliert.

Es gilt eine Manipulationsvorrichtung zu konzipieren, die das Manipulieren in Form von Umschlagen von 20 Containern an einem gewünschten Ort unter den Forderungen und Wünschen der Anforderungsliste ermöglicht. Dabei ist das Ziel, den Umschlagvorgang ohne manuelle Tätigkeiten, wie das Anbringen von Ketten, zu ermöglichen. Die Manipulationsvorrichtung soll dabei auf einem Sattelaufleger angeordnet sein.

Damit ist die Basis für den Konzipierungsprozess gelegt und dieser startet mit der Identifikation der Gesamtfunktion entsprechend der VDI 2222:1997⁸⁶. Es werden Stoff-, Energie-, und Signalfluss analysiert und die Gesamtfunktion identifiziert, siehe Abbildung 24, wobei sich zeigt, dass Energie- und Signalfluss eine untergeordnete Rolle spielen. Von zentraler Bedeutung ist der Stofffluss mit der identifizierten Gesamtfunktion: Container manipulieren. Die Gesamtfunktion wird in eine Vielzahl an Teilfunktionen und Nebenfunktionen unterteilt. Die Teilfunktionen folgen dabei dem zeitlichen Ablauf des Beispielszenarios.

„Containerverbindung herstellen“ ist die erste Teilfunktion mit der vorhergehenden Nebenfunktion „Aufnahmevorrichtung ausrichten“ und der nachfolgenden Nebenfunktion „Verbindung sichern“. Die weiteren Teilfunktionen, „Container anheben“, „Versatz ausgleichen“, „Container bewegen“, „Versatz ausgleichen“, „Container abstellen“ und „Containerverbindung lösen“ werden identifiziert und allgemein erörtert. Der Teilfunktion „Container abstellen“, geht die Nebenfunktion „Container ausrichten“ voraus. Die Funktionsstruktur ist in Abbildung 26 dargestellt.

Anschließend werden die identifizierten Teilfunktionen den Baugruppen zugeordnet, dabei kommt es teilweise zu einer Mehrfachzuordnung, da beispielsweise die Teilfunktion „Versatz ausgleichen“ sowohl von der Hebevorrichtung als auch von den Verbindungsvorrichtungen ermöglicht/durchgeführt wird. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden Wirkprinzipien für die einzelnen Teilfunktionen identifiziert. Die Wirkprinzipien repräsentieren dabei den Stand der Technik zur Erfüllung der einzelnen Teilfunktion, ohne dabei auf eine Kombination mit anderen Wirkprinzipien vorzugreifen. Dieses Vorgehen garantiert, dass keine Gesamtlösungen voreilig in Betracht gezogen werden. Der initiale morphologische Kasten ist in Abbildung 27 dargestellt.

Nach der Findung unterschiedlichster Wirkprinzipien werden diese durch die Anwendung einer Auswahlliste, siehe Tabelle 10 und Tabelle 11, sowie einer Verträglichkeitsmatrix, siehe Tabelle 12, auf eine zielführende Anzahl reduziert. Der finale morphologische Kasten, siehe Abbildung 39, bietet die Grundlage für die Konkretisierung verschiedener Varianten.

Es werden drei Varianten konkretisiert, wobei die drei Varianten einige idente Wirkprinzipien aufweisen. Alle drei Varianten greifen auf die äußere Ausrichtung der Aufnahmevorrichtung zum Container durch Führungskeile zurück. Dieser Vorgang wird durch Kameras unterstützt. Auch sind bei allen Varianten die Hebevorrichtungen mittels Drehgelenke an den jeweiligen

⁸⁶ (Verein Deutscher Ingenieure, 1997)

Sattelaufliegern angeordnet. Weiters werden bei allen drei Varianten hydraulische Twistlocks mit Fail-Safe Sicherungen verwendet.

Das Konzept der Variante 1 beruht auf einer Top-lift Aufnahme. Zwei Teleskoparme dienen als Hebevorrichtungen und sind mittels Anschlagmittel mit einer Aufnahmevorrichtung verbunden. Die Teleskoparme sind dabei so gestützt, dass diese symmetrisch um die Längsachse des Sattelauflegers verschwenken können. Hierbei hat sich jedoch früh herausgestellt, dass reine Teleskoparme den Forderungen nicht gerecht werden, somit wurde unter der Bezeichnung „Variante 1.5“ ein Gelenk-Glied-Segment als letztes Segment an den Teleskoparmen angeordnet.

Variante 2 beruht auch auf der Top-lift Aufnahme. Bei dieser Variante kommen zwei Gelenk-Glied-Arme zum Einsatz, wobei diese mittels Führungselementen mit zwei getrennten Aufnahmevorrichtungen verbunden sind. Die zwei getrennten Aufnahmevorrichtungen greifen in jeweils zwei Eckbeschläge des Containers ein.

Variante 3 unterscheidet sich von den Varianten 1.5 und 2 deutlich, da diese auf die Side-Lift-Aufnahme zurückgreift und nur ein Teleskoparm zum Einsatz kommt. Die Verwendung von einem Arm impliziert, dass die Aufnahmevorrichtung aus einer Baugruppe besteht. Auch zu erwähnen ist, dass bei der Side-lift-Variante nur zwei hydraulische Twistlocks benötigt werden.

Alle drei Varianten werden hinsichtlich der technischen Wertigkeit bewertet, wobei bei der Findung von Kriterien teilweise auf Merkmale der im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten Anforderungsliste, zurückgegriffen wird. Dabei wird ein positives Über-/Überschreiten der geforderten Intervalle bewertet. Zusätzlich werden Aspekte wie die Komplexität der Konzepte als auch der Bedienungskomfort bewertet. Die Konzepte sind in den Abbildungen, Abbildung 44 bis Abbildung 54, dargestellt. Die technische Bewertung ist in Tabelle 14 zu sehen.

Variante 3 weist die höchste technische Wertigkeit auf, wobei alle drei Varianten weiterentwickelt werden können. Alle drei Varianten werden den Forderungen der Anforderungsliste gerecht und weisen gegenüber dem recherchierten Stand der Technik einen höheren Automatisierungsgrad auf, wodurch manuelle Tätigkeiten auf die Steuerung der Manipulationsvorrichtungen beschränkt werden.

Weiterführend kann nun auf Basis der vorliegenden Arbeit eine Konkretisierung, in Form von vorläufigen Entwürfen, eines oder mehrerer Konzepte entsprechend der VDI 2221:2019 erfolgen. Dabei können Verbesserungen von Aspekten, die die Auswertung evaluiert, eingeführt werden. Auch lassen sich im Zuge der Verbesserung konkrete Annahmen zur Materialwahl, Dimensionierung und verwendeten Standardkomponenten treffen. Zusätzlich müssen Energie- und Signalfluss spätestens beim Entwerfen berücksichtigt werden. In den in der vorliegenden Arbeit dargestellten Konzepten wird beispielsweise auf die Anordnung von Hydraulikleitungen oder -reservoirs nicht eingegangen. Auch ein Steuerungskonzept sowie der zugehörige Signalfluss muss erstellt werden. Hierbei gilt es abzuschätzen, ob einem Operator viel Freiheit durch ein voraussichtlich komplexeres Steuerungssystem gegeben wird, oder ob ein eingeschränkteres, aber dafür einfacheres Steuerungssystem implementiert wird. Es ist vorteilhaft, die Auswertung der Bewertung der einzelnen Varianten zu studieren, da Verbesserungen so von Anfang an geplant werden können.

Naheliegend ist weiters die Konzipierung der Abstützung des gesamten Umsetzers. Nur durch eine geeignete Abstützung kann der Umschlag stattfinden. Weiters ist darauf zu achten, dass der Prozess des Abstützens möglichst zeiteffizient abläuft, da sonst die zeitliche Einsparung durch die Automatisierung der Manipulationsvorrichtung verloren geht. Weiters ist zielführend die Abstützung vor dem Entwerfen der Varianten zu konzipieren, da verschiedene Dimensionsgrößen, wie die Hauptabmessungen der Abstützung, auch den Prozess des Entwerfens der Manipulationsvorrichtungen beeinflussen.

7 Anhang

0		Container-umsetzer	K. Babayigit, J. Schwarzmann	[14.07.2024 V1]	Version 1	
Auftragsnr.	Produkt	Bearbeiter	Datum		Genehmigt: AL	
Gliederung	FF	Anforderungen Containerumsetzer			Verantwortlichen Klärung durch	
	BF	Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung		v.
Grundlegendes	FF	1	Funktion	Situationsbedingtes Heben, Manipulieren und Senken eines Containers	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	2	Manipulationsvarianten	Verladen des Containers: 1. vom Containerwagen auf den Umsetzer (anschließend auf einen LKW-Sattelanhänger; oder umgekehrt) 2. von einem Zwischenlager auf den Umsetzer (oder umgekehrt) 3. vom Umsetzer auf einen LKW-Sattelanhänger (oder umgekehrt) 4. vom Umsetzer auf einen Containerstapel (oder umgekehrt)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	3	Anwendungsort	Umschlagbahnhöfe in Österreich (Terminals wie Wien Süd und Wels)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	4	Anwendungsort	kleinere Umschlagpunkte, an denen kein Portalkran vorhanden ist	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	5	Container-Typen	"20-Fuß Container" ISO 668 1CC 6.058x2.438x2.591 [LxBxH in mm]	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	6	Container-Masse	≤ 2.250kg (Eigenmasse) ≤ 30.480kg (maximale Gesamtmasse)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	7	Beidseitiges Operieren	Der Umsetzer kann auf beiden Seiten, sowohl auf rechter als auch auf linker Seite der Fahrtrichtung um-/ ab-/ aufladen Im Idealfall kann der Container somit von einem Containerwagen direkt auf einen LKW-Sattelanhänger geladen werden	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	8	Autonomie	Vollautomatisierte Herstellung einer Verbindung zwischen Umsetzer und Container, anschließendes automatisches Verladen (oder umgekehrt)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Geometrie	BF	9	Länge des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 16,50m (Zugmaschine mit Sattelanhänger)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	10	Breite des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 2,55m (für nicht klimatisierte Verkehrsmittel); ≤ 2,60m (für klimatisierte Verkehrsmittel)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	11	Höhe des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 4,000m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	12	Höhe während der Manipulation auf Flächen mit Oberleitungen	≤ 4,700m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	13	Höhe während der Manipulation auf Flächen ohne Oberleitungen	≤ 6,000m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	14	Breite der Manipulationsarme (wenn zwischen verladenen Containern operiert werden muss)	≤ 75mm	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Masse	BF	15	Gesamtmasse des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 40,000t (Zugmaschine mit Anhänger oder "Gesamtmasse") ≤ 44,000t (Bei Vor- und Nachlaufverkehr)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	16	Eigenmasse des Umsetzers (Referenzwert: Reach Stacker statt StVO)	≤ 68,500t	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	17	Masse der Manipulatoreinheit (Referenzwert: Nutzlast-Sattelanhänger statt StVO)	≤ 2,720t (bei maximaler Containerbeladung) ≤ 7,742t (bei z.B. Roggen, Containergesamtmasse = 25,458t)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Kinematik	FF	18	ΔX	= 0,000m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	19	ΔX (bei voller Automatisierung)	0,000m ≤ ΔX ≤ 0,400m (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	20	ΔY	2,985m ≤ ΔY ≤ 5,763m (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	21	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs auf gleicher Höhe wie Bahnsteig)	0,000m ≤ ΔZ ≤ 2,591m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	22	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs unter Bahnsteig)	-0,760 ≤ ΔZ ≤ 2,591m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Abstützdruck	BF	23	Abstützung im Gleisbereich (Schotterbett)	≤ 30N/cm ²	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	24	Abstützung auf Vignoschiene	≤ 32.480N/cm ²	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	25	Abstützung auf Schotter(-straße)	≤ 35N/cm ²	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	26	Abstützung auf Asphalt(-straße)	≤ 700N/cm ²	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	27	Abstützung auf Beton(-straße)	≤ 3.700N/cm ²	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung

Anhang 1: Anforderungsliste-V1

0		Container-manipulationsvorrichtung	K. Babayigit, J. Schwarzmann, B. Klug	[04.12.2024 V2]	Version 2	
Auftragsnr.	Produkt	Bearbeiter	Datum	Genehmigt: AL		
Anforderungen Containerumsetzer						
					verantwortlichen Klärung durch	
Gliederung	Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung	V.		
Grundlegendes	FF	1	Funktion	Situationsbedingtes Heben, Manipulieren und Senken eines Containers	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	2	Manipulationsvarianten	Verladen des Containers: 1. vom Containerwagen auf den Umsetzer (anschließend auf einen LKW-Sattelanhängen; oder umgekehrt) 2. von einem Zwischenlager auf den Umsetzer (oder umgekehrt) 3. vom Umsetzer auf einen LKW-Sattelaufleger (oder umgekehrt) 4. vom Umsetzer auf einen Containerstapel (oder umgekehrt)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	3	Anwendungsort	Umschlagbahnhöfe in Österreich (Terminals wie Wien Süd und Wels)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	4	Anwendungsort	kleinere Umschlagpunkte, abweichende Umgebungsbedingungen	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	5	Container-Typen	"20-Fuß Container" ISO 668 1CC 6.058x2.438x2.591 [LxBxH in mm]	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	B	6	Container-Masse	≤ 2.250 kg (Eigenmasse) ≤ 30.480 kg (maximale Gesamtmasse)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	F	6	Container-Masse	Der Umsetzer kann auf beiden Seiten, sowohl auf rechter als auch auf linker Seite der Fahrtrichtung um-/ ab-/ aufladen und auch auf einer Seite aufladen und im gleichen Umschlagevorgang auf der anderen Seite abladen.	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	7	Beidseitiges Operieren	Herstellung einer Verbindung zwischen Umsetzer und Container ohne manuelles Einwirken, Umschlagen nur mittels Steuereinheit des Containerumsetzers möglich.	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Geometrie	BF	9	Länge des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 16,50 m (Zugmaschine mit Sattelanhängen)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	10	Breite des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 2,55 m (für nicht klimatisierte Verkehrsmittel); ≤ 2,60 m (für klimatisierte Verkehrsmittel)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	11	Höhe des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 4,000 m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	12	Höhe während der Manipulation auf Flächen mit Oberleitungen	≤ 4,700 m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	13	Höhe während der Manipulation auf Flächen ohne Oberleitungen	≤ 6,000 m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	14	Breite der Manipulationsarme (wenn zwischen verladenen Containern operiert werden muss)	≤ 75 mm	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	BF	15	Gesamtmasse des Umsetzers während der Fahrt auf StVO gebundenen Flächen	≤ 40,000 t (Zugmaschine mit Anhänger oder "Gesamtmasse")	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Masse	FF	19	ΔX (bei voller Automatisierung)	-0,400m ≤ ΔX ≤ 0,400 m (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	2.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	20	ΔY	2,985 m ≤ ΔY ≤ 5,763 m (muss jeden Wert in diesem Bereich annehmen können)	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	FF	21	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs auf gleicher Höhe wie Bahnsteig)	0,000 m ≤ ΔZ ≤ 2,591 m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
	W	22	ΔZ (für den Fall Oberkante des Gleiskopfs unter Bahnsteig)	-0,760 m ≤ ΔZ ≤ 2,591 m	1.0	Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung
Version 2						

Anhang 2: Anforderungsliste-V2

TU Wien	Auswahlliste der Wirkprinzipien für Teilfunktionen				Teil 1 & 2
Lösungsvarianten: T/N F#/# (Wirkprinzip)	Erfüllung des Kriteriums?				Wirkprinzip weiter
	"..."ja "..."nein "?"...Informationsmangel				"+"...ja "-"...nein
	Verträglichkeit				
	Anforderung(en)				
	Realisierung				
Realisierungsaufwand				Entscheidungen	
A	B	C	D		Bemerkungen
NF1-1	+	+	+	+	+
NF1-2	-				Blockierung der Eckbeschläge
NF1-3	+	+	+	+	+
NF1-4	+	+	+	-	Reine nicht-optische Sensorik aufwändig
TF1.1-1	+	+	+	+	+
TF1.1-2	+	+	+	-	Realisierungsaufwand > als Side-lift 2
TF1.1-3	+	+	+	+	+
TF1.2-1	+	-			Nicht automatisierbar
TF1.2-2	+	-			Nicht automatisierbar
TF1.2-3	+	-			Nicht automatisierbar
TF1.2-4	-				Nicht zum Heben geeignet
TF1.2-5	+	+	+	+	+
TF1.2-6	-				Technisch auszuschließen
TF1.2-7	-				Technisch auszuschließen
NF2-1	+	+	+	+	+
NF2-2	+	+	+	+	+
NF2-3	+	-			Blockierung der Eckbeschläge
TF2-1	+	+	+	+	+
TF2-2	+	+	+	+	+
TF2-3	+	+	+	+	+
TF3.1-1	+	+	+	+	+
TF3.1-2	+	+	+	+	+
TF3.1-3	-				Technisch auszuschließen
TF3.2-1	+	+	+	+	+
TF3.2-2	-				Technisch auszuschließen
TF3.2-3	-				Technisch auszuschließen
TF4-1	+	+	+	+	+
TF4-2	+	+	+	+	+
TF4-3	+	+	+	+	+
TF4-4	+	+	+	+	+
TF4-5	+	-			Stapelung nicht durchführbar
NF3-1	-				Müsste am Container angebracht sein
NF3-2	-				Müsste am Container angebracht sein
NF3-3	+	+	+	+	+
NF3-4	+	+	+	-	Reine nicht-optische Sensorik aufwändig

Anhang 3: Auswahlliste

$$L_1 := 2 \text{ m} \quad F_{Container} := 16000 \text{ kg} \cdot g = (1.569 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$L_2 := 2 \text{ m} \quad S_F := 2$$

$$L_3 := 1.5 \text{ m} \quad Re_{S960} := 960 \text{ MPa}$$

$$L_4 := 1.5 \text{ m}$$

$$\sigma_{zul} := \frac{Re_{S960}}{S_F} = 480 \text{ MPa}$$

$$M_1 := F_{Container} \cdot (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = (1.098 \cdot 10^6) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := F_{Container} \cdot (L_2 + L_3 + L_4) = (7.845 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_3 := F_{Container} \cdot (L_3 + L_4) = (4.707 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_4 := F_{Container} \cdot (L_4) = (2.354 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$W1_{min} := \frac{M_1}{\sigma_{zul}} = (2.288 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$W2_{min} := \frac{M_2}{\sigma_{zul}} = (1.634 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$W3_{min} := \frac{M_3}{\sigma_{zul}} = (9.807 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$W4_{min} := \frac{M_4}{\sigma_{zul}} = (4.903 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$H_1 := 450 \text{ mm} \quad h_1 := 400 \text{ mm}$$

$$B_1 := 300 \text{ mm} \quad b_1 := 250 \text{ mm}$$

$$W_1 := B_1 \cdot \frac{H_1^2}{6} - \left(\frac{b_1 \cdot h_1^3}{6 \cdot H_1} \right) = (4.199 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_1 \geq W1_{min} = 1$$

$$H_2 := h_1 = 400 \text{ mm} \quad h_2 := 350 \text{ mm}$$

$$B_2 := b_1 = 250 \text{ mm} \quad b_2 := 200 \text{ mm}$$

$$W_2 := B_2 \cdot \frac{H_2^2}{6} - \left(\frac{b_2 \cdot h_2^3}{6 \cdot H_2} \right) = (3.094 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_2 \geq W2_{min} = 1$$

$$H_3 := h_2 = 350 \text{ mm} \quad h_3 := 300 \text{ mm}$$

$$B_3 := b_2 = 200 \text{ mm} \quad b_3 := 150 \text{ mm}$$

$$W_3 := B_3 \cdot \frac{H_3^2}{6} - \left(\frac{b_3 \cdot h_3^3}{6 \cdot H_3} \right) = (2.155 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_3 \geq W3_{min} = 1$$

$$H_4 := h_3 = 300 \text{ mm} \quad h_4 := 250 \text{ mm}$$

$$B_4 := b_3 = 150 \text{ mm} \quad b_4 := 100 \text{ mm}$$

$$W_4 := B_4 \cdot \frac{H_4^2}{6} - \left(\frac{b_4 \cdot h_4^3}{6 \cdot H_4} \right) = (1.382 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_4 \geq W4_{min} = 1$$

Anhang 4: Grobe Berechnung Variante 1

$$L_1 := 3 \text{ m} \quad F_{\text{Container}} := 34000 \text{ kg} \cdot g = (3.334 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$L_2 := 2 \text{ m} \quad S_F := 2$$

$$L_3 := 1.5 \text{ m} \quad Re_{S960} := 960 \text{ MPa}$$

$$L_Z := 3 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{zul}} := \frac{Re_{S960}}{S_F} = 480 \text{ MPa}$$

$$M_1 := F_{\text{Container}} \cdot (L_1 + L_2 + L_3 + L_Z) = (3.168 \cdot 10^6) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_2 := F_{\text{Container}} \cdot (L_2 + L_3 + L_Z) = (2.167 \cdot 10^6) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_3 := F_{\text{Container}} \cdot (L_3 + L_Z) = (1.5 \cdot 10^6) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$W_{1_{\text{min}}} := \frac{M_1}{\sigma_{\text{zul}}} = (6.599 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$W_{2_{\text{min}}} := \frac{M_2}{\sigma_{\text{zul}}} = (4.515 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$W_{3_{\text{min}}} := \frac{M_3}{\sigma_{\text{zul}}} = (3.126 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$H_1 := 540 \text{ mm} \quad h_1 := 480 \text{ mm}$$

$$B_1 := 400 \text{ mm} \quad b_1 := 340 \text{ mm}$$

$$W_1 := B_1 \cdot \frac{H_1^2}{6} - \left(\frac{b_1 \cdot h_1^3}{6 \cdot H_1} \right) = (7.835 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_1 \geq W_{1_{\text{min}}} = 1$$

$$H_2 := h_1 = 480 \text{ mm} \quad h_2 := 420 \text{ mm}$$

$$B_2 := b_1 = 340 \text{ mm} \quad b_2 := 280 \text{ mm}$$

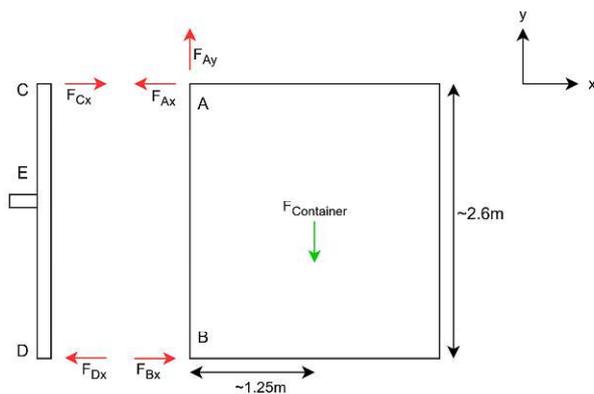
$$W_2 := B_2 \cdot \frac{H_2^2}{6} - \left(\frac{b_2 \cdot h_2^3}{6 \cdot H_2} \right) = (5.853 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_2 \geq W_{2_{\text{min}}} = 1$$

$$H_3 := h_2 = 420 \text{ mm} \quad h_3 := 360 \text{ mm}$$

$$B_3 := b_2 = 280 \text{ mm} \quad b_3 := 220 \text{ mm}$$

$$W_3 := B_3 \cdot \frac{H_3^2}{6} - \left(\frac{b_3 \cdot h_3^3}{6 \cdot H_3} \right) = (4.159 \cdot 10^6) \text{ mm}^3 \quad W_3 \geq W_{3_{\text{min}}} = 1$$

Anhang 5: Grobe Berechnung Variante 3



Anhang 6: Aufnehmer Variante 3

$$F_{Container} := 31000 \text{ kg} \cdot g = (3.04 \cdot 10^5) \text{ N}$$

$$S_F := 2$$

$$Re_{S960} := 960 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{zul} := \frac{Re_{S960}}{S_F} = 480 \text{ MPa}$$

$$\Sigma M_B := 0 \quad F_{Ax} := F_{Container} \cdot 1.25 \frac{\text{m}}{2.6 \text{ m}} = 146.157 \text{ kN}$$

$$F_{Cx} := F_{Ax} = 146.157 \text{ kN}$$

$$F_{Dx} := F_{Ax} = 146.157 \text{ kN}$$

$$M_E := -F_{Cx} \cdot 1.3 \text{ m} - F_{Dx} \cdot 1.3 \text{ m} = -3.8 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_b := |M_E| = 380.008 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$W_{min} := \frac{M_b}{\sigma_{zul}} = (7.917 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$H := 240 \text{ mm} \quad h := 200 \text{ mm}$$

$$B := 160 \text{ mm} \quad b := 120 \text{ mm}$$

$$W := B \cdot \frac{H^2}{6} - \left(\frac{b \cdot h^3}{6 \cdot H} \right) = (8.693 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

$$W \geq W_{min} = 1$$

Anhang 7: Grobe Berechnung Aufnehmer Variante 3

8 Literaturverzeichnis

Clayton, R. F. (22. Februar 2025). *PDFCOFFEE.COM*. Von <https://pdfcoffee.com/spreader-training-eh5u-amp-eh170u-pdf-free.html> abgerufen

Fliegl Fahrzeug GmbH. (11. Januar 2025). *fliegl-trailer.de*. Von https://fliegl-trailer.de/service/fahrzeugboerse/details?tx_pxaproductmanager_pi1%5Baction%5D=show&tx_pxaproductmanager_pi1%5Bcategory_0%5D=26&tx_pxaproductmanager_pi1%5Bcontroller%5D=Product&tx_pxaproductmanager_pi1%5Bproduct%5D=37&cHash=cf997e3303ed5963 abgerufen

Hammar Maskin. (22. Juni 2024). *hammarlift*. Von <https://hammarlift.com> abgerufen

Hammar, B.-O. (2006). *Europa Patentnr. EP 1 795 436 B1*.

Hammar, B.-O. (2016). *Europa Patentnr. EP 3 330 211 B1*.

Hans Turck GmbH & Co. KG. (11. Februar 2025). *Turck.de*. Von <https://www.turck.de/en/distance-detection-in-container-cranes-42812.php> abgerufen

Hubauer, R. (16. Juni 2024). *www.boxmover.eu*. Von www.boxmover.eu: <http://www.boxmover.eu> abgerufen

International Organization for Standardization. (2016). ISO 1161:2016 Series 1 freight containers — Corner and intermediate fittings — Specifications.

International Organization for Standardization. (2017). ISO 3874:2017 Series 1 freight containers — Handling and securing.

Kalmar. (22. Februar 2025). *www.youtube.com*. Von <https://www.youtube.com/watch?v=gX-FTk1idRY&t=33s> abgerufen

Kalmar Germany GmbH. (04. März 2025). Von www.kalmar.at: <https://www.kalmar.at/produkte/reachstacker/kippspreader/> abgerufen

Liebherr-International Deutschland GmbH. (22. Februar 2025). *www.liebherr.com*. Von <https://www.liebherr.com/de-at/mobil-und-raupenkrane/kundenmagazin/nachgefragt/immer-staerkere-krane-5924101> abgerufen

Megalift. (06. Juni 2024). *www.megalift.ie*. Von <https://www.megalift.ie/new-page-1> abgerufen

Mitari Hijstechniek B.V. (20. Januar 2025). Von anschlagmittel-shop.at: <https://www.anschlagmittel-shop.at/containerhaken-mkb-guteklasse-8-13mm-5-300-kg?srsId=AfmBOoqOgOMHUCSoTz1D1qM8a8kBJF6iu4kCy000IbIN4RBDRE6x-DUdv-k&gQT=1> abgerufen

Mitari Hijstechniek B.V. (22. Januar 2025). *anschlagmittel-shop*. Von <https://www.anschlagmittel-shop.at/containerhaken-mkax?preselectedOptions=1&230=504&srsId=AfmBOoqAlo0FlmU26EelcqCrtgilyfkjqTV0Vb2dlvIMc7nWTVN-Bfs1DJc&gQT=1> abgerufen

- ÖBB. (5. November 2024). *ÖBB Infrastruktur*. Von <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/gueterzentren-und-terminals/gueterzentrum-wien-sued> abgerufen
- OUCO. (27. Januar 2025). *ouco-industry.com*. Von https://de.ouco-industry.com/container_spreader.html abgerufen
- Rail-Cargo-Group. (16. Juni 2024). *railcargo group*. Von https://www.railcargo.com/de/leistungen/wagenladungen/equipment/behaelter/mobile_r abgerufen
- RAM Spreaders. (22. Februar 2025). *www.ramspreaders.com*. Von <https://www.ramspreaders.com/product/electric-twin-lift-yard-spreader/> abgerufen
- SAE Media Group. (11. Februar 2025). Von [techbriefs.com: https://www.techbriefs.com/component/content/article/29344-msc23067](https://www.techbriefs.com/component/content/article/29344-msc23067) abgerufen
- Schwarzmann, J., & Babayigit, K. (2024). *Anforderungsliste eines Containerumsetzers*. Wien.
- SkySol Media. (30. Oktober 2024). *safeandsecureksa*. Von <https://safeandsecureksa.com/product/clb-container-lifting-lugs/> abgerufen
- Steelbro. (16. Juni 2024). Von <https://steelbro.com> abgerufen
- Stinis. (22. Januar 2025). *Stinis*. Von <https://www.stinis.com/in-depth-guide-to-twistlocks-in-container-handling/> abgerufen
- Stoneridge, Inc. (11. Februar 2025). *stoneridge-orlaco.com*. Von <https://stoneridge-orlaco.com/de/systeme/twistlockview> abgerufen
- V22 Media. (22. Februar 2025). *www.heavyquipmag.com*. Von <https://www.heavyquipmag.com/2023/05/12/liebherr-new-ltm-1300-6-3-put-into-service/> abgerufen
- van den Bold, P. (16. Juni 2024). *innovatrain*. Von <https://www.innovatrain.ch> abgerufen
- Verein Deutscher Ingenieure. (1997). *VDI 2222 Methodisches Entwicklen von Lösungskonzepten*. Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure. (1998). *VDI 2225 Technisch-wirtschaftliches Konstruieren*. Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2019). *VDI 2221 Entwicklung technischer Produkte und Systeme*. Düsseldorf.
- VirtualExpoGroup. (23. Januar 2025). Von [nauticexpo.de: https://www.nauticexpo.de/prod/elme-spreader-ab/product-30594-189776.html](https://www.nauticexpo.de/prod/elme-spreader-ab/product-30594-189776.html) abgerufen
- VS&B Containers Group. (22. Januar 2025). *vsnb*. Von <https://www.vsnb.com/sites/default/files/inline-images/Container-Twist-Lock-Blog.jpg> abgerufen

Wegmüller, B. (2010). *Schweiz Patentnr. CH 703 859 B1*.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: BOXmover BM16.....	8
Abbildung 2: BOX-mover-BM Bahn	9
Abbildung 3: Mobiler.....	9
Abbildung 4: ContainerMover	10
Abbildung 5: Brückenbein.....	11
Abbildung 6: Brückenbein Querschnitt.....	12
Abbildung 7: Sidelifter-450	12
Abbildung 8: Rail Underbelly Leg	13
Abbildung 9: Hammar 140.....	13
Abbildung 10: Hammar 155.....	14
Abbildung 11: Megalift.....	16
Abbildung 12: Megalift Brückenbeine	16
Abbildung 13: Containerstapler	17
Abbildung 14: Seitenaufnahme mit Haken.....	18
Abbildung 15: Verbindung Ketten	18
Abbildung 16: Seitenlader	19
Abbildung 17: Brückenbein.....	20
Abbildung 18: Stützung auf dem Waggon.....	20
Abbildung 19: Bodenabstützung.....	21
Abbildung 20: Längs-Bodenabstützung	21
Abbildung 21: Beispielszenario.....	24
Abbildung 22: Operationsspielraum.....	28
Abbildung 23: Funktionsdarstellung.....	31
Abbildung 24: Gesamtfunktion.....	32
Abbildung 25: Twistlocks ISO 1161	34
Abbildung 26: Funktionsstruktur	35
Abbildung 27: Morphologischer Kasten	37
Abbildung 28: Top-lift Variante	38
Abbildung 29: Side-lift-1 Variante	39
Abbildung 30: Side-lift-2 Variante	40
Abbildung 31: Karabiner & Haken	40
Abbildung 32: Twistlock Varianten.....	41
Abbildung 33: Hydraulisches Twistlock& Spreader.....	43
Abbildung 34: Äußerliches Ausrichten	45
Abbildung 35: Optische Sensorik.....	46
Abbildung 36: Nicht-optische Sensorik	46
Abbildung 37: Fail-safe Sicherung.....	48
Abbildung 38: Morphologischer Kasten Anpassung.....	56
Abbildung 39: Morphologische Kasten final.....	57
Abbildung 40: Morphologische Kasten, günstige Kombinationen.....	59
Abbildung 41: Variante 1-Problemstellung.....	63
Abbildung 42: Variante 1-Containerseite	63

Abbildung 43: Variante 1-Hochlagerung	64
Abbildung 44: Variante 1.5-Aufnehmen	65
Abbildung 45: Variante 1.5-Aufnehmen-Isometrisch	65
Abbildung 46: Variante 1.5-Stapeln	66
Abbildung 47: Variante 1.5-Sattelaufleger.....	66
Abbildung 48: Variante 2-Aufnehmen	68
Abbildung 49: Variante 2-Aufnehmen-Isometrisch.....	68
Abbildung 50: Variante 2-Stapeln	69
Abbildung 51: Variante 2-Sattelaufleger	69
Abbildung 52: Variante 3-Aufnehmen	71
Abbildung 53: Variante 3-Stapeln	71
Abbildung 54: Variante 3-Sattelaufleger	72
Abbildung 55: Hydraulisches Twistlock.....	72
Abbildung 56: Ausrichten.....	73
Abbildung 57: Drehgelenk Teleskopkran	73
Abbildung 58: Mehrachsgelenk	75
Abbildung 59: Teleskopischer Spreader	76

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundlegendes	4
Tabelle 2: Geometrie	5
Tabelle 3: Masse	5
Tabelle 4: Kinematik	6
Tabelle 5: Abstützdruck	6
Tabelle 6: Manipulationsvarianten ISO 3874:2017	22
Tabelle 7: Anforderungsliste-V2 Grundlegendes	25
Tabelle 8: Anforderungsliste-V2 Masse	26
Tabelle 9: Anforderungsliste-V2 Kinematik	27
Tabelle 10: Auswahlliste Teil 1/2	54
Tabelle 11: Auswahlliste Teil 2/2	55
Tabelle 12: Verträglichkeitsmatrix	58
Tabelle 13: Gewählte Kombinationen	60
Tabelle 14: Bewertung	81

11 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
etc.	et cetera
ISO	International Organization for Standardization
max.	maximal
z.B.	zum Beispiel
StVO	Straßenverkehrsordnung
bzgl.	bezüglich
ggfs.	Gegebenen falls