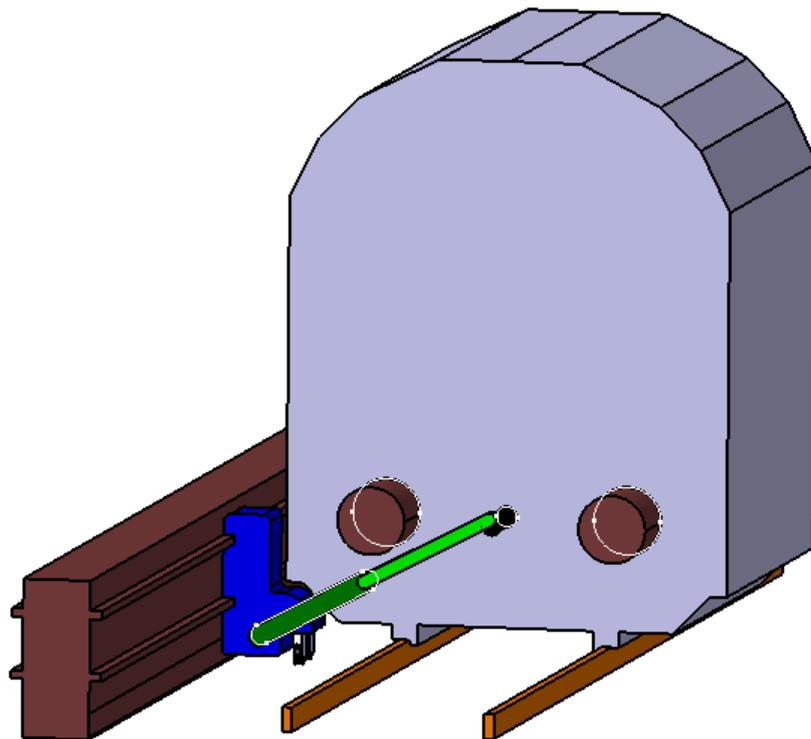


Masterarbeit

Konstruktive Umsetzung eines seitlich agierenden Kupplungsroboters zum Kuppeln von Standardgüterwagen

cand. mach. Jon Ander Ferri Polo



Projektleiter: M. Sc. Franz Jost, KIT

Nr.: 16-B-0020

Karlsruhe, Juli 2016

Masterarbeit

Herrn cand. mach. Jon Ander Ferri Polo

Matr.-Nr.: 1914541

Konstruktive Umsetzung eines seitlich agierenden Kupplungsroboters zum Kuppeln von Standardgüterwagen

Die Masterarbeit ist im engen Kontakt mit dem Institut auszuarbeiten und bleibt dessen Eigentum. Eine Einsichtnahme Dritter darf nur nach Rücksprache mit dem Institut erfolgen.

Ausgabetag: 02.03.2016

Abgabetag: 25.07.2016

Betreuer:

Projektleiter:

.....
(Prof. Dr.-Ing. Peter Gratzfeld)

.....
(M.Sc. Franz Jost)

Bearbeiter:

Anschrift:

Ort 76131
Straße Haid-und-Neu-Strs. 16
Telefon 01515/ 7772525

.....
(cand. mach. Ferri Polo)

Aufgabenstellung

für

Herrn cand. mach. Jon Ander Ferri Polo

(Matr.-Nr.: 1914541)

Konstruktive Umsetzung eines seitlich agierenden Kupplungsroboters zum Kuppeln von Standardgüterwagen

Hintergrund:

Der schienengebundene Güterverkehr trägt einen großen Anteil an Deutschlands Transportleistung. An den Rangierbahnhöfen werden bis heutzutage viele Aufgaben manuell durchgeführt, wie zum Beispiel das Trennen und Zusammenstellen der Güterzüge, sodass alle Wagen ihren Zielort erreichen können.

Um diese Aufgaben zu vereinfachen und das Funktionieren der Rangierbahnhöfe zu verbessern, untersucht der Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik Konzepte, um ein automatisiertes Kuppeln zu ermöglichen. Diese Automatisierung wird dadurch gemacht, dass keine Veränderungen an der heutigen Kupplungen herbeiführen, da sie die Standard bei den meisten europäischen Schienenfahrzeugen sind, und ihre Ersetzung wäre sehr kostenintensiv.

Aufgabenstellung:

Für den Zweck der Automatisierung des Kupplungsvorgangs an Rangierbahnhöfe durch eine externe Vorrichtung wurde es noch nicht viel untersucht. Seit dem Jahr 2015 hat der Student von KIT *Philipp Salger* daran gearbeitet, und in seiner Bachelorarbeit, die im Juli 2015 abgegeben wurde, hat er eine mögliche Lösung vorgeschlagen. Die aktuelle Masterarbeit basiert sich teilweise auf Philipps Bachelorarbeit, trotzdem ist der Ausgangspunkt verschieden, bezüglich die Position der externen Vorrichtung. Es werden die nächsten Schritte folgen.

- Sammlung von allen Grundlagen und Rahmenbedingungen, die für die Entwicklung des autonomen Systems wichtig sind.
- Untersuchung der Methoden für die Generierung von Ideen und Ausarbeitung von Lösungen zur Automatisierung des Ein- bzw. Aushängens des Kupplungsbügels.

- Konkretisierung der Lösung über ein CAD - Model der mechanischen Systemstruktur.
- Es gibt noch zwei Beschränkungen für die Konzipierung, die berücksichtigt werden müssen: Änderungen an den schon existierenden Kupplungen dürfen nicht erfolgen, aus wirtschaftlichen Aspekten; und Änderungen an der Anlage sind erlaubt, trotzdem sollten sie nur in begrenztem Umfang durchgeführt werden.

Erklärung

Ich erkläre hiermit, die vorliegende Arbeit selbständig verfasst zu haben. Es wurden keine unerlaubten Hilfsmittel und nur die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen verwendet. Ich versichere, keine unzulässige fremde Hilfe in Anspruch genommen zu haben.

.....
Karlsruhe, den 25. Juli 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Betreuer Franz Jost für seine geschenkte Aufmerksamkeit und Hilfe bedanken. Er war immer verfügbar dafür, meine Arbeit auszurichten und meine Zweifel zu lösen. Auch meiner Familie, für alles was für mich gemacht hat, und meinen guten Freunden aus Spanien und aus diesem Erasmus, für das zusammen Erlebte. Auch den schönen Sachen, die ich aus diesem letzten Jahr nehme. Danke allen.

Zur Erinnerung an meine Mutter.

Kurzfassung

Aufgrund der Nachteile des gegenwärtigen Kupplungsvorgangs an Rangierbahnhöfen ist die Automatisierung dieses Verfahrens seit langem gewünscht. Dazu wird in der hier vorliegenden Masterarbeit ein mechatronisches System bzw. Roboter erarbeitet, durch den ein Teilprozess des Kupplungsvorgangs automatisiert wird. Die zu automatisierende Aufgabe ist das Ein- und Aushängen des Bügels in den Zughaken, der an dem gegenüberstehenden Fahrzeug platziert ist.

Zuerst müssen die betrieblichen und technischen Rahmenbedingungen analysiert werden. Danach ist man in der Lage, durch Kreativitätsmethoden mögliche Konzepte zu generieren, die durch CAD-Modellierung weiter konkretisiert werden können. Abschließend müssen die Konzepte nach ihre Vorteile und Nachteile bewertet werden, womit die Arbeit fertig wäre.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Hintergrund	5
1.2	Zielsetzung	6
1.3	Vorgehensweise	7
2	Grundlagen	9
2.1	Grundstruktur mechatronischer Systeme	9
2.2	Betriebliche Abläufe an Rangierbahnhöfen	11
2.2.1	Aufbau und Betrieb der Rangierbahnhöfe	11
2.2.2	Manueller Kupplungsvorgang	12
2.3	Robotertechnik	13
2.3.1	Industrieroboter nach Bauform	15
2.3.2	Roboterkinematiken	20
2.3.3	Direkte und inverse Kinematik	22
2.3.4	Koordinatentransformation	22
2.4	Technische Rahmenbedingungen	25
2.4.1	Bauräume zur Fortbewegung des Kupplungssystems	25
2.4.2	Arbeitsraum für das Kupplungssystem	29
2.4.3	UIC – Schraubekupplung	31
3	Stand der Technik	34
3.1	Die Automatisierung heutzutage	34
3.2	Anwendbare Roboter im Markt	35
4	Generierung von Konzepten	36
4.1	Kreativitätstechniken	36
4.1.1	Intuitive Methoden	36
4.1.2	Diskursive Methoden	37
4.1.3	Kombimethoden	37
4.1.4	Konsolidierung und Bewertung von Alternativen	37
4.2	Die TRIZ Methode	38
4.2.1	Grundbegriffe	40
4.2.2	Hauptwerkzeuge der Methode	41
4.3	Anwendung der TRIZ Methode	43
4.3.1	Beschreibung und Anforderungen des Produktes	43
4.3.2	Entdeckung des Problems. TRIZ für die Widersprüche	45
4.3.3	Analyse der Widersprüche	46
5	Lösungskonzepte	51

5.1 Lösung A. Roboter an der Mauer.....	51
5.1.1 Beschreibung	51
5.1.2 Kinematik.....	52
5.1.3 Dynamikanalyse	55
5.1.4 Antriebssystem.....	58
5.2 Lösung B. Roboter auf dem Boden.....	59
5.2.1 Beschreibung	59
5.2.2 Kinematik.....	61
5.2.3 Dynamikanalyse	64
5.2.4 Antriebssystem.....	66
5.3 Andere Lösungen	67
5.3.1 Vertikal-Knickarmroboter.....	67
5.3.2 Horizontal-Knickarmroboter	68
6 Produktbewertung.....	70
6.1 SWOT	70
6.1.1 Analyse der Lösung A	70
6.1.2 Analyse der Lösung B	71
6.1.3 Zusammenfassung der SWOT Methode.....	72
6.2 Nutzwertanalyse.....	73
6.2.1 Definition des Zieles	73
6.2.2 Definition der Kriterienausprägungen.....	74
6.2.3 Gewichtung der Kriterien.....	74
6.2.4 Bewertung der Alternativen.....	75
6.3 Darstellung des Ergebnisses und Entscheidung.....	75
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	77
7.1 Zusammenfassung.....	77
7.2 Ausblick.....	78
A Anhang.....	81
A.1: Grundstruktur eines mechatronischen Systems	81
A.2: Statische Begrenzungslinie G1	82
A.2.1 Bezugslinie im seitlichen und oberen Bereich	82
A.2.2 Statische Bezugslinie des unteren Bereichs.....	83
A.3: Bahnsteig.....	84
A.4: Widerspruchsmatrix der TRIZ Methode	85
A.5: Weitere Ansichten der Lösung A.....	87
A.5.1 Frontansicht der gesamten Lösung	87
A.5.2 Seitenansicht des Zuges.....	88
A.5.3 Seitenansicht des Roboters	88

A.5.2 Frontansicht des Roboters	89
B Abbildungsverzeichnis	90
C Tabellenverzeichnis	93
D Literaturverzeichnis	94

Symbolverzeichnis

Formelzeichen	Größe	Einheit
X	Koordinatensystemachse in Fahrtrichtung	[-]
Y	Koordinatensystemachse orthogonal zur Fahrtrichtung	[-]
Z	Koordinatensystemachse in Fahrtrichtung	[-]

Abkürzungsverzeichnis

DB	Deutsche Bahn
DIN	Deutsches Institut für Normung
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
UIC	International Union of Railways
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

1 Einleitung

Die **Schraubekupplung**, auch als UIC-Kupplung oder UIC-Standard-Kupplung gekannt, ist die Standardkupplung bei den meisten europäischen Schienenfahrzeugen, außer der ehemaligen Sowjetunion. Diese Kupplung kann nur Zugkräfte übertragen, im Gegensatz zu moderneren Kupplungen, und muss manuell verbunden oder gelöst werden (Hagenlocher, 2015).



Abbildung 1. Schraubekupplung (Wikipedia, Schraubekupplung, 2015)

Sie wurde Anfang des 20. Jahrhunderts eingesetzt, um die bis dahin verwendeten Kettenkupplungen zu ersetzen, die den gestiegenen Anhängelasten nicht mehr standhalten konnten. Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es verschiedenen Versuchen, diese Kupplungen durch **automatischen Kupplungen** zu ersetzen, denn die Arbeit zum Kuppeln und zum Entkuppeln war nicht einfach und gefährlich. Auf Grund technischer und wirtschaftlicher Schwierigkeiten -weil man dachte, dass die Kupplungen ganzer Europa gleichzeitig ersetzt werden mussten- hatten diese Versuchen keine Erfolg, und blieb alles beim Alten. Auch heutzutage ist es nicht damit zu rechnen, dass die Schraubekupplung mittelfristig durch ein anderes System ersetzt wird (Hagenlocher, 2015) (Salger, Bachelorarbeit, 2015).

Eine alternative Lösung zu der Vereinfachung des Verfahrens besteht sich darin, den Kupplungsvorgang zu automatisieren, ohne die Schraubekupplung zu wechseln. Das heißt, einen externen Mechanismus zu entwickeln, der die Handlung der Menschen ersetzen und der den Prozess selbsttätig durchführen kann. Mit der Konzipierung eines

solchen Systems befasst sich diese Masterarbeit (Hagenlocher, 2015) (Salger, Bachelorarbeit, 2015).

1.1 Hintergrund

Der schienengebundene Güterverkehr trägt einen großen Anteil an Deutschlands Transportleistung. Zum Beispiel, der Rangierbahnhof Mannheim ist eine der größten Zugbildungsanlagen Deutschlands, und da werden täglich über 200 Eingangs- und Ausgangszüge bearbeitet. Im Gegensatz zu Lastwagen, müssen die Güterzüge zusammengestellt, getrennt und neu zusammengestellt, und danach nach Richtung sortiert werden, sodass alle Wagen ihren Zielort erreichen. Für diesen Zweck müssen die Züge zuerst getrennt und danach nach Wunsch neu entsteht werden. Ein großes Teil der Vorgang ist automatisiert, trotzdem ist das Kuppeln und Entkuppeln der Wagen, wie früher erklärt, auch heutzutage manuell durchgeführt (DB, Rangierbahnhof Mannheim, 2016).



Abbildung 2. Rangierbahnhof Mannheim (Steffan, 2010)

Drei sind die größten **Nachteile** der manuellen Kuppeln und Entkuppeln. Das erste Problem hat mit der Zeit zu tun. Wenn man den Kupplungsvorgang manuell statt automatisch durchführt, ist mehr Zeit erforderlich. Außerdem können bestimmte Gleise ausgelastet werden, wenn viele Wagen in Schlange stehen, was den korrekten Ablauf des

Rangierbahnhofs betreffen kann. Andererseits sind viele Mitarbeiter benötigt. Für jeden Zug braucht man mindestens zwei Angestellte: eine Person bedient die Rangierlok, während noch eine sich mit dem Kuppeln und Entkuppeln der Fahrzeuge beschäftigt. Zuletzt, der manuelle Vorgang bedeutet ein hohes Risiko für die Mitarbeiter. Die Arbeitsbereiche sind schwer zugänglich, und die Maschinen, mit denen man arbeitet, können potenziell Unfällen erzeugen (Salger, Bachelorarbeit, 2015) (Jost, 2016).

Wegen der oben erwähnten Probleme beim manuellen Kuppeln und Entkuppeln der Güterwagen, wäre es positiv, den Kupplungsvorgang irgendwie zu automatisieren. Die Folgen dieser Verbesserung wären die Einsparung von Personalkosten, die Entfernung des Risikos für die Menschen und verkürzte Abfertigungszeiten der Güterwagen, und damit eine effizientere und flexiblere Abläufe an Rangierbahnhöfen. Die hier vorliegende Arbeit handelt von dem **Konzipierung eines mechatronischen Systems**, das die Handlung der Menschen zum Kuppeln und Entkuppeln der Güterwagen an Rangierbahnhöfen ersetzen kann, indem es dieses Verfahren teilweise automatisiert. Dieses System soll seitlich arbeiten, aus dem Bahnsteig (Jost, 2016).

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein **Konzept für ein mechatronisches System bzw. Roboter** erarbeitet, durch das der Kupplungsvorgang teilweise automatisiert werden soll, und das darstellt einen ersten Schritt in dem autonomen Kuppeln und Entkuppeln. Für diesen Zweck wird ein Roboter benutzt, dessen Art und Eigenschaften zu definieren sind (Jost, 2016). Dieses System folgt den nächsten Grundsatz: es muss sich vor dem Arbeitsraum platzieren, und danach greift den Bügel und hängt ihn an den Zughaken. Für das Zu- und Aufdrehen der Spindel wird in dieser Masterarbeit keine konkrete Lösung gesucht. Es gibt zwei wichtigen Restriktionen zu beachten:

- Auf Grund der Standardisierung der Schraubenkupplung in Europa sind Änderungen an den vorhandenen Güterwagenkupplungen unmöglich.
- Die Konstruktion des Systems ist so auszulegen, dass keine wesentlichen Änderungen an der Anlage vorgenommen werden müssen (Salger, Bachelorarbeit, 2015) (Jost, 2016).

Weitere Restriktionen im Bezug zu witterungsbedingten Einflüssen oder wirtschaftlichen Aspekten, bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt (Salger, Bachelorarbeit, 2015) (Jost, 2016).

1.3 Vorgehensweise

In diesem Kapitel soll die Vorgehensweise für die Konzipierung eines mechatronischen Kupplungssystems vorgestellt werden. In dieser Arbeit werden die nächsten Schritte gefolgt werden. Zuerst ist es in diesem **Kapitel 1** einen Zusammenhang eingeleitet. Im **Kapitel 2** wird es von den Grundlagen und Rahmenbedingungen gehandelt, die für die Konzipierung und Entwicklung des Systems wichtig sind. Im **Kapitel 3** wird man den Stand der Technik erklären, was wichtig dazu ist, die auf diesem Gebiet gemachten technischen Fortschritte besser kennenzulernen und den Ausgangspunkt der Arbeit festzulegen. Danach im **Kapitel 4** wird es untersucht, wie man Ideen generieren kann, um ein bestimmtes Problem lösen zu können. Damit ist man in der Lage, Ideen zu konzipieren, die im **Kapitel 5** entwickelt und besser erklärt und dargestellt werden. Zuletzt kommt im **Kapitel 6** die Bewertung der Alternativen.

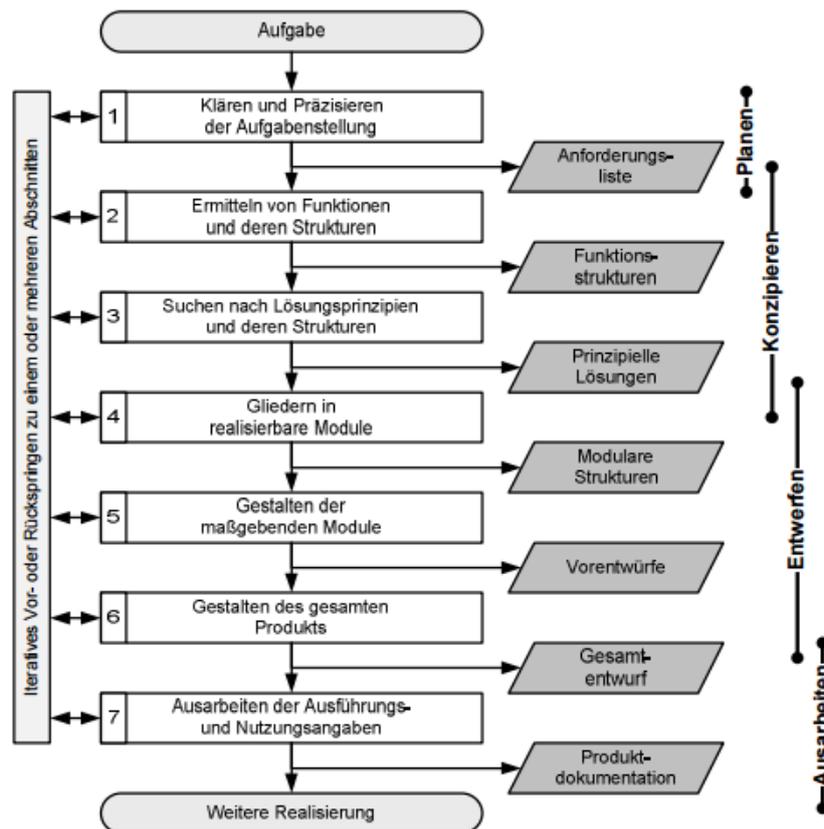


Abbildung 3. Methodik zum Entwickeln technischer Systeme (VDI2221)

Um technische Systeme zu entwickeln kann man das von der Richtlinie VDI 2221 empfohlene Schema folgen, das man in der letzten Abbildung sehen kann. Laut dieser Methode soll man zuerst die Anforderung des Produktes identifizieren und die zu machenden Funktionen ermitteln. Damit kann man nach Lösungsprinzipien suchen, wofür

Methoden zur Generierung von Ideen benutzt werden sollen (VDI2221). Die erwähnten Schritte gehören zu der Phase des Konzipierens des Produktes. Danach kommen die Phasen des Entwerfens und der Ausarbeiten, trotzdem sind diese nicht wichtig für diese Masterarbeit. Diese Masterarbeit befasst sich nur mit der **Konzipierung** des Produktes.

2 Grundlagen

Das Ziel dieses Kapitels ist, die relevanten Grundlagen für die Konzipierung eines mechatronischen Kupplungssystems, konkret eines Roboters, bereitzustellen. Für diesen Zweck wird am Anfang die allgemeine Struktur eines mechatronischen Systems vorgestellt. Zweitens wird das Funktionieren eines Rangierbahnhofes erklärt, damit die zu erfüllenden grundsätzlichen Aufgaben des Systems und seine Position innerhalb der Bahnanlagen verstanden werden kann. Drittens wird es von den Grundlagen der Roboter gehandelt. Zuletzt werden die technischen Rahmenbedingungen für die Konstruktionsarbeiten festgelegt.

2.1 Grundstruktur mechatronischer Systeme

Die **Mechatronik** beschäftigt sich mit dem interagieren mechanischer, elektronischer und informationstechnischer Elemente in einem System. Der Begriff stammt aus den sechziger Jahren, aus *Yaskawa Electric Coporation*, ein japanischer Roboterhersteller. Wie gesagt, die Mechatronik besteht aus drei Elemente: Mechanik als Hauptpunkt, Elektronik, und als Verknüpfung, die Informatik (Wismar, 2016).

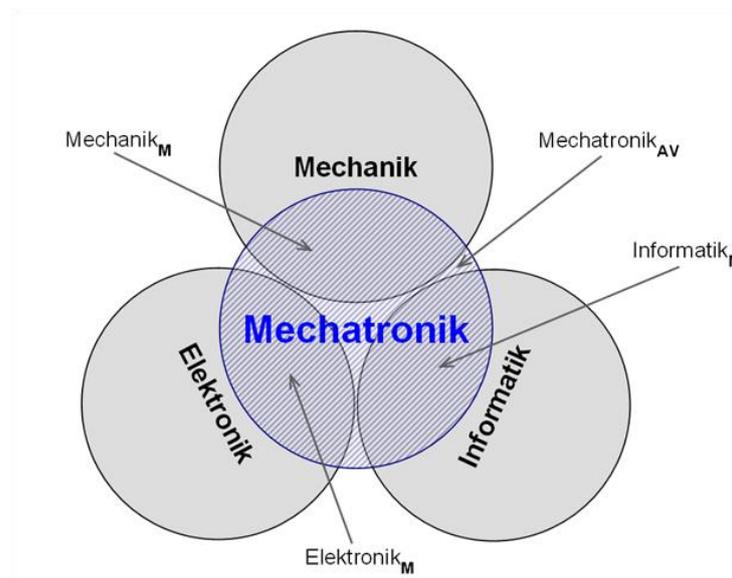


Abbildung 4. Beschreibung der Mechatronik (Salger, Bachelorarbeit, 2015)

Die Kupplungsvorrichtung stellt ein mechatronisches System dar, deshalb soll sie auf dieser Weise behandelt werden. Im Folgenden wird eine allgemeine Struktur vorgestellt, auf deren Grundlagen das System konkretisiert werden kann. Obwohl die mechatronischen Systeme komplexe sind, man kann alle in einer Grundstruktur vereinfachen, wie man in nächster Abbildung sehen kann (Salger, Bachelorarbeit, 2015).

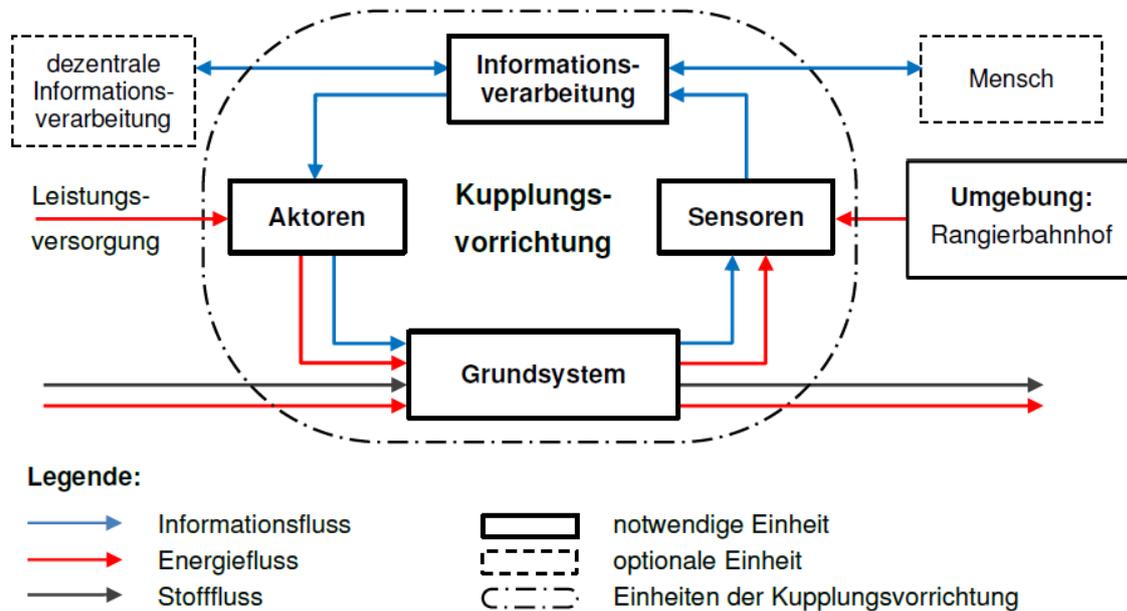


Abbildung 5. Grundstruktur des mechatronischen Kupplungssystems (Salger, Bachelorarbeit, 2015)

Allgemein gibt es drei Hauptflüsse: Informationsfluss, Energiefluss und Stofffluss. Trotzdem gibt es im Fall der Kupplungsvorrichtung kein Stofffluss, denn kein Stoff muss zugeführt bzw. abgeführt werden um die Aufgabe durchzuführen. Andererseits gibt es Sensoren und Aktoren. Die Aufgabe der **Sensoren** ist, äußere Einflüsse aus der Umgebung zu detektieren. Diese Information ist danach an die **Informationsverarbeitung** weitergeleitet, wo Entscheidungen getroffen sind, die abschließend von den **Aktoren** direkt am Grundsystem bewegen werden. In der Informationsverarbeitung ist das Teilnehmen des **Menschen** auch möglich. Wichtig ist auch der Einfluss der **Umgebung**, die darin besteht, was Rand um das System liegt. In diesem Fall ist die Umgebung des Systems der Rangierbahnhof und alles was da passiert, wie z.B. die klimatischen Bedingungen. Da das Ziel der Arbeit darin besteht, den Kupplungsvorgang zu automatisieren, muss man im Voraus wissen, welche die von dem System zu erfüllende Anforderungen und welche die von dem Aufbau der Systemumgebung resultierenden technischen Rahmenbedingungen sind (Salger, Bachelorarbeit, 2015).

2.2 Betriebliche Abläufe an Rangierbahnhöfen

2.2.1 Aufbau und Betrieb der Rangierbahnhöfe

In einem Rangierbahnhof werden Wagen aus ankommenden Zügen auf verschiedene Ausgangszüge verteilt – je nachdem in welche Richtung sie fahren müssen. Sie bestehen normalerweise aus vier Baugruppen, die aufeinander folgen (DB, Rangierbahnhof Mannheim, 2016) (Salger, Bachelorarbeit, 2015):

- Einfahrgruppe (receiving yard)
- Ablaufberg (hump)
- Richtungsgruppe (classification yard)
- Ausfahrgruppe (departure yard)

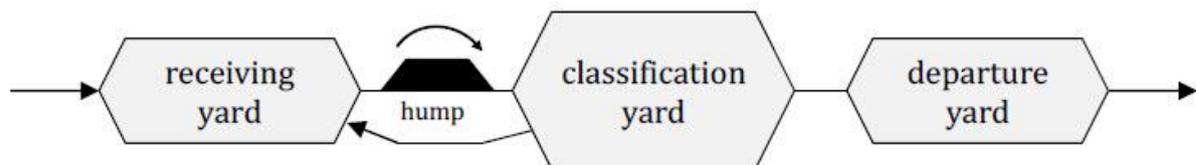


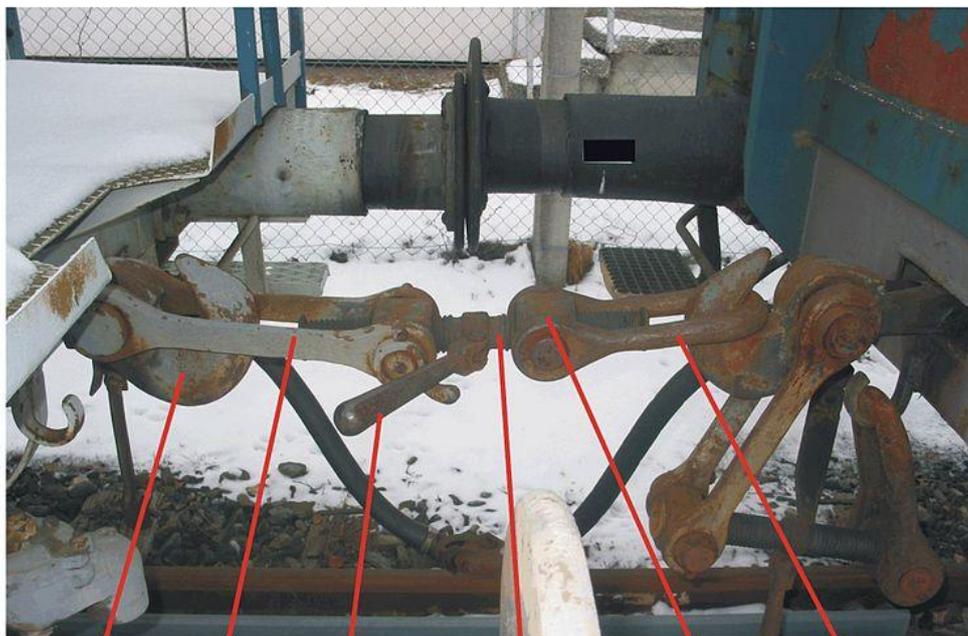
Abbildung 6. Layout Rangierbahnhof (Sciolo, 2014)

Die Arbeitsrichtung, in der die Wagen den Rangierbahnhof durchlaufen, von der Einfahr- zur Ausfahrgruppe, erfolgt wie folgt. Die ankommenden Züge werden in der **Einfahrgruppe** abgestellt und die Streckenlok wird abgekuppelt. Die Hauptluftleitung wird entlüftet und die einzelnen Güterwagen werden über die Schraubenkupplungen voneinander entkuppelt. Danach werden sie von einer funkferngesteuerten Rangierlok über den **Ablaufberg** gedrückt. Dann laufen sie, allein durch die Schwerkraft über diverse Weichen in die entsprechenden Gleise der **Richtungsgruppe** (DB, Rangierbahnhof Mannheim, 2016).

Für die Neubildung von Zugverbände, die richtungsabhängig sind, werden die in einem Gleis gesammelten Güterwagen dann noch beigedrückt und gekuppelt. Ist in einem Richtungsgleis ein Zug fertig zusammengestellt, wird er zusammengekuppelt und von einer Rangierlok in die **Ausfahrgruppe** vorgezogen. Hier erfolgt eine umfassende Ausgangsuntersuchung, bevor der Zug aus dem Bahnhof ausfährt. Man kann schließen, dass die Kupplungsarbeiten in der Einfahr- und Richtungsgruppe stattfinden (DB, Rangierbahnhof Mannheim, 2016).

2.2.2 Manueller Kupplungsvorgang

Hier wird den Kupplungsvorgang erklärt –der Entkupplungsvorgang ist analog aber umgekehrt. Am Anfang, wenn die Wagen nicht verbunden sind, hängt der **Bügel** an seinem jeweiligen Wagen, und die **Hauptluftleitung** ist nicht verbunden. Der erste Schritt besteht darin, dieser **Bügel** in den **Zughaken** des gegenüberstehenden Wagens einzuhängen, während dessen Schraubekupplung nicht benutzt wird. Das ist vom Rangierer durchgeführt (de Juan, 2015).



Zughaken / Schwengel Spindel Mutter Bügel
Lasche

Abbildung 7. Teile der Schraubekupplung (Wikipedia, Schraubekupplung, 2015)

Jetzt sind die zwei Wagen verbunden, jedoch ist die Verbindung nicht zulässig, da sie nicht straff ist. Deshalb muss der Rangierer die **Spindel** drehen, dank des **Schwengels**, um die Länge der Kupplung zu verkürzen und sie zu straffen, damit sie unfreiwillig nicht entkuppeln kann. Zuletzt werden die **Hauptluftleitungen** der beiden Wagen miteinander verbunden. Dieses Verfahren muss mit jedem Paar Wagen, die verbunden werden sollen, gemacht werden, darum ist die Arbeit des Rangierers ziemlich intensiv (de Juan, 2015).



Abbildung 8. Mitarbeiter hängt den Bügel manuell in den Zughaken (de Juan, 2015)

Aus der Beschreibung des Kupplungsvorgangs ist es geschlossen, welche Aufgabe das mechatronische System erfüllen muss. Zuerst, muss das System sich entlang des Gleises fortbewegen, um jeder zu verbindenden Schraubekupplung zu erreichen. Zweitens, muss das System sich vor dem Arbeitsraum platzieren und fähig sein, diese Schraubekupplung zu bearbeiten, d.h., sie zu kuppeln und zu entkuppeln. Eine Beschränkung für die beiden Aufgaben ist, dass die Arbeit innerhalb einem bestimmten Arbeitsraum durchgeführt werden muss.

2.3 Robotertechnik

Unter **Robotertechnik** versteht man, der Versuch, die Mechatronik (d.h., die Mechanik, die Elektronik und die Informatik) an der Konzipierung und Konstruktion von Roboter anzuwenden (Linnemann, 2016). Ein **Roboter** ist, laut der *Robot Institute of America* (RIA) „ein programmierbares Mehrzweck-Handhabungsgerät für das Bewegen von Material, Werkstücken, Werkzeugen oder Spezialgeräten. Der frei programmierbare Bewegungsablauf macht ihn für verschiedenste Aufgaben einsetzbar“ (Chemnitz, 2004). Diese technische Apparatur dient dazu, die Arbeit der Menschen zu vereinfachen. Die Roboter können stationäre oder mobile sein, und sie werden von Computerprogrammen gesteuert. Die Bedeutung des Names hat sich trotzdem im Laufe der Zeit gewechselt. Die Interaktion mit der physischen Welt erfolgt dank Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitung (Linnemann, 2016).

Innerhalb der Roboter sind die **Industrieroboter**, die nach Definition der VDI-Richtlinie 2860 „universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkel frei (d. h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und ggf. sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen“ (VDI). Das heißt, sie sind für den Einsatz in der Industrie konzipiert, und bestehen im Allgemeinen aus dem Manipulator (Roboterarm), die Steuerung und einem Effektor (Werkzeug, Greifer etc.). Wenn die Maschine programmiert ist, ist sie in der Lage, eine Arbeit autonom zu machen (Linnemann, 2016).

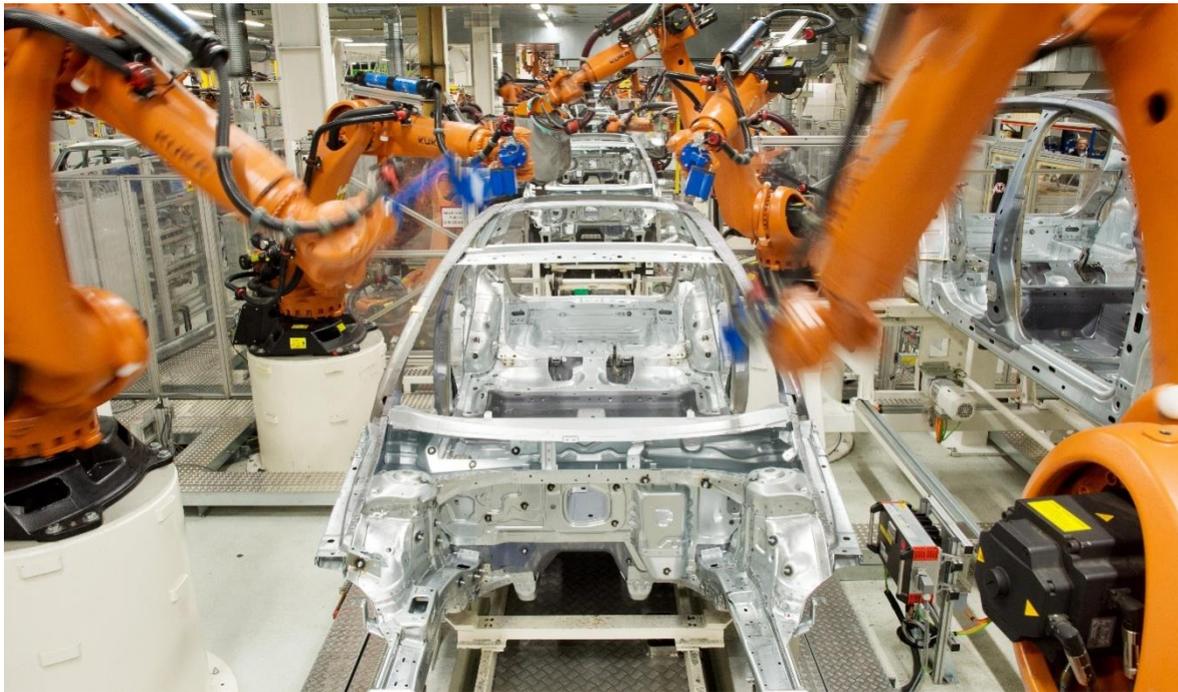


Abbildung 9. Industrieroboter in der Automobilindustrie (Binner, 2015)

Der Ursprung der Industrieroboter stammt aus der Reaktortechnik, wo man handgesteuerte Manipulatoren dafür verwendete, Aufgaben, die innerhalb radioaktiv gefährdeter Räume gemacht werden mussten, durchzuführen. Die Industrieroboter wurde offiziell im Jahr 1954 von George Devol erfunden (artus92, 2015).

Ein Industrieroboter besteht aus den folgenden **Komponenten** (Linnemann, 2016):

- Fahrzeug, das normalerweise aus 3 Freiheitsgrade besteht: x- und y Richtungen, und Rotation um z-Achse.
- Roboterarm, der den Endeffektor führt und aus rotatorischen und translatorischen Achsen besteht (meist 4-6 Freiheitsgrade).
- Effektor, Endeffektor, Hand: um Dingen zu greifen.

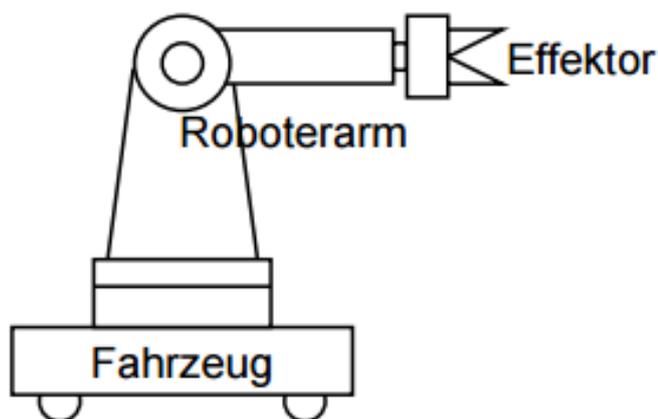


Abbildung 10. Schema von Industrieroboter (Linnemann, 2016)

2.3.1 Industrieroboter nach Bauform

Es gibt verschiedene Industrieroboter gemäß der Bauform: Kartesische Roboter und Portalroboter, Parallelkinematiken, Horizontal-Knickarmroboter (SCARA), Vertikal-Knickarmroboter, etc. Sie sind im Folgenden erklärt (Linnemann, 2016).

2.3.1.1 Kartesischer Roboter und Portalroboter

Ein kartesischer Roboter ist ein Industrieroboter, deren drei Hauptachse lineare sind, und zwischen ihnen haben sie rechte Winkel. Diese mechanische Struktur vereinfacht die Gleichungen in der Steuerung der Armen. Die kartesischen Roboter mit beschränkter horizontaler Achse, die auf deren Enden stützen, nennen sich Portalroboter. Eine Anwendung für diese Art von Robotern ist die CNC-Maschine (Linnemann, 2016).

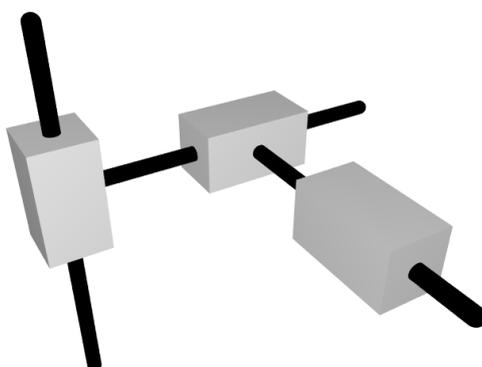


Abbildung 11. Schema eines kartesischen Roboters (Wikipedia, Robot de coordenadas cartesianas, 2015)

Seine Vorteile sind eine einfache Steuerung, dank der Abwesenheit von Koordinatentransformation, und eine sehr große Arbeitsräume möglich, da die Struktur steif ist, u.a. Andererseits, die Nachteile sind: große Stellfläche, großer Kollisionsraum, niedrige Arbeitsgeschwindigkeit, etc (Linnemann, 2016).

2.3.1.2 Horizontal-Knickarmroboter (SCARA)

Der SCARA-Roboter ist ein besonderer Typ Industrieroboter, dessen Aufbau einem menschlichen Arm ähnelt und daher auch als „horizontaler Gelenkarmroboter“ bezeichnet wird. Er besitzt normalerweise vier Freiheitsgrade und vier Achsen. Alle die Achsen sind als serielle Kinematik betrachtet, was bedeutet, dass der Koordinatenursprung der folgenden Achse abhängig davon ist, welche die Position der vorherigen Achse ist (Xpertgate, Xpertgate, 2016) (Linnemann, 2016).

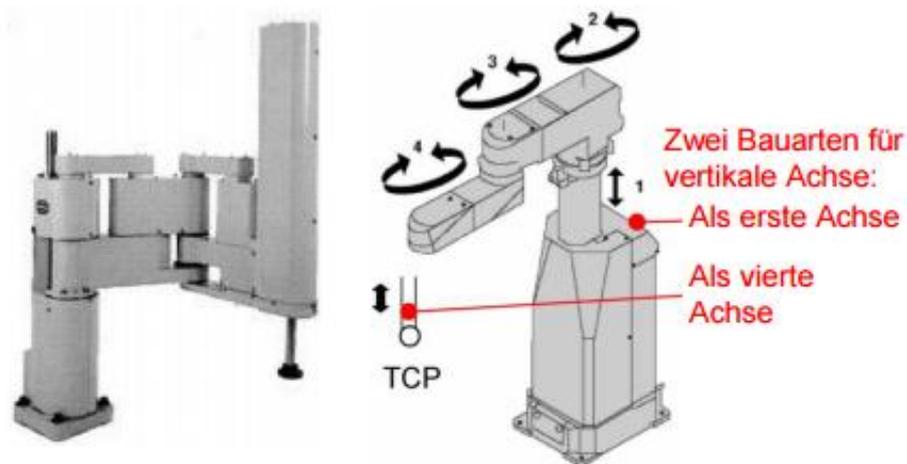


Abbildung 12. SCARA-Roboter (Linnemann, 2016)

Seine **Vorteile** sind:

- Hat eine hohe Steifigkeit in der vertikalen Richtung.
- Das Eigengewicht des Roboters hat keine Wirkung auf die Antriebe.
- Hohe Beweglichkeit und Geschwindigkeit, auch bei großen Reichweiten.

Als Nachteile, der Arbeitsraum beschränkt die Gebiete, wo er angewendet werden kann. Die typische sind: Fügen, Montage, Bestücken von Leiterplatten, Löten, u.a (Xpertgate, Xpertgate, 2016) (Linnemann, 2016).

2.3.1.3 Vertikal-Knickarmroboter

Vertikal-Knickarmroboter, auch als Vertikal-Gelenkarmroboter bekannt, haben in der Regel eine serielle Kinematik aus fünf oder sechs Achsen, die fast alle die Bewegungen ermöglichen, besonders die Kippbewegungen. Die erste Drehachse, die vertikal ist, dient zur rotatorischen Bewegung des ersten Armes rings um den Roboterfuß. Die anderen Arme schließen sich an den Gelenken des vorherigen Gelenkarms an (Xpertgate, Lexicon: Vertikal-Knickarmroboter, 2016) (Linnemann, 2016).



Abbildung 13. 6-Achsen-Knickarm-Roboter (Fanuc, 2016)

Die Gelenkarme können sich in der vertikalen Richtung bewegen und ermöglichen einen Arbeitsraum, der Kugelsegmentförmig ist. Der Endeffektor befindet sich am Ende der kinematischen Kette, und er dient dazu, einen Greifer oder Werkzeug aufzunehmen (Xpertgate, Lexicon: Vertikal-Knickarmroboter, 2016) (Linnemann, 2016).

Vertikal-Knickarmroboter erfordern in jedem Gelenkarm einen eigenen Antrieb, die auf das Eigengewicht des Armes einwirken. Deshalb hat diese Art von Roboter, im Vergleich zu SCARA oder Parallelkinematik-Robotern, weniger Geschwindigkeit, Dynamik und Wiederholgenauigkeit. Trotzdem die Vertikal-Knickarmroboter haben ihre Vorteile: Flexibilität und universelle Einsetzbarkeit. Ihre Anwendungsgebiete sind: Punkt- und Bahnschweißen, Beschichten und Lackieren, Werkstückhandhabung, Palettieren, etc (Xpertgate, Lexicon: Vertikal-Knickarmroboter, 2016) (Linnemann, 2016).

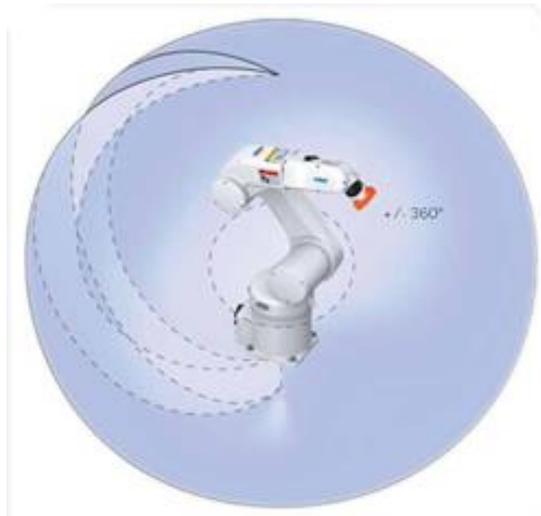


Abbildung 14. Arbeitsraum (Xpertgate, Lexicon: Vertikal-Knickarmroboter, 2016)

2.3.1.4 Parallelkinematiken

Es gibt noch eine Art von Roboter, die Parallelkinematik, in der die Achsen parallel auf den Endeffektor wirken, im Gegensatz zu den klassischen Industrierobotern. Eine Parallelkinematik besteht typischerweise aus einer bewegten und einer festen Plattform (Linnemann, 2016).

Vorteile:

- Höhere Steifigkeit und Genauigkeit. Die Elastizitäten und Positionierfehler der einzelnen Antriebsachsen addieren sich nicht.
- Besseres Last-Massen-Verhältnis. Die Antriebe wirken direkt auf die Last, und müssen nicht noch zusätzlich die folgenden Armglieder tragen.

Nachteile:

- Eingeschränkter Arbeitsraum. Die Bewegungen der Antriebseinheiten addieren sich nicht.
- Dynamische und kinematische Beziehungen, auf Grund der geschlossenen kinematischen Ketten, ist komplexer (Linnemann, 2016).

Aufgrund der hohen Beschleunigungen und Lastmassen werden Bewegungssimulatoren normalerweise als hydraulische Plattformen aufgebaut. Ein Beispiel von Parallelkinematik ist der ABB IRB 940 Roboter. Seine typischen Einsatzgebiete sind die mechanische Bearbeitung (Trennen, Schleifen, etc), Schweißen, Brennschneiden, etc (Linnemann, 2016).



Abbildung 15. ABB IRB 940 Parallelkinematik-Roboter(Robotworx)

In nächster Tabelle kann man die Eigenschaften von seriellen Robotern und Parallelkinematiken vergleichen:

	Serielle Roboter	Parallelkinematiken
Absolutgenauigkeit		besser
Wiederholgenauigkeit		besser
Steifigkeit		besser
Last/Massen-Verhältnis		besser
Beschleunigungen am Endeffektor		besser
Arbeitsraum (Größe, Hindernisvermeidung)	besser	
Flexibilität (Anpassbarkeit an Aufgabenstellung)	besser	
Math. Berechnungsaufwand (Kinematik, Dynamik)	einfacher	

Tabelle 1. Vergleich konventioneller Roboter / Parallelkinematik (Linnemann, 2016)

2.3.1.5 Sonderbauformen

Auch gibt es Sonderbauformen neben den klassischen Kinematiken, die dafür entwickelt wurden, spezielle Aufgaben durchzuführen. Sie sind normalerweise Abwandlungen der klassischen Arten, die durch unterschiedliche Reihenfolge der Achsenanordnung entstehen. Diese können so entworfen sein, dass eine bessere bestimmte Eigenschaft bieten: Zugänglichkeit, Steifigkeit oder Bewegungsfreiheit. Das kommt auf der Anwendungsbereich an (Linnemann, 2016).

2.3.2 Roboterkinematiken

Zuerst werden einige Begriffe erklärt. Die **Dynamik** beschäftigt sich mit den Ursprüngen und Folgen der Kräfte (Trägheitskraft, Antriebe, Schwerkraft), die auf die Komponenten des Roboters einwirken. Dagegen, die **Kinematik** hat mit der Bewegung des Roboters zu tun, und beschreibt seinen mechanischen Aufbau. Sie befasst sich mit seiner Bewegung und mit der Geometrie, und wird es hier von den dynamischen Aspekten abstrahiert. Andererseits schaffen die einzelnen Glieder bei den Industrierobotern eine **kinematische Kette**, dank der Drehgelenke und der Linearführungen. Die Achsen des Roboters sind die Arme, die Gelenke und deren Antriebe. Andere Begriffe sind die **Hauptachsen** und die **Hand- oder Kopf- oder Nebenachsen**. Die erste dienen zum Positionieren des Endeffektors im Raum, während die letzte zum Orientierung des Werkzeugs (Linnemann, 2016).

In einem Knickarmroboter, z.B., die Sortierung der Achsen ist wie folgt:

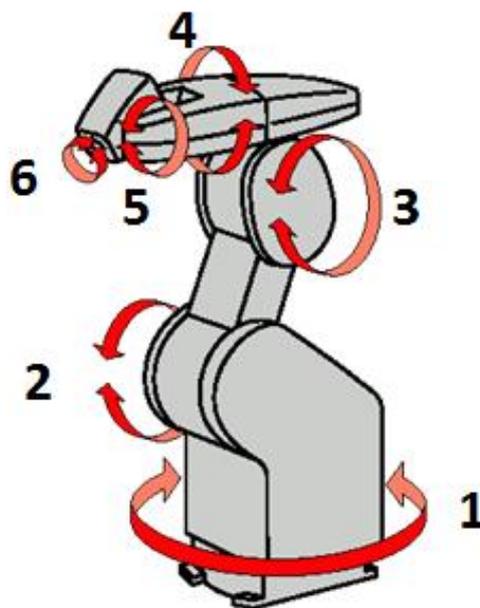


Abbildung 16. Sortierung der Achsen in einem Vertikal-Knickarmroboter (Robini, 2010)

Die **Achsen 1,2,3** sind die **Hauptachsen** des Systems, denn sie dienen dazu, den Kopf zu positionieren. Dagegen sind die **Achsen 4,5,6** die **Handachsen**, weil sie zum Orientieren des Kopfs genutzt werden. Durch die Bewegungsmöglichkeiten der Handachsen kann das Werkzeug so orientiert im Raum werden, wie es erforderlich für die Aufgabe ist. Mit den 6 Achsen eines Industrieroboters kann man die 6 Freiheitsgrade im Raum einstellen (Linnemann, 2016).

Man unterscheidet folgende Gelenktypen:

- Translatorische Gelenke (Linearachsen): diese Achse bewegt sich vorwärts und rückwärts. Es gibt Roll- oder Gleitschienen, und der Antrieb ist z.B. hydraulisch.
- Rotatorische Gelenke (Rotationsachsen, Drehachsen): hier dreht es sich um eine Rotationsachse. Die Montage erfolgt auf Gelenkbolzen (Wüst, 2014).

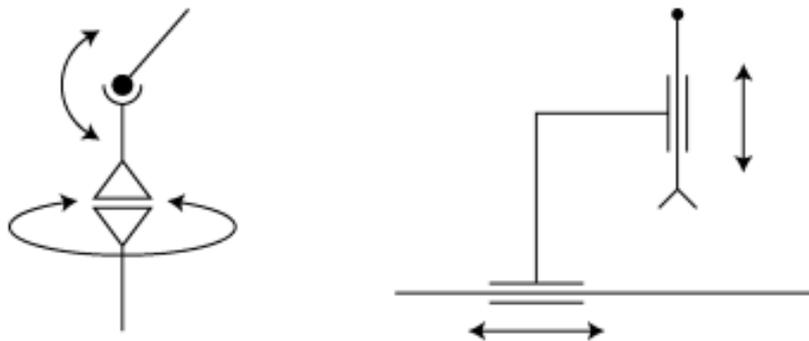


Abbildung 17. Symbole für Roboterachsen nach DIN 2861. Links: Geometrie mit zwei Rotationsachsen, rechts: Geometrie mit zwei Translationsachsen (Wüst, 2014)

Damit hat den Freiheitsgrad und Bewegungsfreiheitsgrad zu tun. Der **Freiheitsgrad (f)** eines Körpers im dreidimensionalen Raum, ist, „die Anzahl möglicher unabhängiger Bewegungen im Bezugskoordinatensystem – definiert durch die minimale Anzahl von Translationen und Rotationen zur vollständigen Beschreibung der Stellung des Objekts“ (Linnemann, 2016). Andererseits, ist der **Bewegungsfreiheitsgrad (F)** die Anzahl der Bewegungsmöglichkeiten des Roboters. Die folgende Gleichung gilt immer: $F \geq f$. Das bedeutet, dass der Bewegungsfreiheitsgrad kann nie größer als der Freiheitsgrad sein (Linnemann, 2016).

Im Fall eines kinematisch bestimmten Roboter sind f und F gleich- und im Fall eines kinematisch redundanten Roboter ist F größer. Ein 6-achsiger Roboter, der keine redundante Achse hat, kann in seinem **Arbeitsraum** jeden Punkt mit dem Effektor in beliebiger Orientierung erreichen, soweit nicht Einschränkungen im Achsschwenkwinkel bestehen (Linnemann, 2016).

2.3.3 Direkte und inverse Kinematik

Die **direkte Kinematik** besteht darin, aus den Positionen und Orientierungen der Achsen die Position der Tool Center Point (TCP) zu bestimmen. Dagegen beschäftigt sich die **inverse Kinematik** damit, die Gelenkstellungen zu bestimmen, damit der Endeffektor in eine vorgegebene Zielstellung liegt. Die direkte Kinematik bringt nicht mit sich einer großen Schwierigkeit - trotzdem soll man mit der inversen Kinematik mehr Detail betrachten. Um eine bestimmten Position und Orientierung des Werkzeugs zu erreichen gibt es normalerweise mehr als eine Weise. Andererseits ist es manchmal unmöglich aus geometrischen Grunde noch einige zu erreichen. Hier sind die Berechnungen häufig sehr komplex (Werkzeuge wie Mathematika, Maple V oder Matlab werden eingesetzt), und die Lösungen sind häufig nicht eindeutig (Linnemann, 2016).

Es existiert kein allgemein anwendbares Lösungsverfahren. Um die Berechnung durchzuführen gibt es zwei Hauptmöglichkeiten. Einerseits sind die **analytischen Verfahren**, meist nur für Roboter mit einfacher Gelenkanordnung praktikabel. Andererseits sind die **numerischen Verfahren**, die die Gelenkparameter mithilfe eines Näherungsprozess berechnen (Linnemann, 2016).

2.3.4 Koordinatentransformation

Um einen Roboter zu steuern ist es notwendig die Positionen und Orientierungen des Effektors in verschiedenen Koordinatensystemen zu kennen, und diese Koordinaten von einem Referenzsystem in noch eins zu transformieren. Dafür benutzt man die Koordinatentransformation.

Zuerst muss man die Orientierung und Position eines Körpers im Raum erklären. Es wird unterschieden zwischen: einerseits das **Bezugskordinatensystem, B** (base frame), das fixiert ist (z.B. am Boden festgeschraubter Roboter); und andererseits das **Körperkoordinatensystem, K** (body base frame), auf einzelnen Körpern (z.B. fixiert im Gelenk, in günstigen geometrischen Punkten...). Im folgenden Bild kann man das sehen. Hier ist P ein bestimmter Punkt dessen Koordinaten gewünscht sind (Linnemann, 2016).

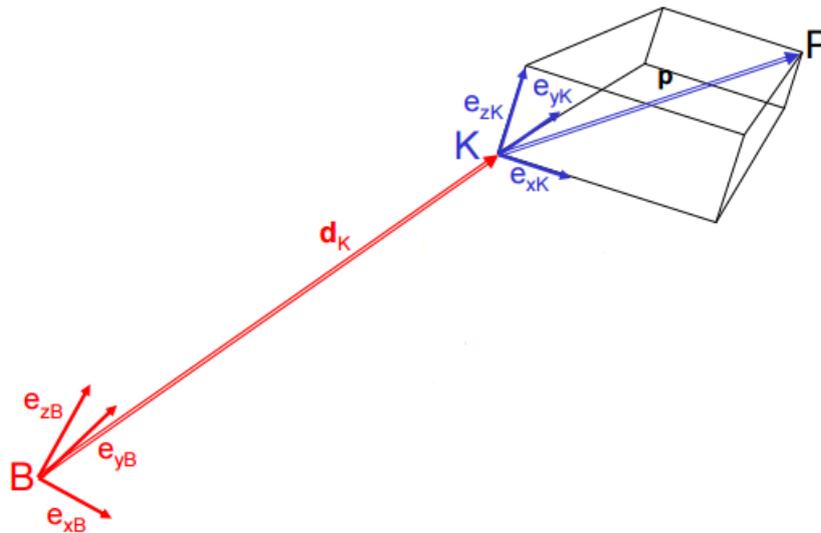


Abbildung 18. Darstellung der Koordinatensysteme (Linnemann, 2016)

Zwischen der Koordinatensysteme gibt es Rotationen und Translationen. Bezüglich der **Rotation**, es gibt generell drei Freiheitsgrade für das Orientieren eines Körpers im Raum. Meist werden es zwei Verfahren angewandt, um die Orientierung zu beschreiben (Linnemann, 2016):

- Euler-Winkel
- „Roll, Pitch, Yaw (Rollen, Gieren, Nicken)“ (Linnemann, 2016)

Man definiert die **Rotationsmatrix R**. In dieser Matrix sind die Vektoren (u, v, w) vom Körperkoordinatensystem im Bezugskoordinatensystem, dessen Vektoren (x, y, z) sind, definiert (Linnemann, 2016).

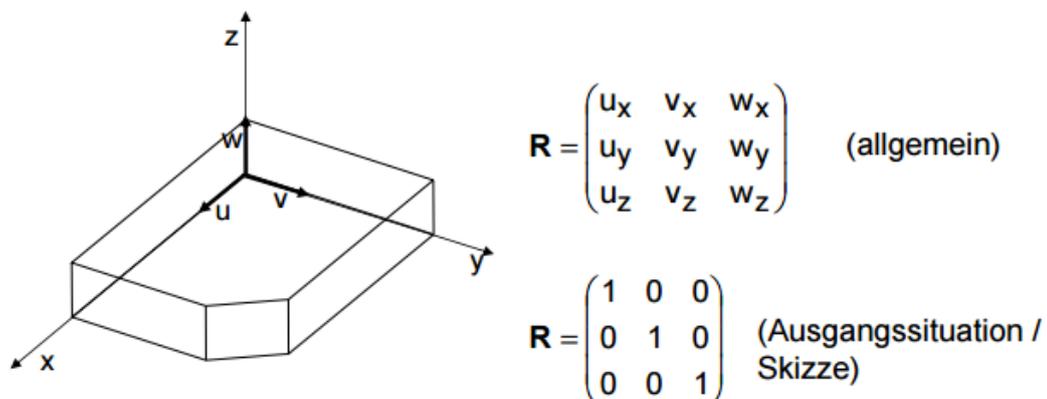


Abbildung 19. Rotationsmatrix (Linnemann, 2016)

Wenn es eine Rotation nach der anderen gibt, kann man die einzelnen Rotationsmatrizen multiplizieren, um eine einzige Matrize zu bekommen. Wichtig ist hier die Reihenfolge der Rotationen, da das Ergebnis nicht dasselbe ist mit verschiedenen Reihenfolgen. Bezüglich der **Translation**, man stellt sie durch einen 3x1 Vektor dar, der als T bekannt ist. Dieser Vektor stellt einfach die Distanz zwischen den Ursprüngen der beiden Koordinatensysteme dar. Zusammen mit **R**, kann man eine neue Matrize schaffen, **M** (Linnemann, 2016).

$$\mathbf{M} = \left(\begin{array}{ccc|c} \mathbf{R} & & & \mathbf{T} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \quad \text{mit}$$

R = 3 x 3 Matrix: Rotation
T = 3 x 1 Vektor: Translation
1 = Skalierungsfaktor für Kinematik

Abbildung 20. Matrize, die sowohl die Translation als die Rotation berücksichtigt (Linnemann, 2016)

Durch diese Matrize gelingen alle die Koordinatentransformationen. Einige Beispiele im Folgenden:

Trans(x,y,z) = Verschiebung eines Punktes um x,y,z entlang der jeweiligen Achse:

$$\text{Trans}(x,y,z) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotation um die y-Achse:

$$R_{(y,\beta)} = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotation um die x-Achse:

$$R_{(x,\alpha)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotation um die z-Achse:

$$R_{(z,\gamma)} = \begin{pmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Abbildung 21. Beispiele von Operationen mit Matrizen (Linnemann, 2016).

2.4 Technische Rahmenbedingungen

Für die Durchführung des Automatisierungsprozesses gibt es technische Rahmenbedingungen, die die möglichen Lösungen für das mechatronische System beschränken. Zum Beispiel, im Rangierbahnhof steht nur eine bestimmte Räumlichkeit für das System zur Verfügung – für die Bewegung des Roboters und für die Arbeit an die Kupplung. In diesem Kapitel wird über die Eigenschaften und Beschränkungen des Platzes und des Arbeitsraums und über die Geometrie der UIC-Schraubekupplung gesprochen, sodass in den nächsten Kapiteln eine gültige Lösung für die Automatisierung erfunden werden kann.

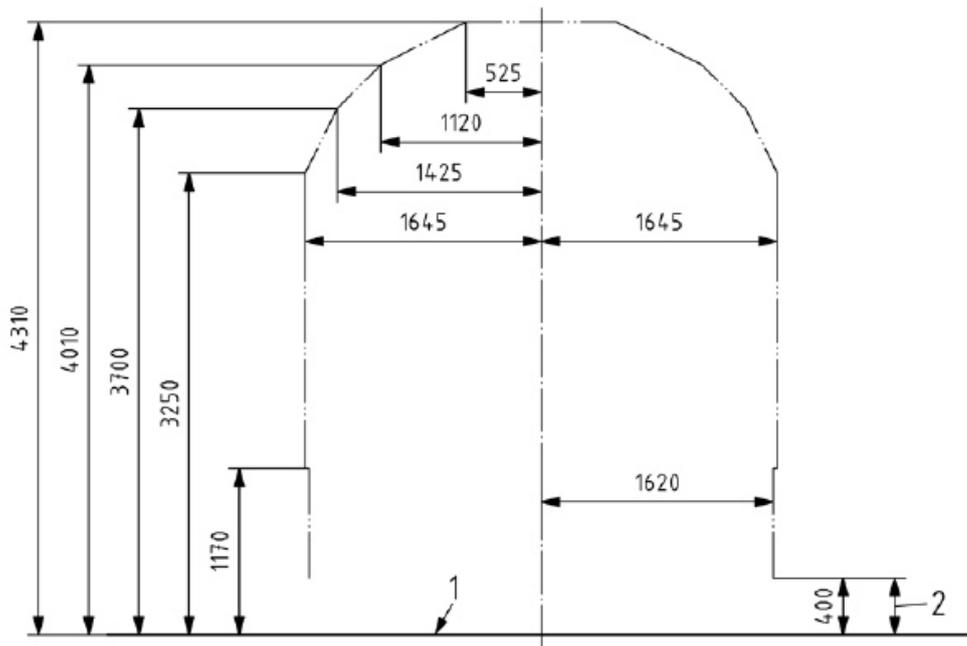
2.4.1 Bauräume zur Fortbewegung des Kupplungssystems

In diesem Teil geht es um die Eigenschaften des Platzes, d.h. der Rangierbahnhof und besonders das Gleis und der Bahnsteig, wo das mechatronische System sich befindet. Zum Kuppeln und Entkuppeln der Kupplung wird ein Roboter benutzt, der längs des Gleises sich bewegen wird. Daher soll zuerst geklärt werden, wo das System im Bezug zu den Güterwagen und dem Gleis platziert werden kann – welche Einschränkungen es gibt. Im Abschluss wird man ein Gesamtbild über die Platzierungsmöglichkeiten haben.

2.4.1.1 Geometrische Einschränkungen der Güterwagen für die Platzierung des Systems

Zuerst muss es definiert werden, wo das System im Bezug zu den Güterwagen platziert werden kann. Das soll durch die Analyse der kinematischen Begrenzungslinie der Züge erfolgen. Diese Linie, genannt G1, ist von der DIN EN 15273-2 festgelegt, und sie stellt einen maximalen Raum für die Güterwagen. Dieser Raum wird von den meisten europäischen Ländern seitens der Anlage freigehalten, und sie besteht aus zwei Bereichen: der Obere und der Untere (DIN, DIN EN 15273-2, 2014) (Salger, Bachelorarbeit, 2015).

Nach Definition befindet sich der **obere Bereich** der Begrenzungslinie oberhalb einer Ebene, die in einer Höhe von 400 mm über der Laufebene ist. Das ist in nächster Abbildung dargestellt (DIN, DIN EN 15273-2, 2014).



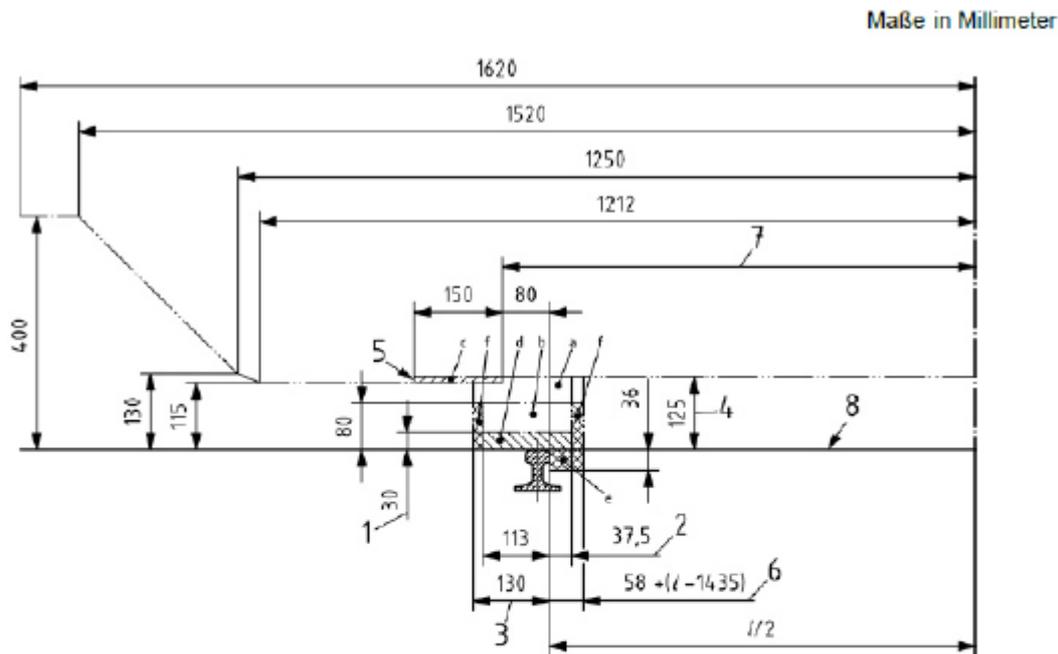
Legende

Laufebene

Unterer Bereich der Bezugslinie

Abbildung 22. Oberer Bereich der kinematischen Begrenzungslinie G1 (DIN, DIN EN 15273-2, 2014)

Man kann sehen, dass das System mindestens in einem Abstand von 1645mm zur Gleismitte platziert werden soll, um den für den Zug reservierten Raum zu respektieren. Andererseits befindet sich der **untere Bereich** der Begrenzungslinie unterhalb einer Ebene in einer Höhe von 400 mm über der Laufebene. Man kann diesen in nächster Abbildung bemerken. Trotzdem ist dieser Bereich der Begrenzungslinie nicht wichtig im Fall dieser Arbeit, weil das System seitlich platziert wird (DIN, DIN EN 15273-2, 2014).



Legende¹⁰

- d Bereich für die Räder und Komponenten, die mit den Schienen in Berührung kommen
- e ausschließlich den Rädern vorbehaltener Bereich
- f Bereich der Gleisbremsen in Lösestellung
- 4 dieses Maß stellt auch die größte Höhe der Einheits-Hemmschuhe dar
- 6 tatsächliche Grenzlage der inneren Stirnfläche der Räder, wenn der Radsatz an der gegenüberliegenden Schiene anliegt; dieses Maß hängt von der Spurerweiterung des Gleises ab
- 8 Laufebene

Abbildung 23. Untere Bereich der kinematischen Begrenzungslinie G1 (DIN, DIN EN 15273-2, 2014)

2.4.1.2 Bauliche Einschränkungen der Platzierungsmöglichkeiten

Außerdem die vorherigen Einschränkungen gibt es auch noch einige, die mit der Eigenschaften der Lage zu tun haben. Diese sind die baulichen Einschränkungen. Hier wird es untersucht, welche Bauraumeinschränkungen für die Konstruktion des Systems neben den Fahrzeugen vorliegen.

Rangierwege

Wichtig sind hier die **Eigenschaften des Bahnsteigs** in der Einfahr- und Richtungsgruppe des Rangierbahnhofs, weil da ist wo das System platziert wird. Die **Breite** des Bahnsteigs ist entscheidend. Nach der Richtlinie 800.0410 der DB, in der Einfahr- und Richtungsgruppe sind Rangierwege vorgesehen, die dazu dienen, dass die Mitarbeiter die Wagen behandeln können. Diese Wege befinden sich in den beiden Gleisgruppen zwischen und neben den Behandlungsgleisen, und ihre Regelbreite ist 1300mm. Wenn der Rangierer keine rangiertechnischen Arbeiten erfüllen muss, wäre eine

Regelbreite von 1000mm ausreichend (DB, Richtlinie 800.0410, 2011) (Salger, Bachelorarbeit, 2015). Man kann in der folgenden Abbildung diese Breiten bemerken.



Abbildung 24. Blick der Gleise im Rangierbahnhof Mannheim (Salger, Fotos von Rangierbahnhof Mannheim, 2016)

Höhe des Fahrdrahtes

Der über den Fahrzeugen für die Fortbewegung des Systems verfügbare Platz wird beschränkt, weil der Fahrdraht da platziert ist. Laut der Regulierungen der EBO ist der Abstand zwischen der Fahrdrabt und der Schienenoberkante 4950mm, bei einer Nennspannung von 15kV in der Oberleitung. Außerdem sollte es einen Sicherheitsabstand beim Betrieb der Güterwagen zwischen den Fahrzeugen und dem Fahrdrabt geben, und dieser ist nach EBO 150 mm (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), 1967). Jetzt können die maximal zulässigen Bauräume zur Fortbewegung des Systems entlang des Bahnsteigs bestimmt werden.

2.4.1.3 Maximal zulässige Bauräume zur Fortbewegung

In nächster Abbildung gibt es eine Darstellung der freien Räume für die Fortbewegung des Systems, die als weiße Flächen erscheinen. Man kann da die erwähnte Einschränkungen bemerken: die **Höhe des Fahrdrahts**, 4950mm; und die **Breite des Rangierwegs**, 1300mm (Salger, Bachelorarbeit, 2015).

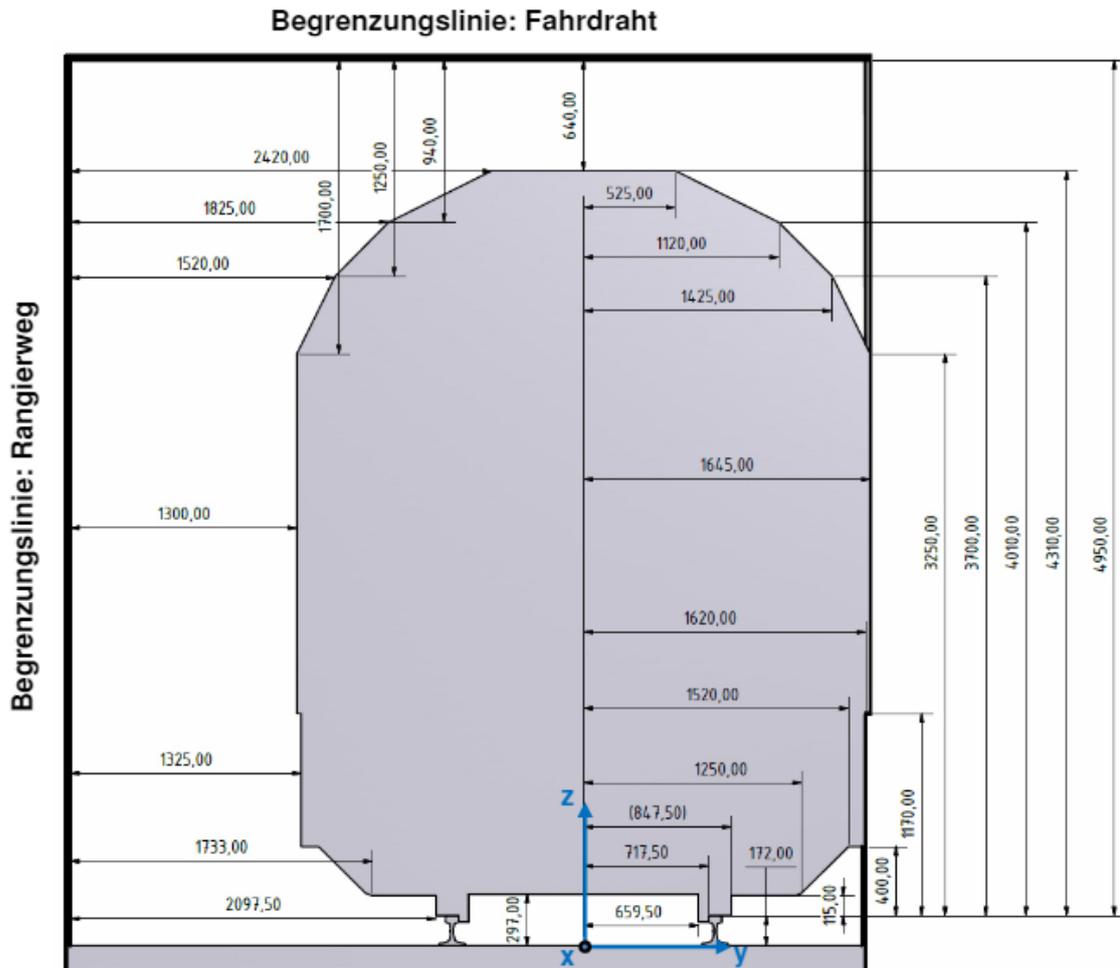
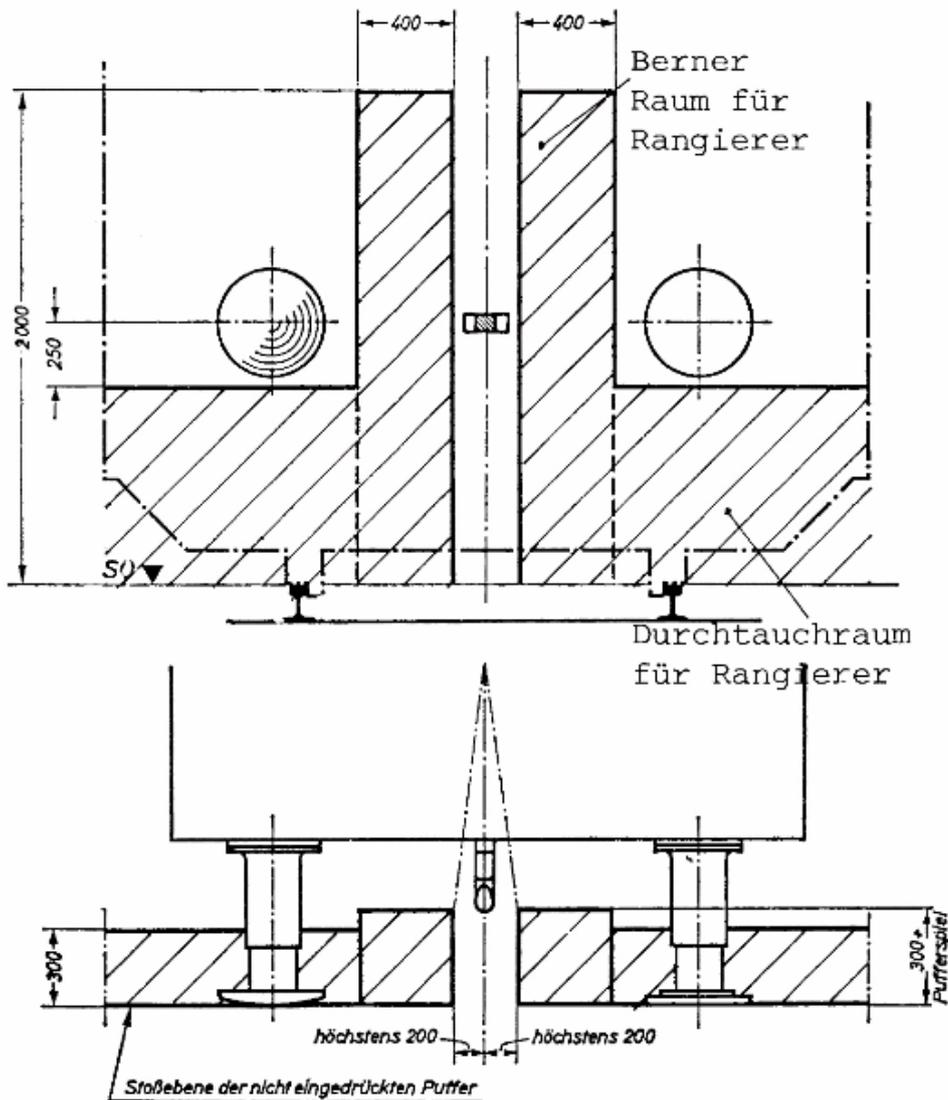


Abbildung 25. Bauräume zur Fortbewegung des Kupplungssystems (Salger, Bachelorarbeit, 2015)

2.4.2 Arbeitsraum für das Kupplungssystem

Wichtig ist es auch, zu wissen, welche die **Geometrie des Arbeitsraums** ist, denn der Roboter muss den Vorgang zum Kuppeln und Entkuppeln da durchführen. Der zur Verfügung stehende Raum hat Grenzen, die beachtet werden sollen. Im Folgenden gibt es eine Abbildung des erwähnten Raums. Trotzdem kann man da nicht erahnen, wo die Schraubenkupplung sich befindet. Das wird in einem nächsten Teil analysiert.



Maße in mm

Abbildung 26. Arbeitsraum für das Kupplungssystem (Kirchner & Uckermann, 1983)

Dieser Arbeitsraum ist auch als **Berner Raum** bezeichnet. Definitionsgemäß ist es ein definierter Bereich zwischen zwei Fahrzeugenden, die sich bei völlig eingedruckten Puffern sich berühren. Da gibt es einen Raum erforderlich, in dem das Personal des Rangierbahnhofs arbeiten kann, um die Fahrzeuge an der Kupplung zu verbinden oder zu trennen. Der freizuhaltende Raum ist in der Regel 200 cm × 40 cm × 30 cm (Höhe × Breite × Tiefe). Bei einigen Fahrzeugen kann man „Berner Raum“ nicht sagen, weil sie die Bestimmungen dafür nicht unterliegen. Zum Beispiel die Fahrzeuge, die über automatische Kupplungen verfügen (Dörfler, 2006).

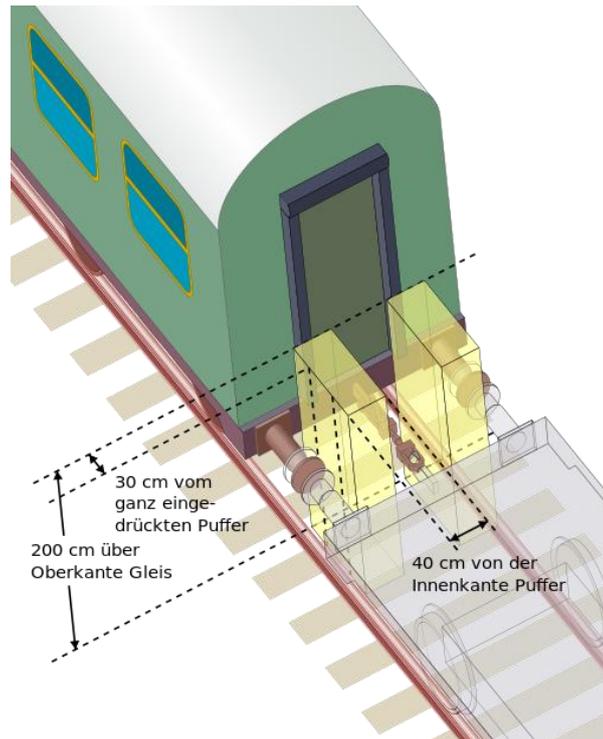


Abbildung 27. Berner Raum (Dörfler, 2006)

2.4.3 UIC – Schraubekupplung

Da das Ziel des Kupplungsvorgangs sich darin besteht, der Bügel eines Wagens in den Zughaken des anderen Wagens zu stellen, soll man zuerst die Position dieser Komponenten, besonders der Zughaken, an den Güterwagen bestimmen. In Folgendem werden die Position an den Güterwagen und die Geometrie dieser Schraubekupplung detailliert.

2.4.3.1 Position der Schraubekupplung an den Güterwagen

In nächster Abbildung ist die Lage der Schraubekupplung an den Güterwagen gezeigt. Wichtig ist hier, dass der Zughaken und die Seitenpuffer in einer Höhe von zwischen 940mm und 1065 mm über der Schienenoberkante ist (Salger, Bachelorarbeit, 2015). Dieses Maß wird wichtig sein, wenn man die Kinematik der Roboter studieren muss, da alle die möglichen Höhen des Zuges in Betracht gezogen werden müssen.

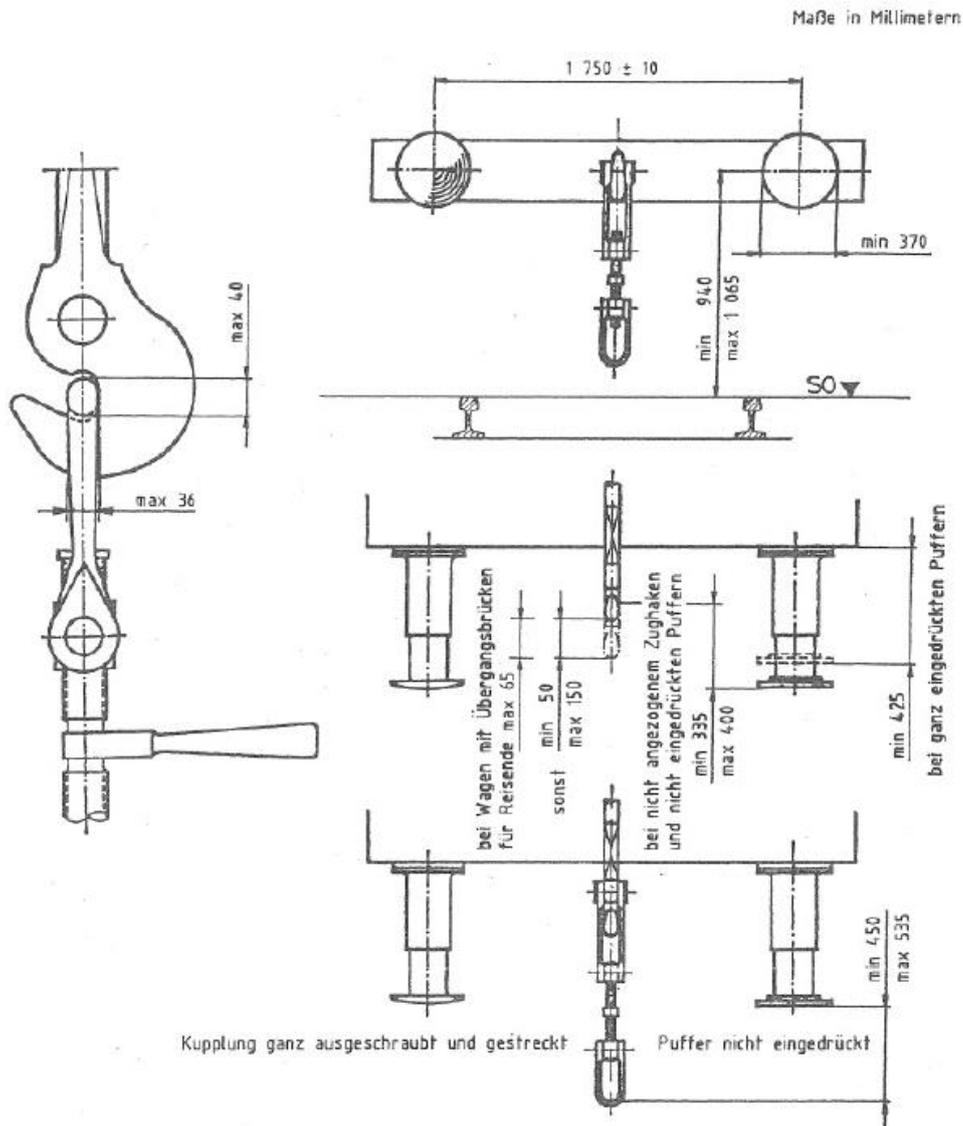
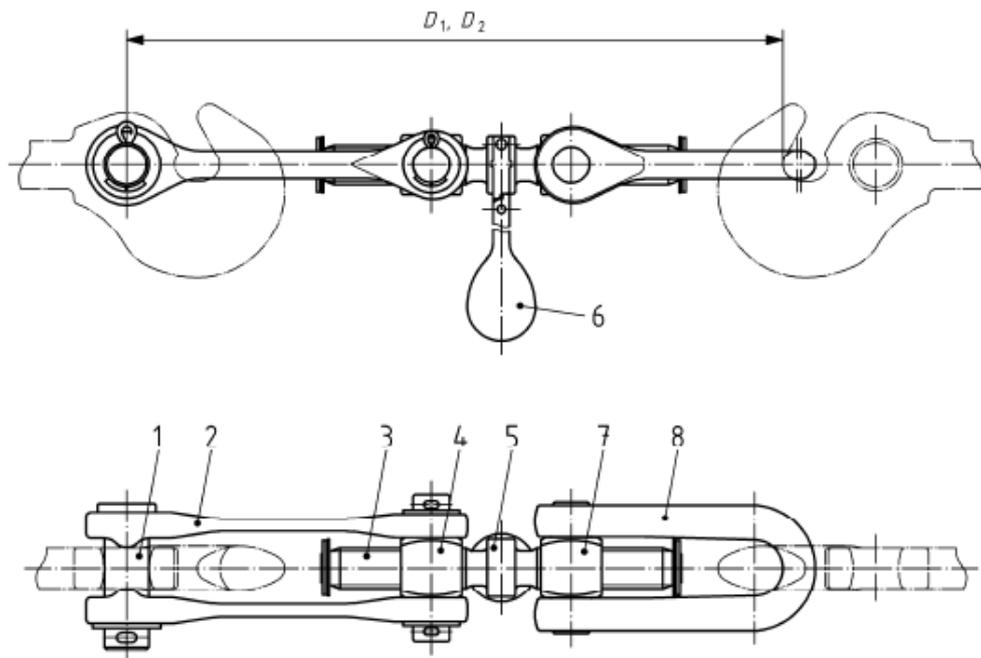


Abbildung 28. Position der Zug- und Stoßeinrichtungen (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), 1967)

2.4.3.2 Aufbau der Schraubenkupplung

Die Schraubenkupplung, auch als UIC-Kupplung oder UIC-Standard-Kupplung bekannt, ist „ein nach DIN EN 15566 international genormtes Verbindungselement zur Zugkraftübertragung zwischen zwei Schienenfahrzeugen“ (Salger, Bachelorarbeit, 2015). In folgender Abbildung kann man sie detailliert bemerken.



Legende

- | | |
|--|---|
| 1 Kupplungsbolzen | 7 Kupplungsmutter |
| 2 Kupplungslaschen | 8 Kupplungsbügel |
| 3 Kupplungsspindel | D_1 maximale Länge bei vollständig ausgeschraubter Kupplung (986^{+10}_{-5}) mm |
| 4 Kupplungsmutter für gelenkigen Kupplungsschwengel in Kugelform | D_2 minimale Länge bei vollständig zugeschraubter Kupplung (750 ± 10) mm |
| 5 Kupplungsschwengelhalter | |
| 6 gelenkiger Kupplungsschwengel (in Kugelform) | |

Abbildung 29. Aufbau der UIC – Schraubenkupplung (Salger, Bachelorarbeit, 2015)

3 Stand der Technik

In diesem Kapitel geht es um den aktuellen Stand der Technik angesichts der Automatisierung des Kupplungsvorgangs an Rangierbahnhöfen. Zuerst wird es über die Probleme der Automatisierung in diesem Feld sprechen, zweitens über die erreichten Fortschritte, und drittens über die schon existierenden anwendbaren Lösungen für den Ziel dieser Arbeit.

3.1 Die Automatisierung heutzutage

Die Schraubenkupplungen sind nicht die einzige existierende Kuppelmöglichkeit. Es gibt Alternative, wo der Kupplungsvorgang ohne Arbeit der Menschen durchgeführt wird, und diese sind die **automatischen Kupplungen**. Es gibt verschiedene Varianten, aber die am meisten benutzte ist die **Scharfenbergkupplung**. Sie ermöglicht ein schnelles, einfaches und vor allem sicheres Kuppeln und Entkuppeln von Zügen. Heutzutage ist diese weltweit eingesetzt, in verschiedenen Zügen des Personenverkehrs (Erstfeld, 2010).



Abbildung 30. Karlsruher S-Bahn mit Scharfenbergkupplung (Magnus, 2012)

Wie bereits in der Einleitung angesprochen, ist es aufgrund technischer und vor allem wirtschaftlicher Schwierigkeiten unmöglich, die Schraubenkupplungen durch ein anderes automatisches System zu ersetzen. Der Grund ist, dass die Schraubenkupplungen innerhalb Europas als Standard festgelegt sind, deshalb sollte man die Kupplungen ganzer Europa gleichzeitig ersetzen, was mit sich riesige Schwierigkeiten bringen würde. Wie schon erklärt, eine alternative Lösung zu der Vereinfachung des Verfahrens besteht sich darin, den Kupplungsvorgang ohne Wechseln der Schraubenkupplung zu automatisieren. Das heißt, einen externen Mechanismus bzw. einen Roboter zu entwickeln, der die Handlung der Menschen ersetzen und der den Prozess selbstständig durchführen kann. Bisher wurde kein Fortschritt in diesem Feld gemacht - es gibt kein Rangierbahnhof, das ein System zum automatischen Kuppeln-und Entkuppeln hat (Jost, 2016).

3.2 Anwendbare Roboter im Markt

Um den Kupplungsvorgang durchzuführen sucht man Roboter, die hauptsächlich sich längs des Gleises bewegen und die die Schraubenkupplung bearbeiten können. Bezüglich der Bewegung entlang des Gleises, das bringt mit sich keine Schwierigkeit – fast alle die Roboter können angepasst werden, um diese Fähigkeit zu haben. Trotzdem, nicht alle die Roboter können den Kupplungsvorgang durchführen. Ohne viel zu vertiefen kann man vorahnen, dass der zu benutzende Roboter ein **Horizontal-Knickarmroboter (SCARA)** oder ein **Vertikal-Knickarmroboter** wird, da die Bewegung des Endeffektors komplex genügend ist für einen Kartesischer Roboter oder für einen Parallel-Kinematiken.

Es gibt viele Hersteller im Markt, die diese Art von Roboter fertigen, wie zum Beispiel KUKA, Yaskawa, Fanuc oder Stäubli, unter anderen. Sie verkaufen verschiedene Modelle, sortiert nach Größe, maximaler Traglast, Reichweite, Art der Industrie oder der Anwendung, etc. Für den Zweck dieser Arbeit könnten diese **schon existierenden Roboter** selbstverständlich angewendet werden, nach den erforderlichen Anpassungen. Trotzdem, im Folgenden wird auch die Möglichkeit betrachten, **neue Konzepte von Robotern** zu entwickeln, die diesen Verfahren vielleicht besser und schneller machen könnten.

4 Generierung von Konzepten

In diesem Teil des Berichts wird die Konzipierung des mechatronischen Systems durchgeführt. Diese umfasst sowohl die Entstehung der Idee selbst, wofür man eine Ideengenerierung Methode anwenden soll, als auch Entwürfe, CAD Darstellungen, etc.; d.h., alles was nützlich wäre, um die Lösung besser zu verstehen.

Zuerst wird es ins Thema Techniken zu Ideengenerierung vertiefen, weil es zu diesem Zweck verschiedene Methoden gibt. Unter allen wird es für die Methode, die besser für diesen bestimmten Fall ist, entscheiden.

4.1 Kreativitätstechniken

Unter die Methoden für die Generierung von Ideen gibt es zwei große Gruppen: die **intuitive Methoden** und die **diskursive Methoden**. Auch gibt es die **Kombimethoden**, die intuitive und diskursive Elemente vereinen.

4.1.1 Intuitive Methoden

Diese Methoden generieren in wenig Zeit viele Ideen, dank der Tatsache, dass es in Gruppen gearbeitet wird. Normalerweise wird es danach mit diskursiven Methoden weitergearbeitet. Im Folgenden werden einigen erklärt.

Das **Brainstorming** besteht darin, in einer heterogenen und kleinen Gruppe (max. 10 Personen) Ideen zu vorschlagen. Das Thema wird festgelegt und klar formuliert, ein Moderator um die Gruppe zu motivieren definiert, und der Vorgang soll 20-30 Minuten dauern. Die Ideen werden spontan geäußert, und sie dürfen nicht kritisiert oder diskutiert werden. Die Phantasie ist hier entscheidend. Die Ideen können danach kombiniert, weiterentwickelt werden, und im Anschluss an Brainstorming werden diese gruppiert und bewertet, damit die brauchbarsten weiter konkretisiert werden können. Ähnlich dazu ist das **Brainwriting**, trotzdem wird hier in stiller Gruppenarbeit gearbeitet, und die Ideen sind schriftlich statt mündlich gegeben. Auch die **635 Methode** hat Ähnlichkeiten damit. Hier sechs Teamglieder entwickeln, schriftlich, drei Lösungsvorschläge, innerhalb von fünf Minuten. Danach sind die Blätter weitergegeben, bis jedes Mitglied sechs mal drei Vorschläge entwickelt hat (Dornberger, 2006).

4.1.2 Diskursive Methoden

In dieser Gruppe führen die Methoden den Prozess, die Lösungssuche systematisch zu machen. Der **morphologische Kasten** zum Beispiel besteht darin, die Problem-relevante Dimensionen in einer Tabelle zu definieren. Für jede Dimension werden Teillösungen gesucht. Danach, indem man von jeder Dimension eine Teillösung nimmt und sie mit den anderen Teillösungen kombiniert, generiert man Komplettlösungen. Hier ist es nicht erforderlich, in Gruppen zu arbeiten. Andererseits, **The-5-Whys** besteht darin, die Frage „*Warum?*“ fünf Mal zu stellen. Dadurch können die Symptome und die Ursache eines bestimmten Problems analysiert werden (Dornberger, 2006).

4.1.3 Kombimethoden

Hier findet man Methoden, die Eigenschaften von den beiden vorherigen Arten vereinigen. Beispielsweise, das **6-Hut-Denken** besteht darin, mit sechs Denkrichtungen zu denken, die durch 6 Hüte dargestellt werden. Die 6 Hüte bzw. 6 Denkrichtungen sind folgende (Dornberger, 2006):

- Der **weiße** Hut steht für Objektivität.
- Der **rote** Hut steht die subjektive Meinung.
- Der **schwarze** Hut benennt alle sachlichen Risiko, Zweifel, Argumente... aber keine negativen Gefühle.
- Der **gelbe** Hut nennt positive und objektive Eigenschaften wie Pluspunkte, Chancen...
- Der **grüne** Hut steht für Kreativität und Alternativen.
- Der **blaue** Hut organisiert den Gesamtprozess.

4.1.4 Konsolidierung und Bewertung von Alternativen

Nachdem man durch die vorherige Techniken Ideen generiert hat, sollten diese, die im Allgemeinen noch ungeordnete sind, konsolidiert werden. Das erfolgt dank der **Abstraktion**. Das ist ein Prozess, der sich mit dem Folgenden befasst (Dornberger, 2006):

- Die Unklarheiten zu entfernen.
- Die redundante Ideen zu löschen.
- Die sehr ähnliche Ideen zusammenzufassen.
- Die zusammengehörenden Ideen unter gemeinsame Oberbegriffe zu gruppieren, etc.

Als Ergebnis bekommt man eine Serie von konsistenten Ideen. Danach kommt die **Bewertung** der Alternativen. Normalerweise, wegen beschränkter Ressourcen können nicht alle möglichen Lösungen weiter entwickelt werden, deshalb muss man irgendwie wählen. Es gibt verschiedenen Entscheidungstechniken. Die bekanntesten sind **Grobselektion** und **Nutzwertanalyse**. In der **Grobselektion** gilt es, die Alternativen zu filtern und die schlechtesten auszusortieren. Die Aussondierung schlechter Varianten unterliegt einem der folgenden Gründe (Dornberger, 2006):

- Erfüllt nicht ein Muss-Ziel.
- Ist zu teuer oder dauert zu viel gegenüber gewissen Terminvorgaben.
- Ist aus politischen Gründen nicht durchsetzbar, etc.

Nach diesem Prozess gibt es noch viele brauchbare Lösungsalternativen. Deshalb wendet man nun die **Nutzwertanalyse**, wo systematisch alle Varianten gegeneinander abgewogen werden, durch Kriterien und Gewichte, um die Besten zu finden (Dornberger, 2006).

4.2 Die TRIZ Methode

Besonders zu erwähnen innerhalb der Kombimethoden ist die **TRIZ**. Diese Bezeichnung steht in Russisch für „Theorie des erfinderischen Problemlöschen“, und die Methode wurde in den Fünfzigerjahren in der ehemaligen Sowjetunion von **Genrich Altshuller** entwickelt. Er führte eine Untersuchung, die sich darauf unterstützte, dass es universelle Grundsätze der Kreativität gibt, die die Basis für kreative Innovationen der technologischen Entwicklung sind. Die Untersuchung bestand sich darin, tausende Patenten zu analysieren, um die Lösungsweise zu entdecken. Diese **Lösungsweisen** wurden in Innovationniveaus nach dem **Innovationsgrad** sortiert, wie in nächster Tabelle gezeigt (Ernst&Young, 2013):

Niveau	Innovationsgrad	Ursprung der Kenntnisse	%Lösungen
1	Konventionelle Problemlösungen	Individuelles Kenntnis	32%
2	Geringfügige Erfindungen	Unternehmen	45%
3	Substanzielle Erfindungen	Industrie	18%
4	Neue Konzepte	Andere Industrien	4%
5	Neue Entdeckungen	Alles was bekannt ist	1%

Tabelle 2. Niveau der Patenten (Isoba, 2007)

Die Personen haben begrenzte Kenntnisse, und sie können nicht Experte in allen Feldern sein. Deshalb versucht TRIZ eine Abstraktion zu machen und alle die bekannten Kenntnisse zu benutzen, um irgendwelches Problem zu lösen (Rovira, 2004). Wie Albert Einstein einmal sagte, „Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind“. Nach der Untersuchung von Altshuller wurden diese **Prinzipien** entdeckt (Ernst&Young, 2013):

- Die erste ist, dass die Probleme und die Lösungen in allen Wissenschaften sich wiederholen.
- Die zweite, dass die Muster irgendwelcher technischen Entwicklung in allen Wissenschaften sich wiederholen.
- Die dritte ist, dass die kreativen Innovationen wissenschaftliche Kenntnisse benutzen, außerhalb des Feldes, wo sie entwickelt werden.

Laut TRIZ, es gibt **zwei Arte von Problemen**, den der Menschen sich stellen muss (Ernst&Young, 2013):

- Probleme mit bekannten Lösungen
- Unbekannte Probleme.

Das **Ziel** von TRIZ ist, jedes Problem als **ein generelles Problem** zu betrachten, um **generelle Lösungen** zu bekommen, die später konkretisiert werden können. Die Idee ist, dass jemand schon ein ähnliches Problem gelöst hat, und man soll nur diese Lösung nehmen und sie an dieses besonderes Problem anpassen. Hier liegt ein Unterschied zu dem Brainstorming z.B., als dieses in der Generierung aleatorischer Ideen besteht,

solange TRIZ einen algorithmischen Standpunkt zu entstehen versucht (Ernst&Young, 2013).

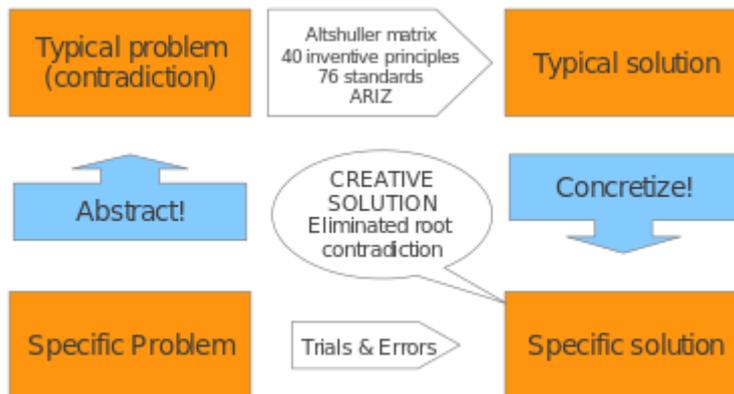


Abbildung 31. Diagramm der Schritte von TRIZ (Wikipedia, TRIZ, 2016)

Die **Vorteile** von TRIZ sind:

- Es reduziert die Versuchs-und-Irrtums-Methode, durch einige definierten Schritte.
- Es fördert die Innovation.
- Es überwindet die psychologische Trägheit (Vorurteilen, Angewohnheiten...), die man von der Lösung entfernt (Ernst&Young, 2013).

4.2.1 Grundbegriffe

Die Begriffe Widerspruch, Idealität und die Entwicklungsmuster wurden von Altschuller eingeführt, und sie halten sich für die Basis der TRIZ Methode (patentesymarcas, 2014).

4.2.1.1 Widersprüche

Die Widersprüche geschehen, wenn es im System Eigenschaften gibt, die inkompatibel scheinen. TRIZ versucht diese Widersprüche zu lösen, indem die Methode eine innovative Lösung findet. Die Methode behauptet, dass es zwei Arten von **Widersprüchen** gibt, die der Basis der Probleme sind (Ernst&Young, 2013):

- **Technische Widersprüche:** der gewünschte Zustand kann nicht erreicht werden, weil wenn eine Eigenschaft verbessert, eine andere verschlechtert.

- **Physische Widersprüche:** auch als inhärente Widersprüche bekannt, sie entsprechen Situationen, wo ein System gegensätzliche, widersprüchliche Anforderungen hat.

4.2.1.2 Ideal Final Result (IFR)

Das ideale Ergebnis eines Problems ist die beste denkbare Lösung. Dieses Ergebnis löscht die Mängel des originalen Systems, während seine Vorteile erhalten werden (Ernst&Young, 2013).

4.2.1.3 Idealität

Die Idealität ist eine Messung, die bewertet, wie viel die Lösung vom idealen Ergebnis (IFR) sich entfernt. Sie kann mathematisch wie folgt dargestellt werden (patentesymarcas, 2014):

$$Idealität = \frac{\sum \text{Vorteile}}{\sum \text{Kosten} + \sum \text{Nachteile}}$$

Das Ziel von TRIZ ist, diesen Wert zu erhöhen, sowohl durch die Steigerung der Vorteile als auch durch die Abnahme der Kosten oder der Nachteile (patentesymarcas, 2014).

4.2.1.4 Entwicklungsmuster

Altshuller bemerkte, dass normalerweise die Systeme in ihrer Entwicklung ähnlichen Prozessen folgen. Daraus schloss er einige Entwicklungsmuster, die erlauben, die progressive Umwandlung der Systeme nach einer zunehmenden Idealität vorauszusagen. Das heißt, zunehmenden Vorteile und abnehmenden Kosten und Nachteilen (patentesymarcas, 2014).

4.2.2 Hauptwerkzeuge der Methode

TRIZ besteht aus vielen verschiedenen Werkzeugen, die wie folgt sortiert werden können (patentesymarcas, 2014).

- Analytische Werkzeuge.
- Psychologische Werkzeuge.
- Auf der Kenntnis basierte Werkzeuge.

Die Ersten erlauben die Formulierung des Problems, und da kann man das **ARIZ** finden. Andererseits, die Zweiten sind dafür benutzt, den kreativen Prozess zu vereinfachen. Die Dritten versorgen mit Empfehlungen zur Lösung des Problems. Innerhalb dieser ist ein der ersten von Altshuller entwickelten Werkzeuge: die **Widerspruchsmatrix** (patentesymarcas, 2014).

4.2.2.1 Widerspruchsmatrix

Laut der TRIZ Methode gibt es **39 technische Parameter**(die Geschwindigkeit, das Gewicht, die Temperatur, etc.) und **40 innovative Prinzipien** (die Segmentation, die Asymmetrie, die Homogenität, etc.). Die Widerspruchsmatrix besteht aus 39 Reihen und 39 Spalten, die den 39 technischen Parametern entsprechen. Die Matrize zeigt, wenn man einen bestimmten Widerspruch hat, welche der 40 innovativen Prinzipien häufiger angewendet wurden, um ihn zu lösen. Das heißt, für jeden typischen Widerspruch zwischen zwei Parameter gibt es in der Matrize einige **möglichen Lösungen** (Ernst&Young, 2013).

Widerspruchsmatrix																																									
Zu verändernde Parameter	Sich verändernde Parameter																																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
1 Stärke des beweglichen Objekts																																									
2 Masse des unbeweglichen Objekts																																									
3 Länge des beweglichen Objekts																																									
4 Fläche des beweglichen Objekts																																									
6 Fläche des unbeweglichen Objekts																																									
7 Volumen des beweglichen Objekts																																									
8 Volumen des unbeweglichen Objekts																																									
9 Geschwindigkeit																																									
10 Kraft																																									
11 Spannung oder Druck																																									
12 Form																																									
14 Festigkeit																																									
15 Maßstab des beweglichen Objekts																																									
16 Maßstab des unbeweglichen Objekts																																									
17 Temperatur																																									
18 Schallebene																																									
20 Energieverbrauch des beweglichen Objekts																																									
21 Leistung, Arbeit																																									
22 Energieverlust																																									
23 Materialverlust																																									
24 Informationsverlust																																									
25 Zeitverlust																																									
26 Unzuverlässigkeit																																									
27 Unvollständigkeit																																									
29 Fertigungsprozess des beweglichen Objekts																																									
30 Fertigungsprozess des unbeweglichen Objekts																																									
32 Fertigungsprozess																																									
33 Schallebene																																									
34 Fertigungsprozess, Unvollständigkeit																																									
35 Fertigungsprozess des beweglichen Objekts																																									
37 Komplexität der Kontrolle und Steuerung																																									
38 Automatisierungsgrad																																									
39 Produktivität																																									

Widerspruchsmatrix nach G. S. Altshuller Kontakt und weitere Infos zu TRIZ: www.triz-online.de | www.triz-online-magazin.de

© Layout von triz-online.de

Abbildung 32. Widerspruchsmatrix der TRIZ Methode (Yumpu, 2015)

Man könnte sagen, dass diese Matrize es ermöglicht, das Prinzip von TRIZ durchzuführen: ein bestimmtes Problem als ein generelles Problem zu betrachten, indem

man an ein der 40 innovativen Prinzipien sich wendet. In dieser Masterarbeit wird die TRIZ Methode angewendet, um die Widersprüche, die Folge der Definition des Problems sind, lösen zu können (Ernst&Young, 2013).

4.3 Anwendung der TRIZ Methode

In diesem Kapitel wird eine **generelle Methode** für die Entwicklung des Produktes angewendet. Diese Methode umfasst die nächsten Punkten: zuerst die Definition des Produktes, zum Zweiten die Analyse der erscheinenden Probleme und schließlich die Generierung von Konzepte (Jimenez Romero, 2012).

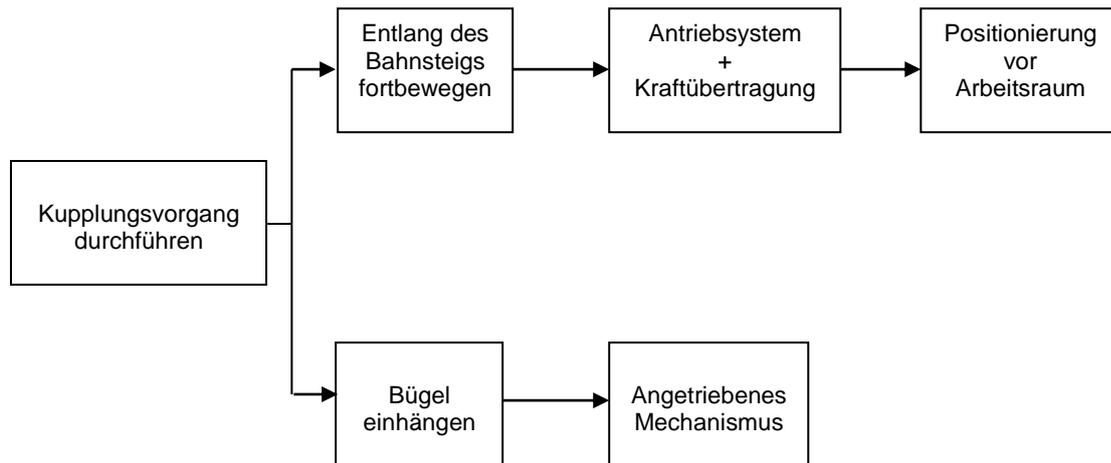
4.3.1 Beschreibung und Anforderungen des Produktes

Zuerst muss das Produkt definiert werden, indem seine Eigenschaften und die zu erfüllenden Anforderungen festgelegt sind. Zu diesem Zweck kann man verschiedene Werkzeuge benutzen, wie das **FAST Diagramm** und die **Tabelle von Funktionen**. Das System kann wie folgt definiert werden (Jimenez Romero, 2012).

- Das System muss hauptsächlich **eine Aufgabe** erfüllen: den Bügel in den Zughaken einhängen.
- Das System ist ein Roboter.
- Dieses System muss diese Aufgabe **seitlich aus dem Bahnsteig** machen.
- Das System muss dafür fähig sein, entlang des Bahnsteigs fortzubewegen und sich vor dem Arbeitsraum zu platzieren, um danach die oben genannte Aufgabe zu erfüllen.

4.3.1.1 FAST Diagramm

Das FAST Diagramm ist eine Qualitätstechnik der Value Engineering Methode, die um die Funktionsstruktur eines technischen System zu analysieren benutzt wird. Mithilfe dieses Werkzeugs kann man die Funktionen und Zielen des Produktes identifizieren und sie zeichnerisch darstellen. Im Folgenden wird das FAST Diagramm des Kupplungssystems vorgestellt (Diagrama FAST: Ingeniería de valor y análisis de costes).



4.3.1.2 Tabelle von Funktionen

Eigenschaften	Funktionen			
	Negative	Empfohlene	Wesentliche	Überflüssige
Bügel einhängen			X	
Verbindung straffen				X
Hauptluftleitung verbinden				X
Entlang Bahnsteigs fortbewegen			X	
Attraktives Design				X
Einfache Wartung		X		
Kleines Gewicht		X		
Fähigkeit an die Anlage anzupassen		X		
Fähigkeit an die Wetterbedingungen anzupassen			X	
Notwendigkeit, die Anlage zu verändern	X			

Tabelle 3. Funktionentabelle

Nachdem die erforderlichen Funktionen bekannt sind, können diese **nach** ihre **Wichtigkeit** sortiert werden. Dazu dient die Tabelle der Funktionen, in der diese Eigenschaften negative, empfohlene, wesentliche oder überflüssige sein können (Jimenez Romero, 2012).

4.3.1.3 Ideales Ergebnis (IFR, Ideal Final Result)

Das ideale Produkt ist dieses, das die in der Tabelle genannten wesentlichen Funktionen erfüllen kann. Es ist zu betonen, dass es kein Nachteil wäre, dass das System die empfohlenen Eigenschaften auch besitzen könnte. Diese letzte sind nicht unerlässlich für den Kupplungsvorgang, trotzdem können den Prozess ziemlich vereinfachen (Jimenez Romero, 2012).

4.3.2 Entdeckung des Problems. TRIZ für die Widersprüche

Nachdem die Anforderungen und die zu erfüllenden Funktionen bekannt sind, ist jetzt das Moment, mögliche Widersprüche zwischen den geforderten Eigenschaften herauszufinden. Auf eine intuitive Weise, findet man die Nächsten (Jimenez Romero, 2012):

- Das System muss fähig sein, große Kräfte zu tragen; dafür braucht das System eine **große Masse**. Trotzdem sollte das System ein **kleines Gewicht** haben.
- Das System muss fähig sein, große Kräfte zu tragen; dafür braucht das System eine **große Masse**. Trotzdem braucht das System eine **hohe Geschwindigkeit** fürs Fortbewegung.
- Das System muss im Arbeitsraum **komplexe Bewegungen** durchführen. Trotzdem gibt es im Arbeitsraum einen **kleinen Platz**.
- Die **Bahnsteig** ist sehr **lang**; wie kann die **Energie versorgt** werden?

In der nächsten Tabelle kann man die genannten Widersprüche auf einer vereinfachten Weise sehen.

	1° Eigenschaft	2° Eigenschaft
Widerspruch A	Große Masse	Kleines Gewicht
Widerspruch B	Große Masse	Hohe Geschwindigkeit
Widerspruch C	Komplexe Bewegungen	Kleiner Platz
Widerspruch D	Lange Bahnsteig	Energieversorgung

Tabelle 4. Widersprüche des Produktes

Jetzt muss man diese Widersprüche lösen. Zu diesem Zweck wird die Widerspruchsmatrix benutzt, wo die 40 Standardlösungen empfohlen werden.

4.3.3 Analyse der Widersprüche

4.3.3.1 Widerspruch A: große Masse Vs kleines Gewicht

Man führt in die Matrize die nächsten widersprüchlichen Eigenschaften ein:

Kraft Vs Gewicht eines bewegten Körpers

Als Antwort darauf, die Matrize versorgt mit den nächsten Prinzipien:

a) Prinzip der Zerlegung bzw. Segmentierung:

- *Das Objekt ist in unabhängige, gleiche Teile zu zerlegen.*
- *Das Objekt ist zerlegbar auszuführen.*
- *Der Grad der Zerlegung des Objektes ist zu erhöhen.*

b) Prinzip der Gegenmasse:

- *Die Masse des Objektes ist durch Kopplung mit einem anderen Objekt, das Tragkraft besitzt, zu kompensieren.*
- *Die Masse des Objektes ist durch Wechselwirkung mit einem Medium zu kompensieren*

c) Prinzip der Anwendung von Wärmedehnung:

- Die Wärmedehnung oder -verdichtung von Werkstoffen ist auszunutzen.
- Es sind mehrere Werkstoffe mit unterschiedlicher Wärmedehnungszahl zu benutzen.

d) Prinzip der Ausnutzung mechanischer Schwingungen:

- Das Objekt ist in Schwingungen zu versetzen.
- Falls eine solche Bewegung bereits vorliegt, ist ihre Frequenz zu erhöhen, bis hin zur Ultraschallfrequenz.
- Die Eigenfrequenz ist auszunutzen.
- Anstelle von mechanischen Vibratoren sind Piezovibratoren anzuwenden.
- Auszunutzen sind Ultraschallschwingungen in Verbindung mit elektromagnetischen Feldern.

Man kann z.B. die **Gegenmasse** und **Segmentierung** nehmen. Mit diesen Prinzipien kann man Lösungen fürs Problem treffen. Zum Beispiel, das System könnte während der Zeit, in der es den Kupplungsvorgang nicht durchführen muss, ein kleines Gewicht haben, um seine Beförderung und Wartung zu vereinfachen, und ein größeres Gewicht bekommen im Moment des Kuppelns. Dazu könnte das System sich vor dem Arbeitsraum verankern, oder ein Gegengewicht könnte ihm zusammengefügt werden.

4.3.3.2 Widerspruch B: große Masse Vs hohe Geschwindigkeit

Die Lösung für diesen Widerspruch ist dieselbe als für den Ersten. Ein kleines Gewicht während der Fortbewegung bedeutet eine Leichtigkeit, um hohe Geschwindigkeit zu gewinnen, da die Beschleunigung und die Verzögerung vereinfacht werden. Deshalb, kann man die Prinzipien des ersten Widerspruchs benutzen.

4.3.3.3 Widerspruch C: komplexe Bewegungen Vs kleiner Platz

Man führt in die Matrize die nächsten widersprüchlichen Eigenschaften ein:

Komplexität eines Mechanismus Vs Volumen eines bewegten Körpers

Als Antwort darauf, die Matrize versorgt mit den nächsten Prinzipien:

a) Prinzip des Kopierens:

- Anstelle eines unzugänglichen, komplizierten, kostspieligen, schlecht handhabbaren oder zerbrechlichen Objektes sind vereinfachte und billige Kopien zu benutzen.
- Das Objekt oder das System von Objekten ist durch seine optischen Kopien (Abbildungen) zu ersetzen.

b) Prinzip der Beseitigung und Regenerierung von Teilen:

- Teil eines Objektes, das seinen Zweck erfüllt hat oder unbrauchbar geworden ist, wird beseitigt (aufgelöst, verdampft o. ä.) oder unmittelbar im Arbeitsgang umgewandelt.
- Verbrauchte Teile eines Objektes werden unmittelbar im Arbeitsgang wieder hergestellt.

c) Prinzip der Universalität:

- Das Objekt erfüllt mehrere unterschiedliche Funktionen, wodurch weitere gesonderte Objekte überflüssig werden.

Wenn man statt das Volumen die **Oberfläche** einführt, bekommt man das Nächste:

a) Prinzip der Kugelähnlichkeit

- Von geradlinigen Konturen ist zu gekrümmten, von ebenen Flächen ist zu sphärischen überzugehen.
- Zu verwenden sind Rollen, Kugeln, Spiralen.
- Von der geradlinigen Bewegung ist zur Rotation überzugehen.

b) Prinzip der Zerlegung bzw. Segmentierung:

- Das Objekt ist in unabhängige, gleiche Teile zu zerlegen.
- Das Objekt ist zerlegbar auszuführen.
- Der Grad der Zerlegung des Objektes ist zu erhöhen.

c) Prinzip der Funktionsumkehr:

- *Statt der Wirkung, die durch die Bedingungen der Aufgabe vorgeschrieben wird, ist die umgekehrte Wirkung zu erzielen.*
- *Der bewegliche Teil des Objektes oder des umgebenden Mediums ist unbeweglich, und der unbewegliche ist beweglich zu gestalten.*
- *Das Objekt ist „auf den Kopf zu stellen“ bzw. umzukehren.*

d) Prinzip der partiellen oder überschüssigen Wirkung:

- *Wenn 100 % des erforderlichen Effekts schwer zu erzielen sind, muß „ein bißchen weniger“ oder „ein bißchen mehr“ erzielt werden.*

Infolge kann man an die nächsten Lösungen denken.

- **Universalität:** das heißt, dass das System mehr als eine Funktion erfüllen sollte, damit die Benutzung anderer Systeme vermieden wird.
- **Kügelähnlichkeit:** rotatorische Bewegungen statt translatorische Bewegungen festlegen.
- **Segmentierung:** wie vorher erklärt, das System in verschiedenen Körpern teilen.
- **Partielle Wirkung:** das hat mit der von dem System besitzen Schwierigkeit, den ganzen Kupplungsvorgang durchzuführen, zu tun. Deshalb ist es Ziel dieser Masterarbeit, nur die Aufgabe, den Bügel in den Zughaken zu hängen, zu automatisieren.

4.3.3.4 Widerspruch D: lange Bahnsteig Vs Energieversorgung

Um diesen Widerspruch lösen zu können, die Anwendung von TRIZ scheint schwierig zu sein, da die zu einführenden Parameter nicht klar sind. Trotzdem, nach der Lösung der vorherigen Widersprüche kann man bemerken, dass hier die **Segmentierung** auch eine Rolle spielen könnte. Zum Beispiel, das System könnte eine elektrische Batterie besitzen, und entlang der Bahnsteig in verschiedenen Punkten über Ladungsvorrichtungen verfügen, mit denen das System aufgeladen werden könnte. Damit kann die Benutzung von langen Kabeln und schweren Batterien vermieden werden, was sehr interessant ist.

Jetzt ist man in der Lage, mögliche Lösungen fürs Problem zu generieren, indem man die gelösten Widersprüche in Betracht ziehe. Davon handelt das nächste Kapitel, in dem man Konzepte generieren wird. Um sie besser darzustellen auch wird man CAD Modelle benutzen.

5 Lösungskonzepte

In diesem Kapitel werden mögliche Lösungen für das Problem vorgestellt. Um sie zu konzipieren wurden sowohl die Ergebnisse der TRIZ Methode in Betracht gezogen als auch Kreativität genutzt, indem die geometrischen Beschränkungen berücksichtigt wurden. Am Anfang wurde eine ziemlich große Zahl von Lösungen generiert, trotzdem wurden sie gefiltert, um diese Anzahl zu reduzieren.

Nach diesem Schritt arbeitet man mit nur **zwei Konzepten**, deren größter Unterschied die Benutzung einer Mauer ist. Jede Lösung ist in CAD dargestellt worden, und für ihr besseres Verständnis werden sie nach verschiedenen Kriterien erklärt –Kinematik, Dynamik und Antriebsystem, u.a.

5.1 Lösung A. Roboter an der Mauer

5.1.1 Beschreibung

Diese Lösung besteht in einem Roboter, der entlang einer Mauer in der x Richtung fortbewegen kann, indem er über zwei Schienen dahingleitet. Die Mauer ist auf dem Bahnsteig aufgebaut, und sie befindet sich exakt in der Mitte der Breite, sodass der Abstand zu den Zügen, die beiderseits sich befinden, das gleiche ist (die Breite des Bahnsteigs ist 130 mm). Außerdem besitzt der Roboter zwei Räder, die sich auf dem Boden aufstützen. Ihr Ziel ist, die Kräfte die entstanden sind auszugleichen.

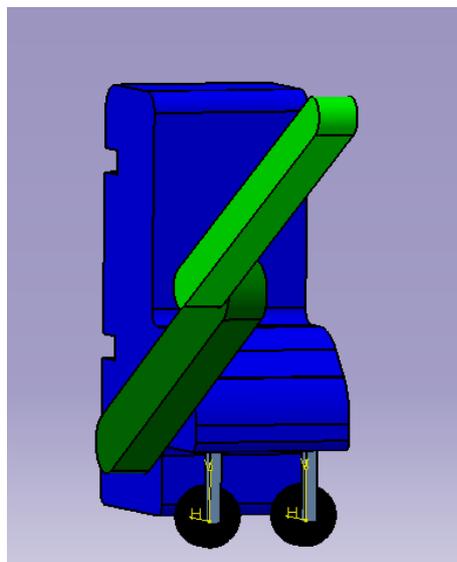


Abbildung 33. Der Roboter (Ferri, 2016)

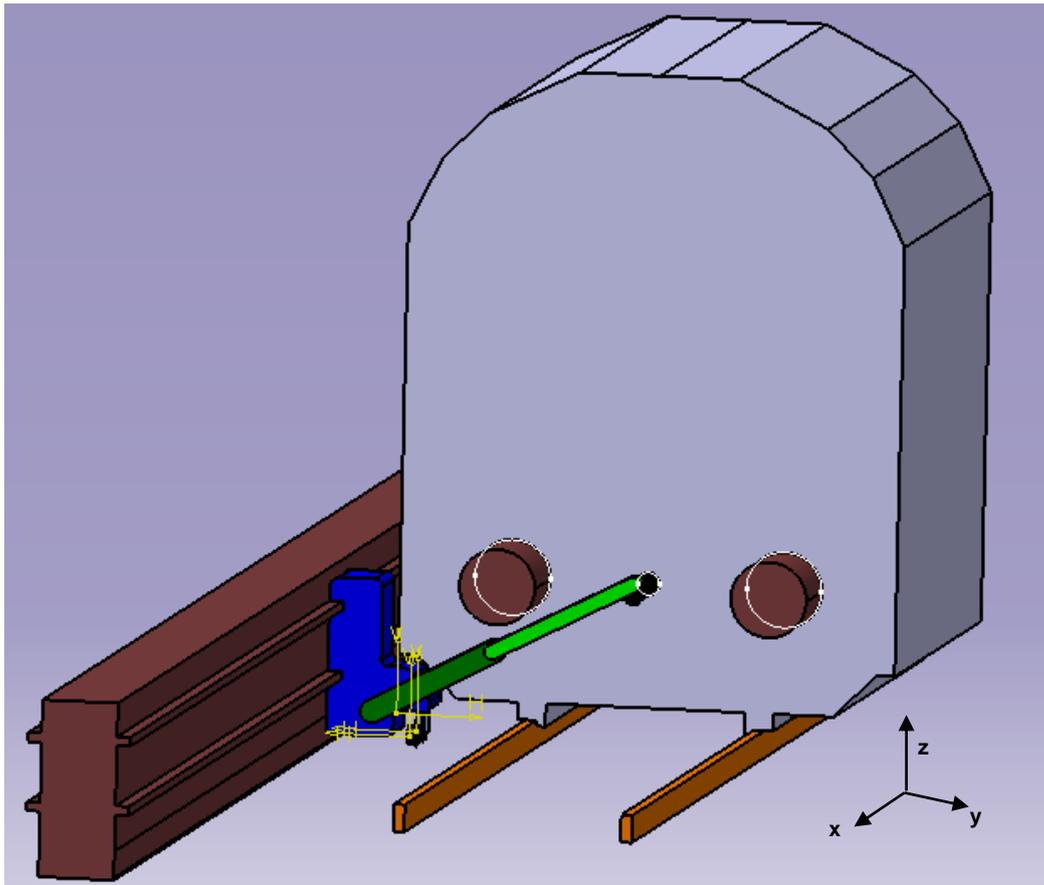


Abbildung 34. Darstellung der Lösung A (Ferri, 2016)

Die Mauer, wie gesagt, befindet sich auf dem Bahnsteig. Der Bahnsteig wird heutzutage von den Mitarbeitern benutzt, um die erforderlichen Aufgaben durchzuführen, deswegen muss es zugänglich sein. Mit dem Aufbau der Mauer könnte diese Bedingung sich nicht erfüllen, falls sie korrekt entworfen nicht wäre. Trotzdem, die Mauer bietet die Gelegenheit, einen Laufsteg auf ihr einzusetzen, durch den die Beschäftigten gehen könnten. Im Folgenden wird dieses Konzept deutlicher analysiert.

5.1.2 Kinematik

Es ist wichtig nachzuweisen, ob die Kinematik des Systems mit der Anlage und mit der Geometrie des Zuges kompatibel ist, sowohl fürs Fortbewegung entlang der Mauer als auch für den Kupplungs- und Entkupplungsvorgang, für alle die möglichen Höhen des Bügels und des Puffers.

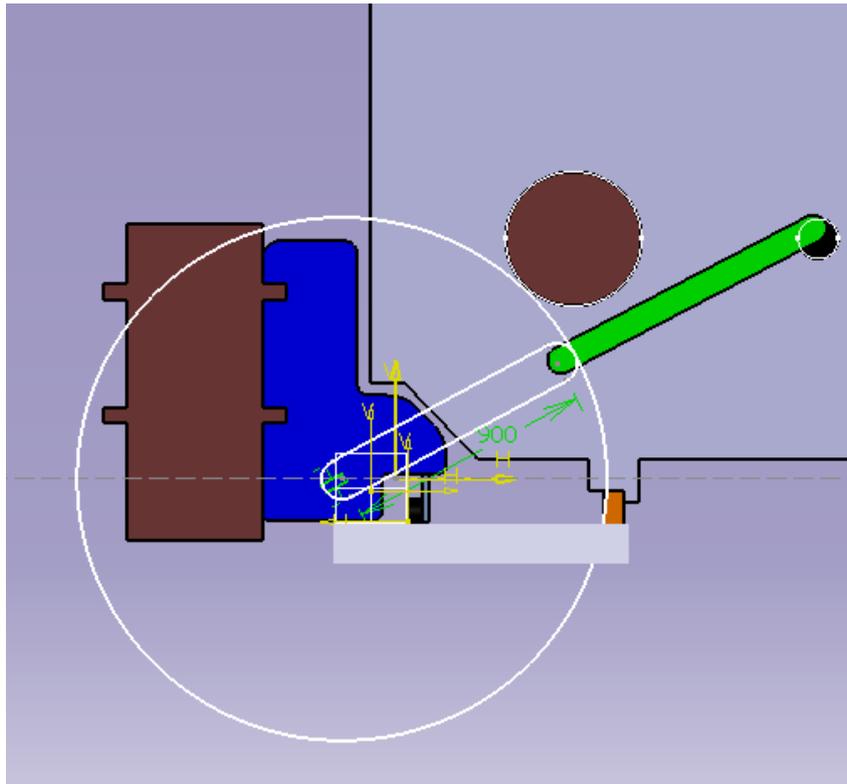


Abbildung 35. Eingenommener Raum des ersten Armes in seiner rotatorischen Bewegung (Ferri, 2016)

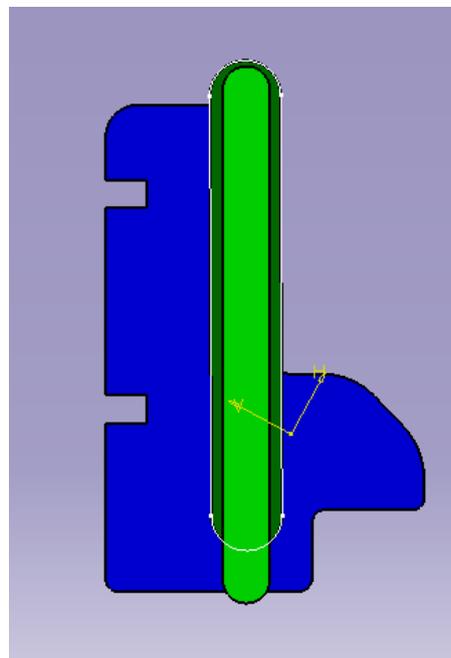


Abbildung 36. Der Roboter gefaltet (Ferri, 2016)

In der Abbildung 35 wurde der Roboter neben dem Zug dargestellt. Das Ziel hier ist, nachzuweisen, ob der erste Arm in seiner rotatorischen Bewegung mit der freizulassenden Raum des Puffers interferiert oder nicht. Dazu wurde der maximale Durchmesser ($D=500\text{mm}$) und die niedrigste Höhe ($H=940\text{mm}$) des Puffers gezeichnet, weil diese die begrenzende Maße sind. Wie man bemerken kann, der Roboter interferiert nicht mit dem Zug. Andererseits kann man in der Abbildung 36 den Roboter gefaltet sehen. Hier nehmen die Arme auch kein Kontakt mit dem Güterwagen auf.

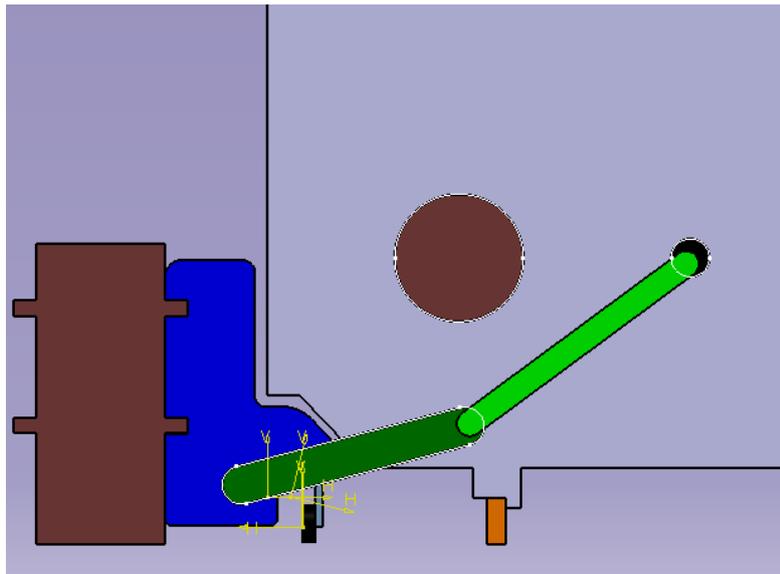


Abbildung 37. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der minimalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016)

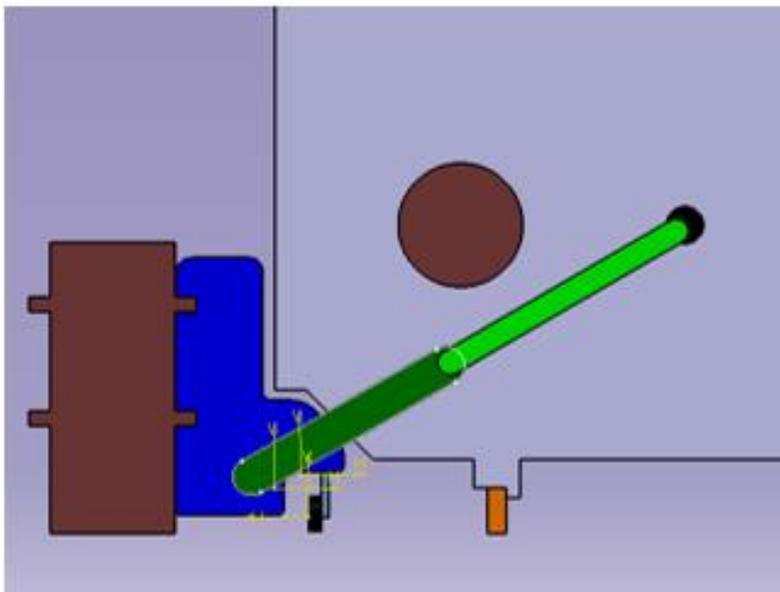


Abbildung 38. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der maximalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016)

Andererseits wird in den Abbildungen 37. und 38. die Positionierung der Arme, wenn der Bügel gegriffen wird, dargestellt. Die Abbildung 37. ist für den Fall der minimalen Höhe des Zuges (940 mm), während die Abbildung 38. für den Fall der maximalen Höhe (1065 mm). Es ist wichtig zu erwähnen, dass es angenommen ist, dass der Greifer den Bügel erreicht und gegriffen hat, wenn der äußerliche Punkt des zweiten Armes in der Position des Zentrums der Kupplungsvorrichtung sich befindet

5.1.3 Dynamikanalyse

Dieser Teil handelt von der Dynamikaspekte des Systems, besonders die gebrauchte Motordrehmoment und Motorleistung in den Drehgelenken. Zum Rechnen der Drehgelenke soll man die von den Motoren mehr fordernden Stellungen der Arme voraussetzen.

5.1.3.1 Obere Drehgelenk

Die schlechteste Stellung dieses Falles geschieht, wenn der obere Arm in einer horizontalen Position steht; d.h., wenn die agierenden Kräfte den höchsten Moment in der Drehgelenk verursachen.

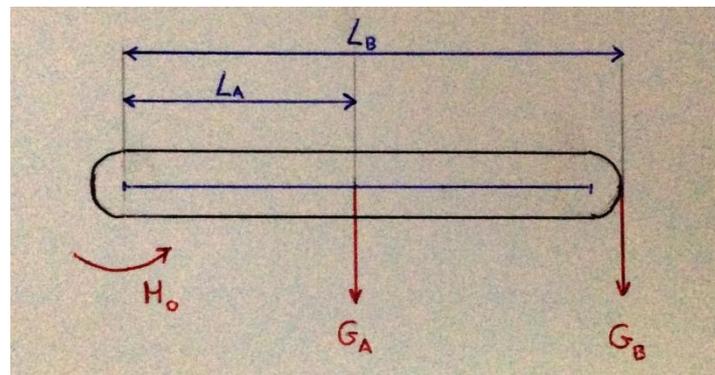


Abbildung 39. Schema der Kräfte im oberen Arm (Ferri, 2016)

Die in der Abbildung erscheinenden Parameter stehen für:

- G_A : eigenes Gewicht des Armes. Wert: 30kg.
- G_B : Gewicht des Bügels. Wert: 80kg.
- L_A : Abstand vom Aufbringungspunkt von G_A bis das Drehgelenk. Wert: 525mm.
- L_B : Abstand vom Aufbringungspunkt von G_B bis das Drehgelenk. Wert: 1150mm.

- M_o : erforderlicher Moment in der Drehgelenk zur Ausglei chung der Kräfte und Bewegung des Armes.

Im Folgenden werden die Rechnungen gemacht:

$$M_o = GAxLA + GBxLB = (30kgx 0,525m + 80kgx 1,15m)x 9,8 \frac{m}{s^2} = 1055,95Nm$$

Dieser ist der Moment, der dafür erforderlich ist, die agierenden Kräfte auszugleichen. Zur rotarischen Bewegung des Armes braucht man einen höheren Moment, wegen der Beschleunigung der Massen und die existierende Reibung. Deshalb ist es ein vernünftiger Wert: $M'_o = 1500Nm$. Außerdem setzt man eine Winkelgeschwindigkeit von $\omega = \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}}$.

$$P_o = M'_o x \omega = 1500Nm x \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}} = 471,23W$$

Man kann schließen, dass ein vernünftiger Wert der Leistung für den Motor in der oberen Drehgelenk $P'_o=500W$ wäre.

5.1.3.2 Untere Drehgelenk

Das Gewicht des unteren Armes ist größer als das Gewicht des oberen Armes. Deshalb geschieht die schlechteste Stellung dieses Falles, wenn der untere Arm nächster zum Boden steht, weil so sein Gewicht einen größeren Drehmoment in der Drehgelenk verursacht. Das Gewicht des Bügels verursacht immer das gleiche Drehmoment, da der horizontale Abstand zwischen die untere Drehgelenk und der Bügel immer dasselbe ist, unabhängig von seine Höhe.

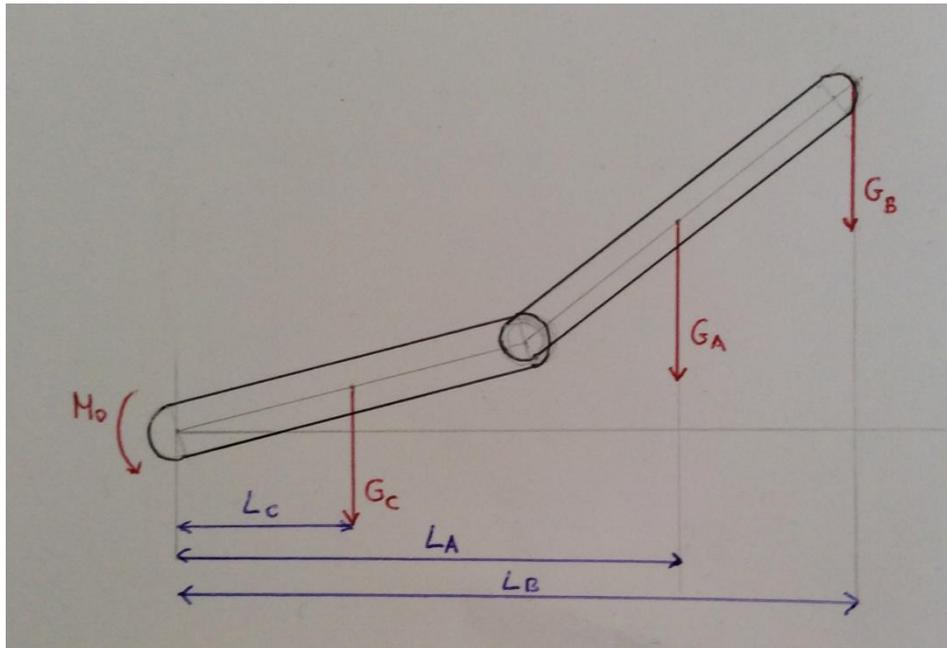


Abbildung 40. Schema der Kräfte, die das untere Drehgelenk beeinflussen (Ferri, 2016)

Die in der Abbildung erscheinenden Parameter stehen für:

- G_A : eigenes Gewicht des oberen Armes. Wert: 30kg.
- G_B : Gewicht des Bügels. Wert: 80kg.
- G_C : eigenes Gewicht des unteren Armes. Wert: 50kg.
- L_A : horizontaler Abstand vom Aufbringungspunkt von G_A bis das untere Drehgelenk. Wert: 1310mm.
- L_B : horizontaler Abstand vom Aufbringungspunkt von G_B bis das untere Drehgelenk. Wert: 1769mm.
- L_C : horizontaler Abstand vom Aufbringungspunkt von G_C bis das untere Drehgelenk. Wert: 435mm.
- M_0 : erforderlicher Moment in der unteren Drehgelenk zur Ausgleichung der Kräfte und Bewegung des Armes.

Im Folgenden werden die Rechnungen gemacht:

$$M_0 = G_A \times L_A + G_B \times L_B + G_C \times L_C = (30 \text{ kg} \times 1,310 \text{ m} + 80 \text{ kg} \times 1,769 \text{ m} + 50 \text{ kg} \times 0,435 \text{ m}) \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1985,19 \text{ Nm}$$

Dieser ist der Moment, der dafür erforderlich ist, die agierenden Kräfte auszugleichen. Zur rotarischen Bewegung des Armes braucht man einen höheren Moment, wegen der

Beschleunigung der Massen und die existierende Reibung. Deshalb ist es ein vernünftiger Wert: $M'_o = 2250\text{Nm}$. Außerdem setzt man eine Winkelgeschwindigkeit von $\omega = \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}}$.

$$P_o = M'_o \omega = 2250\text{Nm} \times \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}} = 706,85\text{W}$$

Man kann schließen, dass ein vernünftiger Wert der Leistung für den Motor in der unteren Drehgelenk $P'_o=800\text{W}$ wäre.

5.1.4 Antriebssystem

Damit der Roboter entlang der Mauer fortbewegen kann ist es ein geeignetes Antriebssystem notwendig. Dafür besitzt die Mauer zwei Schienen an jeder Seite, die dafür gelten. Der Roboter enthält ein System, das sich aus Räder besteht, das auf der Schienen sich aufstützt, und das auf dieser Oberfläche rollen kann. Andererseits muss diese Verbindung zwischen Roboter und Schienen fest sein, sodass der Roboter daraus trennen oder fallen nicht kann. Man kann diese Bedingung dadurch erreichen, dass zwei Rädergruppen eingesetzt werden –oben und unten- und dass die Schienen eine geeignete Form haben. Eine mögliche Lösung ist in der folgenden Abbildung zu sehen:

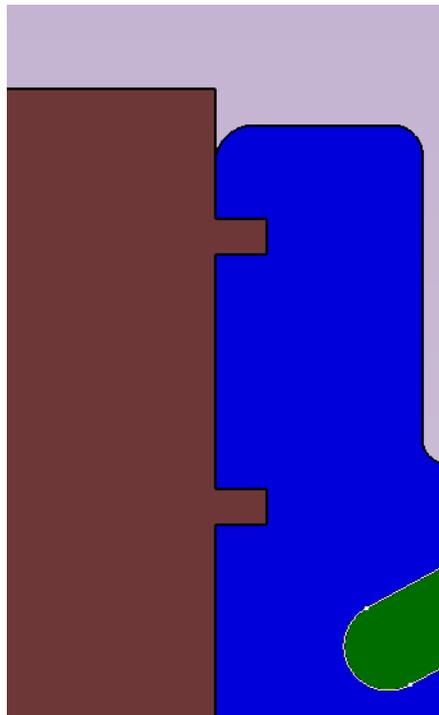


Abbildung 41. Detail der Schienen (Ferri, 2016)

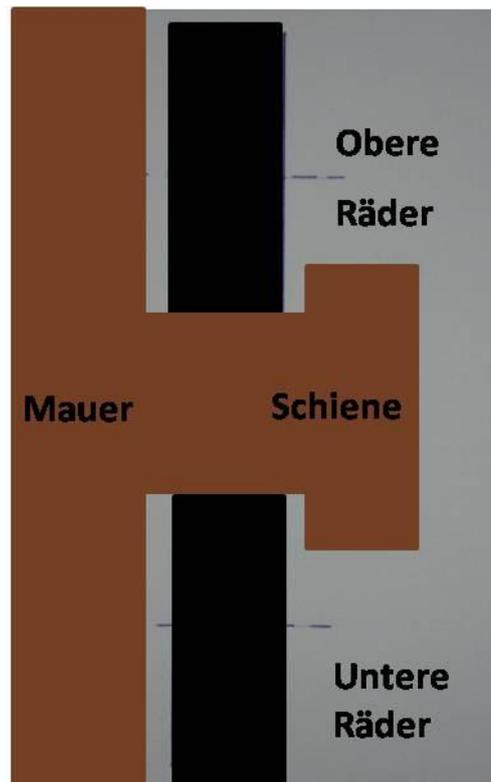


Abbildung 42. Antriebsystem in der Schienen (Ferri, 2016)

5.2 Lösung B. Roboter auf dem Boden

5.2.1 Beschreibung

Diese Lösung besteht in einem Roboter, der über zwei Schienen in der x Richtung dahingeleitet werden kann. Die Schienen befinden sich auf dem Boden, neben dem Zug, und sind IPE 100 Profile (Höhe 100mm), auf denen der Roboter rollen kann. Andererseits, wenn der Roboter den Kupplungsvorgang durchführen muss, greift er beide Schienen, damit die entstandenen Kräfte ausgeglichen werden können. Zuletzt, besitzen diese Schienen eine elektrische Leitung, wodurch der Roboter sich aufladen kann. Im Folgenden wird dieses Konzept deutlicher analysiert.

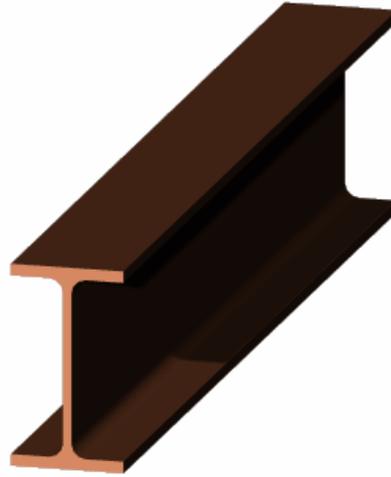


Abbildung 43. IPE 100 (Traceparts)

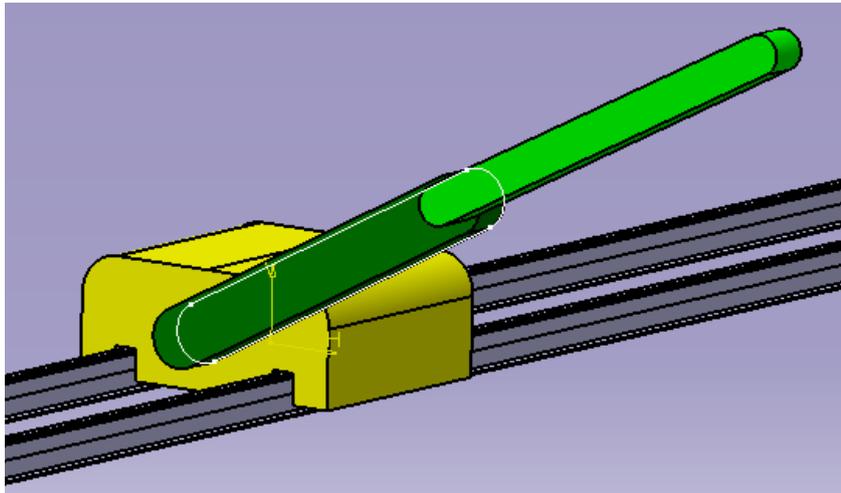


Abbildung 44. Der Roboter (Ferri, 2016)

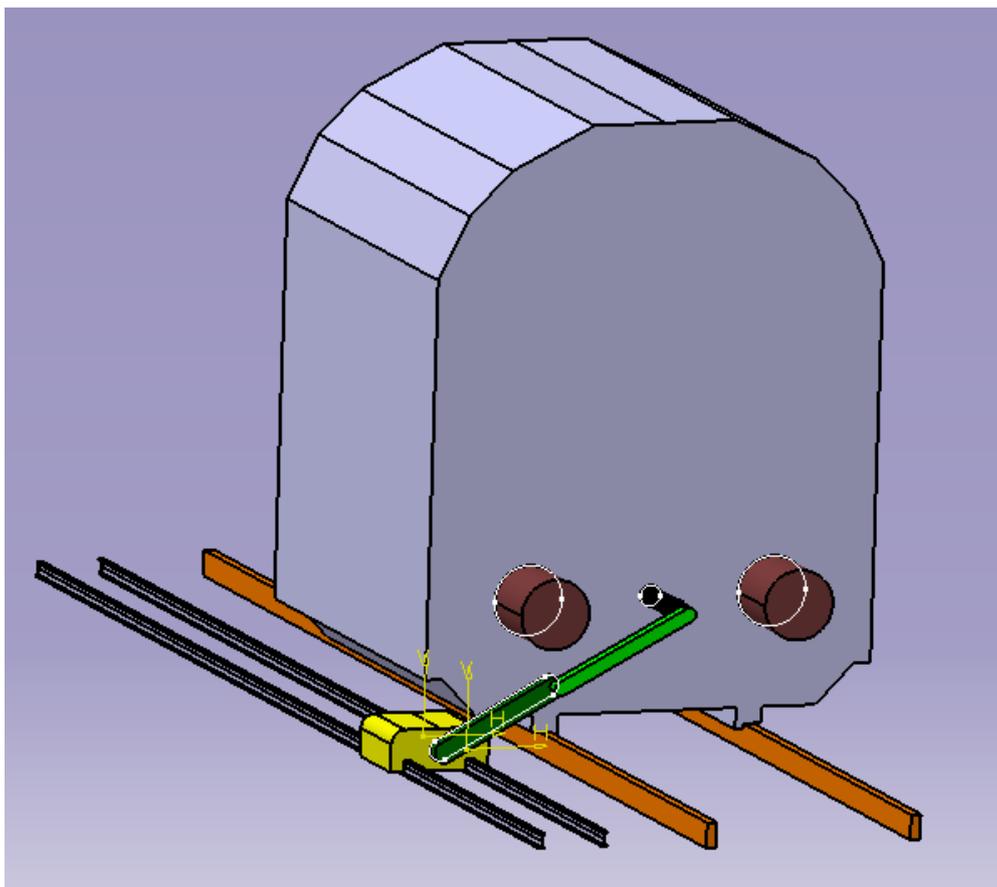


Abbildung 45. Darstellung der Lösung B (Ferri, 2016)

5.2.2 Kinematik

Wie bei der Lösung A, auch hier muss man überprüfen, dass die Kinematik des Systems mit der Anlage und mit der Geometrie des Zuges kompatibel ist, sowohl fürs Fortbewegung entlang der Mauer als auch für den Kupplungs- und Entkupplungsvorgang, für alle die möglichen Höhen des Bügels und des Puffers.

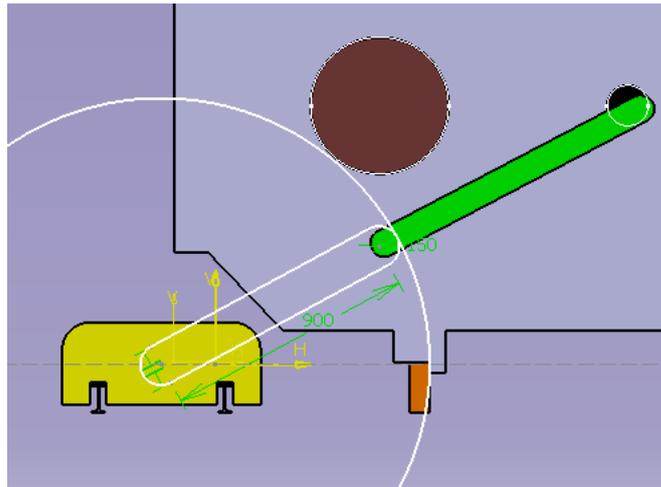


Abbildung 46. Eingenommener Raum des ersten Armes in seiner rotatorischen Bewegung (Ferri, 2016)

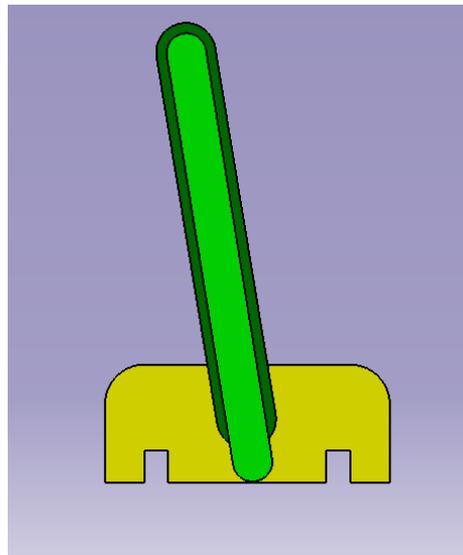


Abbildung 47. Der Roboter gefaltet (Ferri, 2016)

In der Abbildung 46 wurde der Roboter neben dem Zug dargestellt. Das Ziel hier ist, nachzuweisen, ob der erste Arm in seiner rotatorischen Bewegung mit dem freizulassenden Raum des Puffers interferiert oder nicht. Dazu wurde der maximale Durchmesser ($D=500\text{mm}$) und die niedrigste Höhe ($H=940\text{mm}$) des Puffers gezeichnet, weil diese die begrenzenden Maße sind. Wie man bemerken kann, der Roboter interferiert nicht mit dem Zug. Andererseits kann man in der Abbildung 47 den Roboter gefaltet sehen. Hier nehmen die Arme auch kein Kontakt mit dem Güterwagen auf.

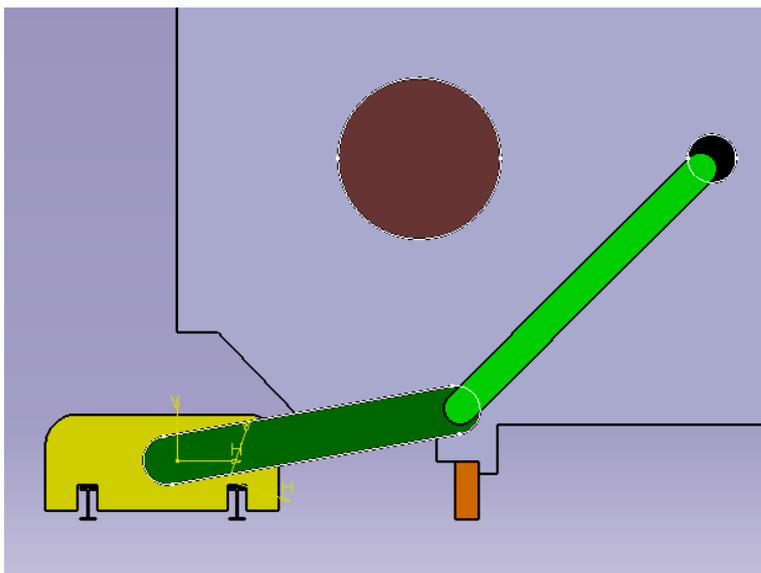


Abbildung 48. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der minimalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016)

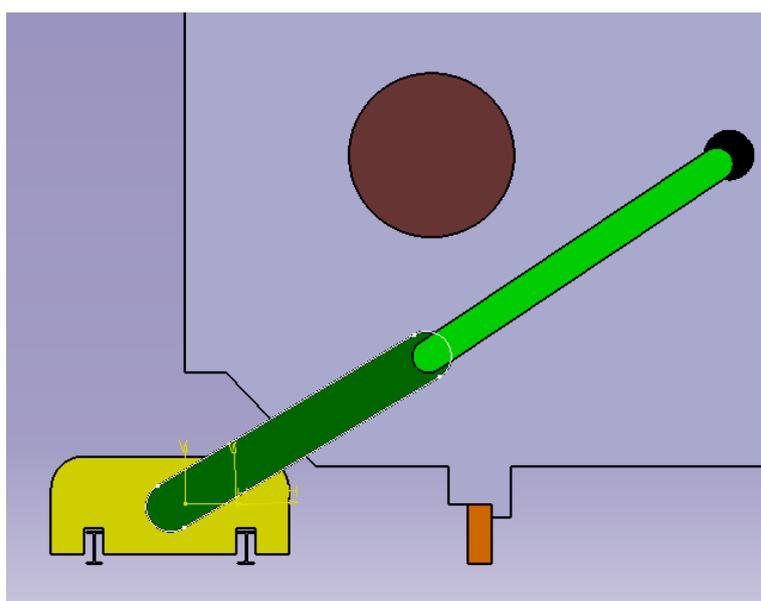


Abbildung 49. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der maximalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016)

Andererseits wird in den Abbildungen 48. und 49. die Positionierung der Arme, wenn der Biegel gegriffen wird, dargestellt. Die Abbildung 48. ist für den Fall der minimalen Höhe des Zuges (940 mm), während die Abbildung 49. für den Fall der maximalen Höhe (1065 mm). Es ist wichtig zu erwähnen, dass es angenommen ist, dass der Greifer den Biegel erreicht und gegriffen hat, wenn der äußerliche Punkt des zweiten Armes in der Position des Zentrums der Kupplungsvorrichtung sich befindet.

5.2.3 Dynamikanalyse

Dieser Teil handelt von der Dynamikaspekte des Systems, besonders die gebrauchte Motordrehmoment und Motorleistung in den Drehgelenken. Zum Rechnen der Drehgelenke soll man die von den Motoren mehr fordernden Stellungen der Arme voraussetzen.

5.2.3.1 Obere Drehgelenk

Die schlechteste Stellung dieses Falles geschieht, wenn der obere Arm in einer horizontalen Position steht; d.h., wenn die agierenden Kräfte den höchsten Moment in der Drehgelenk verursachen.

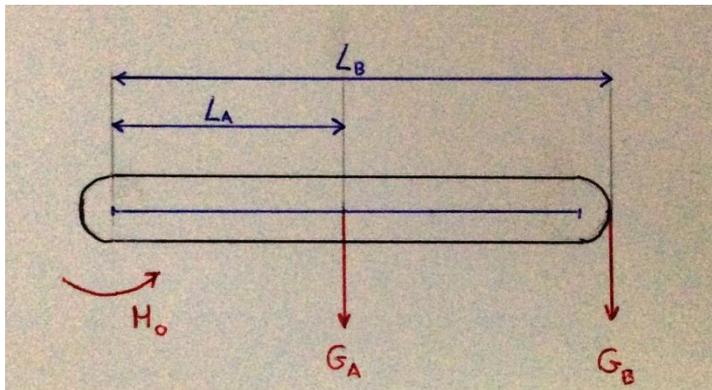


Abbildung 50. Schema der Kräfte im oberen Arm (Ferri, 2016)

Die in der Abbildung erscheinenden Parameter stehen für:

- G_A : eigenes Gewicht des Armes. Wert: 30kg.
- G_B : Gewicht des Bügels. Wert: 80kg.
- L_A : Abstand vom Aufbringungspunkt von G_A bis das Drehgelenk. Wert: 525mm.
- L_B : Abstand vom Aufbringungspunkt von G_B bis das Drehgelenk. Wert: 1100mm.
- M_o : erforderlicher Moment in der Drehgelenk zur Ausgleichung der Kräfte und Bewegung des Armes.

Im Folgenden werden die Rechnungen gemacht:

$$M_o = G_A \times L_A + G_B \times L_B = (30 \text{ kg} \times 0,525 \text{ m} + 80 \text{ kg} \times 1,1 \text{ m}) \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1016,75 \text{ Nm}$$

Dieser ist der Moment, der dafür erforderlich ist, die agierenden Kräfte auszugleichen. Zur rotatorischen Bewegung des Armes braucht man einen höheren Moment, wegen der Beschleunigung der Massen und die existierende Reibung. Deshalb ist es ein vernünftiger Wert: $M'_o = 1500\text{Nm}$. Außerdem setzt man eine Winkelgeschwindigkeit von $\omega = \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}}$.

$$P_o = M'_o \omega = 1500\text{Nm} \times \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}} = 471,23\text{W}$$

Man kann schließen, dass ein vernünftiger Wert der Leistung für den Motor in der oberen Drehgelenk $P'_o=500\text{W}$ wäre.

5.2.3.2 Untere Drehgelenk

Das Gewicht des unteren Armes ist größer als das Gewicht des oberen Armes. Deshalb geschieht die schlechteste Stellung dieses Falles, wenn der untere Arm nächster zum Boden steht, weil so sein Gewicht einen größeren Drehmoment in der Drehgelenk verursacht. Das Gewicht des Bügels verursacht immer das gleiche Drehmoment, da der horizontale Abstand zwischen die untere Drehgelenk und der Bügel immer dasselbe ist, unabhängig von seine Höhe.

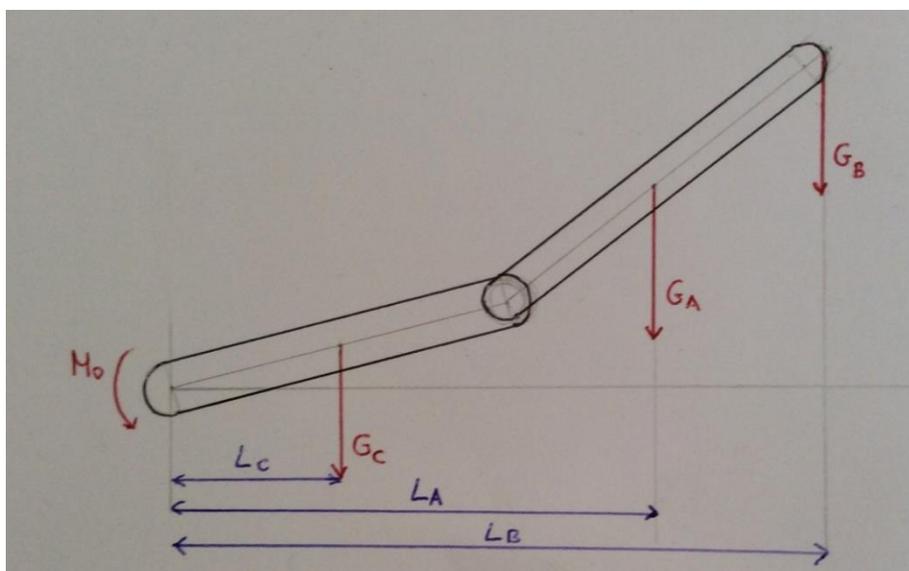


Abbildung 51. Schema der Kräfte, die das untere Drehgelenk beeinflussen (Ferri, 2016)

Die in der Abbildung erscheinenden Parameter stehen für:

- G_A : eigenes Gewicht des oberen Armes. Wert: 30kg.
- G_B : Gewicht des Bügels. Wert: 80kg.

- **G_C**: eigenes Gewicht des unteren Armes. Wert: 50kg.
- **L_A**: horizontaler Abstand vom Aufbringungspunkt von G_A bis das untere Drehgelenk. Wert: 1268mm.
- **L_B**: horizontaler Abstand vom Aufbringungspunkt von G_B bis das untere Drehgelenk. Wert: 1673mm.
- **L_C**: horizontaler Abstand vom Aufbringungspunkt von G_B bis das untere Drehgelenk. Wert: 449mm.
- **M_O**: erforderlicher Moment in der unteren Drehgelenk zur Ausgleicheung der Kräfte und Bewegung des Armes.

Im Folgenden werden die Rechnungen gemacht:

$$M_O = G_A \times L_A + G_B \times L_B + G_C \times L_C = (30 \text{kg} \times 1,268 \text{m} + 80 \text{kg} \times 1,673 \text{m} + 50 \text{kg} \times 0,449 \text{m}) \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1904,43 \text{Nm}$$

Dieser ist der Moment, der dafür erforderlich ist, die agierenden Kräfte auszugleichen. Zur rotatorischen Bewegung des Armes braucht man einen höheren Moment, wegen der Beschleunigung der Massen und die existierende Reibung. Deshalb ist es ein vernünftiger Wert: $M'_O = 2250 \text{Nm}$. Außerdem setzt man eine Winkelgeschwindigkeit von $\omega = \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}}$.

$$P_O = M'_O \times \omega = 2250 \text{Nm} \times \frac{\pi \text{ rad}}{10 \text{ s}} = 706,85 \text{W}$$

Man kann schließen, dass ein vernünftiger Wert der Leistung für den Motor in der unteren Drehgelenk $P'_O = 800 \text{W}$ wäre.

5.2.4 Antriebsystem

Damit der Roboter entlang der Mauer fortbewegen kann ist es ein geeignetes Antriebsystem notwendig. Dafür gibt es am Boden zwei Schienen. Der Roboter enthält ein System, das sich aus Räder besteht und auf der Schienen sich aufstützt, und das auf der Oberen Oberfläche rollen kann.

Andererseits muss diese Verbindung zwischen Roboter und Schienen fest sein, sodass der Roboter daraus trennen oder fallen nicht kann. Man kann diese Bedingung dadurch erreichen, dass unter der Schiene einige Räder eingesetzt werden, die gegen die Schiene

drücken. Außerdem berücksichtigt man die Möglichkeit, eine elektrische Leitung mit den Schienen zu platzieren, die dazu dienen würden, den Roboter aufzuladen. Die Folge wären ein kleineres Gewicht des Roboters (kleinere Batterie) und, deswegen, eine höhere mögliche Geschwindigkeit entlang der Schienen.

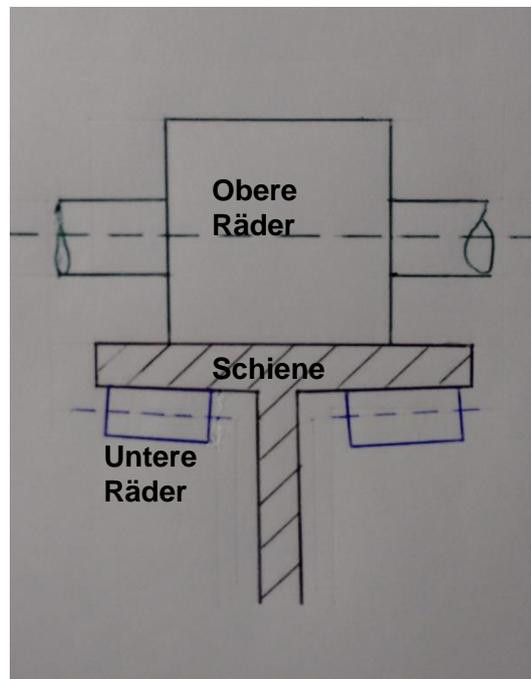


Abbildung 52. Antriebsystem (Ferri, 2016)

5.3 Andere Lösungen

Man kann auch an andere Konzepte denken, in denen schon existierende Roboter angewendet werden, obwohl diese Lösungen nicht berücksichtigt werden werden. Wie im *Stand der Technik* gesagt, die geeignetste Roboterarten sind der Horizontal-Knickarmroboter (SCARA) und der Vertikal-Knickarmroboter, da die Bewegung des Endeffektors komplex genügend ist für einen Kartesischer Roboter oder für einen Parallel-Kinematiken.

5.3.1 Vertikal-Knickarmroboter

Dank seine Bewegungsmöglichkeiten und Freiheitsgrad hat dieser Roboterart den Vorteil, den ganzen Kupplungsvorgang durchzuführen. Das heißt, dass sowohl das Hängen des

Bügels als auch das Straffen der Verbindung gemacht werden könnten. Im Folgenden wird eine Abbildung vorgestellt, in der eine Skizze dieses Roboters ist.

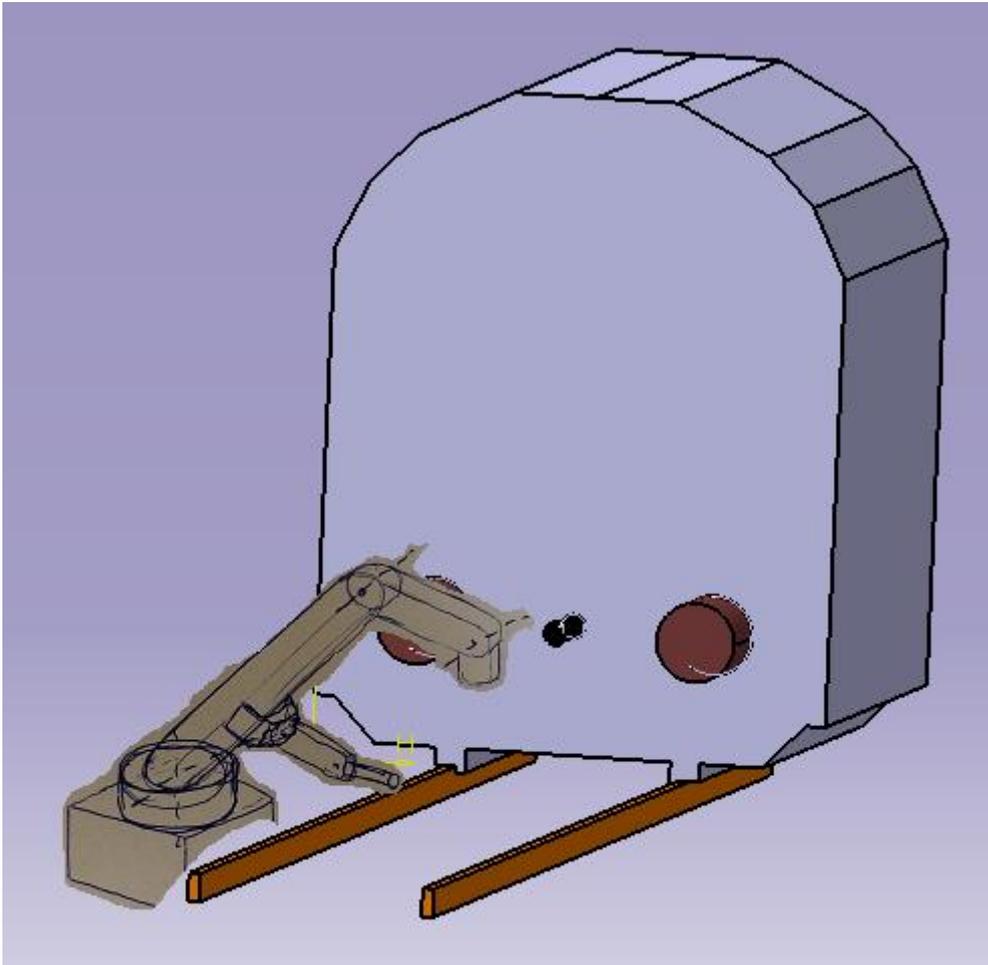


Abbildung 53. Lösung mit einem Vertikal-Knickarmroboter (Ferri, 2016)

Offensichtlich sollte dieses System angepasst werden. Zuerst, damit es alle die erforderliche Bewegungen machen könnte. Zweitens, damit es die Möglichkeit hätte, entlang des Bahnsteigs fortzubewegen.

5.3.2 Horizontal-Knickarmroboter

Auch ein Horizontal-Knickarmroboter bzw. SCARA Roboter könnte diese Aufgabe machen, indem er das Gewicht des Bügels aufstützen könnte und indem die Puffer, die im Arbeitsraum unweigerlich sich befinden, ihn nicht behindern. Dieser Roboter hat trotzdem den Nachteil, dass nur für die Aufgabe des Hängens nutzbar ist, wegen sein Freiheitsgrad

und Bewegungsmöglichkeiten des Endeffektors. Ein Beispiel dieses Artes wird im Folgenden dargestellt.



Abbildung 54. Kleiner SCARA Roboter (Adept, 2016)

6 Produktbewertung

In diesem Kapitel werden die entwickelten Gesamtkonzepte einer kritischen Betrachtung unterzogen. Dafür werden einige Werkzeuge benutzt werden, die untereinander zusammenpassend sind, um beide Lösungen analysieren zu können. Das erste Werkzeug heißt SWOT, und beschäftigt sich damit, die Vorteile und Nachteile jedes Konzeptes zu entdecken. Zweitens kommt die Nutzwertanalyse, die dazu dient, sich für eine bestimmte Lösung zu entscheiden, indem ein analytisches Verfahren angewendet wird.

6.1 SWOT

Die SWOT-Analyse ist ein Werkzeug der strategischen Planung, und ihr Name ist ein englisches Akronym, das „*strengths, weaknesses, opportunities, and threats*“ bedeutet. Diese Methode dient dazu, strategische Entscheidungen, die auf ein Projekt oder eine Unternehmen einwirken, zu treffen. Das größte Ziel dieser Methode ist, indem man auf den eigenen Stärken und Schwächen basiert, die richtige Entscheidungen zur Nutzung der entdeckten Gelegenheiten zu treffen zu helfen. Gleichzeitig werden die Bedrohungen, die das Projekt stören können, berücksichtigt (Guía de la calidad, 2016).

In diesem Fall dient die SWOT-Methode dazu, aus den zwei Ideen die beste auszuwählen. Beide Konzepte werden nach den vier Kriterien analysiert -Stärke, Schwächen, Chancen und Bedrohungen-. Nach diesem Schritt wird eine Bewertung unter Beiden durchgeführt, mit der es einfacher sein wird, eine einzige Lösung auszuwählen, was das Endziel dieser Masterarbeit ist.

6.1.1 Analyse der Lösung A

6.1.1.1 Stärke

- Sicherere Energieversorgung.
- Bessere Stabilität des Roboters.
- Besseres Kraftgleichgewicht.

6.1.1.2 Schwäche

- Notwendigkeit, eine Mauer aufzubauen.
- Unmöglichkeit, dass die Mitarbeitern durch den Bahnsteig gehen können; vielleicht, möglich auf der Mauer.
- Nicht so einfacher Antrieb.

6.1.1.3 Chancen

- Ihre Einführung könnte den Anfang davon bedeuten, den ganzen Kupplungsvorgang zu automatisieren, da diese Lösung die Möglichkeit sich noch zu entwickeln hat.

6.1.1.4 Bedrohungen

- Die Anwesenheit der Mauer könnte die Benutzung der Rangierbahnhöfe komplett verändern, was ein Risiko bringen kann.
- Die Einführung des Systems könnte teuer sein.

6.1.2 Analyse der Lösung B

6.1.2.1 Stärke

- Einfacher Antrieb.
- Einfacher Aufbau der Anlage.

6.1.2.2 Schwäche

- Schlechtere oder nicht vorhandene Energieversorgung.
- Schlechteres Kraftgleichgewicht.

6.1.2.3 Chancen

- Wie bei der vorherigen Lösung, ihre Einführung könnte den Anfang davon bedeuten, den ganzen Kupplungsvorgang zu automatisieren, da diese Lösung die Möglichkeit sich noch zu entwickeln hat.

6.1.2.4 Bedrohungen

- Die Anwesenheit der Schienen könnte die Benutzung der Rangierbahnhöfe komplett verändern, was ein Risiko bringen kann.
- Die Anwesenheit der Schienen könnte den Zugang der Mitarbeiter behindern.
- Die Einführung des Systems könnte teuer sein. Trotzdem, billigerer als das Aufbau einer Mauer.

6.1.3 Zusammenfassung der SWOT Methode

Im Folgenden wird eine Zusammenfassung der Stärke und Schwäche vorgestellt.

Eigenschaft	Lösung A (Mauer)	Lösung B (Boden)
Elektrische Versorgung	✓	
Stabilität und Kraftgleichgewicht	✓	
Anlageanpassung		✓
Zugänglichkeit	?	?
Antrieb		✓
Preis		✓

Tabelle 5. Vergleichung von den Stärken und Schwächen

6.2 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist eine Methodik, die die Entscheidungsfindung bei komplexen Problemen rational unterstützen soll. Sie unterstützt die Auswahl von Entscheidungsalternativen unter Sicherheit, indem einen Nutzwert genutzt wird. Dieser Wert wird als Summe der nach ihrer Relevanz gewichteten Teilnutzwerte berechnet. Diese Teilnutzwerte darstellen die Geeignetheit einer bestimmten Alternative um ein Ziel des Bewertenden zu erfüllen (Bensberg, 2014). Die erforderlichen Werte sind wie folgt gerechnet:

$$N_i = \sum_{z=1}^r n_{iz} g_z \quad \text{mit} \quad \sum_{z=1}^r g_z = 1$$

Symbole

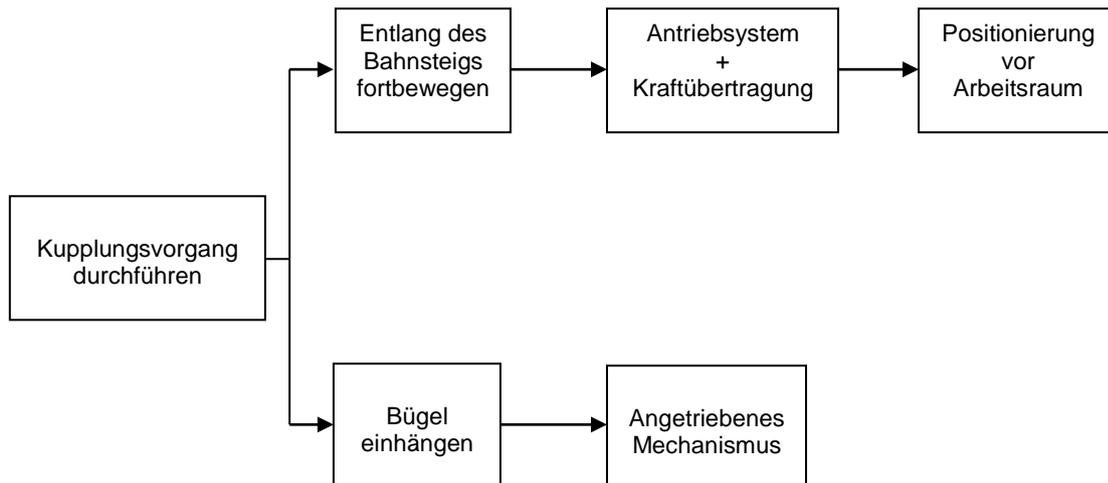
N_i	Nutzwert der Alternative i
n_{iz}	Teilnutzwert der Alternative i in Bezug auf das Kriterium z
g_z	Gewicht des Kriteriums z

Abbildung 55. Symbole der Methode (Bensberg, 2014)

Der Teilnutzwert der Alternative stellt wie gut diese Alternative nach diesem Kriterium ist dar, während das Gewicht des Kriteriums die Wichtigkeit dieser Eigenschaft festlegt. Andererseits besteht die Vorgehensweise dieser Methode aus den nächsten Schritten: Definition des Zieles, Definition der Kriterienausprägungen, Gewichtung der Kriterien und Bewertung der Alternativen (Jansen, 2014).

6.2.1 Definition des Zieles

Zuerst muss man das **Ziel** definieren, was seit dem Anfang schon bekannt ist: welcher Roboter für die Automatisierung des Kupplungsvorgangsgeeigneter ist. Diese Definition wäre genug für diesen Fall, trotzdem, falls es eine detailliertere Erklärung des Zwecks gebraucht wäre, könnte man ein Kriterienbaum bauen. Das wurde schon in dieser Arbeit benutzt, mit dem Name *FAST Diagramm*, und es sieht wie folgt aus (Jansen, 2014).



6.2.2 Definition der Kriterienausprägungen

Zweitens werden die **Kriterienausprägungen** definiert, d.h., nach welchen Kriterien wird die Entscheidung getroffen werden. Für diesen Zweck kann man die in der oberen Tabelle 5erwähnten Eigenschaften der Roboter benutzen, die für beide Alternativen verschieden sind (Jansen, 2014):

- Elektrische Versorgung
- Stabilität und Kraftgleichgewicht
- Anlageanpassung
- Zugänglichkeit
- Antrieb
- Preis

6.2.3 Gewichtung der Kriterien

Drittens muss man die **Gewichtung** der letzten Kriterien festlegen, nach seine Wichtigkeit in Bezug auf das Problem. Das wichtigste in diesem Automatisierungsprozess ist, dass der Roboter die Aufgabe des Hängens durchführen kann. Deshalb scheinen die *Stabilität und Kraftgleichgewicht* und die *Zugänglichkeit* wichtigere Kriterien zu sein. Andererseits ist der wirtschaftliche Aspekt auch wesentlich, deswegen könnten die Eigenschaften *Anlageanpassung* und *Preis* eine zweite Position nehmen. Die anderen Kriterien sind folglich die wenig Wichtigten. Die Gewichtungen werden 25%, 15% und 10% sein (Jansen, 2014).

6.2.4 Bewertung der Alternativen

Der vierte Schritt ist die **Bewertung der Alternativen**. Dafür wird eine Tabelle, in der die Gewichtungen angewendet sind, benutzt. Vorher muss man die Eigenschaften der Alternativen bewertet haben, in einer Skala von 0 bis 10 (Jansen, 2014).. Im Folgenden wird die Tabelle präsentiert:

Bewertungskriterien	Kriteriengewicht	Lösung A		Lösung B	
		Ungewichtet	Gewichtet	Ungewichtet	Gewichtet
Stabilität und Kraftgleichgewicht	0,25	9	2,25	7	1,75
Zugänglichkeit	0,25	9	2,25	7	1,75
Anlageanpassung	0,15	7	1,05	9	1,35
Preis	0,15	6	0,9	8	1,2
Antrieb	0,10	7	0,7	9	0,9
Elektrische Versorgung	0,10	9	0,9	6	0,6
Summe	1	47	8,05	46	7,55

Tabelle 6. Tabelle für die Anwendung der Nutzwertanalyse (FH-Karlsruhe)

6.3 Darstellung des Ergebnisses und Entscheidung

Zuletzt kommt die Darstellung des Ergebnisses und die Entscheidung, die nach der oben vorstellten Tabelle getroffen wird. Wie man sehen kann, die Lösung A hat eine höhere Note bekommen, im Vergleich zu der anderen Lösung. Deshalb ist man in der Lage, sich für die **Lösung A** zu entscheiden, da sie eine geeignetere Lösung ist.

	Punktsumme	Nutzwert
Lösung A	47	8,05
Lösung B	46	7,55

Tabelle 7. Ergebnisse der Nutzwertanalyse

Die ausgewählte Lösung, die Lösung A, ist die geeignetere aus verschiedenen Gründen. Zuerst hat sie eine höhere Stabilität, wegen ihrer verschiedenen Stützen, mit denen auch die Kräfte besser ausgeglichen werden können. Zweitens ermöglicht sie eine einfachere Zugänglichkeit für die Mitarbeiter, da auf der Mauer einen Laufsteg gebaut werden kann. Drittens ist die elektrische Versorgung der Maschine einfacher einzusetzen, da die Kabel innerhalb der Mauer platziert werden können. Dieses Konzept hat auch Nachteile im Vergleich zu der Lösung B, trotzdem im Allgemeinen bietet sie bessere Merkmale.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Diese Arbeit handelt davon, eine mechatronische Vorrichtung bzw. einen Roboter zu entwerfen, der ein automatisches Ein- und Aushängen des Bügels in den Zughaken des gegenüberstehenden Fahrzeugs durchführen kann. Die entwickelte Lösung kann diese Aufgabe erfüllen, indem sie die angegangenen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Außerdem werden die drei Nachteile des manuellen Kupplungsvorgang entfernt: jetzt ist der Prozess schneller, bedürft weniger Personalaufwand und, dank der Zugänglichkeit auf der Mauer, gibt es auch kein Risiko für die Mitarbeiter. Die vollständige Automatisierung des Kupplungsvorgangs ist an dieser Stelle trotzdem noch nicht abgeschlossen. Wie gesagt, diese Arbeit hat sich nur damit beschäftigt, die Aufgabe des Hängens zu automatisieren. Noch sollte man eine Vorrichtung zum Zu- bzw. Aufdrehen der Kupplungsspindel, zum Straffen der Verbindung, entwickeln.

Nachdem am Anfang der Arbeit das Problem eingeleitet wurde, wurde es im Kapitel 2 von den Grundlagen und Rahmenbedingungen gehandelt, die für die Konzipierung und Entwicklung des Systems wichtig waren. Im Kapitel 3 hat man den Stand der Technik erklärt, was wichtig dazu ist, die auf diesem Gebiet gemachten technischen Fortschritte besser kennenzulernen und den Ausgangspunkt der Arbeit festzulegen. Danach im Kapitel 4 wurde es untersucht, wie man Ideen generieren kann, um ein bestimmtes Problem lösen zu können. Nach dieser Untersuchung hat man die Entscheidung getroffen, die TRIZ Methode dafür zu benutzen, wegen ihrer Geeignetheit in diesem Fall. Infolge wurden einige Ideen konzipiert, die im Kapitel 5 entwickelt und besser erklärt und dargestellt wurden. Zuletzt im Kapitel 6 musste man sich zu einer einzigen Lösung entschließen, wofür analytischen Werkzeuge benutzt wurden, indem die Stärken und Schwächen des Systems herausgearbeitet wurden. Damit konnte man das Ziel dieser Masterarbeit erreichen.

Die ausgewählte Lösung, die Lösung A, wie vorher gesagt, ist die geeignetere aus verschiedenen Gründen. Zuerst hat sie eine höhere Stabilität, wegen ihrer verschiedenen Stützen, mit denen auch die Kräfte besser ausgeglichen werden können. Zweitens ermöglicht sie eine einfachere Zugänglichkeit für die Mitarbeiter, da auf der Mauer einen Laufsteg gebaut werden kann. Drittens ist die elektrische Versorgung der Maschine einfacher einzusetzen, da die Kabel innerhalb der Mauer platziert werden können. Dieses Konzept hat auch Nachteilen im Vergleich zu der Lösung B, trotzdem im Allgemeinen bietet sie bessere Merkmale.

7.2 Ausblick

In diesem Teil wird es darüber nachgedacht, wie das ausgewählte Konzept weiter entwickelt werden könnte. Das in dieser Masterarbeit erarbeitet ist nur der Anfang eines kreativen Prozesses, und das bekommenes Ergebnis keine große Genauigkeit besitzt. Das Ziel hier war, mit einer möglichen Idee zu versorgen, und die gemachten CAD Darstellungen hatten nur den Zweck, diese Idee besser zu erklären, indem fast ausschließlich die geometrischen Rahmenbedingungen in Betracht gezogen wurden. Um das Produkt weiter zu entwickeln kann man das von der Richtlinie VDI 2221 empfohlene Schema folgen, das im Folgenden vorgestellt wird (VDI2221).

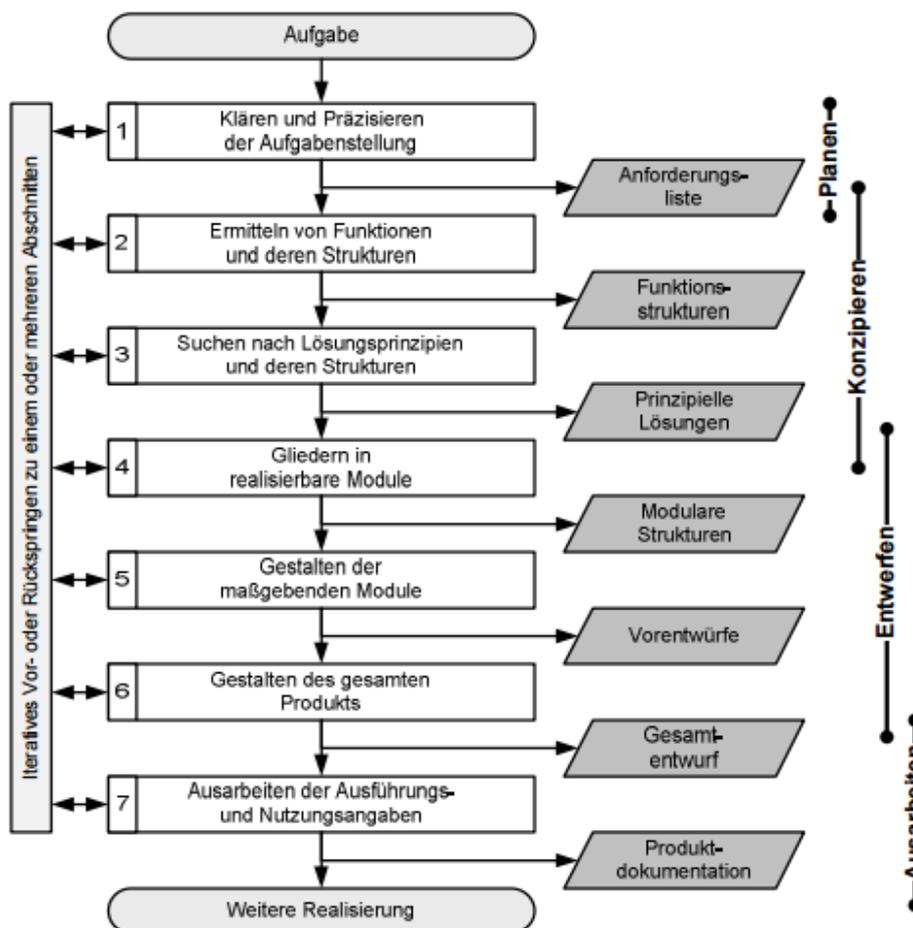


Abbildung 56. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI2221)

In dieser Arbeit hat man sich mit den Phasen des **Planens** und des **Konzipierens** beschäftigt, und fast die vier ersten Punkte wurden erreicht. Die Phase des Planens besteht darin, die Aufgabenstellung zu klären; das Konzipieren besteht darin, das Konzept zu entwickeln. In dieser Masterarbeit hat man an die prinzipiellen Lösungen gedacht, und

die generierten Konzepte wurden in CAD mit ihren Modulen und Elementen dargestellt. Trotzdem sind diese Bestandteile nicht genau genug und definitiv.

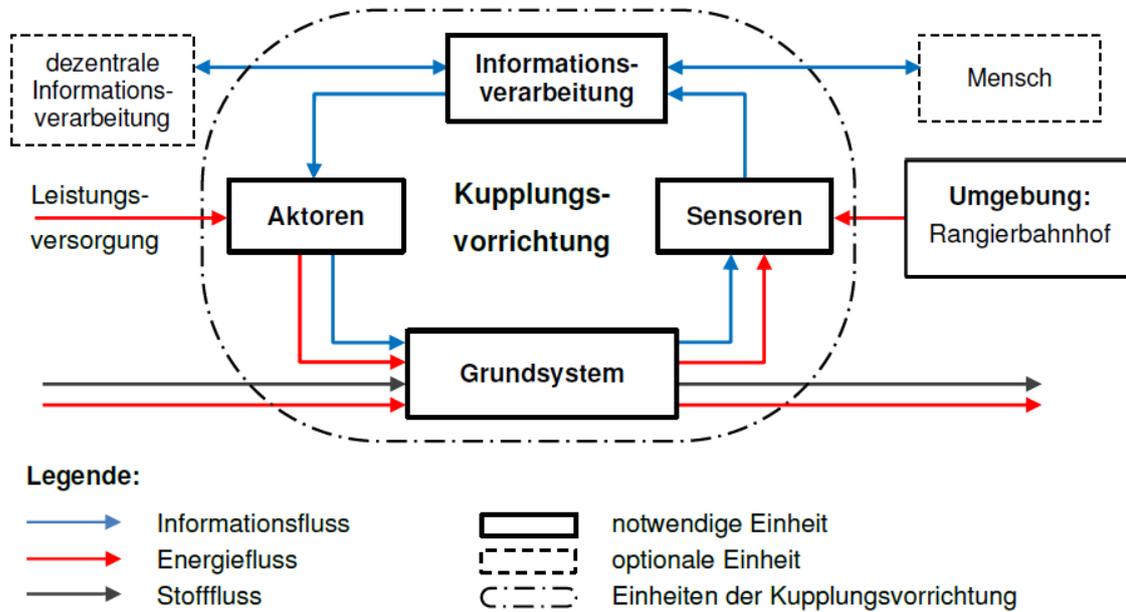
Konstruktionsphasen	Aufgaben und Ergebnisse	Beispiel: Reitstockpinole									
Planen	Anforderungen festlegen ... <u>Anforderungsliste</u>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Anforderungsliste</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Handkraft F_H</td> <td>200 N</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Axialkraft für Werkstückgewicht zwischen den Spitzen von</td> <td>5000 kg</td> </tr> </table>	Anforderungsliste			F	Handkraft F_H	200 N	F	Axialkraft für Werkstückgewicht zwischen den Spitzen von	5000 kg
Anforderungsliste											
F	Handkraft F_H	200 N									
F	Axialkraft für Werkstückgewicht zwischen den Spitzen von	5000 kg									
Konzipieren	Funktion festlegen ... <u>Funktionsstruktur</u>										
	Physikalische Prinzipien festlegen . . . <u>Wirkprinzip</u>	<p>Reibung: $R = F_u = \mu \cdot F_N$</p> <p>Gewinde</p> <p>Selbsthemmung: $\varphi < \varphi'$ Reibbeiwert: $\mu' = \tan \varphi'$</p>									
	Geometrie, Bewegungen, Stoffarten festlegen ... <u>Lösungsprinzip</u>	<p>Spindel / Mutter in Reitstockpinole</p>									
Entwerfen	Teile, Baugruppen, Verbindungen festlegen . . . <u>Entwurf</u>	<p>90° versetzt gezeichnet</p>									
Ausarbeiten	Fertigungs- und Montageangaben festlegen ... <u>Zeichnungen, Stücklisten</u>	<p>Spindel Mutter</p>									

Abbildung 57. Aufgaben und Ergebnisse der Konstruktionsphasen (Klaus)

Deshalb kommt danach die Phase des **Entwerfens**, die sich damit beschäftigt, die Entwurfsarbeit und die gestalterische Festlegung durchzuführen. Sie besteht aus der Gestaltung von Teilen, Verbindungen, Baugruppen... Zuletzt kommt das **Ausarbeiten**, das bedeutet, alle Montageangaben in Zeichnungen festzulegen (Klaus).

A Anhang

A.1: Grundstruktur eines mechatronischen Systems

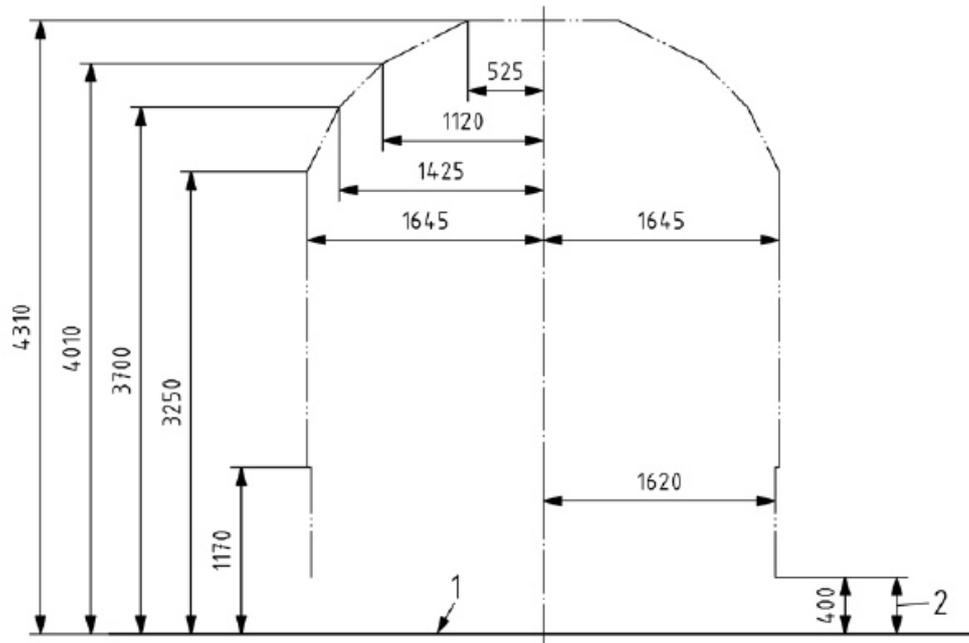


Quelle: (Salger, Bachelorarbeit, 2015)

A.2: Statische Begrenzungslinie G1

A.2.1 Bezugslinie im seitlichen und oberen Bereich

Maße in Millimeter



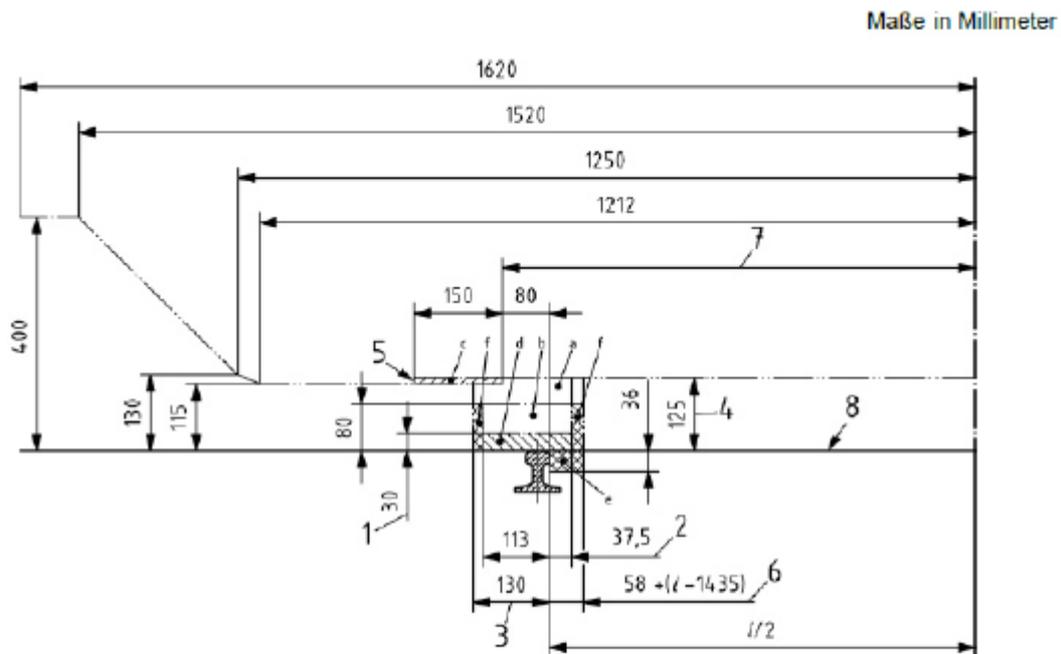
Legende

Laufebene

Unterer Bereich der Bezugslinie

Quelle: (DIN, DIN EN 15273-2, 2014)

A.2.2 Statische Bezugslinie des unteren Bereichs



Legende¹⁰

- d Bereich für die Räder und Komponenten, die mit den Schienen in Berührung kommen
- e ausschließlich den Rädern vorbehaltener Bereich
- f Bereich der Gleisbremsen in Lösestellung
- 4 dieses Maß stellt auch die größte Höhe der Einheits-Hemmschuhe dar
- 6 tatsächliche Grenzlage der inneren Stirnfläche der Räder, wenn der Radsatz an der gegenüberliegenden Schiene anliegt; dieses Maß hängt von der Spurenerweiterung des Gleises ab
- 8 Laufebene

Quelle: (DIN, DIN EN 15273-2, 2014)

A.3: Bahnsteig

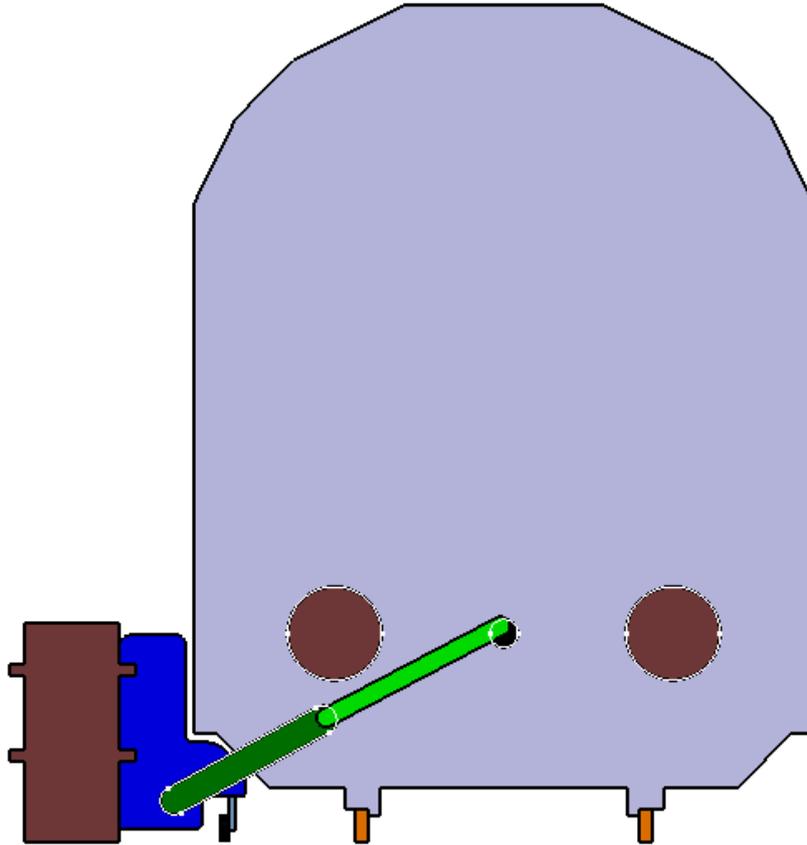


Quelle: (Salger, Fotos von Rangierbahnhof Mannheim, 2016)

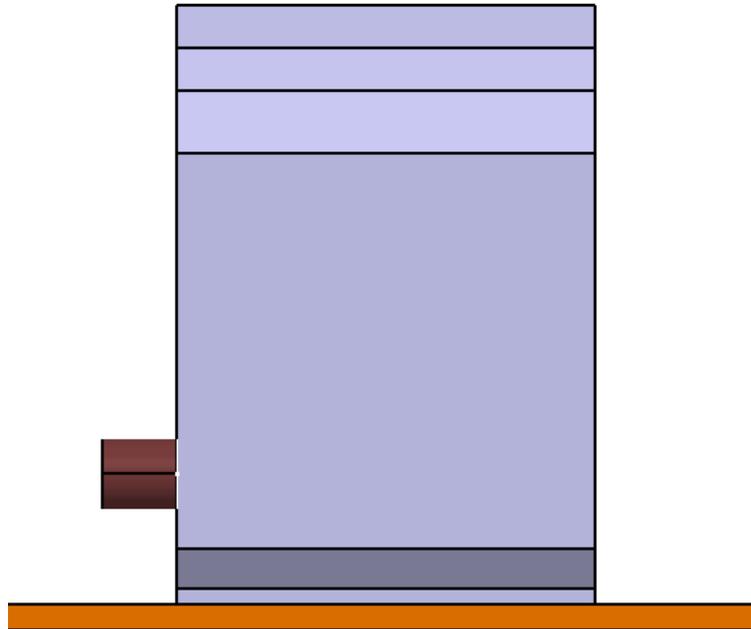
Quelle: (Yumpu, 2015)

A.5: Weitere Ansichten der Lösung A

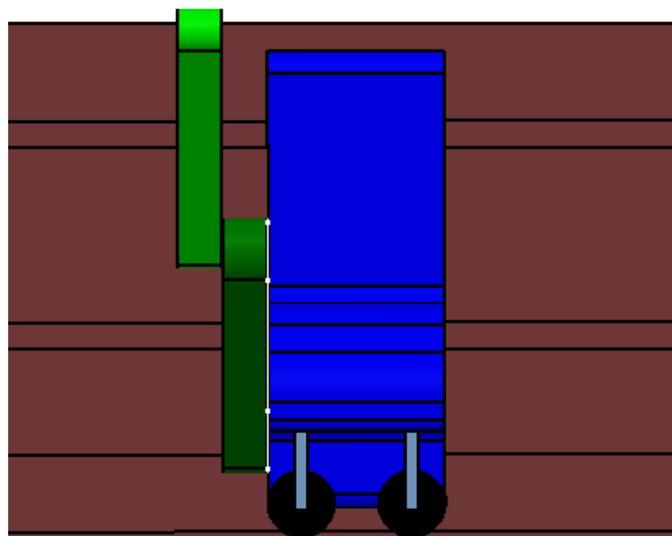
A.5.1 Frontansicht der gesamten Lösung



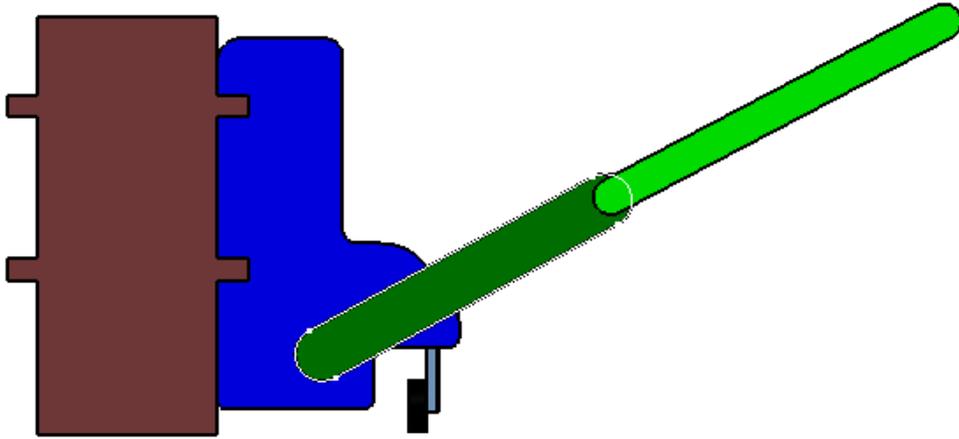
A.5.2 Seitenansicht des Züges



A.5.3 Seitenansicht des Roboters



A.5.2 Frontansicht des Roboters



B Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Schraubenkupplung (Wikipedia, Schraubenkupplung, 2015)	4
Abbildung 2. Rangierbahnhof Mannheim (Steffan, 2010).....	5
Abbildung 3. Methodik zum Entwickeln technischer Systeme (VDI2221).....	7
Abbildung 4. Beschreibung der Mechatronik (Salger, Bachelorarbeit, 2015)	9
Abbildung 5. Grundstruktur des mechatronischen Kupplungssystems (Salger, Bachelorarbeit, 2015).....	10
Abbildung 6. Layout Rangierbahnhof (SciELO, 2014)	11
Abbildung 7. Teile der Schraubenkupplung (Wikipedia, Schraubenkupplung, 2015)	12
Abbildung 8. Mitarbeiter hängt den Bügel manuell in den Zughaken (de Juan, 2015)	13
Abbildung 9. Industrieroboter in der Automobilindustrie (Binner, 2015).....	14
Abbildung 10. Schema von Industrieroboter (Linnemann, 2016).....	15
Abbildung 11. Schema eines kartesischen Roboters (Wikipedia, Robot de coordenadas cartesianas, 2015)	15
Abbildung 12. SCARA-Roboter (Linnemann, 2016)	16
Abbildung 13. 6-Achsen-Knickarm-Roboter (Fanuc, 2016)	17
Abbildung 14. Arbeitsraum (Xpertgate, Lexicon: Vertikal-Knickarmroboter, 2016).....	18
Abbildung 15. ABB IRB 940 Parallelkinematik-Roboter(Robotworx)	19
Abbildung 16. Sortierung der Achsen in einem Vertikal-Knickarmroboter (Robini, 2010).....	20
Abbildung 17. Symbole für Roboterachsen nach DIN 2861. Links: Geometrie mit zwei Rotationsachsen, rechts: Geometrie mit zwei Translationsachsen (Wüst, 2014)	21
Abbildung 18. Darstellung der Koordinatensysteme (Linnemann, 2016).....	23
Abbildung 19. Rotationsmatrix (Linnemann, 2016).....	23
Abbildung 20. Matrize, die sowohl die Translation als die Rotation berücksichtigt (Linnemann, 2016).....	24
Abbildung 21. Beispiele von Operationen mit Matrizen (Linnemann, 2016).	24
Abbildung 22. Oberer Bereich der kinematischen Begrenzungslinie G1 (DIN, DIN EN 15273-2, 2014).....	26
Abbildung 23. Untere Bereich der kinematischen Begrenzungslinie G1 (DIN, DIN EN 15273-2, 2014).....	27
Abbildung 24. Blick der Gleise im Rangierbahnhof Mannheim (Salger, Fotos von Rangierbahnhof Mannheim, 2016).....	28

Abbildung 25. Bauräume zur Fortbewegung des Kupplungssystems (Salger, Bachelorarbeit, 2015)	29
Abbildung 26. Arbeitsraum für das Kupplungssystem (Kirchner & Uckermann, 1983)30	
Abbildung 27. Berner Raum (Dörfler, 2006).....	31
Abbildung 28. Position der Zug-und Stoßeinrichtungen (Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), 1967)	32
Abbildung 29. Aufbau der UIC – Schraubenkupplung (Salger, Bachelorarbeit, 2015)33	
Abbildung 30. Karlsruher S-Bahn mit Scharfenbergkupplung (Magnus, 2012)	34
Abbildung 31. Diagramm der Schritte von TRIZ (Wikipedia, TRIZ, 2016)	40
Abbildung 32. Widerspruchsmatrix der TRIZ Methode (Yumpu, 2015)	42
Abbildung 33. Der Roboter (Ferri, 2016).....	51
Abbildung 34. Darstellung der Lösung A (Ferri, 2016)	52
Abbildung 35. Eingenommener Raum des ersten Armes in seiner rotatorischen Bewegung (Ferri, 2016)	53
Abbildung 36. Der Roboter gefaltet (Ferri, 2016)	53
Abbildung 37. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der minimalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016).....	54
Abbildung 38. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der maximalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016).....	54
Abbildung 39. Schema der Kräfte im oberen Arm (Ferri, 2016)	55
Abbildung 40. Schema der Kräfte, die das untere Drehgelenk beeinflussen (Ferri, 2016)	57
Abbildung 41. Detail der Schienen (Ferri, 2016)	58
Abbildung 42. Antriebsystem in der Schienen (Ferri, 2016)	59
Abbildung 43. IPE 100 (Traceparts).....	60
Abbildung 44. Der Roboter (Ferri, 2016).....	60
Abbildung 45. Darstellung der Lösung B (Ferri, 2016)	61
Abbildung 46. Eingenommener Raum des ersten Armes in seiner rotatorischen Bewegung (Ferri, 2016)	62
Abbildung 47. Der Roboter gefaltet (Ferri, 2016)	62
Abbildung 48. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der minimalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016).....	63
Abbildung 49. Positionierung der Arme beim Greifen des Bügels bei der maximalen Höhe des Zuges (Ferri, 2016).....	63
Abbildung 50. Schema der Kräfte im oberen Arm (Ferri, 2016)	64

Abbildung 51. Schema der Kräfte, die das untere Drehgelenk beeinflussen (Ferri, 2016).....	65
Abbildung 52. Antriebsystem (Ferri, 2016)	67
Abbildung 53. Lösung mit einem Vertikal-Knickarmroboter (Ferri, 2016)	68
Abbildung 54. Kleiner SCARA Roboter (Adept, 2016).....	69
Abbildung 55. Symbole der Methode (Bensberg, 2014).....	73
Abbildung 56. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI2221)	78
Abbildung 57. Aufgaben und Ergebnisse der Konstruktionsphasen (Klaus).....	79

C Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Vergleich konventioneller Roboter / Parallelkinematik (Linnemann, 2016)	19
Tabelle 2. Niveau der Patenten (Isoba, 2007)	39
Tabelle 3. Funktionentabelle.....	44
Tabelle 4. Widersprüche des Produktes	46
Tabelle 5. Vergleichung von den Stärken und Schwächen	72
Tabelle 6. Tabelle für die Anwendung der Nutzwertanalyse (FH-Karlsruhe).....	75
Tabelle 7. Ergebnisse der Nutzwertanalyse.....	75

D Literaturverzeichnis

- Adept. (2016). *SCARA-Roboter / 4-Achse*. Von Adept: <http://www.directindustry.de/prod/adept-technology/product-6076-410844.html> abgerufen
- artus92. (13. November 2015). *Die Übernahme der Industrieroboter*. Von <http://mein-roboterarm.de/die-uebernahme-der-industrieroboter/> abgerufen
- 2015 *Bachelorarbeit* Karlsruhe
- Bensberg, F. (2014). *Nutzwertanalyse*. Von Enzyklopedie der Wirtschaftsinformatik: <http://www.encyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-encyklopaedie/lexikon/is-management/Management-von-Anwendungssystemen/Beschaffung-von-Anwendungssoftware/Nutzwertanalyse> abgerufen
- Binner, M. (23. 02 2015). *Handelsblatt*. Von <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/social-media-barometer-merkel-verpasst-innovationen-bei-kuka/11413076.html> abgerufen
- Chemnitz, T. U. (2004). *Künstliche Intelligenz in der Schule*. Von https://www.tu-chemnitz.de/informatik/KI/scripts/ws0405/KI_Schule/KI-Schule-04-lehr-3.pdf abgerufen
- DB2016 *Rangierbahnhof Mannheim* Mannheim
- DB. (2011). *Richtlinie 800.0410*.
- de Juan, A. (16. März 2015). *Los 3 enganches que usan los trenes espanoles*. Von Trenvista: <http://www.trenvista.net/descubre/mundo-ferroviario/3-enganches-trenes-espanoles/> abgerufen
- *Diagrama FAST: Ingeniería de valor y análisis de costes*. (kein Datum). Von <http://www.pdcahome.com/diagrama-fast/> abgerufen
- DIN2014 *DIN EN 15273-2*
- Dörfler, M. (10. Dezember 2006). *Fortsetzungseite zur EBO*. Von Wedebruch: <http://www.wedebruch.de/gesetze/betrieb/ebo2.htm#para25> abgerufen
- Dornberger, P. D. (2006). *Innovation Management*.
- (1967). *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)*.
- 2016 *Erklärung der Masterarbeit* Karlsruhe
- Ernst&Young. (2013). *Metodología TRIZ para la creatividad e innovación*. Von http://www.calidadasistencial.es/images/gestion_soc/documentos/199.pdf abgerufen

- Erstfeld, B. L. (2010). *Kupplungen sind wichtig*. Von <http://www.lokifahrer.ch/Lukmanier/Kupplungen.htm> abgerufen
- Fanuc. (2016). *Fanuc*. Von <http://robot.fanucamerica.com/products/robots/productbyseries.aspx?seriesId=18&robotseries=R-2000iB> abgerufen
- Ferri, J. A. (2016). Eigene Darstellung.
- FH-Karlsruhe. (kein Datum). *Nutzwertanalyse*. Von http://info.hit-karlsruhe.de/kamerasteuerung_tops/sites/nutzwertanalyse.htm abgerufen
- *Guía de la calidad*. (2016). Von Análisis DAFO: <http://www.guiadelacalidad.com/modelo-efqm/analisis-dafo> abgerufen
- Hagenlocher, S. (25. Februar 2015). *Automatische Kupplungssysteme im Schienengüterverkehr - eine Übersicht*. Abgerufen am 5. April 2016 von <http://www.innovative-freight-wagon.de/wp-content/uploads/TIS-uebersicht-Kupplungssysteme.pdf>
- Isoba, O. (26. Nov 2007). *TRIZ ó la teoría de resolución de los problemas inventivos*. Von gestiopolis: <http://www.gestiopolis.com/triz-o-la-teoria-de-resolucion-de-los-problemas-inventivos/> abgerufen
- Jansen, M. (7. März 2014). *Nutzwertanalyse*. Von https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/bvs/bv_bayern_nordost_dateien/NW_A-ERFA_VDI-BMW-2014.pdf abgerufen
- Jimenez Romero, I. S. (15. 05 2012). *Aplicación de la teoría TRIZ en el desarrollo de un nuevo producto*. Von Gestoipolis: <http://www.gestiopolis.com/aplicacion-de-la-teoria-triz-en-el-desarrollo-de-un-nuevo-producto/> abgerufen
- Kirchner, J.-H., & Uckermann, R. (1983). *Schienenfahrzeuge - Rangierhilfen*. Dortmund.
- Klaus, J. (kein Datum). *Grundlagen der Konstruktionslehre*. Von http://files.hanser.de/hanser/docs/20051012_251121284-53_3-446-40471-6_Leseprobe.pdf abgerufen
- Linnemann, P. D.-I. (2016). *Robotertechnik*. Von https://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/user/linnemann/PDF-Dateien/Robotertechnik/Roboter_Technik_Vorlesung_Alles.pdf abgerufen
- Magnus. (13. September 2012). *Bahnbilder*. Von <http://www.bahnbilder.de/name/zeitachse/jahr/2012/monat/oktober/fuer/18557/fotograf/magnus.html> abgerufen
- patentesymparcas. (14. März 2014). *TRIZ: una teoría para resolver problemas de forma inventiva*. Von <http://www.patentesymarcas.com/madrid/> abgerufen

<http://www.madrimasd.org/blogs/patentesymarcas/2014/triz-una-teoria-para-resolver-problemas-de-forma-inventiva/> abgerufen

- Robini. (2010). *6-Achsen-Knickarm-Roboter*. Von Robini: http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.robini-hannover.de/robini_glossar/images/6Achs-knickarm.gif&imgrefurl=http://www.robini-hannover.de/robini_glossar/6achsenknickarmroboter.html&h=396&w=287&tbnid=4PYenD7TvzB-iM:&tbnh=90&tbnw=65&docid=Ebbaqgl abgerufen
- Robotworx. (kein Datum). *ABB IRB 940*. Von Robotworx: <https://www.robots.com/abb/irb-940> abgerufen
- Rovira, N. L. (2004). *TRIZ: Innovación Estructurada para la*. Von http://www.laccei.org/LACCEI2005-Cartagena/Presentations/Tutorial_LeonRovira.pdf abgerufen
- Salger, P. (31. März 2016). Fotos von Rangierbahnhof Mannheim. Mannheim.
- *Scielo*. (April 2014). Abgerufen am 5. April 2016 von Analysis of rail yard and terminal performances: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312014000200008
- Steffan, P. (30. Jan 2010). *Bahnbilder*. Von <http://www.bahnbilder.de/bild/deutschland~bahnhoefe-l---q~mannheim-sonstige/373759/300110-in-mannheim-rangierbahnhof.html> abgerufen
- *Traceparts*. (kein Datum). Von [http://www.tracepartsonline.net/\(S\(f3euogxs1u5bdpuhki315b12\)\)/partdetails.aspx?PartID=10-19122001-069885&class=TRACE&clsid=/ROOT/C77/C77.140/C77.140.T02/&lang=de](http://www.tracepartsonline.net/(S(f3euogxs1u5bdpuhki315b12))/partdetails.aspx?PartID=10-19122001-069885&class=TRACE&clsid=/ROOT/C77/C77.140/C77.140.T02/&lang=de) abgerufen
- VDI. (kein Datum). *Richtlinie 2860*. Von <http://www.forum-sondermaschinenbau.de/seiten/Industrieroboter.htm> abgerufen
- VDI2221. (kein Datum). *Entwicklungsprozess: Vorgehensmodell*. Von <http://www.optimus-spitzencluster.de/entwicklungsprozessvorgehensmodellnachvdi.pdf> abgerufen
- Wikipedia. (3. November 2015). *Robot de coordenadas cartesianas*. Von https://es.wikipedia.org/wiki/Robot_de_coordenadas_cartesianas abgerufen
- Wikipedia. (8. April 2015). *Schraubenkupplung*. Abgerufen am 5. April 2016 von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schraubenkupplung>
- Wikipedia. (21. März 2016). *TRIZ*. Von <https://de.wikipedia.org/wiki/TRIZ> abgerufen

-
- Wismar, H. (7. April 2016). *Elektrotechnik und Informatik*. Abgerufen am 13. April 2016 von Bachelor Mechatronik: <https://eui.fiw.hs-wismar.de/mechatronik-bachelor-auch-dual.html>
 - Wüst, K. (30. Juni 2014). *Grundlagen der Robotik*. Von <https://homepages.thm.de/~hg6458/Robotik/Robotik.pdf> abgerufen
 - Xpertgate. (2016). *Lexikon: Vertikal-Knickarmroboter*. Von Xpertgate: <http://www.xpertgate.de/produkte/Vertikal-Knickarmroboter.html> abgerufen
 - Xpertgate. (2016). *Xpertgate*. Von Lexikon: Scara-Roboter: <http://www.xpertgate.de/produkte/Scara-Roboter.html> abgerufen
 - Yumpu. (2015). Von <https://www.yumpu.com/de/document/view/30769033/widerspruchsmatrix-triz-online> abgerufen