

Fachhochschule Bielefeld

Campus Gütersloh

Mechatronik/Automatisierung

Konstruktion eines fahrerlosen Transportfahrzeugs mit Hubmodul

Bachelorarbeit

Wintersemester 2021/22
vorgelegt von: Thiele, Steffen
Matrikelnummer: 1181755
Abgabe am: 03.01.2022
Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dürkopp
Zweitprüfer/in: M. Sc. Matthias Schulte (Hanning
Elektro-Werke)



Sperrvermerk

Diese Bachelorarbeit enthält vertrauliche Daten der Firma Hanning Elektro-Werke GmbH & Co. KG. Veröffentlichungen oder Vervielfältigungen der Arbeit – auch nur auszugsweise – sind ohne ausdrückliche Genehmigung der beteiligten Unternehmen nicht gestattet. Die Arbeit ist nur den Prüfern bzw. den Korrektoren sowie den Mitgliedern des Prüfungsausschusses bzw. der oder dem Prüfungsbeauftragten zugänglich zu machen.

Gleichstellungsvermerk

Die Inhalte der vorliegenden Arbeit beziehen sich in gleichem Maße auf alle Geschlechter (m/w/d). Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird jedoch die männliche Form für alle Personenbezeichnungen gewählt. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
2	Stand der Technik & Ausgangssituation.....	10
3	Vorgehensweise und Zielsetzung.....	15
4	Methodisches Konstruieren	16
4.1	Anforderungen	17
4.2	Systemanalyse.....	19
4.3	Funktionsstruktur	24
4.4	Abgrenzung Verbindungsprinzipien.....	27
4.5	Morphologischer Kasten	29
4.6	Lösungsfindung.....	38
5	Auslegung der Konzepte	40
5.1	Interne Kräfte	40
5.2	Schweißkonzept.....	47
5.2.1	Fahrgestell Typ 1	47
5.2.2	Hubgabel Typ 1.....	52
5.3	Schraubkonzept.....	54
5.3.1	Fahrgestell Typ 2	54
5.3.2	Hubgabel Typ 2.....	57
5.4	Hybridmodell.....	58
5.4.1	Fahrgestell Typ 3	58
5.4.2	Hubgabel Typ 3.....	60
5.5	Modelle	61
6	Gesamtbewertung.....	62
6.1	Bewertungsmethodik.....	62
6.2	Bewertungskriterien	63
6.3	Durchführung	64
6.3.1	Fahrgestelle	64

6.3.2	Hubgabeln.....	75
6.4	Auswertung der Nutzwertanalyse.....	78
7	Zusammenfassung und Ausblick	80
	Literaturverzeichnis	81
	Anhang.....	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispieldarstellung von FTF im Einsatz	8
Abbildung 2: Konzeptdarstellung FTF aus vorangegangener Arbeit	10
Abbildung 3: Baugruppen FTF [VDI2510].....	11
Abbildung 4: Kinematischer Grundaufbau von Fahrwerkvarianten [VDI2510].....	12
Abbildung 5: Modul Drehschemel.....	13
Abbildung 6: Vorgehensweise Konstruktionsprozess in Anlehnung an VDI2221 - Blatt2	16
Abbildung 7: Konzeptdarstellung FTF aus vorangegangener Arbeit	20
Abbildung 8: Europalette DIN EN13698-1 Maße [WIKI21].....	20
Abbildung 9: Darstellung des kritischen Punkts zur Auslegung der Hubgabel	21
Abbildung 10: Komponenten Hubmodul	21
Abbildung 11: Fahrgestell Anbauteile	22
Abbildung 12: Elektronik am Fahrgestell	23
Abbildung 13: Funktionsstruktur FTF	24
Abbildung 14: Produktstruktur FTF	25
Abbildung 15: Verbindung Produktarchitektur FTF	26
Abbildung 16: Schnittstellen der Module FTF	27
Abbildung 17: Morphologischer Kasten Funktion "Hindernisse erkennen"	30
Abbildung 18: Morphologischer Kasten Funktion „Palettenposition erkennen“.....	30
Abbildung 19: Morphologischer Kasten Funktion "Informationen verarbeiten"	30
Abbildung 20: Morphologischer Kasten Funktion "Lenkwinkel einstellen & Vortrieb erzeugen"	31
Abbildung 21: Morphologischer Kasten Funktion "Achsparallelität gewährleisten".....	31
Abbildung 22: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Hubgabel"	32

Abbildung 23: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Aufnahme Hubgabel"	32
Abbildung 24: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Aufnahme Linearantrieb"	33
Abbildung 25: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Verbindungsart Chassis"	33
Abbildung 26: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Stützradaufnahme"	33
Abbildung 27: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Aufnahme Drehschemel Montageart/-richtung"	34
Abbildung 28: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen – Hubgabel" ...	34
Abbildung 29: Morphologischer Kasten Funktion "Biegemoment aufnehmen"	35
Abbildung 30: Morphologischer Kasten Funktion "Einheit führen"	36
Abbildung 31: Morphologischer Kasten Funktion "Linearkraft aufbringen"	36
Abbildung 32: Morphologischer Kasten Funktion "elektrische Energie aufnehmen & abgeben"	37
Abbildung 33: Lösungskonzepte aus Morphologischem Kasten	38
Abbildung 34: Freischnitt Hubgabelbelastung.....	41
Abbildung 35: Linearführung Bolzenauslegung	42
Abbildung 36: Darstellung zur Berechnung der Durchbiegung des Bolzens	42
Abbildung 37: Vereinfachter Kraftfluss Fahrgestell	43
Abbildung 38: Freischnitt einfache Biegebelastung Balken.....	43
Abbildung 39: Platzverteilung des FTF zwischen Boden und Europalette	44
Abbildung 40: Bauraum Drehschemel	45
Abbildung 41: Freischnitt Fahrgestell 1.....	45
Abbildung 42: Freischnitt Fahrgestell 2.....	46
Abbildung 43: Gesamtes Fahrgestell Typ 1 Ansicht Top und Seite	47

Abbildung 44: FEM Analyse Chassis Fahrgestell Typ 1	49
Abbildung 45: Grundplatte Führung Fahrgestell Konzept 1	49
Abbildung 46: Stützen Drehschemel Fahrgestell Konzept 1	50
Abbildung 47: FEM Berechnung Drehschemelaufnahme Konzept 1	51
Abbildung 48: Fahrgestell Typ 1 Stützradaufnahme	52
Abbildung 49: Hubgabel Typ 1 Profil mit Variablen und Maßen	53
Abbildung 50: FEM Analyse Hubgabel Typ 1	54
Abbildung 51: Fahrgestell Typ 2 Ansicht Schräg	54
Abbildung 52: Fahrgestell Typ 2 Fixierung Stützrad	55
Abbildung 53: Fahrgestell Typ 2 Winkel Linearführung Ansicht Seite und Top	56
Abbildung 54: Fahrgestell Typ 2 Stützen Drehschemelaufnahme.....	56
Abbildung 55: Fahrgestell Typ 2 Verbindungselement.....	57
Abbildung 56: Hubgabel Typ 2 Ansicht Schräg, Zinken Seite	57
Abbildung 57: Fahrgestell Typ 3 Ansicht Schräg	58
Abbildung 58: Fahrgestell Typ 3 Montagerichtung Drehschemel	59
Abbildung 59: Fahrgestell Typ 2 Winkel Linearführung.....	59
Abbildung 60: Hubgabel Typ 3	60
Abbildung 61: Hubgabel Typ 3 Abmaße	60
Abbildung 62: Fahrgestelle und Hubgabeln von links nach rechts je Zeile: Konzept 1, 2, 3 ..	61
Abbildung 63: Gewichtung Bewertungskriterien Fahrgestell Gesamt.....	64
Abbildung 64: Gewichtung Bewertungskriterien Kosten Fahrgestell	65
Abbildung 65: Festlegung der Bewertungsspanne Nutzwertanalyse.....	66
Abbildung 66: Stahlprofile Fahrgestell Konzept 1	67
Abbildung 67: Stahlprofile Fahrgestell Konzept 2	67
Abbildung 68: Stahlprofile Fahrgestell Konzept 3	68

Abbildung 69: Darstellung Bearbeitungsteile Konzepte 1-3	69
Abbildung 70: Kritische Schweißteile Fahrgestell Konzept 1	70
Abbildung 71: Bewertung Kosten Fahrgestell.....	71
Abbildung 72: Instandhaltungsstellen Fahrgestell Konzept 1.....	72
Abbildung 73: Instandhaltungsstellen Fahrgestell Konzept 2.....	73
Abbildung 74: Instandhaltungsstellen Fahrgestell Konzept 3.....	74
Abbildung 75: Bewertung Gesamt Fahrgestell.....	74
Abbildung 76: Gewichtung Bewertungskriterien Hubgabel	75
Abbildung 77: Hubgabel Typ 1 Materialien	75
Abbildung 78: Hubgabel Typ 2 Materialien	76
Abbildung 79: Hubgabel Typ 3 Materialien	76
Abbildung 80: Bewertung Gesamt Hubgabel.....	77
Abbildung 81: Finales Konzept Zusammenstellung	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungsliste 19

Tabelle 2: Ergebnisse Nutzwertanalyse 78

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung	
DCFI	Discret Current Frequency Converter	
FEM	Finite Elemente Methode	
FTF	Fahrerloses Transportfahrzeug	
FTS	Fahrerloses Transportsystem	
Symbol	Einheit	Bedeutung
d	mm	Durchmesser
E	---	Elastizitätsmodul
F_R	N	Reibkraft
I_y	mm^4	axiales Flächenmoment 2. Grades (um y-Achse)
M	Nmm	Moment
M_b	Nmm	Biegemoment
μ_R	---	Reibwert
q	N/mm	Flächenlast
σ_b	N/mm^2	Biegespannung
$\sigma_{b,sch}$	N/mm^2	zulässige schwelende Biegespannung (Materialkennwert)
$\sigma_{b,zul}$	N/mm^2	zulässige Biegespannung
σ_{res}	N/mm^2	resultierende Spannung
$\sigma_{zd,sch}$	N/mm^2	zulässige schwelende Zug-/Druck-Spannung (Materialkennwert)
w_{max}	mm	maximale Durchbiegung
W_y	mm^3	Widerstandsmoment (um y-Achse)

1 Einleitung

Die Herstellung von Produkten muss im Zuge des wirtschaftlichen Wachstums stetig optimiert und an den Stand der Technik angepasst werden. Dieser Fortschritt und Wandel geht mit den Zielen von Industrie 4.0 einher, was die sukzessive Eingliederung und Optimierung bestehender Systeme bezüglich komplexer Automatisierung beschreibt. Dies beinhaltet Verfahren der Selbstoptimierung, Selbstkonfiguration, Selbstdiagnose und Kognition, die somit wenig, bis keine Abhängigkeit von menschlichen Bedienern besitzt. Hinsichtlich dessen hat sich in der Vergangenheit der Markt im Bereich Logistik von sogenannten „Fahrerlosen Transportsystemen“ – kurz FTS – kontinuierlich weiterentwickelt. Der Begriff FTS beschreibt dabei das ganzheitliche System inklusive Steuerung etc. Das einzelne Fahrzeug wird als FTF, also „Fahrerloses Transportfahrzeug“, bezeichnet.



Abbildung 1: Beispieldarstellung von FTF im Einsatz

In diesem Marktsegment möchte die Firma „Hanning Elektro-Werke GmbH & Co. KG“, fortlaufend als „Hanning“ bezeichnet, Antriebssysteme anbieten, die dann in verschiedenen FTF-Typen verbaut werden können. Auf Basis von Marktrecherchen und den Fachkenntnissen in der Antriebsauslegung hat Hanning einen Direktantrieb für FTS entwickelt. Für die Validierung der Direktantriebe unter realen Einsatzbedingungen wird ein FTF entwickelt, welches in der Logistik bei Hanning Transportaufgaben übernehmen soll. Neben der Validierung der Direktantriebe strebt Hanning dadurch, aufgrund der Komplexität von FTS und dem Zusammenspiel von Antriebssystemen, sicherer Navigation und der Konstruktion, eine Erweiterung und Ansammlung von Know-How im Bereich der Entwicklung von FTS an.

In der Konstruktion des Fahrzeugs müssen vorgegebene Teilmodule aus den Bereichen der Sensorik, Aktorik und Energieversorgung integriert werden. Dabei handelt es sich um die Direktantriebe, die als festes Modul in einem Drehschemel ins FTF eingesetzt werden, die zugehörige Elektronik zur Regelung, die Sensorik für Sicherheitsanforderungen und Navigation sowie ein Batteriesystem und das Hubmodul. In einer vorangegangenen Arbeit wurde bereits das Konzept der Hubeinheit festgelegt, welches als Grundlage für diese Ausarbeitung gilt (s. Abbildung 2).

2 Stand der Technik & Ausgangssituation

„Fahrerlose Transportsysteme (FTS) sind innerbetriebliche, flurgebundene Fördersysteme mit automatisch gesteuerten Fahrzeugen, deren primäre Aufgabe der Materialtransport, nicht aber der Personentransport ist. Sie werden innerhalb und außerhalb von Gebäuden eingesetzt und bestehen im Wesentlichen aus

- einem oder mehreren Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF),
- einer Leitsteuerung,
- Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lage erfassung,
- Einrichtungen zur Datenübertragung,
- Infrastruktur und peripheren Einrichtungen.“ [VDI2510]

FTF können dabei in verschiedenen Anwendungsgebieten eingesetzt werden, wodurch sich die genaue Ausführung des jeweiligen Fahrzeugs unterscheidet. Dabei sind die großen Unterschiede die Lastaufnahmemittel und die Art des Materialtransports, wobei zwischen einer ziehenden und tragenden Variante unterschieden wird. Doch auch weitere Aspekte unterscheiden sich je nach Anwendung deutlich in Bereichen wie dem Fahrwerk, dem Lastaufnahmemittel, den Sicherheitseinrichtungen, der Fahrzeugsteuerung, der Energieversorgung, den Bedienelementen und der Navigation.

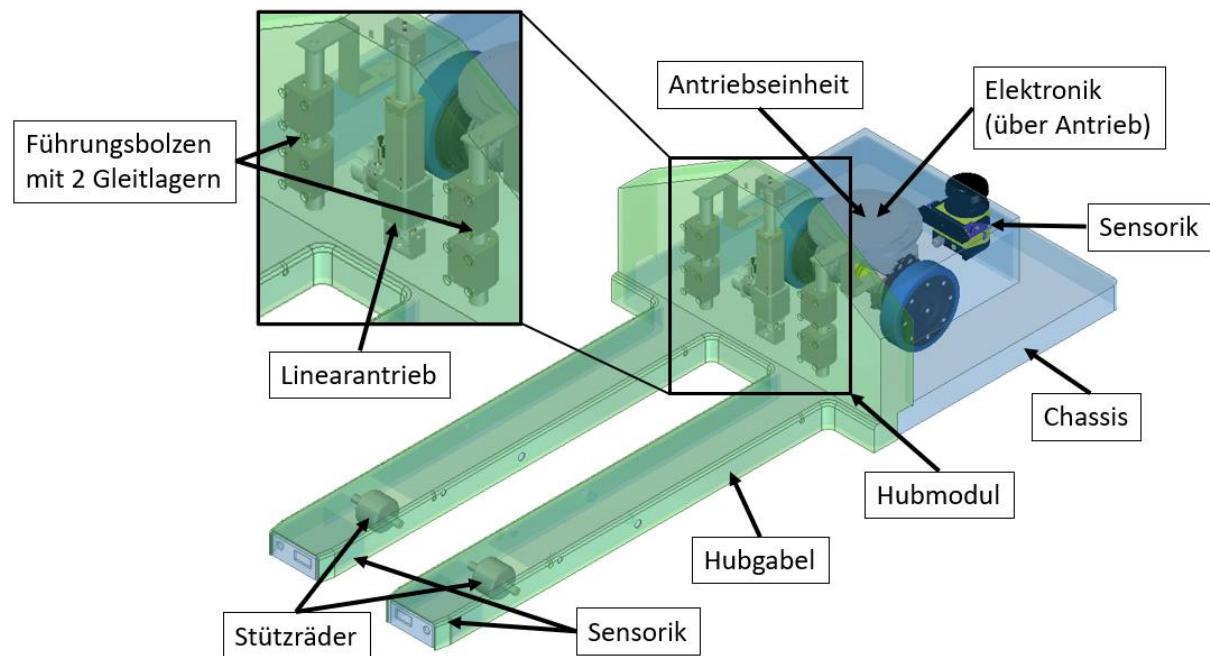


Abbildung 2: Konzeptdarstellung FTF aus vorangegangener Arbeit

Die Entwicklung des FTF dieser Ausarbeitung ist bereits zu einem gewissen Maß fortgeschritten. Faktoren, wie die Art des Hubmechanismus, das Antriebskonzept und die generelle Bauform sind abgestimmt und wurden in einer vorangegangenen Arbeit zu einem Konzeptmodell zur Auswahl des Antriebs- und Hubsystems vereinigt. Das daraus entstandene Modell ist in Abbildung 2 zu sehen.

Der Grundaufbau eines FTF wird in folgende Baugruppen eingeteilt: Lastaufnahmemittel, Fahrwerk, Warn- und Sicherheitseinrichtungen, Fahrzeugsteuerung, Energieversorgung und Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lage erfassung. Diese sollen im Folgenden für das hier vorliegende FTF erläutert werden.

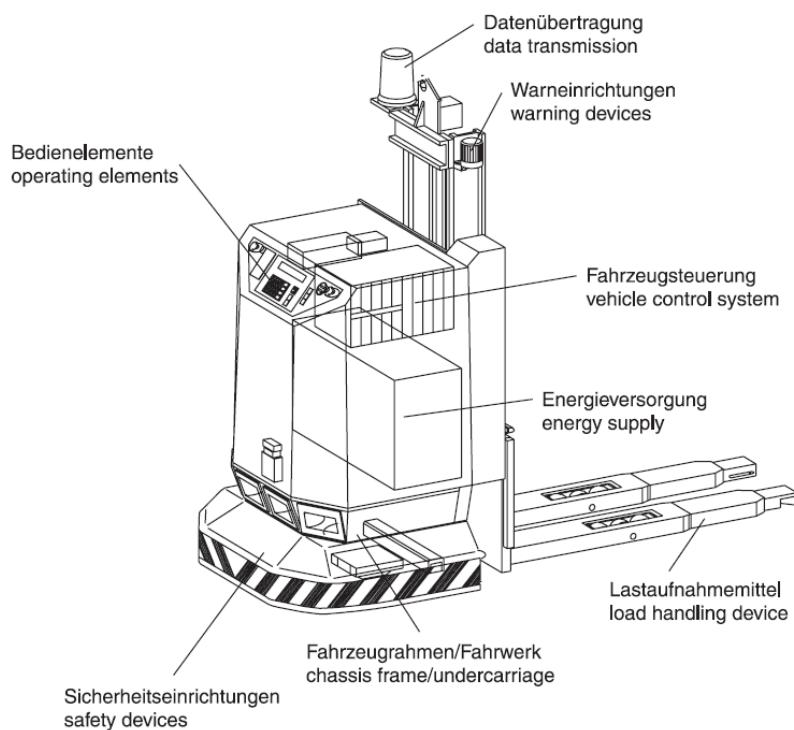


Abbildung 3: Baugruppen FTF [VDI2510]

Lastaufnahme

Die Lastaufnahme kann lasttragend oder -ziehend sowie aktiv oder passiv ausgeführt werden. Beim Hanning-FTF geschieht dies im lasttragenden Zustand mit einer aktiven Lastaufnahme in Form einer Gabel, was die geometrischen Anforderungen an die geförderten Güter geringhält. Diese müssen lediglich durch eine Europalette aufnehmbar sein und müssen nicht über eigene Rollen o.ä. verfügen, die zum Ziehen notwendig wären. Die aktive Lastaufnahme erfolgt hier durch einen Linearantrieb, der hinter der Hubgabel platziert ist und diese, geführt über zwei Linearführungen á zwei Lineargleitlager, vertikal bewegen kann (Abbildung 2).

Fahrwerk

Die Baugruppe Fahrwerk beinhaltet Komponenten, wie dem prinzipiellen Fahrwerkskonzept, die Art und Anzahl der Räder, dem Antrieb, der Lenkung und den Bremsen. In diesem Fall handelt es sich um ein linienbewegliches FTF, was also lediglich vor- und rückwärts mit einem Lenkeinschlag verfahren kann. Nach Abbildung 4 ist das Hanning FTF dem Dreirad zuzuordnen, wobei das Antriebsrad durch den Drehschemel mit zwei Direktantrieben umgesetzt ist. Hinzu kommen zwei Stützräder bzw. Gabelrollen, die in je einer Gabel positioniert sind. Antrieb, Lenkung und Bremsen müssen nicht mehr gesondert ausgelegt werden, da diese bereits vollständig durch das Modul Drehschemel erfasst sind (Abbildung 5).

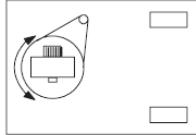
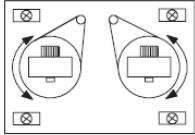
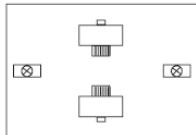
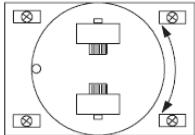
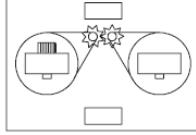
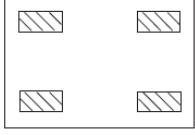
Fahrwerk	Mögliche Fahrbewegung	Fahrwerk	Mögliche Fahrbewegung
	<ul style="list-style-type: none"> • linienbeweglich • Geradeausfahrt und Drehen um Hinterachse • Vorzugsfahrtrichtung vorwärts, Rückwärtzfahrt möglich <p>Dreirad</p>		<ul style="list-style-type: none"> • flächenbeweglich <p>mehrere unabhängige Fahr-/Lenkeinheiten</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • linienbeweglich • Geradeaus- und Rückwärtzfahrt • Drehen um Mittelachse möglich <p>Differentialantrieb</p>		<ul style="list-style-type: none"> • flächenbeweglich <p>Differentialantrieb mit Drehachse</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • linienbeweglich • Geradeaus- und Rückwärtzfahrt • Drehen um Mittelachse möglich <p>Gekoppelter Lenkantrieb</p>		<ul style="list-style-type: none"> • flächenbeweglich <p>Mecanum-Antrieb</p>
Symbole:		 Fahr-antrieb  Stützrad  Lenk-antrieb  drehbares Stützrad (ggf. gefedert)	Quelle: Miag Fahrzeugbau GmbH, Braunschweig

Abbildung 4: Kinematischer Grundaufbau von Fahrwerkvarianten [VDI2510]

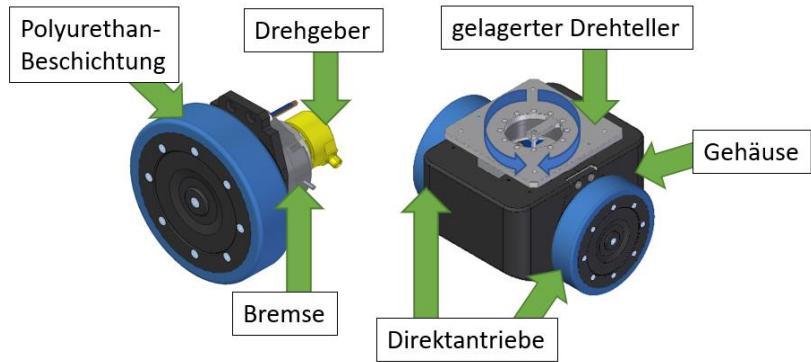


Abbildung 5: Modul Drehschemel

Sicherheitseinrichtungen

Sicherheitseinrichtungen zur Erkennung von Personen oder Hindernissen im Fahrweg können durch berührende Systeme wie Schaltbügel und Bumper oder durch berührungslose Systeme umgesetzt werden. Im Hanning FTF sind berührungslose Sensoren in Form von Laserscannern in Fahrtrichtung eingebunden dessen Informationen in einem intern entwickelten Sicherheitskreis verarbeitet werden.

Energieversorgung

Bei der Energieversorgung kann zwischen der Energiequelle in Form von Strom oder Treibstoff und der Zuführung, also einem mobilen Tank bzw. Akku oder einer dauerhaften Energiezuführung aus der Umgebung ins System, unterschieden werden. Hier ist die Energieversorgung durch einen an Bord platzierten Akku umgesetzt, sodass das FTF, gegenüber dem Prinzip der induktiven Energiezuführung, losgelöst von Beschränkungen der Fahrwege ist (abgesehen von Sicherheitseinschränkungen). Teil der Energieversorgung ist auch die Ladetechnik, die bisher allerdings noch nicht bearbeitet wurde und auch nicht Teil dieser Ausarbeitung sein wird. Die Kombination dieser Einheiten ist abhängig von der Einsatzdauer, dem Energieverbrauch, der Art der Ladung, ob manuell oder automatisch, und weiteren Faktoren.

Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lageerfassung

Einrichtungen zur Standortbestimmung und Lageerfassung können sowohl am Fahrzeug selbst oder extern in der Umgebung platziert werden. Hier wird ausschließlich Sensorik am FTF selbst verwendet, da es sich zunächst um einen Prototyp zum Test der Antriebe und des einzelnen Fahrzeugs handelt, nicht um die Innovation eines gesamten FTS. Diese Komponenten sind, wie auch die Sicherheitseinrichtung, durch Laserscanner umgesetzt. Dabei ist ein Scanner in Fahrtrichtung platziert, der die hauptsächliche Navigation während des Transports

übernimmt, und jeweils ein weiterer in jeder Gabelspitze, die zur genauen Positionierung des FTF gegenüber den Aussparungen der Europalette dienen.

3 Vorgehensweise und Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung von mehreren Konstruktionskonzepten eines FTF mit der Integration der im Kapitel 2 beschriebenen Komponenten: Drehschemelantrieb, Hubmodul, Elektronik/Sensorik. Die Modelle sollen dabei kein fertigungsgerechtes Konstrukt darstellen, sondern derart detailliert auskonstruiert sein, dass anhand dessen eine Bewertung und Auswahl hin zu einem Favoriten durchgeführt werden kann. Das ausgewählte Konzept stellt die Grundlage für die Erstellung eines Prototyps dar, wobei jedoch noch keine Fertigungszeichnungen als Ergebnis erstellt werden. Zur Erfüllung dieses Ziels soll auf Grundlage des Resultats der vorangegangen Praxisarbeit „Konzeption und Konstruktion eines Antriebs- und Hubsystems für ein fahrerloses Transportfahrzeug“ ein konstruktionssystematischer Prozess durchlaufen werden. Dabei sollen unterschiedliche Konzepte hinsichtlich von Geometrien, aber auch Verbindungstechniken ausgelegt werden. Eine Aufschlüsselung der verschiedenen Schritte dieses Prozesses wird im Kapitel 4 „Methodisches Konstruieren“ gegeben.

4 Methodisches Konstruieren

Der methodische Entwicklungsprozess der Konzepte orientiert sich am systematischen Vorgehen gemäß der VDI 2221 – Blatt 2, welches primär im Maschinenbau Anwendung findet. [VDI2221] [FELD13]

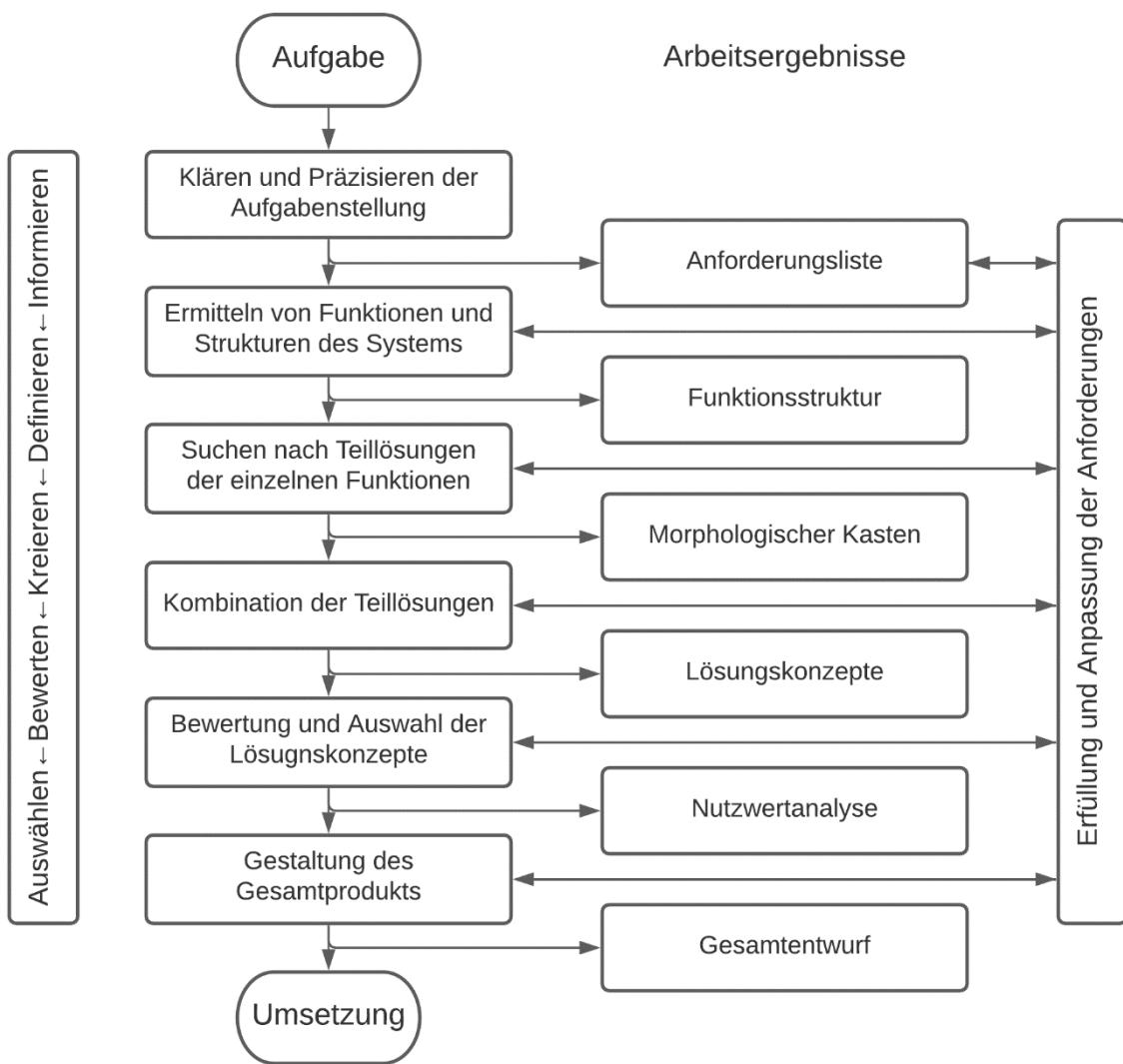


Abbildung 6: Vorgehensweise Konstruktionsprozess in Anlehnung an VDI2221 - Blatt2

Die Abbildung 6 stellt den Konstruktionsprozess als Schaubild mit den verschiedenen Arbeitsschritten und -ergebnissen dar. Dabei wird den grundlegenden fünf Schritten „informieren, definieren, kreieren, bewerten, auswählen“ gefolgt, die die Herangehensweise an eine mechanische Problemstellung zusammenfassen. Im Prozess entsteht zunächst die Anforderungsliste zur Zusammenstellung aller wichtigen Anforderungen oder auch Einschränkungen, die die

Konstruktion im weiteren Verlauf beeinflussen. Darauf folgt eine Systemanalyse, die kritischen Schnittstellen zwischen Modulen und die Teilfunktionen des Gesamtprodukts herausarbeitet, welche dann in der Funktionsstruktur zusammengestellt werden. Auf Basis der Funktionsstruktur bzw. Produktarchitektur - worauf im entsprechenden Kapitel genauer eingegangen wird – entsteht der Morphologische Kasten, der theoretisch mögliche Realisierungen der Teilfunktionen sammelt. Diese werden durch eine erste begründete Auswahl, jedoch ohne eine ausführliche systematische Bewertung, zu Lösungskonzepten zusammengefasst, die dann zu einem Detailierungsgrad ausgestaltet werden, der eine fundierte Bewertung ermöglicht. Durch diese Bewertung wird das finale Konzept ausgewählt und kann, falls nötig, noch detaillierter ausgearbeitet bzw. geringfügig angepasst werden.

4.1 Anforderungen

Die folgende Anforderungsliste stellt alle Anforderungen dar, die direkten Einfluss auf die Konstruktion dieser Ausarbeitung haben. Dies ist keine vollständige Anforderungsliste für das gesamte System FTF, was Elektronik, Sicherheit und weitere Bereiche umfasst. Außerdem sind alle Anforderungen als Festforderungen zu verstehen.

<u>ID</u>	<u>Anforderung</u>	<u>Bemerkung</u>
Funktionelle Anforderungen		
01	Transport, Aufnahme und Abgabe von Europaletten	Die Europalette muss angefahren, aufgenommen, zum Zielort transportiert und dort abgesetzt werden.
02	Systemeingang: elektrische Energie	Bereitstellung der Energie an Bord durch einen Akku. Wandlung der Energie für verschiedene Spannungsgruppen. Akku wird extern entwickelt/ausgewählt.
04	Systemausgang: kinetische Energie	Direktantriebe wandeln elektrische in kinetische Energie in Form von einer Drehung der Räder. Linearantrieb wandelt elektrische in kinetische Energie in Form von einer Linearbewegung des Hubrohrs.

Anforderungen an die Geometrie und Gewichte		
05	Gabelgeometrie zur Aufnahme von Europaletten gemäß DIN EN13698-1	Die Hubgabel muss Europaletten und Komponenten gleicher Aufnahmen, wie Gitterboxen und Adapterpaletten, aufnehmen. Orientierung der Konstruktion an bereits auf dem Markt etablierten Gabeln.
07	Transport der Palette mit 5cm Bodenabstand	Die Unterkante der Palette soll beim Transport auf der Gabel einen Bodenabstand von 5cm für einen sicheren Transport haben. Dies setzt die Hubhöhe der Hubeinheit voraus.
08	Lenkwinkel des Drehschemels min. 90° im und gegen den Uhrzeigersinn (Bauraum: 450x450)	Mit einem Lenkwinkel von 90° in zwei Richtungen und der Möglichkeit, die Antriebe vorwärts und rückwärts drehen zu lassen, kann jede Fahrtrichtung erzeugt werden. Dafür muss ein Bauraum von 450x450mm freigehalten werden.
09	Integration von Scannern am vorderen und hinteren Ende des FTF	Die ausgewählte Sensorik eines Zulieferers muss integriert werden. Der Laserscanner S300 von SICK wird am hinteren Ende in einer Höhe von 150mm (Scanebene) platziert. In den Gabelspitzen wird eine Blackbox für noch nicht fertiggestellte Scanner platziert.
10	Integration des Moduls Drehschemel	Der entwickelte Drehschemel mit zwei Direktantriebe muss als Antriebseinheit integriert werden.
11	Max. Breite FTF 800mm	Das FTF soll eine Europalette aufnehmen können, die zwischen anderen Paletten steht. Dafür darf das FTF nicht breiter als die Palette selbst sein (Breite einer Europalette: 800mm).
12	Max. Durchbiegung der Hubgabel: 5mm	Die Hubgabel wird sich bei der getragenen Last im vorderen Bereich durchbiegen. Dieser Wert darf an der Gabelspitze aus interner Abstimmung einen Wert von 5mm nicht überschreiten.
13	Max. Last: 500kg	Die maximale Zuladung beträgt 500kg, was einer betriebsinternen Vorgabe entspricht.

Gebrauch und Instandsetzung		
14	Zugänglichkeit von Wartungs-/ Instandhaltungsstellen gewährleisten	Es ist eine (gute) Zugänglichkeit von Wartungs- und Instandhaltungsstellen zu gewährleisten.
15	Konstruktion gemäß Maschinenrichtlinie	Das FTF ist hinsichtlich der Konstruktion entsprechend der Maschinenrichtlinie zu gestalten. <ul style="list-style-type: none"> - Sicherheitsfaktor statisch: 1,25 (4.1.2.3) - Sicherheitsfaktor dynamisch: 1,1 (4.1.2.3)
Herstellung		
16	Konstruktion gemäß Prototyp/ Kleinserie	Die Konstruktion ist gemäß einem Prototyp bzw. Kleinserie auszuführen. Komplexe, abgestimmte Fertigungsstrukturen können nicht als vorausgesetzt betrachtet werden.
Kosten		
17	Verwendung von Normteilen (Design-to-cost)	Zur Kostensenkung sollen, wenn möglich, Normteile und Halbzeuge verwendet werden.

Tabelle 1: Anforderungsliste

4.2 Systemanalyse

Der Grundaufbau des Gabelhub-FTF besteht aus verschiedenen Komponenten, die ausgelegt werden müssen. Dabei handelt es sich um

- das Chassis, welches als Grundlage für die Stabilität und Plattform für Anbauteile gilt,
- die Antriebseinheit in Form eines Drehschemels,
- die Hubeinheit, also dem Konstrukt aus Linearantrieb und -führung,
- die Hubgabel,
- die Stützräder und
- die Elektronikkomponenten, die zur Navigation und Steuerung der Antriebe eingesetzt werden.

Alle Komponenten müssen dabei Funktionen erfüllen, die häufig im Zusammenspiel mit weiteren Komponenten stehen. Zwischen den Komponenten entstehen so Schnittstellen, die zur Kraft- oder Signalübertragung dienen. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten des bisherigen FTF Konzept betrachtet und analysiert.

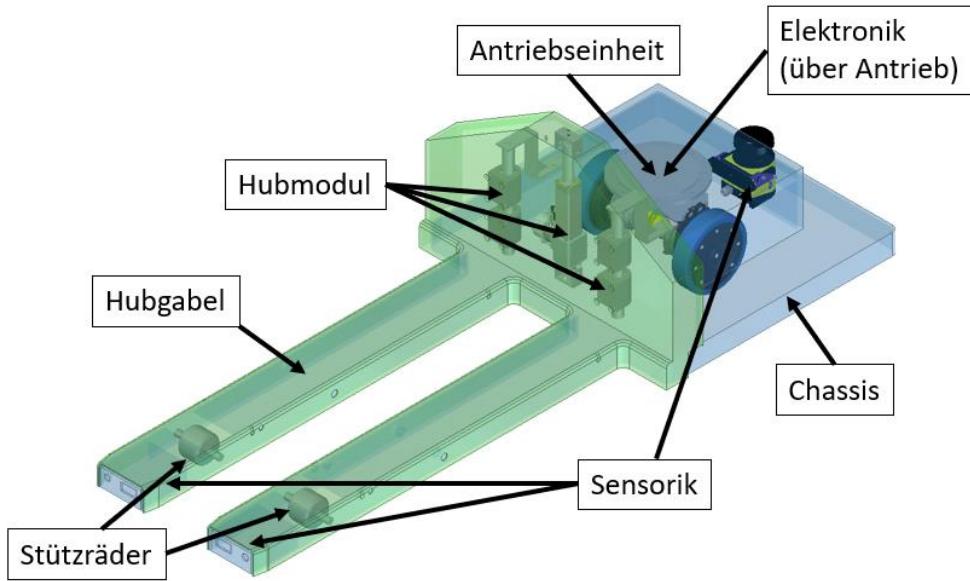


Abbildung 7: Konzeptdarstellung FTF aus vorangegangener Arbeit

Hubgabel

Die Hubgabel dient als Lastaufnahmemittel für die transportierte Ware. Dabei handelt es sich um Europaletten der Norm DIN EN 13698-1 [DIN13698] (Abbildung 8), die mit einer Last von bis zu 500kg beladen werden. Ähnlich der genormten Last-Geometrie (Europalette) ist auch die Geometrie der Hubgabel in einem hohen Maß vorgegeben. Dennoch muss die Hubgabel entsprechend der Belastung und Art der Führung ausgelegt werden, wobei sich an am Markt etablierten Flurförderfahrzeugen orientiert werden kann. Die Schnittstelle dieses Moduls ist die Verbindung zum Hubmodul bzw. genauer zur Aufnahme der Linearlagerung des Moduls. Es ist hierbei darauf zu achten, dass das auf der Hubgabel entstehende Moment von der Linearführung und auch von der Hubgabel selbst im kritischen Punkt zwischen Stirnseite und Auflagerfläche gehalten werden kann.

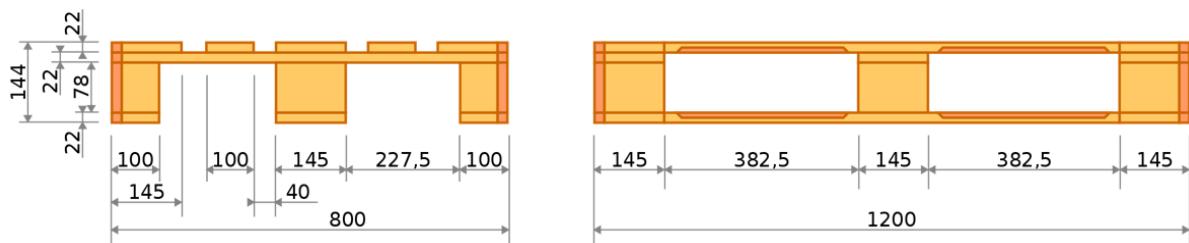


Abbildung 8: Europalette DIN EN13698-1 Maße [WIKI21]

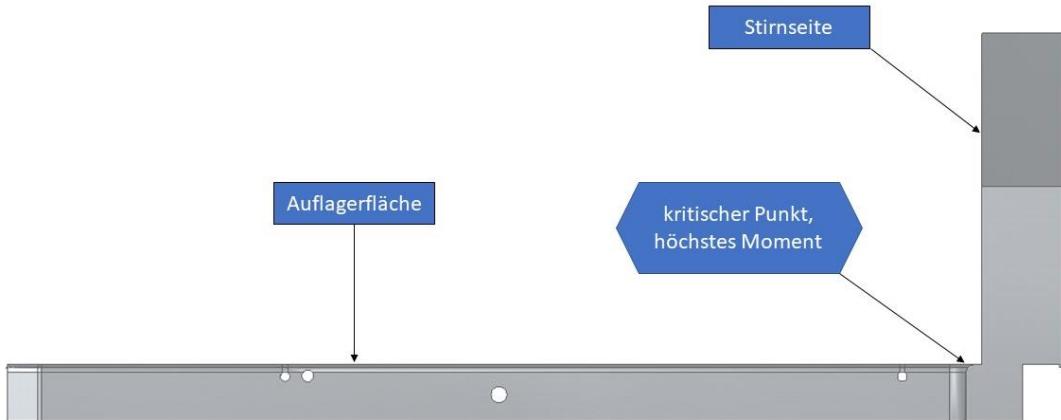


Abbildung 9: Darstellung des kritischen Punkts zur Auslegung der Hubgabel

Hubmodul

Das Hubmodul besteht aus der Linearantriebseinheit mit einer Linearführung und dazugehörigem Adapter zur Anbindung an die Hubgabel. Die Gestaltung dieser Einheit ist ohne kritische Beschränkungen möglich. Einzig eine platzsparende Lösung ist wünschenswert, um die Gesamtgröße des FTF gering zu halten. Aufgabe dieses Moduls ist die vertikale Kraftübertragung des Linearantriebs auf die Hubgabel, wobei zusätzlich die Querkraft, hervorgerufen durch das erzeugte Moment der Last, mittels der Linearführung aufgenommen werden muss. Entsprechend muss zusätzlich die Führungskomponente der Linearführung (Bolzen), so am Chassis angebracht sein, dass die hohen Kräfte aufgenommen werden können. Außerdem benötigt der Antrieb eine Verbindung zu den Elektronikkomponenten, um Energie und Steuerbefehle zu erhalten. Das Hubmodul verfügt somit über Schnittstellen zur Hubgabel, zum Chassis und zu den Elektronikkomponenten.

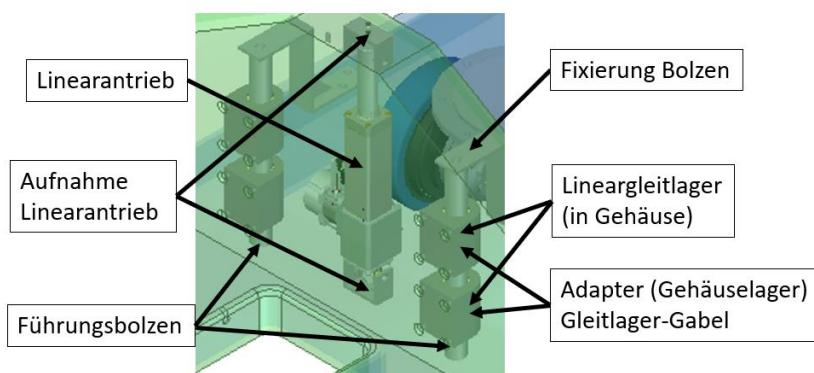


Abbildung 10: Komponenten Hubmodul

Fahrgestell

Das Fahrgestell dient zur Aufnahme aller mechanischen Aufbauten und ist somit der Grundbaustein des gesamten FTF. Der vordere, unter der Hubgabel befindliche Teil, ist durch eben diese Hubgabel in seiner Dimensionierung beschränkt. Das Fahrgestell kann innerhalb, außerhalb oder unterhalb der Hubgabel liegen und muss somit aufeinander abgestimmt werden. Im Bereich hinter der Hubgabel ist die einzige klar definierte konstruktive Vorgabe die Aufnahme des Moduls Drehschemel. Dieser benötigt einen Bauraum von min. 470x470[mm], um allen zuvor dargestellten Anforderungen (Tabelle 1), wie dem Drehwinkel, gerecht zu werden. Außerdem müssen die Elektronikkomponenten auf dem Fahrgestell Platz finden. Für die finale, vollständige Elektronik sind noch keine Maße bekannt, doch aktuell definierte Komponenten können durch Dummy-Modelle zur Bauraumanalyse eingesetzt werden. Weitere Bedingungen der Einsatzumgebung beschränken die Breite des gesamten FTF auf 800mm, entsprechend einer Europalette. Neben den bereits dargestellten Schnittstellen zu den verschiedenen Modulen, muss das Fahrgestell auch die vollständige, wirkende Kraft an die Stützräder und den Drehschemel übertragen. Dabei sind die Auflagerstellen zu diesen Komponenten kritisch, aber auch die Krafteinleitungsstelle am Linearantrieb, sowie an den Befestigungspunkten der Linearführung. Das Fahrgestell verfügt somit über Schnittstellen zum Hubmodul, zu den Elektronikkomponenten, zur Antriebseinheit und zu den Stützräder.

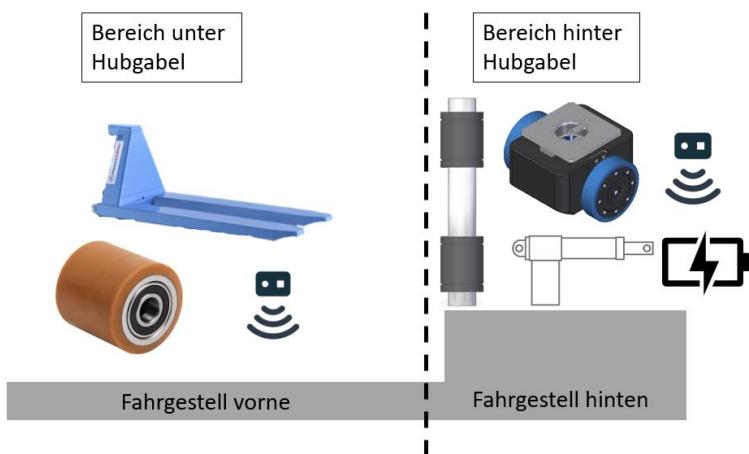


Abbildung 11: Fahrgestell Anbauteile

Antriebseinheit

Die Antriebseinheit besteht aus einem Drehschemel und zwei daran befindlichen Direktantrieben (s. Abbildung 5). Die Auslegung dieses Moduls ist nicht Teil dieser Arbeit und wurde extern durchgeführt. Die Schnittstelle zum Chassis muss allerdings ausgelegt werden, um zum einen das Modul konstruktiv aufnehmen und zum anderen die wirkende Kraft übertragen zu können.

Außerdem steht die Antriebseinheit in Verbindung zu den Elektronikkomponenten, um Energie und Steuerbefehle zu erhalten.

Stützräder

Diese Einheit besteht aus den Gabelrollen und der dazugehörigen Aufnahme. Bei den Rädern handelt es sich um ein Standard-Zukaufteil, welches entsprechend der Belastung ausgelegt werden muss. Die Dimensionen sind durch die des Fahrgestells und der Hubgabel eingeschränkt, da sich die Stützräder im Inneren dieser Module befinden müssen. Die Kraft muss vom Fahrgestell auf die Stützräder mit einer entsprechenden Aufnahme übertragen werden, die die Räder axial in Position hält, aber die Rotation frei gibt. Außerdem haben die Räder Kontakt zum Boden, auf dem sich das FTF bewegt – die Oberfläche des Rades muss also für die Anwendung passend zur Oberfläche des Bodens sein.

Elektronik & Sensorik

Das Elektronikmodul bezieht alle elektronischen Komponenten, bis auf die verschiedenen Antriebe, also den Linearantrieb und die Direktantriebe im Drehschemel, mit ein. Dabei handelt es sich um die Steuerungskomponenten, den Akku und Sensoren zur Navigation am vorderen und hinteren Ende des FTF. Die Auslegung bzw. Wahl der Komponenten selbst ist nicht Teil dieser Arbeit und wird extern in der Elektronikentwicklung durchgeführt. Lediglich die Platzierung der Komponenten als Dummies ist notwendig, um für die tatsächliche Fertigung des Prototyps eine Reservierung des Platzes zu gewährleisten. Die Scannereinheit im vorderen Bereich des FTF befindet sich in der Gabelspitze und dient zur Feinjustierung des FTF gegenüber der Europalette. Diese Komponente ist noch nicht final ausgelegt, doch wird als Black-Box platziert. Am hinteren Ende des FTF, was in Fahrtrichtung liegt, muss der Laserscanner S300 von SICK platziert werden, dessen Scanebene sich in 15cm Höhe befindet und ein 180° Sichtfeld überwacht. Die übrigen Komponenten, wie Akku, DCFL etc., sollen oberhalb der Antriebsseinheit auf einer Plattform platziert werden. Schnittstellen der Elektronikkomponenten treten somit zum Fahrgestell, zum Hubmodul und zur Antriebseinheit auf.

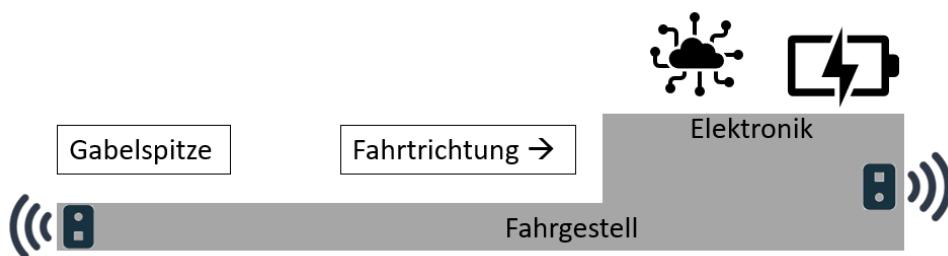


Abbildung 12: Elektronik am Fahrgestell

4.3 Funktionsstruktur

Die Funktionsstruktur dient dazu, die Hauptfunktion des Systems in Teilfunktionen zu unterteilen, die so effizienter bearbeitet werden können. In diesem Fall wurde dafür die „Hierarchische Methode“ verwendet, bei der die Abfolge von Ereignissen keine Rolle spielt, sondern ihre Abhängigkeit voneinander. Im Gegensatz zur „Input-Output-Methode“, bei der die Teilfunktionen einem klaren Ablauf folgen und erst durch Abschluss der vorherigen Funktion ausgeführt werden können, können hier Teilfunktionen simultan ausgeführt werden [LAUT20]. Dies ist für das FTF sehr passend, da Funktionen wie zum Beispiel die Palette zu halten, Vortrieb zu erzeugen und die Umgebung zu erkennen beim Transport gleichzeitig ausgeführt werden müssen.

Die Funktionsstruktur nach Abbildung 13 ergibt sich aus der Anforderungsliste und der Systemanalyse.

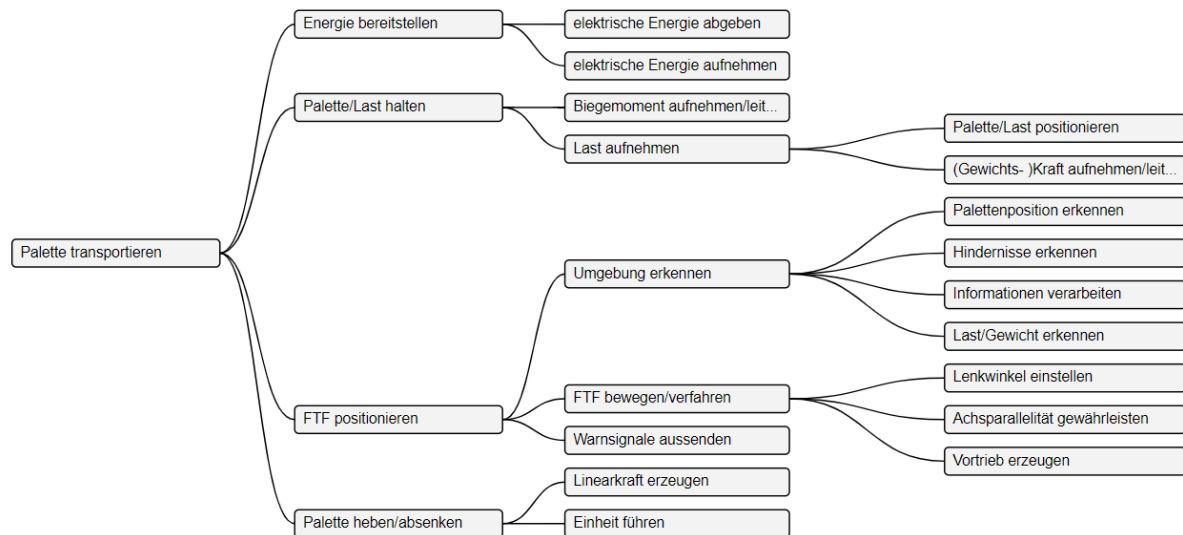


Abbildung 13: Funktionsstruktur FTF

Als Ergebnis der Funktionsstruktur und Systemanalyse kann zudem eine Produktstruktur entwickelt werden. Diese Struktur stellt alle funktionstragenden Komponenten dar, die Teil des FTF sind. Lediglich Bauteile, die zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht absehbar eingesetzt werden, wie zusätzlich notwendige Verbindungs- oder Distanzstücke, sind hier nicht aufzufinden. Außerdem dient die Struktur zur Visualisierung der Zugehörigkeiten von den Bauteilen zu den verschiedenen Modulen (s. Abbildung 14). Die definierten Module entsprechen hier nicht zwangsläufig denen des Kapitels 2, sondern sollen zur Einteilung des FTF zur Konstruktion dienen.

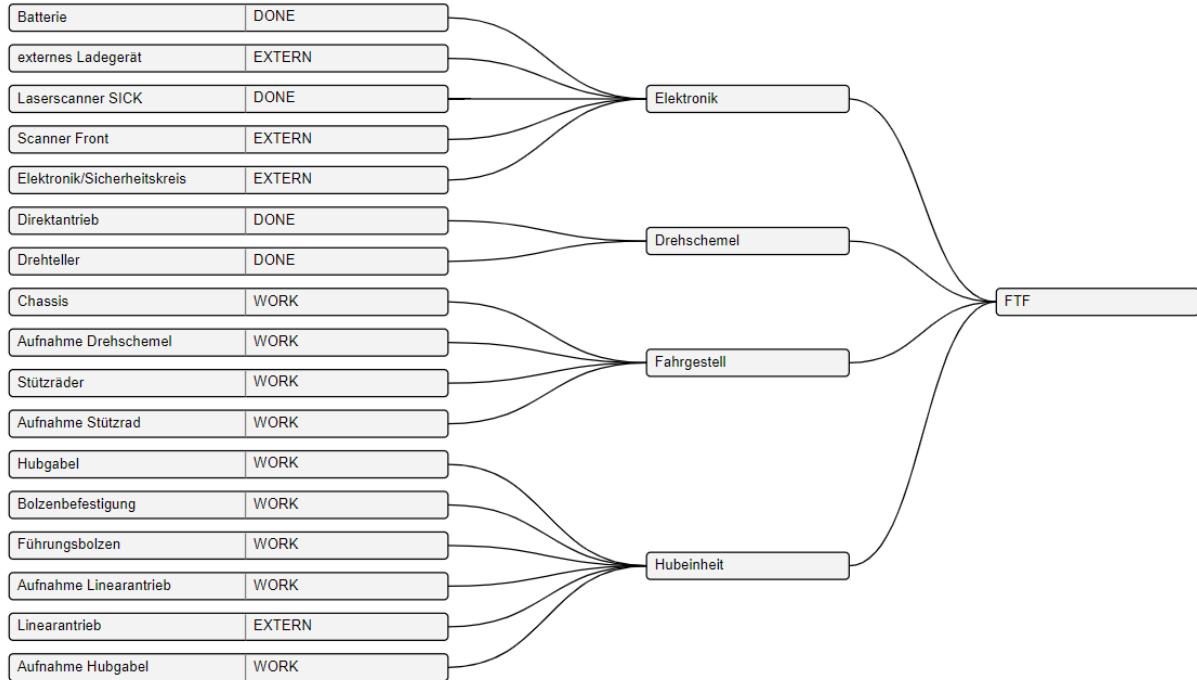


Abbildung 14: Produktstruktur FTF

Darüber hinaus werden die Funktions- und die Produktstruktur zu einer Produktarchitektur zusammengeführt, was die Verbindung zwischen Funktionen und Komponenten liefert (s. Abbildung 15). Diese Verbindung simplifiziert den Aufbau des folgenden Morphologischen Kastens, da so zu einer Funktion bereits verschiedene Bauteile festgelegt werden können, für die Lösungen gefunden werden müssen. So muss beispielsweise für die Funktion „(Gewichts-)Kraft aufnehmen/leiten“ nicht je Lösung ein komplexes Konstrukt erstellt werden, sondern es können für jedes Bauteil, dass Teil dieser Funktion ist, Lösungen gefunden werden, die dann unterschiedlich kombiniert werden können. Die in Abbildung 14 und 15 dargestellten Komponenten sind mit dem Zusatz DONE, EXTERN oder WORK versehen. Dabei bedeutet DONE, dass es sich um ein bereits vollständig ausgelegtes Bauteil handelt, EXTERN, dass sich die Komponente noch in externer Auslegung befindet, aber nicht Teil dieser Arbeit ist, und WORK, dass das Bauteil in dieser Arbeit ausgelegt werden muss. Die vollständige Produktarchitektur ist zudem im Anhang in Form einer METUS Raute zu finden [FELD13].

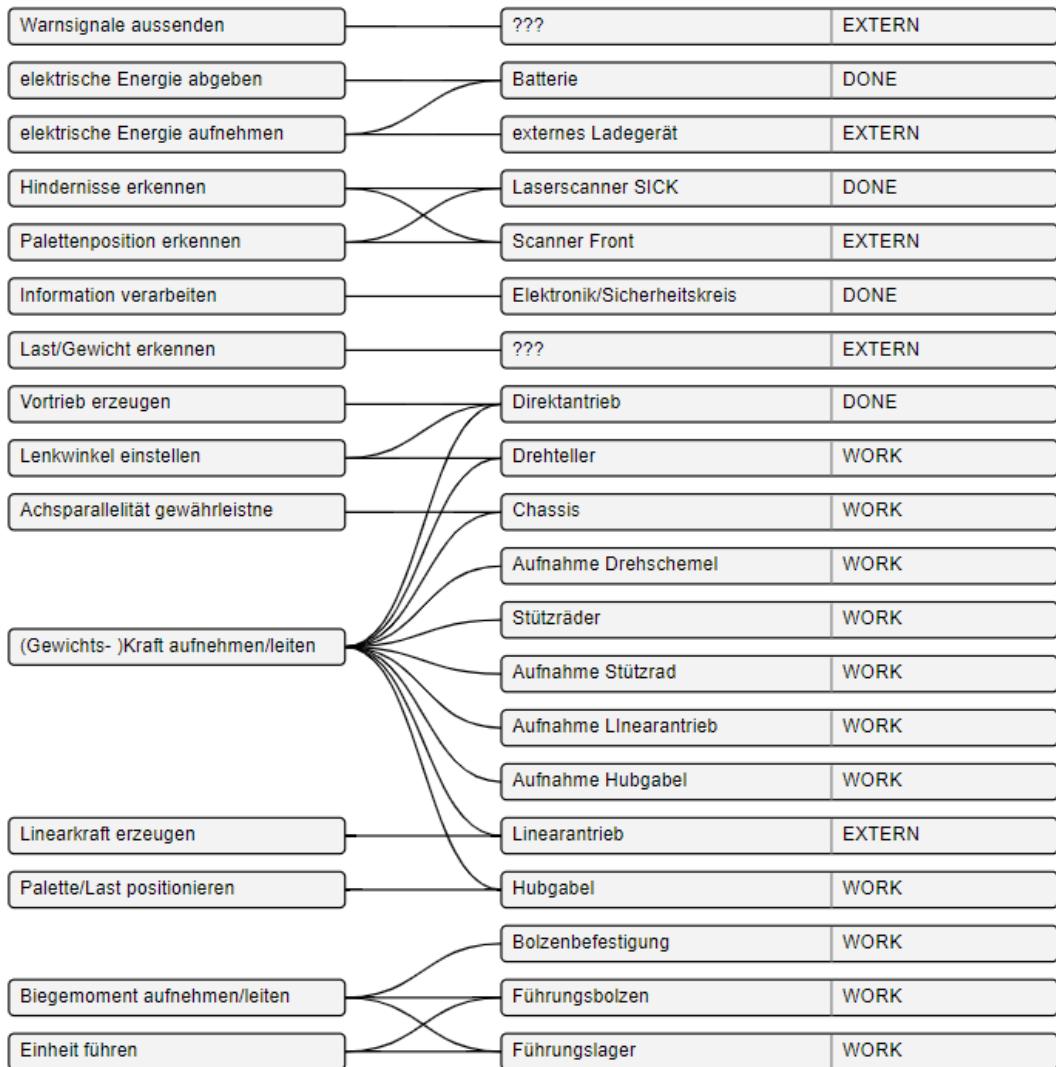


Abbildung 15: Verbindung Produktarchitektur FTF

Abschließend stellt Abbildung 16 die Verbindungen der vier Module untereinander bezüglich Stoffe, Energie und Signalen/ Informationen.

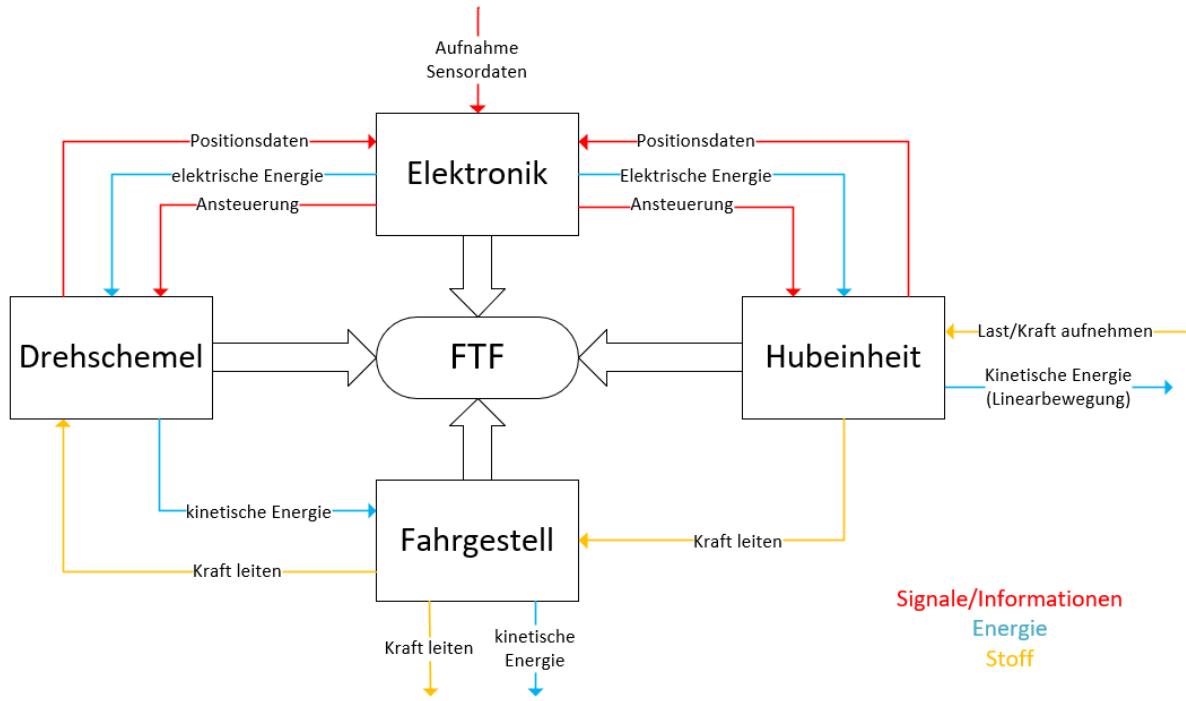


Abbildung 16: Schnittstellen der Module FTF

4.4 Abgrenzung Verbindungsprinzipien

Bevor der Morphologische Kasten ausgearbeitet wird, sollen Verbindungsprinzipien untereinander abgegrenzt werden, da auch die Art der Verbindung eine Lösung definieren soll. Im Produkt FTF müssen die unterschiedlichen Komponenten fest verbunden werden, da teils sehr hohe Kräfte wirken. Welche Verbindungstechnik für die explizite Anwendung die beste ist, kann erst nach Auslegung des Bauteils, Berechnung der Kräfte und Funktion definiert werden, doch um schon an diesem Punkt die zu betrachtenden Verbindungstechniken einzuschränken, werden diese gegenübergestellt. Das zu verbindende Material ist für die tragenden Bauteile in jedem Fall Stahl, wobei es sich durch eine zuvor getroffene interne Festlegung um S235 handeln soll, da dies der bei Lieferanten am weitesten verbreitete Stahl-Typ ist und gute Eigenschaften in Bezug auf Schweißbarkeit aber auch Festigkeit aufweist. Daraus ergeben sich die Verbindungsmöglichkeiten Kleben, Schrauben, Schweißen, Nieten und Löten. Eine Fertigung von Bauteilgruppen durch Gusstechniken wird nicht berücksichtigt, da es sich zunächst um eine Prototypen- bzw. Kleinserienfertigung handelt. Bei der Auswahl muss primär darauf geachtet werden, um was für eine Verbindung es sich handelt; ob lösbar oder unlösbar – dies ist der hauptsächlich ausschlaggebende Faktor zur Unterscheidung. Durch diese Unterscheidung trennt sich die Schraubverbindung von den übrigen Varianten. Das Lösen einer Verbindung

durch Kleben, Schweißen, Löten oder Nieten lässt sich in der Regel nur durch eine Beschädigung oder Zerstörung des Bauteils erreichen.

Es werden nun die verschiedenen Verbindungsarten mit ihren Vor- und Nachteilen aufgezeigt, wodurch eine Auswahl auf zwei bis drei Varianten zur weiteren Betrachtung im Morphologischen Kasten erreicht werden soll.

Die Schraubverbindung stellt ein lösbares Fügen von Bauteilen dar, wobei zwei Ebenen miteinander verpresst werden. Ein deutlicher Vorteil dieser Variante ist das Verbinden von Werkstücken unterschiedlicher Materialien. Es handelt sich außerdem um ein weit verbreitetes Mittel, welches günstig durch Massenfertigung von Normteilen hergestellt werden kann und wofür die nötigen Werkzeuge in der Regel vorhanden sind. Die Verwendung erfordert allerdings eine Bearbeitung des Werkstücks, um die Schrauben entsprechend in einem Gewinde oder Durchgangsloch platzieren zu können.

Nieten stellt eine unlösbare Verbindung dar, die zwei Ebenen durch Überlappung und Einsetzen eines Niets miteinander verbindet. Das Lösen der Verbindung kann nur durch Zerstörung des Niets erreicht werden, wobei auch Beschädigungen der zugehörigen Bohrung möglich sind. Ähnlich der Schraubverbindung ist auch hier ein Verbinden von verschiedenen Materialien möglich. Die notwendige Überlappung von Bauteilen stellt den größten Nachteil dar, da diese Anforderung viele Anwendungsgebiete ausschließt, die zum Beispiel einen Stumpfstoß benötigen. Außerdem fließt der Faktor von fehlender praktischer Erfahrung in Bezug auf komplexe Nietverbindungen in die Bewertung mit ein, was eine derartige Konstruktion als nicht realistisch einstufen lässt.

Das Kleben stellt ebenfalls eine Verbindung dar, die nur durch Zerstörung gelöst werden kann. Es bietet eine, im Vergleich zu den anderen Verbindungsverfahren, geringe Tragfähigkeit, wobei diese durch eine größere Verbindungsfläche steigt. Auch hier können verschiedene Materialien verbunden werden. Die bereits genannten Eigenschaften treffen auf industrielle Klebstoffe jeder Art zu, doch weitere Faktoren sind dann von der Wahl der speziellen Variante abhängig, wie Temperatur- und Wasserempfindlichkeit.

Die Schweißverbindung stellt ein weiteres unlösbare Verbindungsverfahren dar, wobei keine Überlappung der Bauteile o.ä. notwendig ist, sodass im Vergleich zur Nietverbindung von einer Gewichtsersparsnis von ca. 20% auszugehen ist. Es handelt sich um eine feste Verbindung, die hohe Kräfte aushalten, doch lediglich zur Verbindung gleichartiger Werkstoffe genutzt werden kann. Während des Verbindungsprozesses entstehen Eigenspannungen durch hohen

Temperatureinfluss, die Nachbearbeitungen von präzisen Bauteilen zufolge haben. Die großen Vorteile dieser Verbindung sind allerdings die weite Verbreitung des Verfahrens und die verschiedenen realisierbaren Stoßformen, also Ausrichtungen von Bauteilen zueinander.

Das Löten lässt sich in verschiedene Arten aufteilen, dem Weichlöten und dem Hartlöten, wobei das Hartlöten für die hier notwendige Anwendung die adäquate Lösung ist. Auch hier handelt es sich um eine unlösbare Verbindung, die zwar eine Verbindung von unterschiedlichen Metallen zulässt, doch gegenüber der Schweißverbindung eine geringere Festigkeit trotz aufwändigerer Vorarbeiten aufweist.

Aufgrund der beschriebenen Vor- und Nachteile der Verbindungsarten sollen im weiteren Verlauf die Varianten Schrauben und Schweißen betrachtet werden. Das Schrauben bietet, vor allem für den Prototypenbau, die Möglichkeit von simplen Anpassungen durch die einfache Lösbarkeit der Bauteile. Außerdem kann die Montage intern ohne besondere Hilfsmittel durchgeführt werden. Die Schweißverbindung bietet für diese Anwendung die beste unlösbare Verbindung und kann so vergleichend herangezogen werden. [WITT17] [ZIMM17]

4.5 Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten dient zur übersichtlichen Darstellung möglicher Umsetzungen für die in der Funktionsstruktur kreierten Teifunktionen. Dabei sollen, nahezu wertungsfrei, realisierbare Lösung grob skizziert werden, sodass aus einer Kombination der Teillösungen in der Matrix eine Lösungsvariante für das Gesamtsystem zusammengestellt werden kann. [WITT17]

Zusätzlich zu den Teifunktionen aus der Funktionsstruktur wird in diesem Morphologischen Kasten schon auf die speziellen Komponenten zur Umsetzung der Teifunktionen eingegangen, die aus der Produktarchitektur hervorgehen (vgl. Abbildung 15). Auch weitere Punkte, die keine direkte Funktion ausüben, sondern in Bezug zur Art der Konstruktion selbst stehen, wie der Verbindungstechnik, werden mit einbezogen.

Im Folgenden werden die verschiedenen Lösungen zu den Teifunktionen dargestellt und deren Umsetzung erklärt. Bei einigen Abbildungen wird zur Darstellung der Unterschiede mit grüner und roter Farbe gearbeitet. Dabei steht die grüne Einfärbung von Bauteilen dafür, dass diese konstant gleichbleiben, die rote Farbe hingegen stellt deutlich abweichende Geometrien dar.

Hindernisse erkennen

Funktionen	Lösungen	Lösung 1
Hindernisse erkennen		Lösung 1 Laserscanner S300 (extern) 

Abbildung 17: Morphologischer Kasten Funktion "Hindernisse erkennen"

Die Funktion „Hindernisse erkennen“ ist zwar Teil des Gesamtsystems, die Auslegung der Lösung ist allerdings ausgelagert und nicht Teil dieser Arbeit. Die verwendete Komponente ist bereits klar als Laserscanner S300 der Firma SICK definiert. Dieser befindet sich in der Hauptfahrtrichtung des FTF.

Palettenposition erkennen

Funktionen	Lösungen	Lösung 1
Palettenposition erkennen		Lösung 1 Scannereinheit Front + SICK (extern) 

Abbildung 18: Morphologischer Kasten Funktion „Palettenposition erkennen“

Die Erkennung der Palettenposition erfolgt ebenfalls durch eine Sensorik, die extern ausgewählt wird. Dabei handelt es sich zum einen um den bereits beschriebenen Laserscanner S300 der Firma SICK und zum anderen um eine Sensoreinheit, die in der Spitze des Fahrgerüsts platziert wird. Diese Einheit befindet sich in der Entwicklung und wird somit lediglich als Blackbox eingesetzt.

Informationen verarbeiten

Funktionen	Lösungen	Lösung 1
Informationen verarbeiten		Lösung 1 externe Elektronik 

Abbildung 19: Morphologischer Kasten Funktion "Informationen verarbeiten"

Die Funktion „Informationen verarbeiten“ wird durch die gesamte Steuerungselektronik umgesetzt. Auch diese ist nicht Teil dieser Arbeit und wird extern entwickelt. Final ausgewählte Komponenten können im Folgenden als Dummys im Modell integriert werden.

Lenkwinkel einstellen & Vortrieb erzeugen

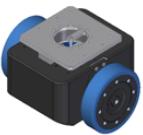
Funktionen	Lösungen
Lenkwinkel einstellen + Vortrieb erzeugen	Lösung 1 Drehschemel 

Abbildung 20: Morphologischer Kasten Funktion "Lenkwinkel einstellen & Vortrieb erzeugen"

Die Einheit Drehschemel wird als gegeben betrachtet und bildet die vollständige Lenkung und Erzeugung des Vortriebs. Dieser wurde extern entwickelt und wird als fertiges System im FTF integriert.

Achsparallelität gewährleisten

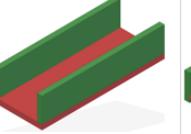
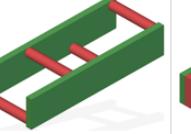
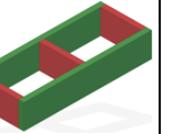
Funktionen	Lösungen	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
Achsparallelität gewährleisten					

Abbildung 21: Morphologischer Kasten Funktion "Achsparallelität gewährleisten"

Die Funktion „Achsparallelität gewährleisten“ dient zur Versteifung der zueinander parallel ausgerichteten Profile, die jeweils eine Seite des Chassis bilden. Diese parallelen Profile erfahren kaum Kraft aus seitlicher Richtung, sodass der Grad der Versteifung moderat gehalten werden kann. Aus diesem Grund entfallen die Lösungen 1 und 2 aus dem Morphologischen Kasten bei der Wahl der verschiedenen Lösungskonzepte. Die Ausführung durch eine vollkommen geschlossene Boden- oder Deckplatte wäre überdimensioniert und würde zudem den Bauraum für anderen Komponenten stark einschränken. Außerdem weist die Montage derartiger Platten einen großen Montageaufwand auf, da die Komponenten über die gesamte Länge verschweißt oder durch zusätzliche Verbindungselemente verschraubt werden müssen. Die übrigen Lösungen – 3 und 4 – stellen Versteifungen durch Einsetzen von Rundstäben oder rechteckigen Platten dar. Diese können gemäß den Bauraumbedingungen der verschiedenen

Konzepte an den gewünschten Positionen platziert und durch verschiedene Verbindungstechniken fixiert werden.

Hubgabel

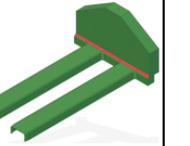
Funktionen	Lösungen	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Gewichtskraft aufnehmen	Hubgabel			

Abbildung 22: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Hubgabel"

Die Hubgabel kann durch verschiedene Verbindungstechniken aufgebaut werden. Dabei soll es um die Verbindung zwischen der Gabel selbst gehen, die die Palette aufnimmt, und der Rückwand, die die Verbindung zur Linearführung darstellt. Mögliche Ausführungen sind die Verwendung eines Vollteils (Lösung 1) – eventuell entnommen aus einer bestehenden Hubgabel vom Markt -, die Verbindung durch Schrauben (Lösung 2) oder die Verbindung durch Schweißen (Lösung 3). Die Verwendung eines Vollteils wird für die Lösungskonzepte verworfen, da Recherchen zeigen, dass eine derartige Adaption einer bereits vorhandenen Hubgabel für die eigenen Anforderungen nicht realisierbar ist. Sowohl die Verschraubung als auch die Verschweißung werden in den Lösungskonzepten umgesetzt.

Aufnahme Hubgabel

Funktionen	Lösungen	Lösung 1	Lösung 2
Gewichtskraft aufnehmen	Aufnahme Hubgabel		

Abbildung 23: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Aufnahme Hubgabel"

Die Aufnahme der Hubgabel stellt das Verbindungsstück zwischen Linearführung bzw. Linearlager und der Hubgabel dar. Hierbei bieten Hersteller passende Komponenten für ihre Lager an, sodass sich aus dem entsprechenden Portfolio bedient werden kann. Die Wahl zwischen einem offenen und einem geschlossenen Gehäuselager entfällt aufgrund von Kraftverhältnissen auf das geschlossene Gehäuselager. Da entsprechend Abbildung 23 die Gehäuselager mit einer Zugkraft nach oben belastet werden, bietet ein offenes Lager eine zu geringer krafttragende Auflagerfläche.

Aufnahme Linearantrieb

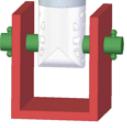
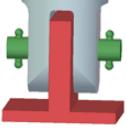
Funktionen	Lösungen	
	Lösung 1	Lösung 2
Gewichtskraft aufnehmen		

Abbildung 24: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Aufnahme Linearantrieb"

Die Aufnahme des Linearantriebs orientiert sich am verbreiteten Standard. Dabei wird der Gabelkopf des Linearantriebs in ein passendes Gegenstück eingeführt und durch einen axial gesicherten Bolzen fixiert. Die Wahl zwischen dem U- und T-Profil ist abhängig von den Gegebenheiten des jeweiligen Linearantriebs.

Verbindungsart Chassis

Funktionen	Lösungen		
	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Gewichtskraft aufnehmen			

Abbildung 25: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Verbindungsart Chassis"

Dieser Punkt des Morphologischen Kastens soll die Verbindungstechnik der verschiedenen Bauteile des Fahrgestells darstellen, nicht die geometrische Ausführung o.ä. Mögliche Ausführung sind gemäß der zuvor betrachteten Verbindungstechniken (Abschnitt 4.4) Schweißen, Schrauben und eine Hybrid-Methode. Alle drei Methoden werden in den Lösungskonzepten umgesetzt.

Stützradaufnahme

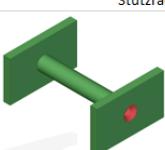
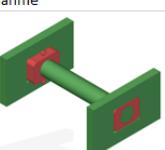
Funktionen	Lösungen		
	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Gewichtskraft aufnehmen			

Abbildung 26: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Stützradaufnahme"

Die Stützradaufnahme kann durch drei verschiedene Möglichkeiten umgesetzt werden, wobei sich eine stark von den übrigen unterscheidet. So kann das Stützrad aus einem einzelnen Modul bestehen, welches als gesamtes am Fahrgestell angebracht wird, oder das Stützrad ist eine einzelne Komponente, welche auf einen Bolzen aufgesetzt wird. Dieser Bolzen kann dabei durch eine Verschraubung direkt am Fahrgestell montiert werden, wie bei Lösung 1 durch eine Bohrung dargestellt, oder der Bolzen wird durch Sicherungssplinte in einem zusätzlichen Adapter-Bauteil in Position gehalten. Die Variante als einzelnes Modul wird hier nicht als Lösungskonzept gewählt, da derartige Module eine vertikale Verschraubung und großen Bau- raum benötigen.

Aufnahme Drehschemel Montagerichtung

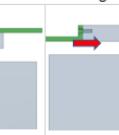
Funktionen \ Lösungen	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
	Aufnahme Drehschemel Montageart/-richtung			
Gewichtskraft aufnehmen				

Abbildung 27: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen - Aufnahme Drehschemel Montageart/-richtung"

Bei der Drehschemelaufnahme wird die Montagerichtung unterschieden. Alle dargestellten Lösungen stellen eine lösbare Verbindung dar, was erforderlich ist, da der Drehschemel ein potenzielles Wartungsteil ist, dessen Zugang gut möglich sein muss. Die Schraubverbindung unterscheidet sich hier in eine Montage von oben, von unten und von der Seite. Zusätzlich ist eine Klemmverbindung möglich, wobei der Drehschemel in eine Führungsleiste eingeschoben und dort geklemmt wird, was eine sehr schnelle Montage und Demontage ermöglicht. Da die Konstruktion einer solchen Klemmverbindung jedoch deutlich aufwändiger als eine Schraubverbindung und der Mehrwert der schnellen Demontage im täglichen Gebrauch des FTF nicht hoch genug ist, wird auf diese Verbindung verzichtet. Die übrigen Lösungen werden in den Lösungskonzepten verwendet.

Hubgabel

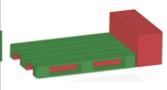
Funktionen \ Lösungen	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4	Lösung 5	Lösung 6
	Hubgabel					
Gewichtskraft aufnehmen						

Abbildung 28: Morphologischer Kasten Funktion "Gewichtskraft aufnehmen – Hubgabel"

Das Profil der Hubgabel kann auf verschiedenste Weise ausgeführt werden, wobei im Morphologischen Kasten fünf als sinnvoll erachtete Varianten dargestellt sind. Für alle Varianten wird an der Rückseite ein Anschlag vorhanden sein (s. Abbildung 28: Lösung 6), der die Palette in dieser Richtung sichert und als Verbindungselement zur Linearführung dient. Die fünf Varianten sind folgende:

- ein U-Profil, wobei alle Seiten tragend sind
- ein T-Profil, wobei alle Seiten tragend sind
- eine Rechteck-Profil, wie ein Gabelzinken, dessen Stärke über die Länge der Gabel verringert wird
- ein T-Profil, wobei alle Seiten tragend sind, mit zusätzlichen Abschirmungen nach außen, um ein Eindringen von Gegenständen in den Gabelinnenraum zu verhindern
- ein Doppel-T-Profil, wobei alle Seiten tragend sind

Für die drei Lösungsvarianten wurden nicht gewählt:

- Doppel-T-Profil, da zu viel Bauraum eingenommen wird, auch und vor allem im vorderen Gabelbereich, wo die Sensorik und das Stützrad Platz finden muss
- T-Profil mit zusätzlichen Abschirmungen, da dies keinen Vorteil zum U-Profil bildet – wenn Abschirmungen angebracht werden müssen, können diese auch als tragende Elemente ausgestaltet werden und der vertikale Teil des T-Profiles ist hinfällig

Biegemoment aufnehmen

Funktionen	Lösungen			
	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
Biegemoment aufnehmen	Winkel zur Fixierung	Überlappende Deckplatte	offene Führung	

Abbildung 29: Morphologischer Kasten Funktion "Biegemoment aufnehmen"

Das Biegemoment wird von der Hubgabel hervorgerufen und muss von den Bolzen der Linearführung aufgenommen werden, welche wiederum sicher am Chassis montiert werden müssen. Dabei kann ein Winkel auf der Platte zur Drehschemelaufnahme oder ein Winkel vertikal an der Drehschemelaufnahme montiert werden (Abbildung 29: Lösungen 1 und 2). Außerdem kann die Drehschemelaufnahme so weit verlängert werden, dass diese die Bolzen ohne zusätzliche Winkel hält. Diese Variante entfällt bei der Lösungsfindung, da die Drehschemelauf-

nahme deutlich zu niedrig ist, um die Linearführung vollkommen darunter platzieren zu können. Außerdem wären so die Führungslager für eine Wartung nicht demontierbar, ohne die gesamte Drehschemelaufnahme zu entfernen. Die letzte Variante stellt die Halterung für eine offene Lineargleitlagerung dar, die vertikal an der Drehschemelaufnahme platziert wird. Auch diese Variante entfällt, da geschlossene Lager für die Kraftverhältnisse deutlich besser geeignet sind (vgl. Funktion „Aufnahme Hubgabel“).

Einheit führen

Funktionen	Lösungen			
	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
Einheit führen	Lineargleitlager	Linearkugellager	offenes Lineargleitlager	offenes Linearkugellager



Abbildung 30: Morphologischer Kasten Funktion "Einheit führen"

Um die Einheit zu führen, können Lineargleit- oder Linearkugellager verwendet werden, die wiederum als offene oder geschlossene Lager ausgeführt sein können. Für die Lösungskonzepte wurde sich lediglich für die geschlossenen Lager aufgrund der Kraftverhältnisse entschieden. Außerdem entfällt die Wahl zwischen Gleit- und Kugellager auf das Gleitlager, da Kugellager primär für hohe Bewegungsgeschwindigkeiten verwendet werden, was hier nicht der Fall ist. Für die hohen Kräfte ist das Angebot an Standardware zudem sehr gering und auch die Baugröße, sowie Wartungsaufwand spricht für das Gleitlager. [MSMO21] [DEIN21]

Linearkraft erzeugen

Funktionen	Lösungen	
	Lösung 1	
Linearkraft aufbringen	Linearantrieb	

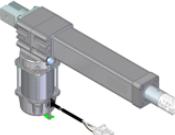


Abbildung 31: Morphologischer Kasten Funktion "Linearkraft aufbringen"

Die erforderliche Linearkraft wird durch einen hausinternen Linearantrieb aufgebracht. Dieser befindet sich bereits im Portfolio der Firma Hanning Elektro-Werke und kann somit flexibel eingesetzt werden.

Elektrische Energie aufnehmen & abgeben

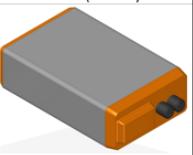
Funktionen	Lösungen
elektrische Energie aufnehmen & abgeben	Lösung 1 

Abbildung 32: Morphologischer Kasten Funktion "elektrische Energie aufnehmen & abgeben"

Die Bereitstellung der elektrischen Energie erfolgt durch einen Akku. Diese Umsetzung ist bereits extern definiert und wird somit lediglich als Dummy im Modell platziert.

4.6 Lösungsfindung

Lösungskonzepte		Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3
Funktionen				
(Gewichts-)Kraft aufnehmen	Achsparallelität gewährleisten			
	Hubgabel			
	Aufnahme Hubgabel			
	Aufnahme Linearantrieb			
	Chassis			
	Stützrad-aufnahme			
	Stützrad			
	Aufnahme Drehschemel			
	Palette positionieren			
Biegemoment aufnehmen				
	Einheit führen			

Abbildung 33: Lösungskonzepte aus Morphologischem Kasten

Die im Abschnitt 4.5 beschriebenen Umsetzungen der Funktionen im Morphologischen Kasten werden im gleichen Abschnitt bereits begründet zu Lösungskonzepten ausgewählt. Abbildung 33 stellt dabei die drei entstandenen Lösungskonzepte dar, wobei nur die alleinstehenden Lösungen gezeigt werden. Darunter ist zu verstehen, dass Lösungen, die für alle Varianten gleich sind, wie zum Beispiel die Scanner-Einheiten, der Akku oder der Linearantrieb, hier nicht berücksichtigt werden, um die Übersichtlichkeit der Darstellung zu gewährleisten und den Fokus auf die Unterschiede zwischen den Konzepten und vor allem auf die Aspekte zu legen, die in dieser Arbeit ausgelegt werden. Es lässt sich in der Abbildung erkennen, dass Konzept 1 ein Schweißkonzept bezüglich des Fahrgestells mit einer ebenfalls geschweißten Gabel darstellt, Konzept 2 ein reines Schraubkonzept und Konzept 3 ein Hybridmodell bezüglich des Fahrgestells, welches jedoch ebenfalls eine geschweißte Hubgabel aufweist.

Zur fundierten Bewertung der Konzepte müssen diese im nächsten Schritt zu einem Detailierungsgrad ausgearbeitet werden, der Abschätzungen bezüglich Kosten, dem Gewicht und der Instandhaltung ermöglicht.

5 Auslegung der Konzepte

Die konstruktive Auslegung der Konzepte ist kritisch zur finalen Bewertung, da hier weitere Unterschiede zwischen Konzepten, neben den bekannten aus dem Morphologischen Kasten, aufgetan werden können. Ein weitestgehend detailliertes Modell ermöglicht eine Abschätzung zu verschiedenen Aspekten bezüglich der Fertigung, Montage, Gewicht und weiteren Bereichen. Dafür werden in diesem Abschnitt die drei Lösungskonzepte für das Fahrgestell und die Hubgabel entsprechend ausgearbeitet. Das Fahrgestell und die Hubgabel aus Konzept 1 werden zwar jeweils unter dem Begriff Konzept 1 bzw. Typ 1 erstellt, sind allerdings im Nachgang auch mit anderen Konzepten kombinierbar.

Zur Auslegung der Konzepte werden zunächst die vorhandenen Kräfte ermittelt, auf Grundlage dessen Berechnungen zu Biege- und Normalspannungen durchgeführt werden. Daraus können Bauteildimensionen erstellt werden, die zunächst die Spannungen ohne Zerstörung aufnehmen können. Im weiteren Verlauf muss bei einigen Bauteilen aber auch auf die Durchbiegung geachtet werden, die kritisch für die Anwendung sein kann. Bei Berechnungen wird der Koeffizient zur statischen Sicherheit von 1,25 und zur dynamischen Sicherheit von 1,1 gemäß der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG verwendet [MASC06]. Wie bereits beschrieben soll es sich beim Material um den Stahltyp S235 handeln, der ein zulässige Biegespannung bei schwelender Belastung von 270N/mm^2 aufweist [SCHW21a]. Eine dynamisch schwellende Belastung des Falls zwei nach [WITT17] tritt hier immer auf, da die Konstruktion dauerhaft durch das Eigengewicht der Gabel belastet und die Höhe der Belastung durch das Maß an Zuladung schwankt, doch nie null oder negativ wird. Bei möglichen Leichtbauvarianten wird zudem Aluminium eingesetzt, wenn es der Kraftfluss zulässt. Die erzielte Gewichtsreduktion trägt dann, beispielsweise aufgrund von erhöhter Akkulaufzeit, positiv zur Betriebstauglichkeit bei.

5.1 Interne Kräfte

Der Kraftfluss des FTF beginnt bei der Hubgabel. Die Last dieser wird mit 550kg angenommen, was sich aus der maximalen Zuladung von 500kg und einem Eigengewicht der Hubgabel von 50kg zusammensetzt. Das Eigengewicht geht aus Recherchen von innerbetrieblichen Hubgabeln von Handhubwagen hervor.

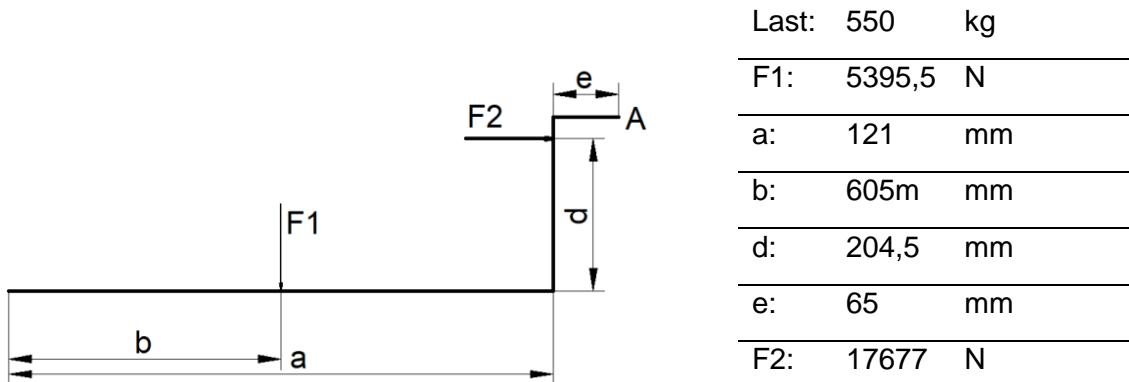


Abbildung 34: Freischnitt Hubgabelbelastung

Die Variablen der Abbildung 34 beschreiben dabei folgende Werte:

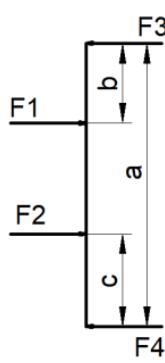
- a: Länge der Hubgabel. Der Wert von 1210mm findet im Markt breite Anwendung für Europaletten, die eine Länge von 1200mm aufweisen.
- b: Die halbe Länge der Europalette. Gemittelter Lastangriffspunkt der Flächenlast der Europalette.
- d: Mittlere Höhe der Linearlagerung, bestehend aus 2 Lineargleitlagern, die sich so mit real oberhalb und unterhalb von d befinden.
- e: Abstand des Endes der Auflagerfläche der Hubgabel zum Angriffspunkt des Linearantriebs, der die Hubgabel vertikal hebt.
- F1: Die Kraft der Last, die auf die Hubgabel wirkt (Europalette).
- F2: Entstehende Kraft, die durch die Kraft F1 hervorgerufen wird bei einer Drehung der Hubgabel um den Punkt A, also den Angriffspunkt des Linearantriebs.

Die Kraft F2 wirkt radial auf die Lineargleitlager, sodass diese entsprechend ausgelegt werden müssen. Außerdem entsteht so eine Reibkraft, die der Linearantrieb zusätzlich zur Gewichtskraft der Hubgabel mit Last aufbringen muss. Die Kraft F2 wirkt vereinfacht gleichmäßig auf die vier Gleitlager, sodass diese also eine Kraft von ca. 4,5kN dynamisch, also in Bewegung, aufnehmen müssen. Aufgrund dessen wird das Lineargleitlager RJUM-06-40 von der Firma igus gewählt. Dies weist einen Innendurchmesser von 40mm auf, welcher auch durch die geforderte Stärke des Führungsbolzen vorgegeben wäre. Die Auslegung des Bolzens folgt. Das verwendete Material des Gleitelements, iglidur J, hat einen mittleren Gleitreibwert gegenüber Stahl von 0,12, sodass sich eine Reibkraft bei Volllast von $F_R = F2 * \mu_R \rightarrow F_R = 17677N * 0,12 \approx 2121N$ ergibt. Der Linearantrieb muss somit eine Kraft von $F1 + F_R \rightarrow 5395,5N + 2121N = 7516,5N$ aufbringen. Gewählt wird dafür der Antrieb hamatic compact SH56 aus dem internen Geschäftsbereich Verstelltechnik von Hanning. Dieser Antrieb entstammt dem Bereich Medizingeräte und ist dort für 8.000N Nennlast ausgelegt. [IGUS21]

Ein weiterer Aspekt der Linearführung ist, wie bereits angerissen, der Bolzen, auf dem die Gleitlager geführt sind. Eingeschränkt durch die Einbaulänge des Linearantrieb von 379mm, werden die Bolzen auf eine Länge von 400mm festgelegt. Somit kann durch eine Betrachtung der Biegespannung ein minimaler Durchmesser mithilfe der Biegehauptgleichung [WITT17] berechnet werden:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M}{\pi * \sigma_{b,zul}}}$$

Die Anwendung lässt sich gemäß Abbildung 35 darstellen. Dabei stellen F1 und F2 die Kräfte und die Kraftangriffspunkte dar, die auf die Lineargleitlager wirken, und F3 und F4 stellen die Einspannungen der Bolzen an den beiden Enden dar.



Zulässige Biegespannung (S235JR):	270 N/mm²	Sicherheit:	1,25
mittlere Position	oberste Position	unterste Position	
a: 400 mm	a: 400 mm	a: 400 mm	
b: 83 mm	b: 50,5 mm	b: 115,5 mm	
c: 157 mm	c: 189,5 mm	c: 124,5 mm	
F1: 4419,29707 N	F1: 4419,29707 N	F1: 4419,29707 N	
F2: 4419,29707 N	F2: 4419,29707 N	F2: 4419,29707 N	
F3: 5236,86702 N	F3: 5955,0028 N	F3: 4518,73125 N	
F4: 3601,72711 N	F4: 2883,59134 N	F4: 4319,86288 N	
Biegemoment bei F1: 0 Nmm	Biegemoment bei F1: 0 Nmm	Biegemoment bei F1: 0 Nmm	
Biegemoment bei F2: 565471,156 Nmm	Biegemoment bei F2: 546440,558 Nmm	Biegemoment bei F2: 537822,929 Nmm	
Biegemoment bei F3: 434659,963 Nmm	Biegemoment bei F3: 300727,641 Nmm	Biegemoment bei F3: 521913,459 Nmm	
Biegemoment bei F4: 0 Nmm	Biegemoment bei F4: 0 Nmm	Biegemoment bei F4: 0 Nmm	
minimaler Durchmesser Punkt 1: 29,9073984 mm	minimaler Durchmesser Punkt 1: 29,5680574 mm	minimaler Durchmesser Punkt 1: 29,4117989 mm	
minimaler Durchmesser Punkt 2: 27,3962863 mm	minimaler Durchmesser Punkt 2: 24,230717 mm	minimaler Durchmesser Punkt 2: 29,1188788 mm	

Abbildung 35: Linearführung Bolzenauslegung

Zur Ermittlung der maximal vorhandenen Spannungen im Bolzen wird die Berechnung für den Mittelpunkt der Linearlager, sowie der maximalen Auslenkung nach oben und unten durchgeführt. Es ergibt sich ein minimaler Durchmesser von ca. 30mm. Betrachtet man allerdings zu- dem die Durchbiegung, die in diesem Fall gemäß der Gleichung der elastischen Linie $w_{max} = \frac{F_z * a^2 * b^2}{3 * E * I_y * l}$ [SCHA17] in der untersten Position mit 1,4 mm maximal ist, ist die Wahl von 40mm, was der nächste Schritt für die Größen der Gleitlager ist, sinnvoll.

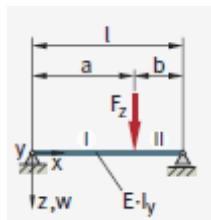


Abbildung 36: Darstellung zur Berechnung der Durchbiegung des Bolzens

Entsprechend der Abbildung 35 und der zuvor berechneten Kraft, die der Linearantrieb beim Hub aufbringen muss, lassen sich die auf das Fahrgestell ausgeübten Kräfte gemäß Abbildung 37 darstellen.



Abbildung 37: Vereinfachter Kraftfluss Fahrgestell

Durch die dargestellten Kräfte F1, F2 und F4 lassen sich Auflagerreaktionen für das System gemäß Gleichgewichtsbedingungen (s. Abbildung 38) aufstellen.

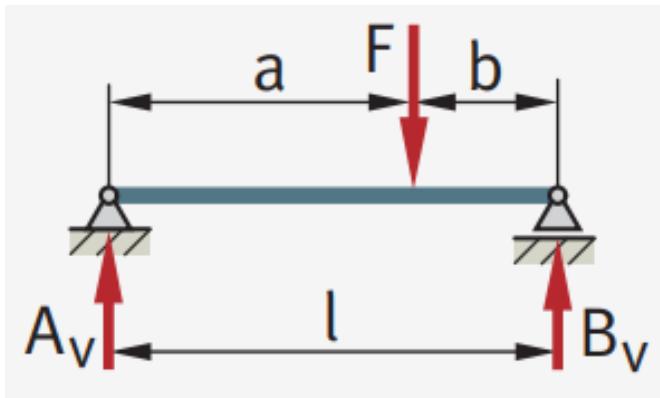


Abbildung 38: Freischnitt einfache Biegebelastung Balken

Das Auflager A_v stellt die Stützräder dar, B_v den Drehschemel. Es wird hier mit einer Kraft $F=8.000\text{N}$ gerechnet, da dieser Wert beim Hubmechanismus erreicht wird, um die Reibkräfte zu überwinden.

Die Längen a , b und l sind noch nicht final definiert, doch auch hier kann schon eine grobe Abschätzung vorgenommen werden, die als Grundlage für die Auslegung dient. Aus der vorangegangen Praxisarbeit ergibt sich für die Variablen und Auflagerkräfte A_v und B_v für das statische Gleichgewicht:

a:	1020	mm
b:	290	mm
l:	1310	mm

$$A_V = F * \frac{b}{l} \rightarrow 1771,2N$$

$$B_V = F * \frac{a}{l} \rightarrow 6228,8N$$

Jedes Stützrad muss also ~886N und der Drehschemel ~6230N, bzw. jeder Direktantrieb ~3115N aufnehmen.

Diese Kräfte müssen jedoch zunächst von der Krafteinleitungsstelle bei F, also der Aufnahme des Linearantriebs, zu den Auflagern geleitet werden. Dies soll durch das Fahrgestell umgesetzt werden. Die Stützräder können direkt am Fahrgestell angebracht werden, wobei der Drehschemel einen zusätzlichen Aufbau benötigt, da er deutlich höher ist als das Fahrgestell selbst, wie in Abbildung 37 zu sehen, ist. Das FTF unter der Palette darf eine Höhe von 70mm erreichen, wie Abbildung 39 verdeutlicht. Diese Länge teilt sich in ca. 60mm für das Fahrgestell und ca. 10mm für die Hubgabel auf. Bei Varianten, in denen die Hubgabel in das Fahrgestell eintaucht, können diese Werte auch abweichen.

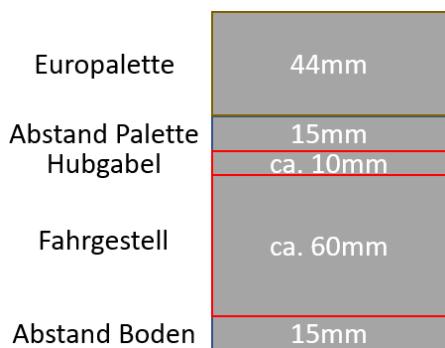


Abbildung 39: Platzverteilung des FTF zwischen Boden und Europalette

Der Aufbau des Fahrgestells, der die Verbindung zum Drehschemel schafft, muss einen Bauraum von 470mm x 470mm für eine vollständige Drehung des Drehschemels bereitstellen. Somit sind die Stützen der Deckplatte, bei einer Breite der Stützen von 40mm, ca. 510mm versetzt (vgl. Abbildung 40).

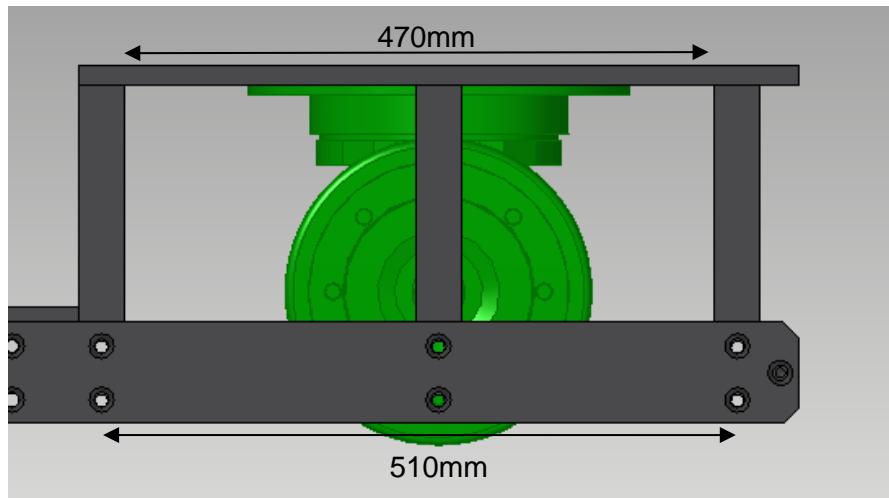


Abbildung 40: Bauraum Drehschemel

Entsprechend kann die Freischnitt-Darstellung wie folgt angepasst werden:

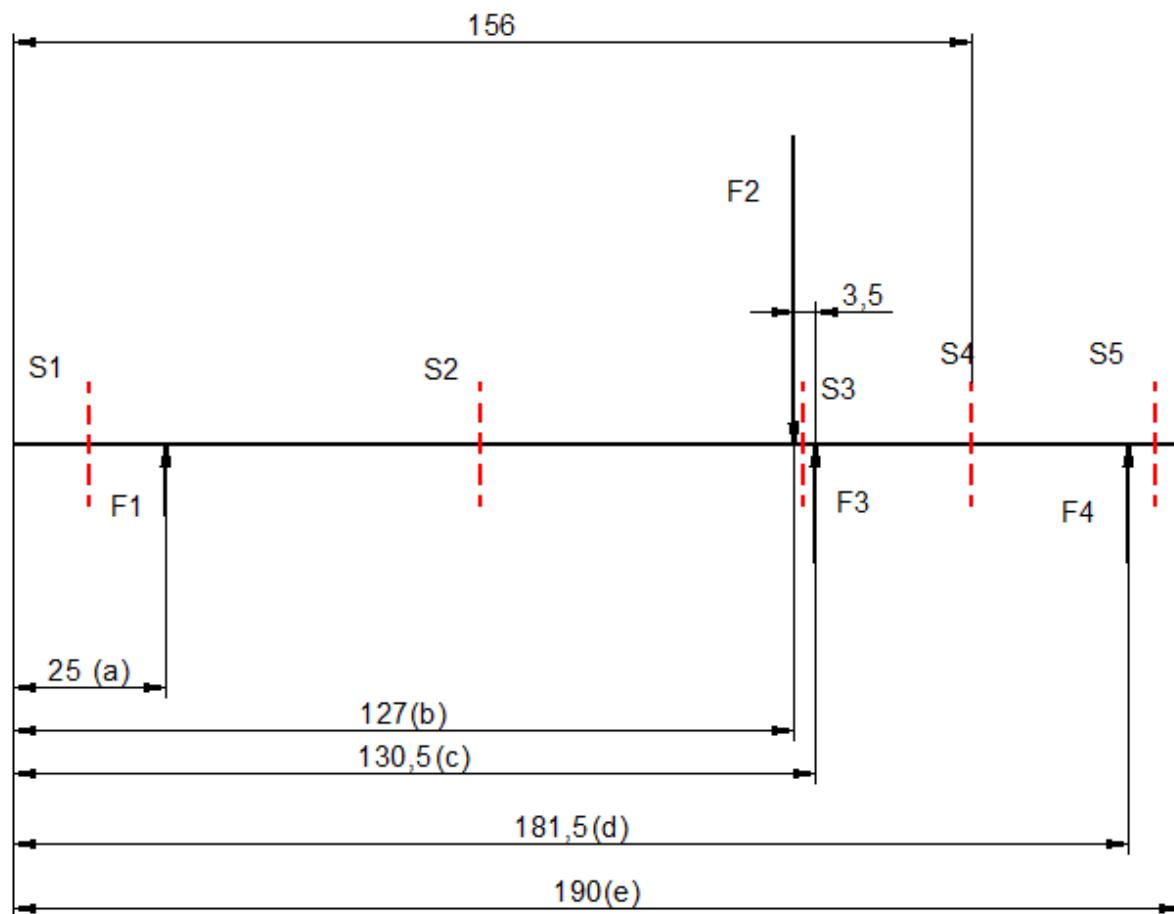


Abbildung 41: Freischnitt Fahrgestell 1

Die roten Linien stellen jeweils die Schnitte dar, die für die Freischnitte und somit zur Berechnung gesetzt werden müssen. Zuvor befand sich das Auflager des Drehschemels an der Position des Schnittes S4, doch wurde nun auf die Punkte F3 und F4 aufgeteilt, an denen die Aufnahme, also die äußereren Stützen, angesetzt wird. Das Problem, welches sich bei dieser Darstellung ergibt, ist, dass zwischen F2 (dem Linearantrieb) und F3 (der Drehschemelaufnahme) lediglich 35mm Platz ist. Dieser Platz wird sowohl vom Linearantriebs als auch der Drehschemelaufnahme verwendet - die Kräfte sind in der Abbildung lediglich punktuell ange setzt. Deshalb wird pauschal ein Abstand von 150mm festgelegt, der dann bei Bedarf verklei nert werden kann. Es ergibt sich also folgender Freischnitt:

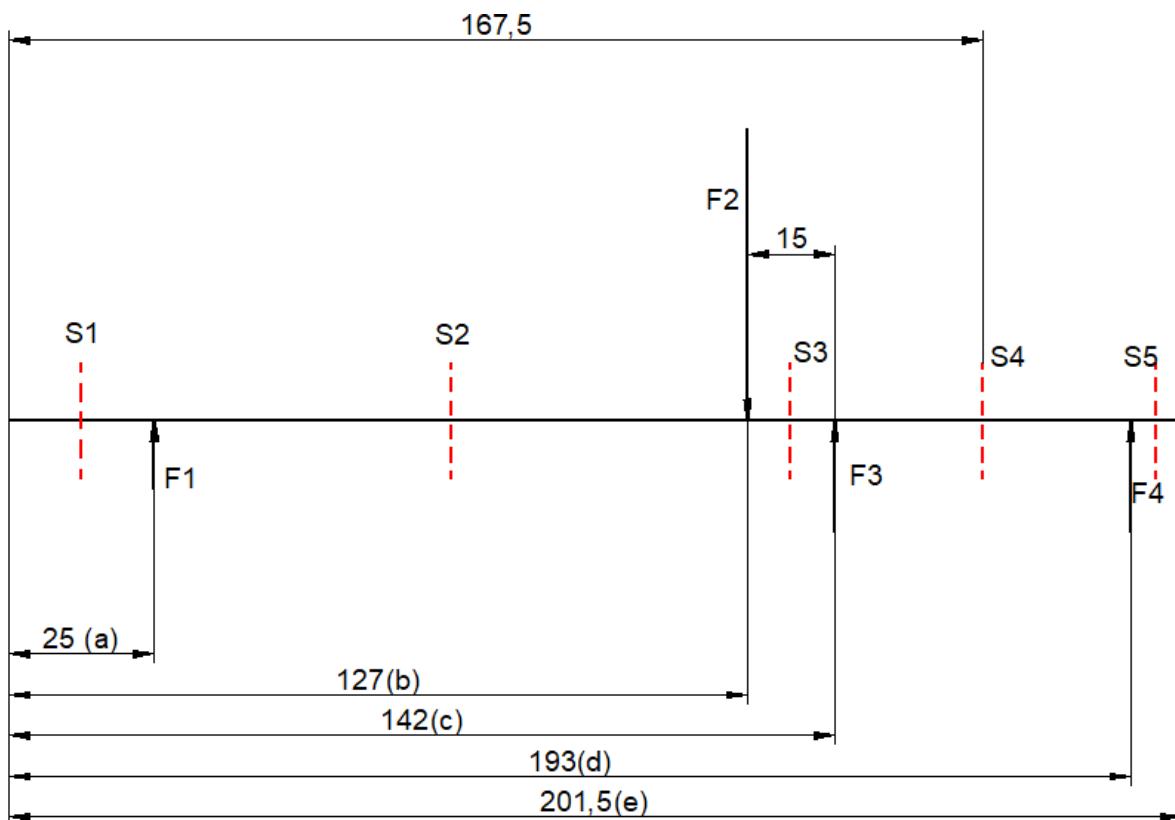


Abbildung 42: Freischnitt Fahrgestell 2

Es verschieben sich hier alle Krafteinleitungspunkte ab F2 um 115mm.

Da sich nun auch der Punkt des Drehschemels verschoben hat, kann die Verteilung der Auflagerkräfte neu bestimmt werden.

$$a: 1020 \text{ mm}$$

$$b: 405 \text{ mm}$$

$$l: 1425 \text{ mm}$$

$$A_V = F * \frac{b}{l} \rightarrow 2273,6N$$

$$B_V = F * \frac{a}{l} \rightarrow 5726,4N$$

Jedes Stützrad muss also $\sim 1137\text{N}$ und der Drehschemel $\sim 5726\text{N}$, bzw. jeder Direktantrieb $\sim 2863\text{N}$ aufnehmen.

Die Kraft, die der Drehschemel aufnehmen muss, verteilt sich auf die Aufnahme, also auf die Kräfte F_3 und F_4 , gleichmäßig: $F_3 = F_4 = \frac{B_V}{2} = 2863\text{N}$.

Im Folgenden werden die verschiedenen Konzepte für die vorhandenen Kräfte teils durch manuelle Berechnungen, teils durch die Unterstützung von FEM-Software des CAD-Programm Solid Edge ausgelegt. Außerdem werden kritische Stellen je Konzept hervorgehoben und erläutert. Für alle Berechnungen wird, wie bereits beschrieben, das Material S235JR verwendet, welches über den, für diese Anwendung kritischen, Festigkeitswert für eine zulässige schwelende Biegespannung von $\sigma_{b,Sch} = 270 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ und für eine schwelende Zug/Druck-Spannung von $\sigma_{zd,Sch} = 225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ verfügt. [SCHW12]

5.2 Schweißkonzept

5.2.1 Fahrgestell Typ 1

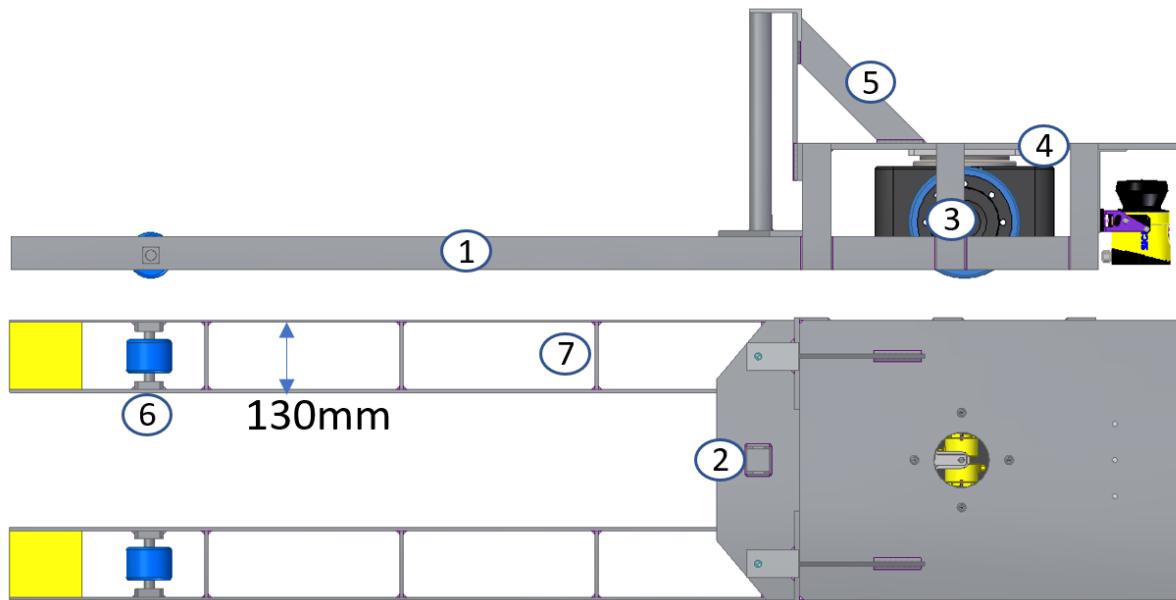


Abbildung 43: Gesamtes Fahrgestell Typ 1 Ansicht Top und Seite

Bei der Auslegung werden die Komponenten in der folgenden Reihenfolge erläutert:

- 1. Chassis (beinhaltet nur die untere Konstruktion des Fahrgestells)

- 2. Aufnahme Linearführung
- 3. Stützen der Drehschemelaufnahme
- 4. Drehschemelaufnahme
- 5. Winkel zur Linearführung
- 6. Stützradaufnahme
- 7. Versteifungen

Einige Berechnungs- und Auslegungsschritte verlaufen während der Konstruktion allerdings auch simultan.

Die Länge und Kraftverteilung des Fahrgestells wurden bereits in vorangegangenen Abschnitten beschrieben. Die Breite der Profile unter der Gabel ergeben sich durch die Ausmaße dieser. Dabei wird sich an Flurförderfahrzeugen aus dem betriebsinternen Fuhrpark orientiert. Die Gabeln weisen eine Breite von 160mm auf, sodass für das Fahrgestell eine Breite von 130mm (s. Abbildung 37) festgelegt wird, die genügend Spielraum in der Konstruktion der Hubgabel gewährleistet.

Das Fahrgestell wird zunächst durch zulässige Biegespannung auf eine Wandstärke von 5mm je Flachstahl des Fahrgestells über die gesamte Länge ausgelegt. Zusätzlich soll aber eine FEM Berechnung helfen, die genauen Kraftverhältnisse darstellen zu können, da sich die inneren und äußeren Flachstäbe in Bezug auf die Belastung voneinander unterscheiden. Es ergibt sich daraus die Wahl entsprechend der Abbildung 44. Dabei werden als Fixierungspunkte die Auflager des Systems, also die Stützräder und der Drehschemel verwendet, die mit dem Chassis an den Verbindungsstellen der jeweiligen Aufnahmen verbunden sind und das Chassis dort entsprechend in Position halten. Die Krafteinleitungsstelle befindet sich im Punkt der Aufnahme des Linearantriebs, wo die gesamte Kraft der Last auftrifft.

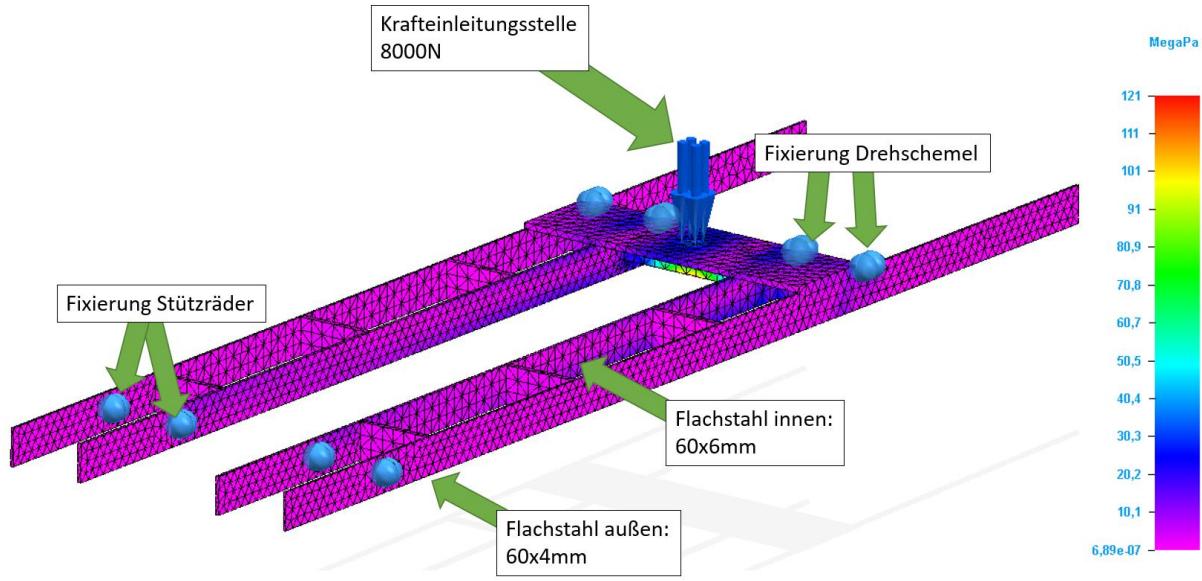


Abbildung 44: FEM Analyse Chassis Fahrgestell Typ 1

Die Aufnahme des Linearantriebs, also die Platte mit der Krafteinleitungsstelle der 8000N, wird ebenfalls im Modell analysiert. Durch zuvor getätigte Berechnungen kann bereits eine Geometrie favorisiert werden, die dann durch FEM gestützt wird.

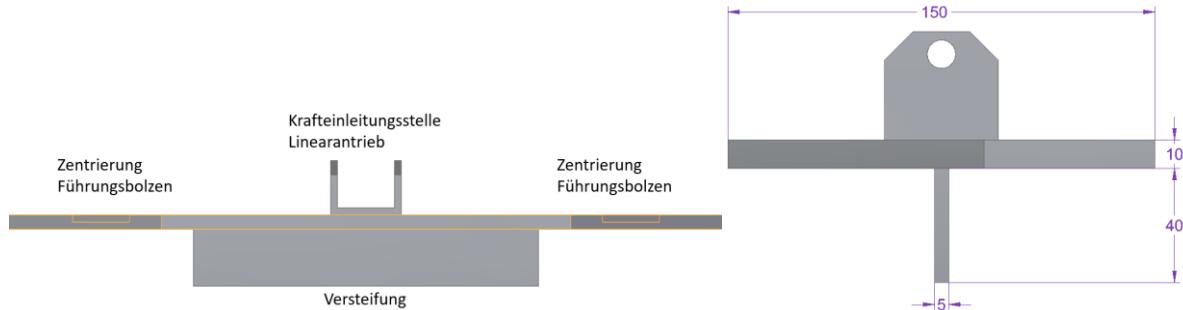


Abbildung 45: Grundplatte Führung Fahrgestell Konzept 1

Das Ergebnis ist ein T-Profil entsprechend der Abbildung 45, wobei die Stärke der oberen Deckplatte gemäß der geforderten Tragfähigkeit geringer gestaltet werden könnte. Diese Platte verfügt allerdings auch über zwei Ausschnitte, die zur Zentrierung der Führungsbolzen der Linearführung dienen. Der Bolzen soll dabei 5mm in die Platte eintauchen.

Die nächste Komponente, die Stützen der Drehschemelaufnahme, verbinden die langen Flachstähle des Chassis, mit der Drehschemelaufnahme, die hochgelagert ist. Hier reichen gemäß durchgeführten Berechnungen seitlich weitere Flachstähle aus, die mit dem Chassis

verschweißt werden können, im mittleren Teil werden hingegen Rechteck-Hohlprofile verwendet. Zum einen sind diese nötig, um als Auflagerfläche für eine Stützebene der Winkel der Linearführung zu dienen (s. Abbildung 46), zum anderen muss hier, also im inneren Bereich, der größte Anteil der Kraft des Linearantriebs aufgenommen werden, wie in der FEM-Betrachtung des Chassis deutlich gemacht wird (Abbildung 44).

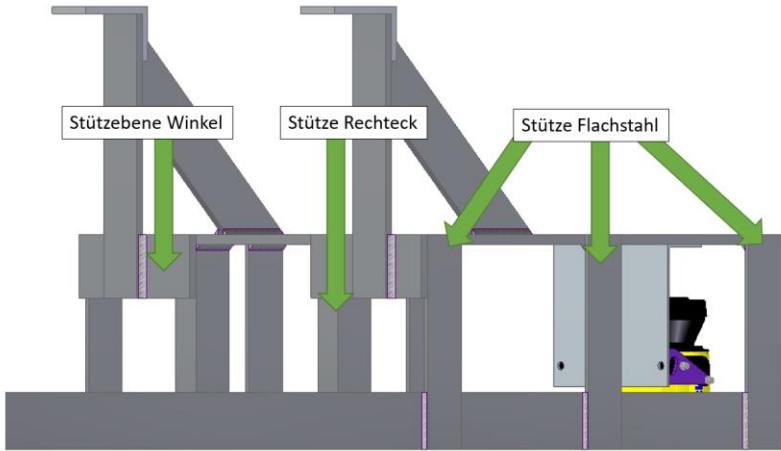


Abbildung 46: Stützen Drehschemel Fahrgestell Konzept 1

Diese Komponenten werden sowohl mit einer Normalspannung, da die Kraft des Linearantriebs das Chassis nach unten drückt, als auch mit einer Biegespannung, die durch die Winkel der Linearführung hervorgerufen wird, belastet. Bei einer derartigen Kombination entspricht die resultierende Spannung der Kombination aus beiden einzelnen: $\sigma_{res} = \sigma_{z,d} + \sigma_b$ [WITT17].

Die Drehschemelaufnahme muss erneut durch eine FEM-Betrachtung ausgelegt werden, da die Geometrie zu komplex für eine manuelle Berechnung ist.

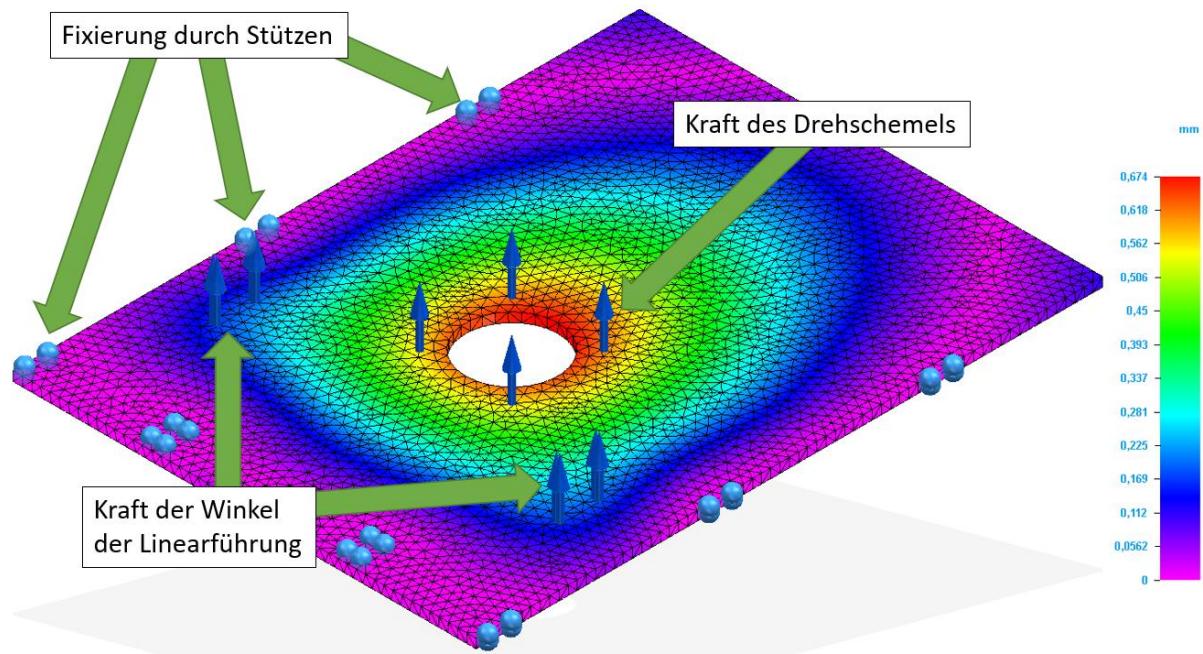


Abbildung 47: FEM Berechnung Drehschemelaufnahme Konzept 1

Es ergibt sich bei einer Platte von 10mm Stärke eine maximale Durchbiegung von 0,7mm in der Mitte der Drehschemelaufnahme. Eine derartige Verformung in diesem Bereich ist unkritisch, da Elektronikkomponenten aufgesetzt werden, deren Positionierung nicht derart präzise ist bzw. sein muss. Die Fläche, an denen die Winkel ansetzen, ist mit einer Verformung von bis zu 0,2mm aktuell ausreichend fest. Im Zweifel können nachträglich zusätzliche Versteifungen unterhalb der Aufnahme eingesetzt werden.

Die Winkel der Linearführung bestehen, wie in Abbildung 46 ersichtlich aus drei Komponenten. Marktrecherchen haben keine passenden Zukaufteile für die gegebenen Bedingungen ergeben, sodass sich für eine Eigenkonstruktion aus Halbzeugen entschieden wird. Die Zugkraft am Winkel entspricht einem Maximalwert von 6.000N, wie bereits in Abbildung 35 dargestellt (Kraft F3). Dabei fungiert der schräge Teil des Winkels, der auf der Drehschemelaufnahme ansetzt, als krafttragendes Element, und die vordere, zum Hubbolzen parallel ausgerichtete Platte zur Halterung bzw. Führung des krafttragenden Elements. An der Spitze ist ein verschraubtes Winkelprofil angebracht, da dies zur Wartung der Linearführung abnehmbar sein muss.

Die Stützradaufnahme erfolgt durch das Einsetzen eines Adapterstücks in das Chassis. In diese Aufnahme kann der Lagerbolzen für das Stützrad eingeschlagen und dann durch Siche-

rungssplinte entsprechend axial gesichert werden. Zusätzlich müssen auf dem Bolzen auf beiden Seiten der Gabelrolle ein Distanzstück eingesetzt werden, das die Verschiebung der Gabelrolle auf dem Bolzen selbst verhindert. Die Gestaltung der Stützradaufnahme und der Sicherung der Gabelrolle durch den Sicherungssplint sind dazu in Abbildung 48 dargestellt. Eine genaue Darstellung der Distanzstücke und der realen Gabelrolle folgt im Abschnitt 5.3.1 Fahrgestell Typ 2.

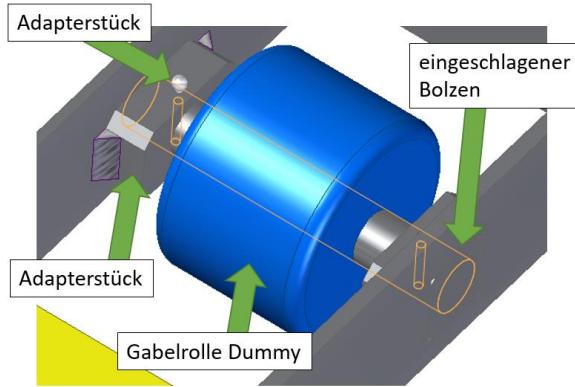


Abbildung 48: Fahrgestell Typ 1 Stützradaufnahme

Die Versteifung im Chassis, zur Gewährleistung der Achsparallelität, wird durch 4mm starke Flachstähle ausgeführt. Da es sich auch hier um eine Schweißverbindung handelt, wird diese entsprechend der dünnsten Komponente dimensioniert, welche der äußere Flachstahl des Chassis mit ebenfalls 4mm Stärke ist.

Die Schweißnähte für die verschiedenen Verbindungen werden ausgelegt, sodass diese entsprechend den Konventionen zur Schweißnahtberechnung nach [WITT17] und [SCHW21b] den vorliegenden Kräften standhalten, doch sollen hier nicht weiter aufgeführt werden, da eine genaue Auslegung dieser Verbindungen nach Auswahl des favorisierten Konzepts mit einem externen, professionellen Schweißer geschieht.

5.2.2 Hubgabel Typ 1

Die Hubgabel Typ 1 ist eine vollkommen geschweißte Hubgabel, mit einem U-Profil als Gabelzinken. Die Zinken werden durch manuelle Berechnung auf ein U-Profil der Norm EN10025 [EN10025] ausgelegt. Diese Berechnung soll nun beispielhaft dargestellt werden:

Zur Berechnung der vorhandenen Biegespannung und der maximalen Auslenkungen ist das Widerstandsmoment und das axiale Flächenmoment 2. Grades notwendig.

Berechnung der Biegespannung: $\sigma_b = \frac{M_b}{W_y}$ [SCHA17]

mit der Biegespannung σ_b , dem Biegemoment M_b , dem Widerstandsmoment W_y

Berechnung des Biegemoments: $M_b = \frac{q * l^2}{2}$ [SCHA17]

mit dem Biegemoment M_b , der Flächenlast q , der Gabellänge l

Berechnung des Widerstandsmoment: $W_y = \frac{I_y}{\frac{1}{2} * \frac{B * H^2 + b * h^2}{B * H + b * h}}$ [SCHA17]

mit dem Widerstandsmoment W_y , dem axialen Flächenmoment 2. Grades I_y und den Maßen B , H , b , h gemäß Abbildung 42

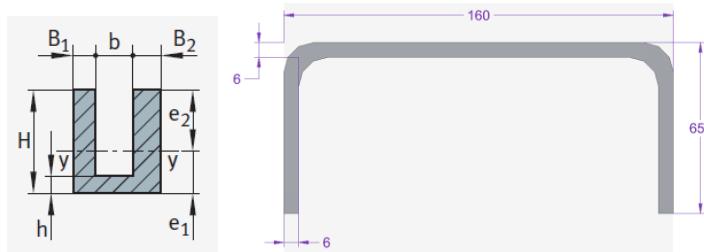


Abbildung 49: Hubgabel Typ 1 Profil mit Variablen und Maßen

Das Maße B und b sind beschränkt, als dass sie addiert maximal 160mm ergeben dürfen, wie bereits beschrieben wurde. Die Höhe H darf maximal einen Wert von 70mm erreichen. Es ergibt sich das Profil der Hubgabel nach Abbildung 49. Dabei muss ein Widerstandsmoment von min. $\sim 15100\text{mm}^3$ erreicht werden, um der zulässigen Biegespannung des Materials gerecht zu werden. Erreicht wird ein Widerstandsmoment von ca. 76.000mm^3 , was in diesem Kriterium zwar überdimensioniert ist, doch in Bezug auf die maximale Durchbiegung, welche rechnerisch 4,45mm beträgt, passend ist. Eine FEM-Betrachtung prüft und bestätigt diese Werte zusätzlich.

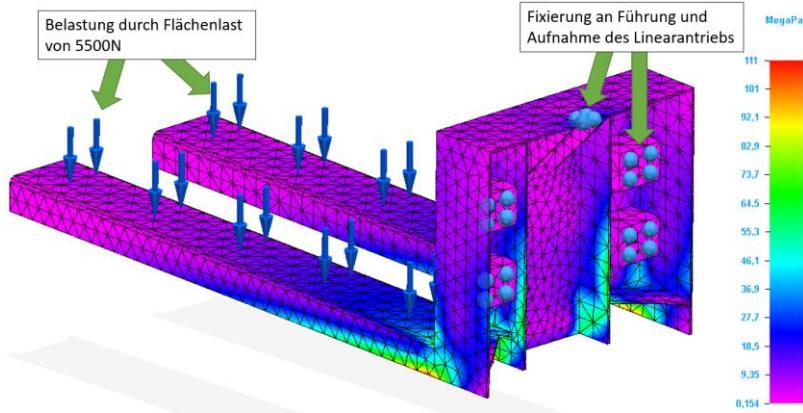


Abbildung 50: FEM Analyse Hubgabel Typ 1

Diese FEM Betrachtung nach Abbildung 50 bezieht sich auf die Gabelzinken und deren Stabilität an der Rückseite der Gabel. Die Rückwand selbst wird durch weitere Analysen ausgestaltet, an denen die Fixierungspunkte anders gewählt werden müssen, die hier nicht weiter aufgeführt werden sollen.

5.3 Schraubkonzept

5.3.1 Fahrgestell Typ 2

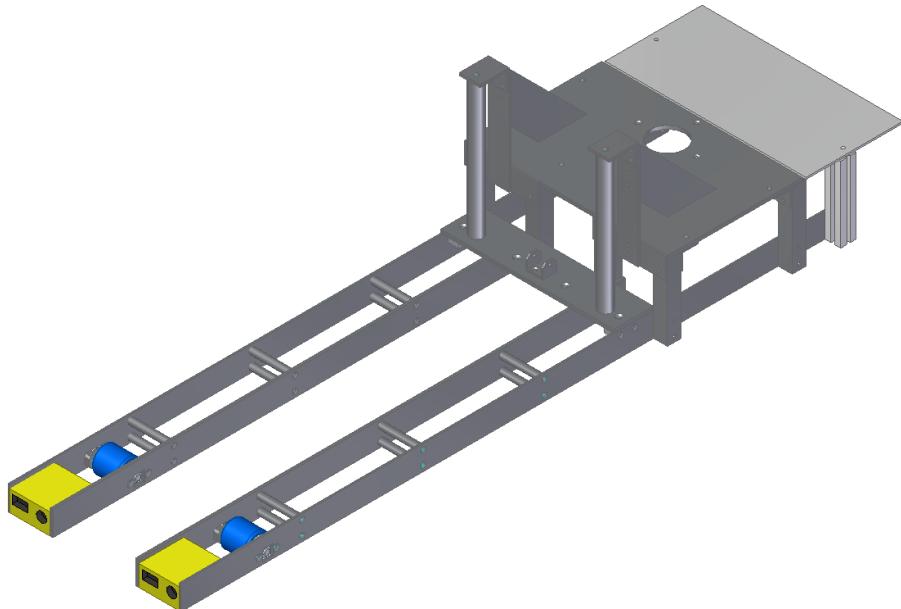


Abbildung 51: Fahrgestell Typ 2 Ansicht Schräg

Das Fahrgestell des Schraubkonzepts wird vollständig durch Schraubverbindungen zusammengestellt, wobei die Berechnung für den Großteil der Komponenten analog zum Typ 1 ist. Aufgrund dessen soll darauf nicht weiter eingegangen werden. Lediglich deutlich unterschiedliche Bauformen sollen erläutert werden. Vorab lässt sich schon für einige Komponenten im Vergleich zum Schweißkonzept festhalten, dass größere Wandstärken gefordert sind, um genügend Material für eine Schraubverbindung zu gewährleisten.

Das Chassis kann in diesem Fall die gesamten möglichen 70mm hoch sein, da die Hubgabel in das Chassis eintaucht. Die Vermutung, dass die seitlichen Flachstähle mit einer größeren Wandstärke ausgestattet werden müssen, da die Bohrlöcher für die Schraubverbindungen die Geometrie zu stark schwächen, kann durch eine FEM-Analyse nicht bestätigt werden. Die Maße können somit gemäß der Belastung Konzept 1 entsprechen. Um allerdings Senkkopfschrauben passend einsetzen zu können, muss die Wandstärke mindestens 5mm betragen, sodass die Stärke des äußeren Flachstahls von 4mm auf 5mm angepasst wird.

Die Versteifung wird hier durch Rundstäbe mit Innengewinde ausgeführt. Diese können flexibel angeordnet werden, wenn zum Beispiel Platz für eine Hubgabel im Innenraum freigehalten werden muss. In Abbildung 51 sind sie gemäß einer U-Profil-Gabel angeordnet, sodass sie den vollen Bauraum ausfüllen.

Die Stützradaufnahme soll ebenfalls verschraubt werden. Damit die Schraubenköpfe nicht aus dem Chassis herausragen, wird die Aufnahme des Lagerbolzens nach innen verlagert. Durch die Verschraubung sind keine Sicherungssplinte notwendig, um den Bolzen axial zu sichern. Der Einbau der Gabelrolle und die axiale Sicherung der Gabelrolle auf dem Bolzen durch Distanzstücke ist in Abbildung 52 dargestellt.

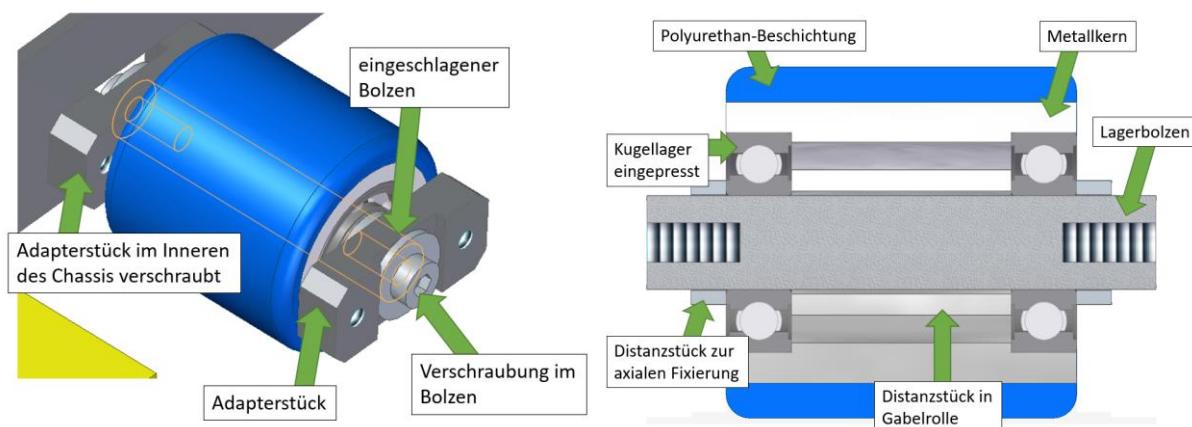


Abbildung 52: Fahrgestell Typ 2 Fixierung Stützrad

Im hinteren Bereich des Chassis kann die Drehschemelaufnahme verkürzt werden, sodass der krafttragende Teil weiterhin aus Stahl besteht, dahinter allerdings Aluminium eingesetzt wird, worauf die Elektronikkomponenten verbaut werden. Dies erzeugt bei einer 5mm starken Aluminium-Platte gegenüber einer 10mm starken Stahlplatte für die Maße 580mm x 280mm eine Gewichtsreduktion von mehr als 10kg.

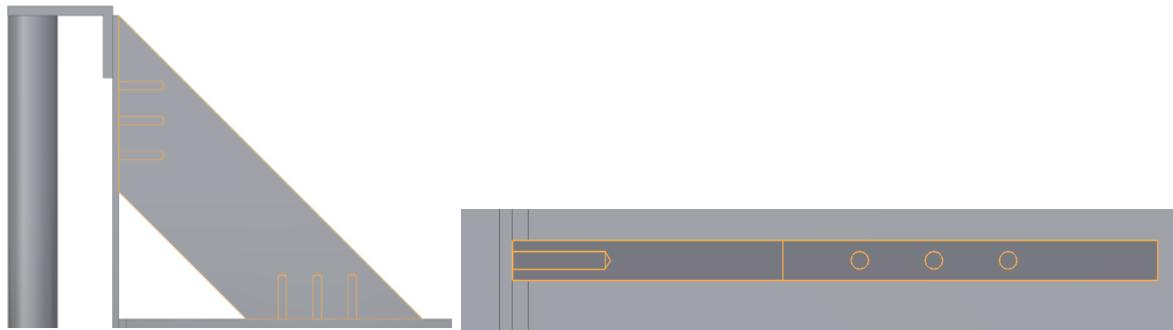
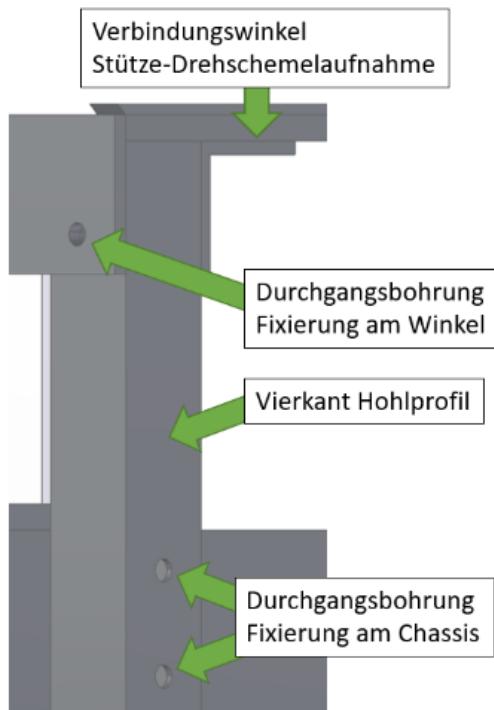


Abbildung 53: Fahrgestell Typ 2 Winkel Linearführung Ansicht Seite und Top

Der Winkel zur Halterung der Linearführung wird im Inneren des Winkels verschraubt, sodass sich eine, für den Kraftfluss im Material selbst, zu große Geometrie ergibt, die allerdings für die Schraubverbindung notwendig ist.



Die Stützen der Drehschemelaufnahme sind nun alle durch Vierkant-Hohlprofile umgesetzt. Dies ist notwendig, um die Stütze mit Komponenten auf zwei orthogonalen Ebenen zu verschrauben. Die Alternative zum Vierkant-Hohlprofil mit Durchgangsbohrungen für Schrauben wäre Vollmaterial, in das direkt geschraubt werden kann. Da ein Vollmaterial aber gegenüber einem Hohlprofil der gleichen Fläche lediglich 24% des Widerstandsmoments gegen Biegebelastung aufweist, wurde sich hier für das Hohlprofil entschieden, dass über Winkel mit der Drehschemelaufnahme verbunden wird (s. Abbildung 54). [HABE09]

Abbildung 54: Fahrgestell Typ 2 Stützen Drehschemelaufnahme

Hingegen dem Fahrgestell Typ 1 kommen hier weitere Verbindungsstücke zum Einsatz, die nötig sind, um die Schrauben platzieren zu können. Dies ist, wie bereits beschrieben bei der Verbindung zwischen den Stützen und der Drehschemelaufnahme der Fall, wo Winkel eingesetzt werden, und bei der Verbindung zwischen Chassis und der Grundplatte des Linearantriebs (s. Abbildung 55).

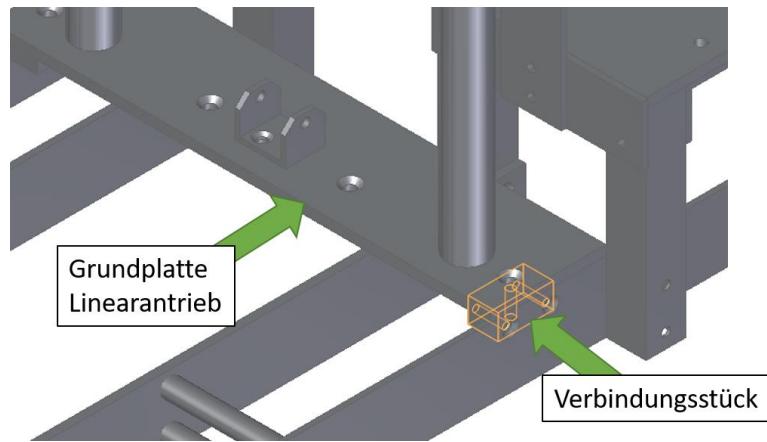


Abbildung 55: Fahrgestell Typ 2 Verbindungselement

5.3.2 Hubgabel Typ 2

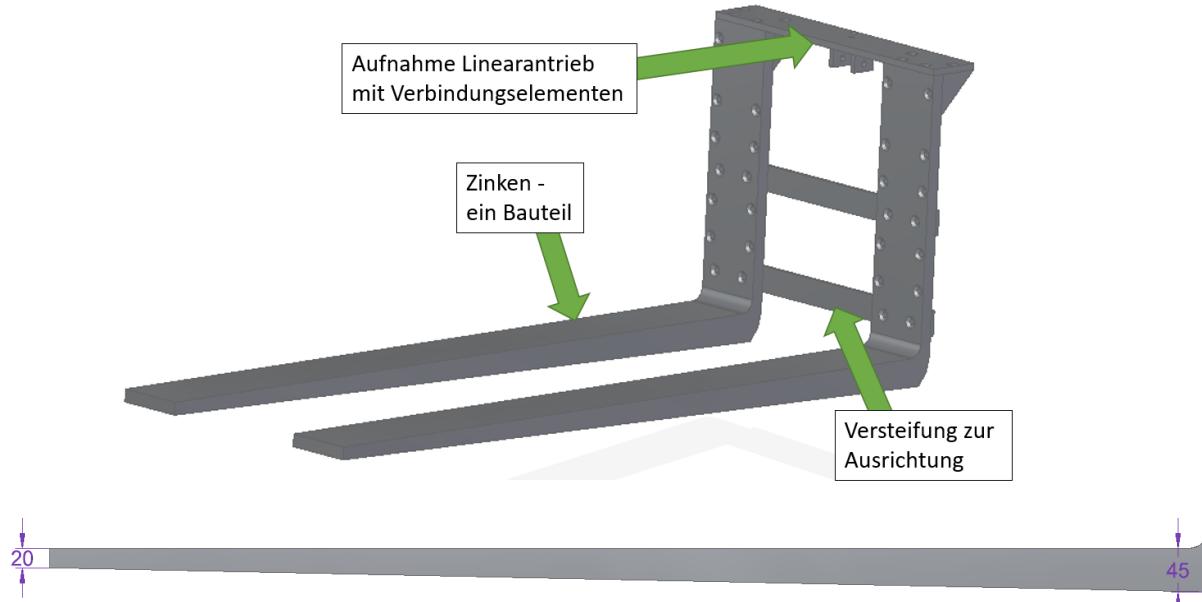


Abbildung 56: Hubgabel Typ 2 Ansicht Schräg, Zinnen Seite

Die Hubgabel Typ 2 wird vollkommen verschraubt, benötigt allerdings zur Fertigung der Zinnen einen hohen Aufwand ähnlich einer Schmiedebearbeitung. Die rechteckförmige Zinkengeometrie taucht dabei in das Chassis, also zwischen die äußeren Flachstähle ein. In diesem Fall

haben die Zinken eine so hohe Wandstärke und einen so großen Radius beim Übergang von der Auflagerfläche der Palette zur Rückseite, dass keine zusätzlichen Versteifungen hinter der Gabel notwendig sind, die den Abstand von der Gabel zur Linearführung erhöhen würden. Somit sind auch keine Distanzstücke zwischen Gabelrückseite und Gehäuselager notwendig; die Lager können direkt an der Gabel montiert werden. Die Verbindung von der Krafteinleitungsstelle des Linearantriebs an der Oberkante der Hubgabel zu den Zinken wird durch 15mm starke Stähle ausgeführt, um Schrauben der Größe M10 genügend Material zu bieten. Die großen Wandstärken aller Bauteile ergeben sich demnach nicht nur durch wirkende Kräfte, sondern auch durch die Verbindungsart „Schrauben“.

5.4 Hybridmodell

5.4.1 Fahrgestell Typ 3

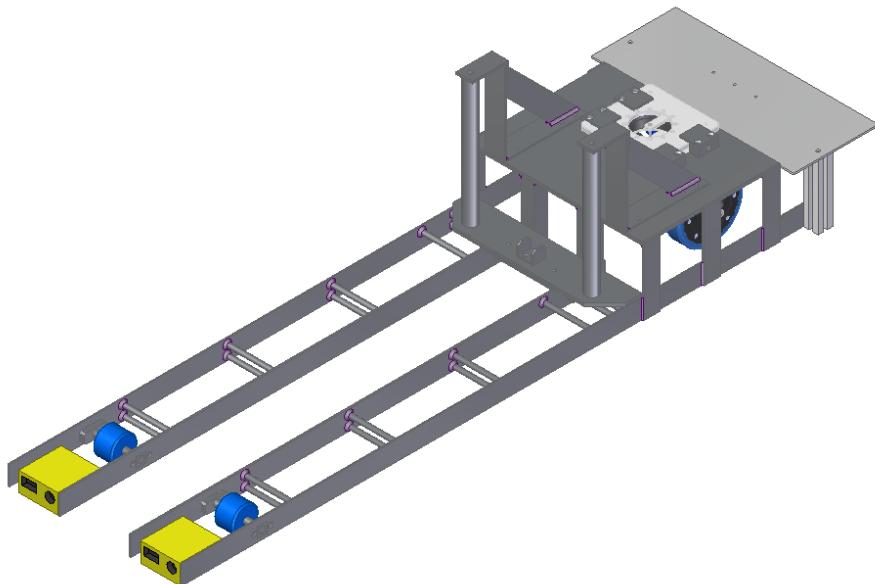


Abbildung 57: Fahrgestell Typ 3 Ansicht Schräg

Das Fahrgestell Typ 3 stellt die hybride Bauform dar, sodass sowohl Schraub- als auch Schweißverbindungen eingesetzt werden. Es wird sich dabei dafür entschieden, dass das Chassis und die Drehschemelaufnahme vollkommen verschweißt werden. Die Winkel für die Linearführung sollen allerdings verschraubt werden, um mögliche Toleranzen, die beim Schweißverfahren entstehen können, ausgleichen zu können. Nicht nur bei der Verbindungs-technik, sondern auch bei den einzelnen Bauteilen bildet diese Variante eine Kombination aus

Typ 1 und Typ 2. Abweichungen von bisherigen Konzepten finden sich in der Montagerichtung der Drehschemelaufnahme, der Stützradaufnahme und den Winkeln der Linearführung.

Die Drehschemel wird in diesem Fall aus seitlicher Richtung montiert, wie Abbildung 58 darstellt. Dabei sind zusätzliche Verbindungselemente notwendig, die die Verbindung zur Drehschemelaufnahme sichern.

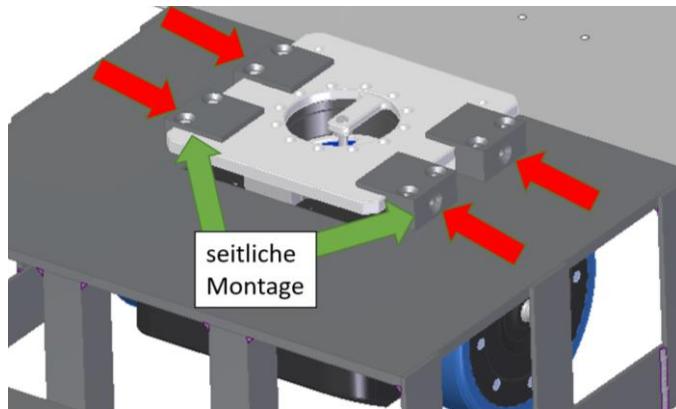


Abbildung 58: Fahrgestell Typ 3 Montagerichtung Drehschemel

Die Winkel der Linearführung bestehen, wie der Großteil aller Bauteile, aus Flachstählen, die zusammengesetzt werden. Hier wird der Winkel zuvor durch eine Schweißverbindung erstellt und dann auf der Drehschemelaufnahme verschraubt (s. Abbildung 59), sodass das gesamte Element weiterhin abnehmbar ist.



Abbildung 59: Fahrgestell Typ 2 Winkel Linearführung

Die Stützradaufnahme erfolgt durch eine Verstiftung, wie beim Fahrgestell Typ 1. Das Verbindungselement, welches in das Chassis eingesetzt wird, wird in diesem Fall allerdings verschraubt, anstelle es zu verschweißen (vgl. Abbildung 48).

5.4.2 Hubgabel Typ 3

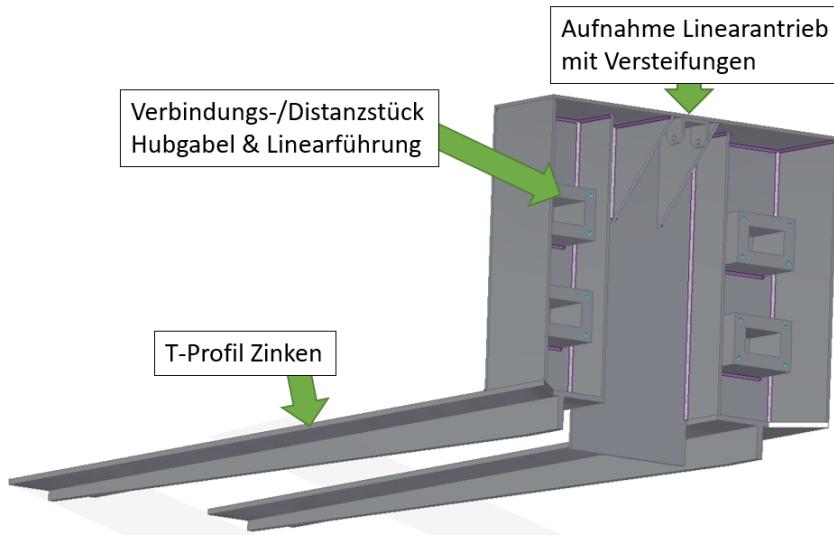


Abbildung 60: Hubgabel Typ 3

Die Hubgabel Typ 3 unterscheidet sich von der Hubgabel Typ 1 nur im vorderen Bereich, der Aufnahmefläche für die Palette. Hier verfügt diese über ein T-Profil im Vergleich zum U-Profil von Typ 1. Die Rückseite ist äquivalent aufgebaut, als dass dieselben Stützstrukturen notwendig sind, um die Zinken in Position zu halten. Hinzukommend zum unterschiedlichen Profil der Zinken sollen diese allerdings auch zur Gabelspitze hin verjüngt werden, um im vorderen Bereich genügend Platz für die Sensorik und das Stützrad zu bieten. Die notwendigen Wandstärken zur Tolerierung der Biegespannung werden durch eine schrittweise Berechnung der verschiedenen Punkte an der Hubgabel vorgenommen. Da die Durchbiegung über die gesamte Gabellänge für einen sich verjüngenden Querschnitt nicht berechnet werden kann, wird auch hier eine FEM-Analyse hinzugezogen. Das entstandene Konstrukt ist in Abbildung 61 zu sehen.

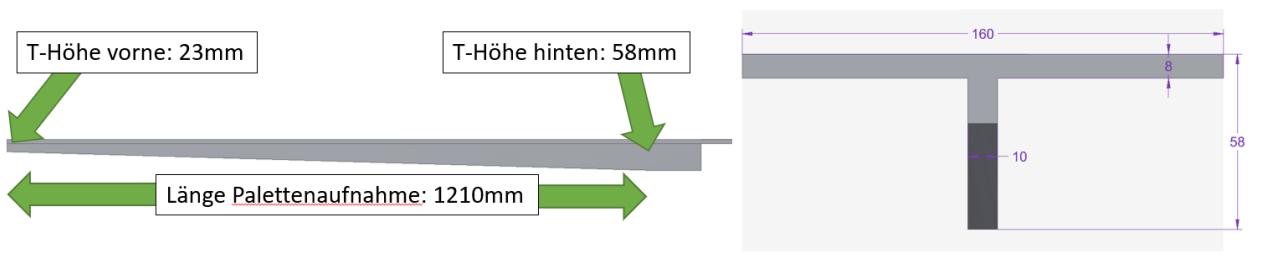


Abbildung 61: Hubgabel Typ 3 Abmaße

5.5 Modelle

Abbildung 62 zeigt alle nach Kapitel 5 ausgelegten Konzepte der Fahrgestelle und Hubgabeln.

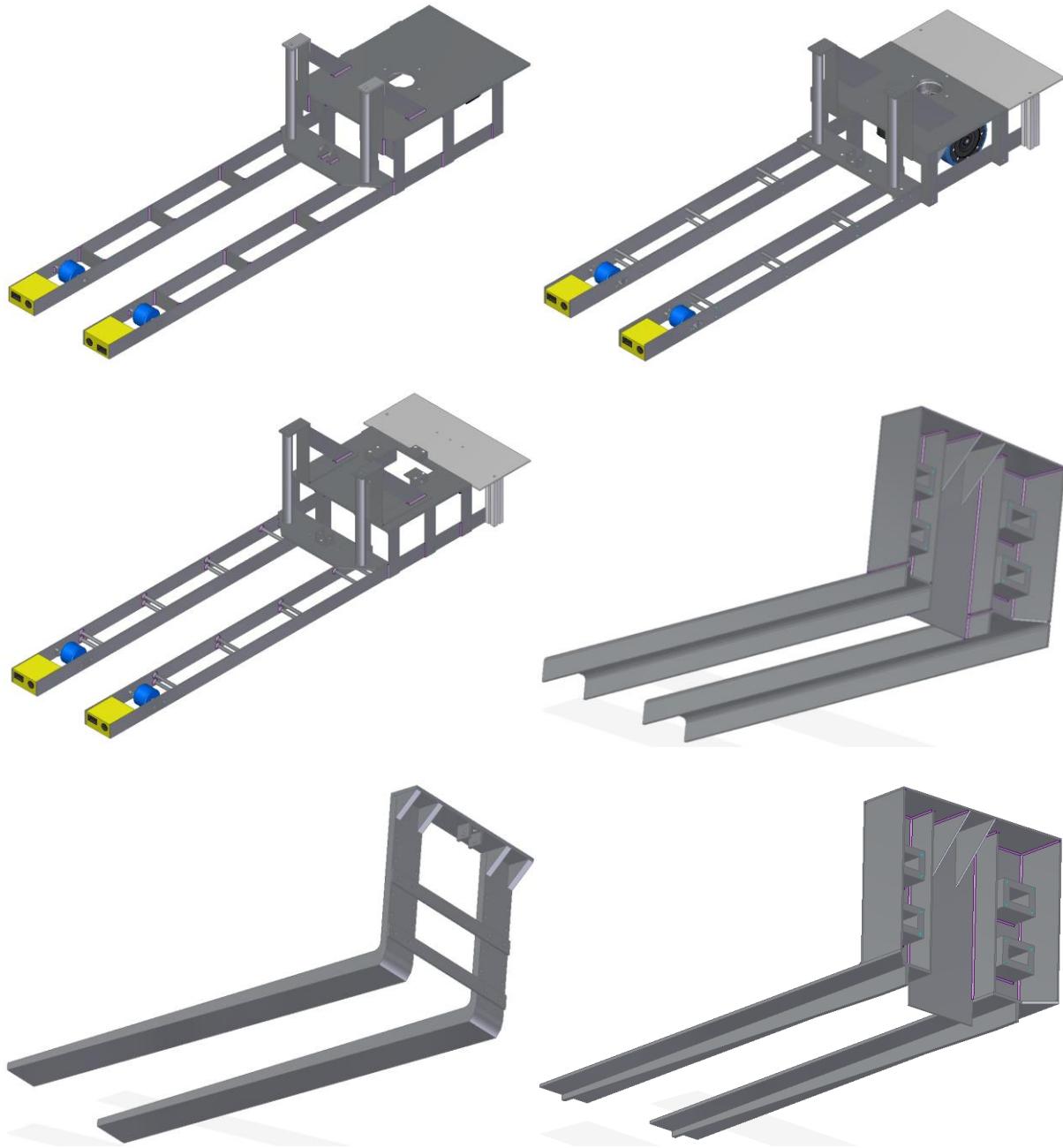


Abbildung 62: Fahrgestelle und Hubgabeln von links nach rechts je Zeile: Konzept 1, 2, 3

6 **Gesamtbewertung**

Die Auswahl der umzusetzenden Lösungen wird anhand einer Bewertungsmethodik durchgeführt. Dabei kommen verschiedene Bewertungsmethoden in Frage, wobei wiederum unterschiedliche Kriterien zugrunde gelegt werden können. Sowohl die Anzahl als auch die Komplexität der Varianten nimmt dabei Einfluss auf die Wahl der passenden Methodik.

6.1 **Bewertungsmethodik**

Es wird sich für die Nutzwertanalyse entschieden, die als vielseitiges Werkzeug in vielen Bereichen zur Bewertung herangezogen wird. Dabei können beliebig viele Lösungskonzepte mit angemessenem Aufwand miteinander verglichen werden.

Zunächst müssen bei diesem Verfahren Bewertungskriterien definiert werden, die, falls erwünscht, gegenüber gewichtet werden können. Eine derartige Gewichtung oder auch Priorisierung ist sinnvoll, um eine klar erkennbare Differenz zwischen den Lösungen ausmachen zu können. Somit können Lösungen, die jeweils nur eins der definierten Kriterien erfüllen und somit die gleiche Punktzahl erfüllen würden, dennoch unterschieden werden. Die Gewichtung der Kriterien erfolgt durch den paarweisen Vergleich, was eine Bewertungsmethodik des Typen C darstellt. Dies bedeutet, dass es sich dabei um eine eher simple Methodik handelt, die für diesen Schritt allerdings auch vollkommen ausreichend ist. Beim paarweisen Vergleich werden die Varianten mit Punkten von 1-3 gegenüber bewertet, wobei diese aussagen:

1 = unwichtiger, 2 = gleichwichtig, 3 = wichtiger

Somit erhalten die Kriterien eine Gewichtung in Prozent, anhand ihrer erhaltenen Punktzahl in diesem Vergleich. Mögliche Ungenauigkeiten, die durch den geringen Detailierungsgrad der Bewertung zustande kommen, können im Nachhinein durch eine Anpassung der Gewichtung ausgeglichen werden.

Ist die Gewichtung der Kriterien durchgeführt, muss eine Abstufung der Bewertung festgelegt werden. Das heißt, die Spanne der möglichen Punktzahl je Bewertungskriterium ist zu definieren. Hier wird sich für eine Spanne von null bis fünf Punkten entschieden, um zwar eine klare Unterscheidung zwischen den Konzepten darstellen zu können, doch die Komplexität nicht zu hoch anzusetzen. An diesem Punkt ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass es sich um die Bewertung von detaillierten Konzepten handelt und um keine vollständig auskonstruierte und zur Umsetzung reife Lösung. Wäre dies der Fall könnte die Bewertung und somit

auch die Spanne der Punktzahlen komplexer und kleinschrittiger durchgeführt werden, doch der aktuelle Stand lässt dies in keiner sinnvollen Form zu.

Im folgenden Schritt werden die Lösungen tatsächlich bewertet, indem sie je Kriterium eine Punktzahl von der gegebenen Spanne (hier: null bis fünf) erhalten. Das Ergebnis der Nutzwertanalyse stellt dann die erreichte Punktzahl je Lösungskonzept dar, welche sich aus den Punkten der Bewertung multipliziert mit der Gewichtung des jeweiligen Kriteriums ergibt.

$$\text{Punktzahl Lösung} = \sum (\text{Punktzahl Kriterium}_x * \text{Gewichtung Kriterium}_x)$$

6.2 Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien werden so gewählt, dass die wesentlichen Faktoren, die eine Realisierung des umzusetzenden Produkts ausmachen, widergespiegelt werden. Diese Punkte lassen sich ebenfalls in der Anforderungsliste wiederfinden. In diesem Fall wird sich für die drei Hauptkriterien Kosten, Instandhaltung und Gewicht entschieden.

Kosten finden Einzug, da es sich um ein Projekt handelt, was ein wirtschaftliches Nutzen haben und im Anschluss dieser Ausarbeitung umgesetzt werden soll. Die Bewertung der Kosten wird zudem in einer weiteren untergeordneten Nutzwertanalyse vorgenommen, da sie sich auf verschiedene Teilbereiche des Produkts beziehen, die unterschiedliche Einflüsse auf den Endwert haben. Die einzelnen Kriterien der Kostenabschätzung sind Materialkosten, die den Preis der Zukaufteile und des Rohmaterials beschreiben, Bearbeitungskosten, die die Bearbeitung des Rohmaterials durch zum Beispiel Frä-, Bohr- oder Dreharbeiten darstellen, und die Montagekosten, die sich durch den Zeitaufwand und die Komplexität der Montage definieren. Zu den Montagekosten werden die verbindenden Arbeiten, wie das Verschrauben oder Verschweißen der Komponenten, hinzugezogen.

Das Kriterium Instandhaltung bezieht sich auf die fortwährenden Arbeiten am Produkt während der Lebensdauer. Dies beinhaltet sowohl die Wartungsarbeit, die sich aus der Anzahl der zu wartenden Teile, der Häufigkeit der Wartung und der Zugänglichkeit zu den Wartungsstellen zusammensetzt.

Das letzte Bewertungskriterium der Fahrgestelle, das Gewicht, wird aufgrund von zwei Argumenten in die Bewertung mit einbezogen. Zum einen bietet ein geringeres Gewicht ein niedrigeres Risiko für das Fahrzeug selbst und die Umgebung bei jeglichem Kontakt mit Hindernissen, andererseits handelt es sich um ein akkubetriebenes Fahrzeug, sodass hohe Gewichte die Laufzeit und somit die Performance reduzieren können.

Für die Hubgabeln wird neben dem Gewicht und den Kosten das Kriterium „Funktionalität“ hinzugezogen. Dies beschreibt, wie die verschiedenen Gabelgeometrien im Betrieb zu handhaben sind und welche Probleme sie möglicherweise verursachen können. Eine genauere Beschreibung dieses Kriteriums folgt bei der Durchführung der Bewertung.

Auf ein Kriterium zur Bewertung der Erfüllung der geforderten Hauptfunktion wird hier sowohl für das Fahrgestell als auch für die Hubgabel verzichtet, da vorausgesetzt ist, dass jede der zu diesem Zeitpunkt erstellten Konzepte diese in vollem Umfang erfüllen.

6.3 Durchführung

Zur Bewertung werden die Fahrgestelle und die Hubgabeln separat betrachtet, da theoretisch jede Kombination dieser Module durch eine identische Schnittstelle möglich ist. Ziel der Bewertung ist es eine favorisierte Version der Gabel und des Fahrgestells zu erhalten, die aber nicht dem gleichen Konzept gemäß des Morphologischen Kastens entstammen müssen.

6.3.1 Fahrgestelle

Wie bereits im Abschnitt „Bewertungskriterien“ beschrieben, soll das Kriterium Kosten noch einmal detaillierter in einer zusätzlichen Nutzwertanalyse betrachtet werden. Dies gilt jedoch nur für die Fahrgestelle, da sich dort die Kosten durch verschiedenste Bearbeitungs- und Montagearbeiten stark unterscheiden können. Die Hubgabel hingegen ist ein einfacheres Bauteil, sodass hier auf diese Unterscheidung in einer zusätzlichen Analyse verzichtet werden kann.

Um die Bewertung zu starten, müssen zunächst die Kriterien mittels des paarweisen Vergleichs gewichtet werden. Dabei entsteht das Ergebnis gemäß Abbildung 63, welches im Folgenden erklärt werden soll:

	Kosten	Instandhaltung	Gewicht	Gewichtung	Gewichtung in %
Kosten		3	1	4	33,3
Instandhaltung	1		1	2	16,7
Gewicht	3	3		6	50,0
Summen:				12	100,0

Abbildung 63: Gewichtung Bewertungskriterien Fahrgestell Gesamt

Die Kosten sind ein wichtiger Faktor in jeder Konstruktion die umgesetzt werden und einen wirtschaftlichen Nutzen haben soll. Diese sind gegenüber der Instandhaltung wichtiger, da sie unumgänglich und immer vorhanden sind. Die Instandhaltung kann ein Alleinstellungsmerkmal

Gesamtbewertung

für eine Variante sein, doch in der Regel ist dies ein eher untergeordneter Punkt, da die Instandhaltungsprozesse in großen Zeitabständen zueinander auftreten.

Gegenüber dem Gewicht werden die Kosten in diesem Fall als unwichtiger angesehen. Beides sind wichtige Faktoren, die das Produkt ausmachen und als eine Art Veto agieren können, doch der Unterschied ist, dass das Gewicht in diesem Fall klar abschätzbar ist und sich in der weiteren Entwicklung zum fertigungstauglichen Modell nach dieser Ausarbeitung nur minimal ändern wird. Die Kosten hingegen sind, bis auf eine Abschätzung von Materialkosten, noch nicht genau zu definieren und können nur durch Erfahrungswerte in Relation gesetzt werden.

Zwischen dem Kriterium Instandhaltung und Gewicht erhält das Gewicht eine höhere Bewertung mit einer ähnlichen Begründung wie bei der Auswahl zwischen Instandhaltung und Kosten. Das Gewicht ist ein dauerhaft währender Faktor des Produkts, der immer ausschlaggebend für eine Konstruktion im Akkubetrieb ist.

Daraus ergibt sich die in Abbildung 63 dargestellte Gewichtung von 50%, 33,3% und 16,7% für Gewicht, Kosten und Instandhaltung. Eine Anpassung dieser Gewichtung, welche in geringem Maß angewandt werden kann, soll hier nicht stattfinden.

Bei der untergeordneten Nutzwertanalyse zum Kriterium Kosten entstand folgendes Ergebnis:

	Materialkosten	Bearbeitungskosten	Montagekosten	Gewichtung	Gewichtung in %
Materialkosten		3	3	6	50,0
Bearbeitungskosten	1		2	3	25,0
Montagekosten	1	2		3	25,0
Summen:				12	100,0

Abbildung 64: Gewichtung Bewertungskriterien Kosten Fahrgestell

Hier werden die Materialkosten als wichtiger gegenüber den Bearbeitungs- und Montagekosten eingestuft. Diese Einteilung wird gewählt, da die Materialkosten, bis auf eventuelle Mengenrabatte im späteren Verlauf, konstant und extern bestimmt bleiben. Auf diese Kosten kann wenig Einfluss genommen werden und sie machen den vermeintlich größten Anteil der Gesamtkosten aus. Sowohl die Bearbeitungs- als auch die Montagekosten treten einmalig auf und sind optimierbar. In dieser Bewertung für ein Prototyp gemäß einer Kleinserie können diese Kosten noch hoch ausfallen, doch bei einer Steigerung der Kapazität durch Beschaffung von zusätzlichen Fertigungsanlagen ist eine Reduktion möglich. Aus dem gegebenen Grund sind diese beiden Kriterien als gleichwichtig eingestuft.

Gesamtbewertung

Es ergibt sich somit eine Gewichtung von 50%, 25% und 25% für die Materialkosten, die Bearbeitungskosten und die Montagekosten. Auch hier wird keine Anpassung der Gewichtung vorgenommen.

Die Bewertungsspanne, die festlegt, wie viele Punkte je Kriterium für eine Variante vergeben werden können, ist, wie bereits beschrieben, auf null bis fünf Punkte festgelegt, um dem Detailierungsgrad der Konzepte gerecht zu werden.

	Punkte: 0	Punkte: 1	Punkte: 2	Punkte: 3	Punkte: 4	Punkte: 5
Kosten	sehr hoch					sehr niedrig
Instandhaltung	sehr schlecht					sehr gut
Gewicht	sehr schwer					sehr leicht

Abbildung 65: Festlegung der Bewertungsspanne Nutzwertanalyse

Nun kann final die Bewertung der Konzepte durchgeführt werden. Aufgrund der geringen Erfahrung aus der Praxis, was zum Beispiel Bearbeitungs-, Montagekosten und die Instandhaltung betrifft, wird zur Bewertung eine Gruppe von verschiedenen Kollegen aus der Firma Hanning Elektro-Werke zusammengestellt. Die Teilnehmer sind erfahrene Mitarbeiter aus den Abteilungen Fertigungstechnik und Entwicklung, die mit ihrem Fachwissen und unterschiedlichen Blickwinkeln auf die Konzepte eine notwendige Expertise mit in die Bewertung einfließen lassen.

Als erster Schritt sollen die Kosten in der gesonderten Nutzwertanalyse bewertet werden, da sich daraus das Ergebnis in der Gesamtbewertung ergibt. Durch ein Angebot für die Materialien als Rohmaterial der Firma Julius Thress GmbH & Co. KG, einem Lieferanten für Stahl, Bau- und Zaunelementen, können die Materialkosten fundiert abgeschätzt werden. Die verwendeten Materialien je Konzept sind dabei in den Abbildung 66-68 dargestellt. Eine Auflistung der Preise der einzelnen Komponenten je Konzept ist zudem im Anhang zu finden. Die dort mit einem * versehenen Punkte sind über vergleichbare Produkte angenäherte Werte, die nicht explizit im Angebot zu finden sind.

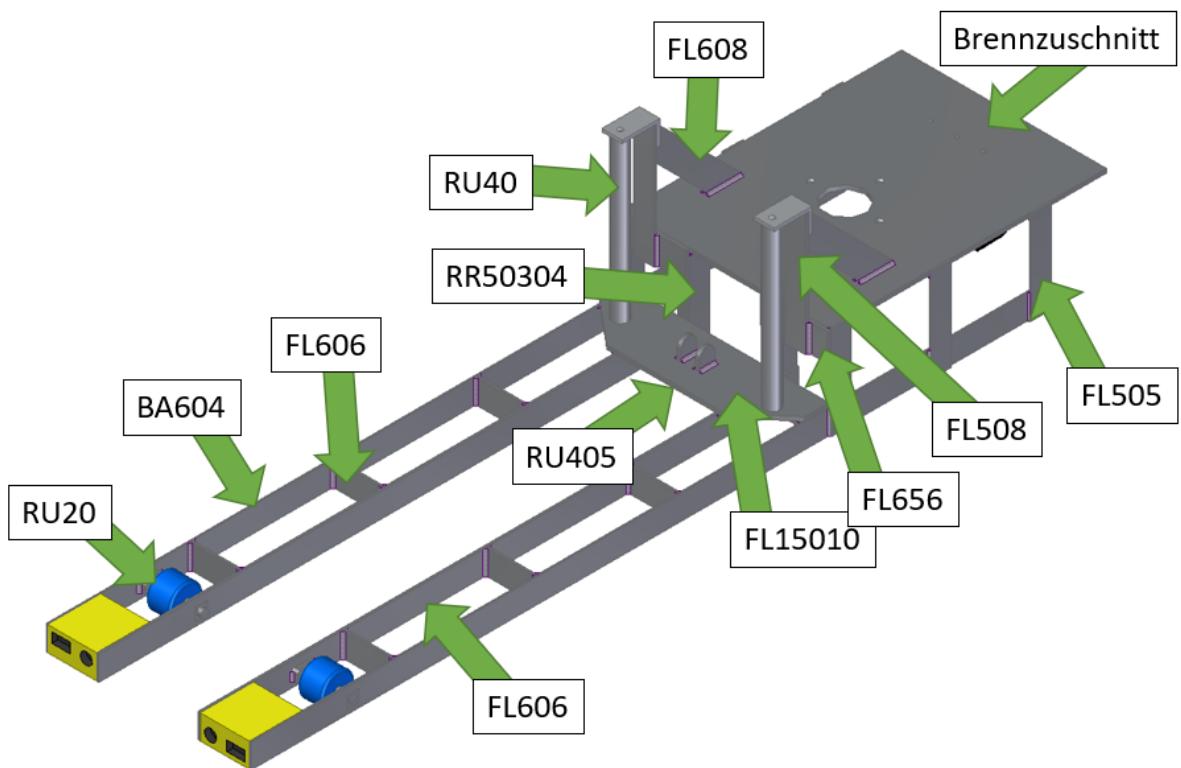


Abbildung 66: Stahlprofile Fahrgestell Konzept 1

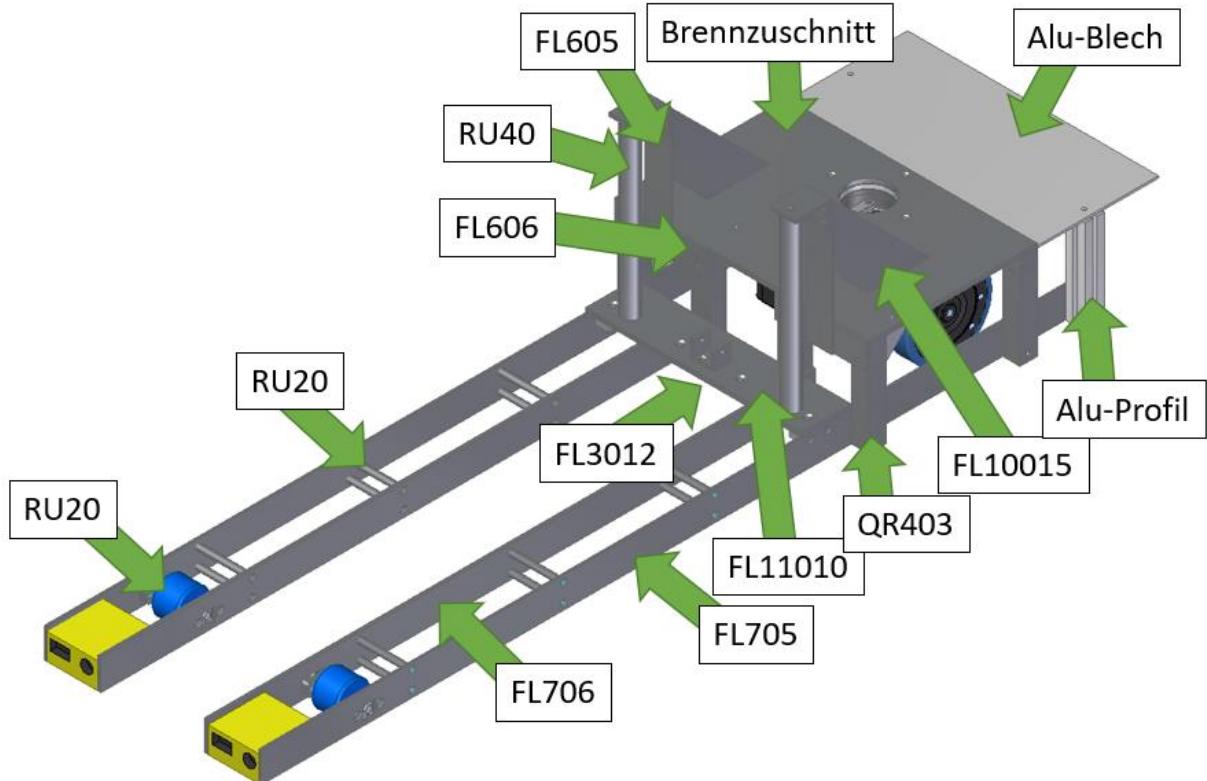


Abbildung 67: Stahlprofile Fahrgestell Konzept 2

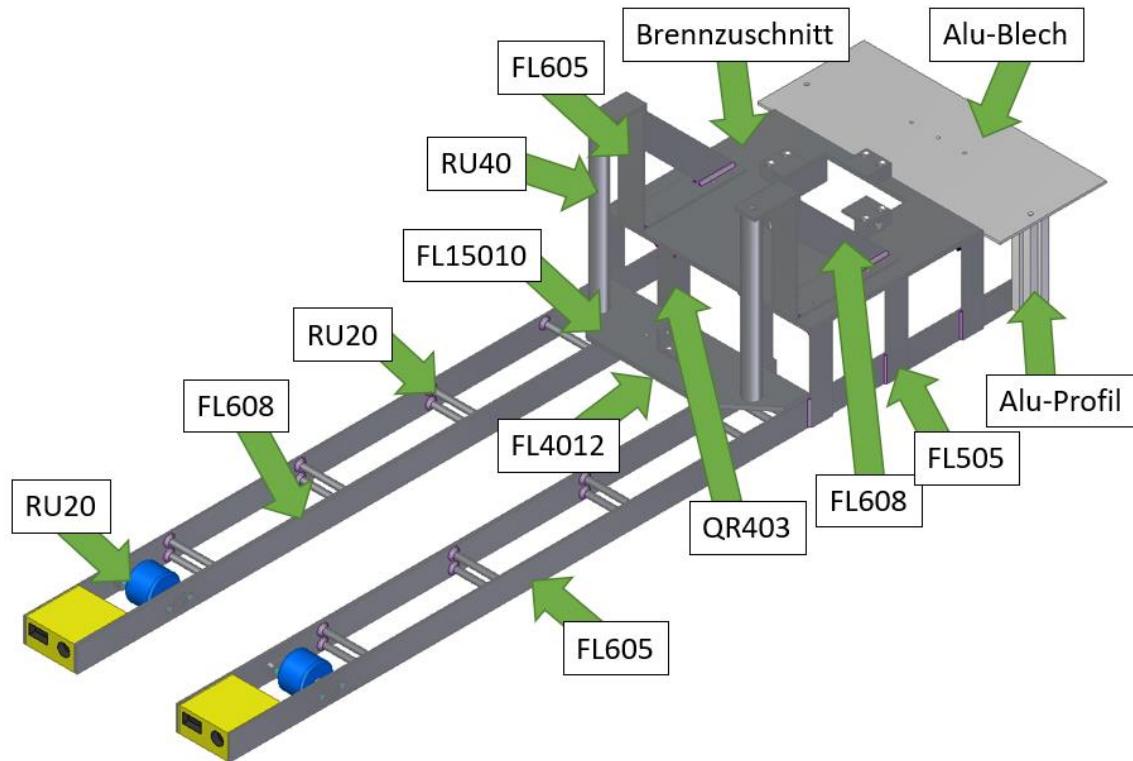


Abbildung 68: Stahlprofile Fahrgestell Konzept 3

Es ergeben sich für die Konzepte die folgenden Preise:

- Konzept 1: 156,82€
- Konzept 2: 211,08€
- Konzept 3: 192,27€

Der Unterschied der Preise lässt sich zum einen durch eingesetztes Aluminium bei den Konzepten zwei und drei begründen, und zum anderen durch mehr benötigtes Material bei Schraubverbindungen gegenüber der Schweißverbindung. Aus den Materialpreisen des Angebots der Firma Thress ergibt sich eine Abstufung von Konzept 1, Konzept 3, Konzept 2. Zusätzliche Bauteile, die nicht über ein spezielles Angebot eingeholt werden konnten, sind die Verbindungselemente, die bei den Schraubkonzepten verwendet werden. Hier gilt die Annahme, dass diese Bauteile relativ gesehen keinen ausschlaggebenden Einfluss im Materialpreis haben. Weitere Zukaufteile sind die Stützrollen, die jedoch für alle Varianten identisch sind. Der Preis für die verwendeten Stützrollen der Firma „Kaiser+Kraft“ beträgt 36,50€ [KAIS21], doch kann vernachlässigt werden, da es lediglich den Absolutwert und nicht die Relation der Konzepte verändert. Die übrigen Bauteile wie Elektronik, Drehschemel und Linearantrieb sind ebenfalls für alle Varianten identisch und werden hausintern bezogen.

Die Bearbeitungskosten können zu diesem Zeitpunkt noch nicht genau bestimmt werden. Die Konzepte werden anhand von Erfahrungswerten in Relation gesetzt. Da Konzept 1 das Schweißkonzept darstellt, erhält dies die höchste Punktzahl. Die Profile aus Rohmaterial müssen lediglich auf die geforderte Länge geschnitten werden. Hier findet keine weitere Bearbeitung durch Bohrungen o.ä. vor der Montage statt, da alle Bauteile miteinander verschweißt werden. Konzept 2 stellt ein reines Schraubkonzept dar, sodass hier die niedrigste Punktzahl vergeben wird. Es müssen sowohl die Profile auf entsprechende Längen gekürzt werden als auch Bohrungen und Gewinde gesetzt werden. Außerdem erfordern weitere Verbindungselemente Bearbeitungsschritte durch Fräsurarbeiten.

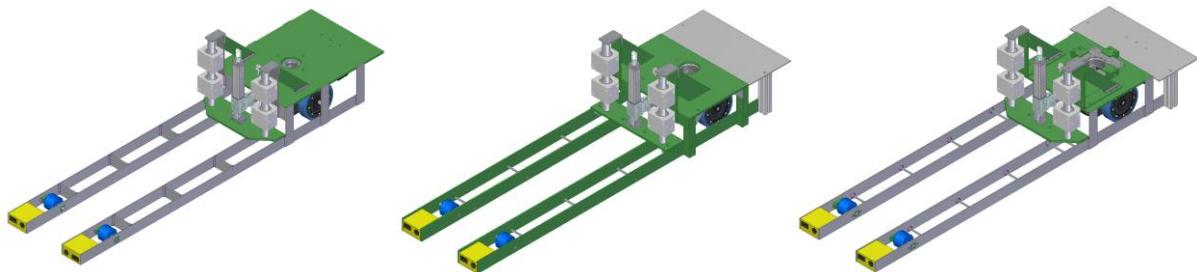


Abbildung 69: Darstellung Bearbeitungsteile Konzepte 1-3

Konzept 3, das Hybridkonzept, stellt einen Mittelweg zwischen den beiden anderen Varianten dar, als das nur noch eine geringere Anzahl an Bauteilen bearbeitet werden muss

Die Montagekosten hingegen stellen eine nahezu gegengleiche Punkteverteilung dar. Die einfach zu bearbeitenden Schweißteile müssen in komplexer Zusammenstellung verschweißt werden, wozu entsprechende Vorrichtung benötigt werden. Außerdem erfordert primär die Ausrichtung der Hubbolzen eine genaue Betrachtung, da die Achsparallelität beider Bolzen zueinander, sowie die vertikale Ausrichtung mit den exakten Abstandsmaßen zu gewährleisten ist. Durch die enorme Temperaturentwicklung während des Schweißprozesses verziehen sich die Profile und zuvor stimmende Maße können leicht abgewichen sein. Dies trifft speziell auf die Grundplatte der Linearführung und die Winkel, welche die Hubbolzen halten, zu. Diese kritischen Komponenten sind in Abbildung 70 durch eine grüne Einfärbung hervorgehoben.

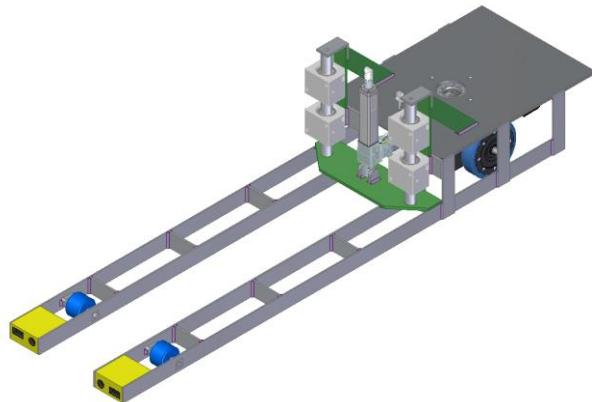


Abbildung 70: Kritische Schweißteile Fahrgestell Konzept 1

Hinzu kommt die Grundplatte, also die Drehschemelaufnahme, auf der die jeweiligen Bauteile aufgesetzt werden. Auch diese können bereits Ungenauigkeiten aufweisen, wenngleich größere Bauteile weniger Einfluss erfahren. Das gesamte Fahrgestell muss somit im Anschluss an die Schweißbearbeitung zwingend durch den Einsatz eines Bearbeitungszentrums oder ähnliche Verfahren nachbearbeitet werden.

Gleiches gilt für die Hybridvariante, Konzept 2, welches ebenfalls Schweißverbindungen einsetzt. Der Umfang der Schweißarbeiten ist hier allerdings deutlich geringer und betrifft nicht zwingend die Winkel oder die Grundplatte der Linearführung. Direkte Verbindungen zum Linearlagerung werden verschraubt und können somit feinjustiert werden. Dennoch bleibt es wahrscheinlich, dass geringfügige Nacharbeiten stattfinden müssen, was – neben den Basiskosten für das Schweißen – zusätzliche Kosten verursachen.

Als Ausblick lässt sich schon an diesem Punkt sagen, dass für alle Varianten, die eine Schweißbearbeitung erfordern, gilt, dass eine höhere Stückzahl die Montagekosten stark senken kann. Diese Arbeit bezieht sich allerdings auf die Erstellung eines Prototyps gemäß Kleinserie, was keine Kostenreduzierung bzw. die Einrichtung effizienter Montagevorrichtungen zulässt.

Die Höchstpunktzahl im Bewertungskriterium Bearbeitungskosten erhält die vollkommene Schraubvariante, das Konzept 2. In diesem Fall kann es zwar weiterhin notwendig sein, aufgrund des Gewichts der Komponenten, auf Vorrichtungen zur Positionierung der Teile zueinander zurückgreifen zu müssen, doch eine derartige Montage kann betriebsintern durchgeführt werden und erfordert keine mechanische Nachbearbeitung der Teile. Die Lohnkosten, die zur Zusammenführung des Fahrgestells aufgewandt werden müssen, lassen sich zu dem jetzigen Zeitpunkt nicht abschätzen, sind aber gegenüber einer externen Schweißbearbeitung

Gesamtbewertung

als geringer einzustufen. Für die Schweißarbeiten können ebenfalls keine exakten Angebote eingeholt werden, da der Detaillierungsgrad der Konzepte und die Auslastung der Zulieferer dies nicht zulassen.

Aus den Beschreibungen der Bewertung ergibt sich die in Abbildung 71 dargestellte Verteilung und das finale Ergebnis.

	Punkte für:	Materialkosten	Bearbeitungskosten	Montagekosten
Lösung 1 ist:	Konzept 1 - Schweißen	5	5	3
Lösung 2 ist:	Konzept 2 - Schrauben	4	2	5
Lösung 3 ist:	Konzept 3 - Hybrid	4	3	4
Die Lösung	Konzept 1 - Schweißen	erreicht	450	Punkte
Die Lösung	Konzept 2 - Schrauben	erreicht	375	Punkte
Die Lösung	Konzept 3 - Hybrid	erreicht	375	Punkte

Abbildung 71: Bewertung Kosten Fahrgestell

Dieses Ergebnis wird in der gesamten Nutzwertanalyse durch eine Bewertung mit den Punkten fünf, vier und vier für die Konzepte eins, zwei und drei in derselben Reihenfolge übertragen.

Das nächste Bewertungskriterium ist die Instandhaltung der Fahrgestelle. Die kritischen Bauteile dabei sind die Linearführung, bestehend aus Linearantrieb, Hubbolzen und Lineargleitlager, die Stützräder mit zugehöriger Halterung und der Drehschemel.

Der Punkt Wartungsintervalle fließt nicht in die Bewertung mit ein, da die Verschleißteile (Stützrad, Lineargleitlager, Drehschemel) für alle Varianten identisch sind. Lediglich das Schraubkonzept kann zusätzliche Instandhaltungsprozesse erfordern bzw. diese erschweren, wenn Komponenten über die Schraubköpfe reiben, sodass diese nicht mehr zerstörungsfrei gelöst werden können. Dies könnte der Fall am Fahrgestell sein, wenn die Hubgabel am Rahmen überlappt und durch seitliche mechanische Beanspruchung an den Rahmen gedrückt wird. Dieser Fall ist jedoch durch einen eingebundenen Sicherheitsabstand unrealistisch und soll somit vernachlässigt werden.

Die Instandhaltungsbewertung umfasst hier also lediglich die Zugänglichkeit der Wartungsstellen sowie den Aufwand der Wartung selbst. Konzept 1 verfügt über folgende kritische Stellen:

- Der Ausbau des Drehschemels erfolgt durch eine Demontage von der Aufnahmplatte von unten. Diese Montagerichtung ist schlecht zugänglich. Zudem muss das Fahrgestell aufgebockt werden, um den Drehschemel nach hinten herausziehen zu können.

- Die Linearführung ist zugänglich durch das Lösen der Schraubverbindung des obersten Verbindungswinkels. Dieser muss trotz Schweißkonzept verschraubt werden, da die Linearführung ansonsten nicht gewartet werden kann. Nach Entfernung dieses Winkels können Wartungsarbeiten durchgeführt werden, wenngleich der Hauptwinkel, der den Kraftfluss führt, fest verschweißt bleibt und somit die Zugänglichkeit erheblich beeinträchtigt.
- Das Stützrad kann durch Herausschlagen des Bolzens entnommen werden. Dafür müssen zunächst die Sicherungssplinte entfernt werden. Um diese Splinte vollständig von oben entnehmen zu können muss die Hubgabel stark angehoben bzw. vollständig demontiert werden, was den Aufwand drastisch erhöht.

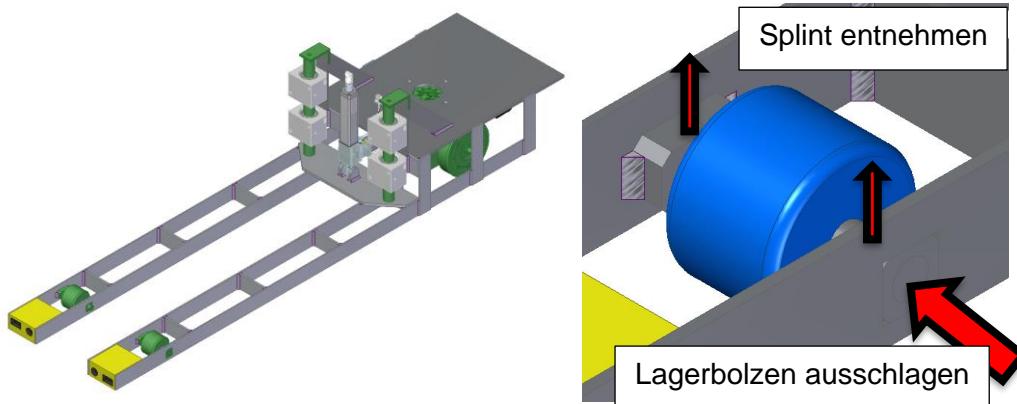


Abbildung 72: Instandhaltungsstellen Fahrgestell Konzept 1

Zusätzlich kann beim Schweißkonzept kein Bauteil ohne ein zerstörendes Löseverfahren getauscht werden, falls dieses durch eine externe Krafteinwirkung beschädigt wird.

Demgegenüber verfügt Konzept 2 über die gleichen kritischen Stellen, die jedoch anders gehandhabt werden können:

- Der Ausbau des Drehschemels erfolgt durch eine Demontage von der Aufnahmplatte von oben. Diese Montagerichtung ist gut zugänglich, mit der Voraussetzung, dass keine Elektronikkomponente auf den Schraubenköpfen platziert wird. Da es sich aber bei den Elektronikbauteilen um viele kleine Komponenten handelt, ist diese Forderung realisierbar. Zur Entnahme des Drehschemels muss das Fahrgerüst aufgebockt werden.
- Die Linearführung ist zugänglich durch das Lösen der Schraubverbindung des obersten Verbindungswinkels. Erfordert es die Wartung bzw. soll die Zugänglichkeit verbessert werden, kann auch der restliche Teil des kraftführenden Winkels de-

montiert werden. Diese Demontage erfolgt von unten, ist aber dennoch gut zugänglich, da der Winkel in der Draufsicht neben und nicht auf dem Drehschemel verschraubt wird.

- Die Stützräder können entnommen werden, wenn der Lagerbolzen entfernt wird. Dieser kann nach dem Lösen einer Schraube herausgezogen bzw. -geschlagen werden. Ein Zugang zur Stützradaufnahme von oben oder unten ist hier nicht notwendig.

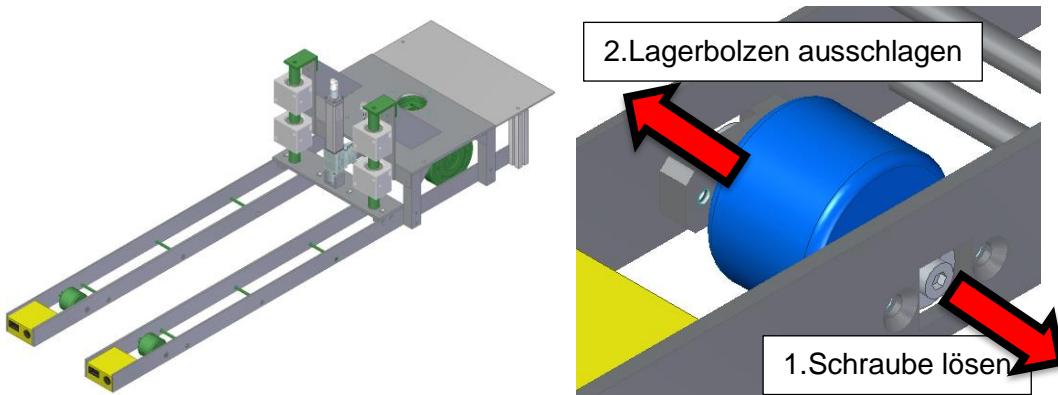


Abbildung 73: Instandhaltungsstellen Fahrgestell Konzept 2

Bei einer externen Beschädigung von Bauteilen können diese zusätzlich schnell ausgetauscht werden.

Die Handhabung der Wartungsstellen von Konzept 3 weist folgende Eigenschaften auf:

- Der Ausbau des Drehschemels erfolgt durch eine Demontage von der Aufnahmplatte aus seitlicher Richtung. Die Montagerichtung ist nur dann gut zugänglich, wenn sich vor der Bohrung kein Elektronikbauteil befindet. Die Realisierung dieser Forderung erfordert im Vergleich zu Konzept 2 einen deutlich höheren Aufwand, da eine Art Tunnel freigehalten werden muss. Auch die Anbringung des Demontagewerkzeugs erfordert zusätzlichen Freiraum.
- Die Linearführung ist zugänglich durch das Lösen der Schraubverbindung des obersten Verbindungswinkels. Erfordert es die Wartung bzw. soll die Zugänglichkeit verbessert werden, kann auch der restliche Teil des kraftführenden Winkels demontiert werden. Diese Demontage erfolgt von oben und bietet somit eine einfache Handhabung.
- Das Stützrad kann durch Herausschlagen des Bolzens entnommen werden. Dafür müssen zunächst die Sicherungssplinte entfernt werden, die ebenfalls herausgeschlagen werden. Um diese Splinte vollständig von oben entnehmen zu können

Gesamtbewertung

muss die Hubgabel stark angehoben bzw. vollständig demontiert werden, was den Aufwand drastisch erhöht.

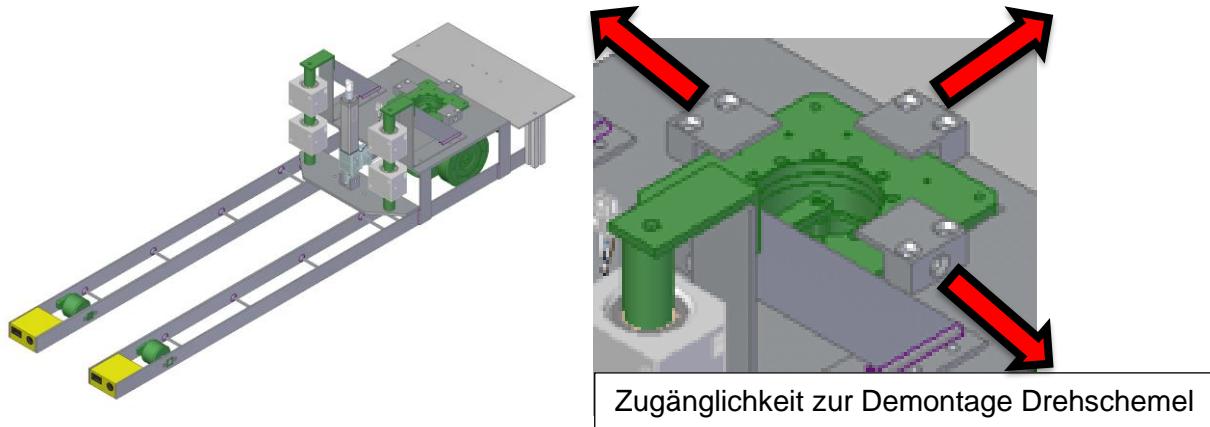


Abbildung 74: Instandhaltungsstellen Fahrgestell Konzept 3

Zuletzt fließt das Gewicht in die Bewertung mit ein, welches sich wie folgt aufteilt:

- Konzept 1: ~100kg
- Konzept 2: ~104kg
- Konzept 3: ~92kg

Die Bewertungskriterien fließen gemäß den dargestellten Vor- und Nachteilen und den sich daraus ergebenden Punkten in die Gesamtbewertung nach Abbildung 75 ein.

		Punkte für:	Kosten	Instandhaltung	Gewicht
Lösung 1 ist:	Konzept 1 - Schweißen		5	1	3
Lösung 2 ist:	Konzept 2 - Schrauben		4	4	3
Lösung 3 ist:	Konzept 3 - Hybrid		4	3	4

Die Lösung	Konzept 1 - Schweißen	erreicht	333,33333333	Punkte
Die Lösung	Konzept 2 - Schrauben	erreicht	350	Punkte
Die Lösung	Konzept 3 - Hybrid	erreicht	383,33333333	Punkte

Abbildung 75: Bewertung Gesamt Fahrgestell

In dieser Bewertung liegt das Hybridkonzept leicht vor dem Schraubkonzept, doch bei einem derartig geringen Unterschied kann ein Veto eingesetzt werden. Somit soll dennoch das Fahrgestell des Konzept 2 als favorisierte Lösung gewählt werden, da so vollkommen auf das Schweißen verzichtet und die gesamte Konstruktion hausintern umgesetzt werden kann.

6.3.2 Hubgabeln

Bei der Bewertung der Hubgabeln wird auf eine gesonderte Betrachtung der Teilkosten verzichtet. Hier ist die Komplexität der Konstruktion zu gering, als dass eine explizite Unterscheidung zwischen Material-, Bearbeitungs- und Montagekosten vorzunehmen wäre. Dennoch werden diese Aspekte in der Bewertung der Kosten berücksichtigt, da sie Teil der Gesamtkosten sind.

	Kosten	Funktionalität	Gewicht	Gewichtung	Gewichtung in %
Kosten		2	1	3	25,0
Funktionalität	2		1	3	25,0
Gewicht	3	3		6	50,0
Summen:				12	100,0

Abbildung 76: Gewichtung Bewertungskriterien Hubgabel

Abbildung 76 zeigt das Ergebnis der Gewichtung der Bewertungskriterien. Das Gewicht wird dabei als wichtigerer gegenüber der Funktionalität und der Kosten gesetzt, da es, wie bereits bei der Bewertung der Fahrgestelle erwähnt, ein dauerhafter Faktor ist und Einfluss auf die Akkulaufzeit und die Auslegung der Konstruktion in Bezug auf die Sicherheit hat.

Die Materialkosten der Hubgabeln können wie die der Fahrgestelle durch ein Angebot der Firma Julias Thress GmbH & Co. KG angenähert werden. Die exakten Werte je Komponente sind detailliert im Anhang aufgelistet. Die verwendeten Profile sind in den Abbildungen 77-79 dargestellt.

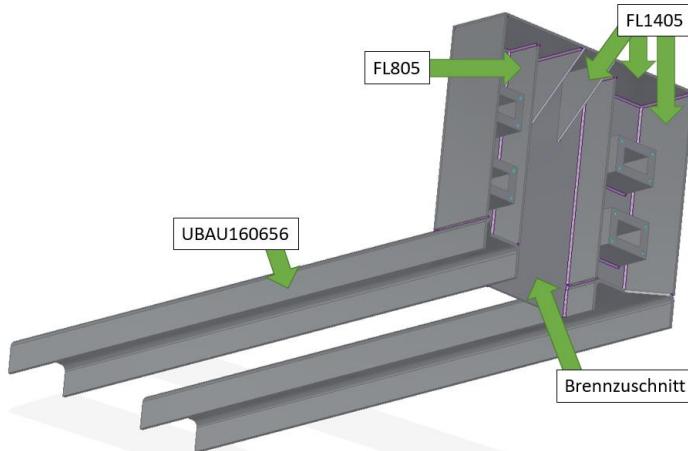


Abbildung 77: Hubgabel Typ 1 Materialien

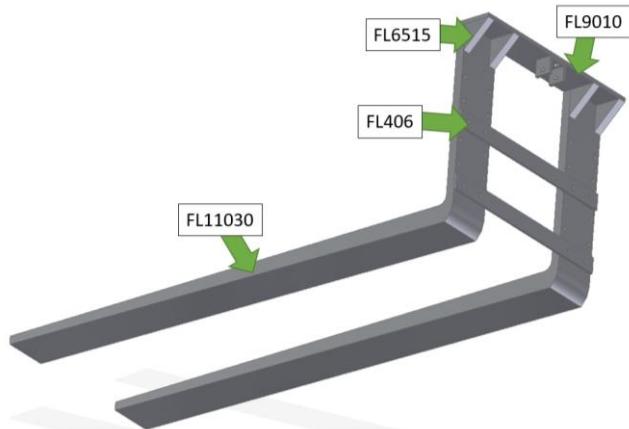


Abbildung 78: Hubgabel Typ 2 Materialien

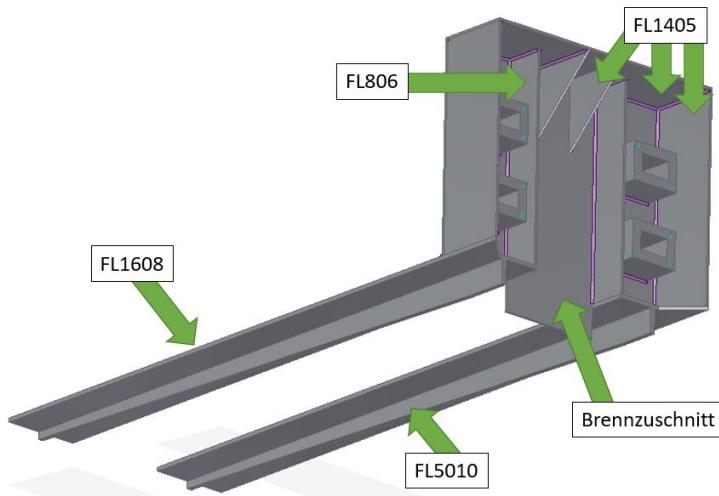


Abbildung 79: Hubgabel Typ 3 Materialien

Die Preise für die Hubgabeln belaufen sich auf:

- Konzept 1: 143,48€
- Konzept 2: 170,89€
- Konzept 3: 123,43€

Dabei ergibt sich eine Abstufung der Materialpreise von Typ 3 mit 123,43€, Typ 1 mit 143,48€ und Typ 2 mit 170,89€. Anzumerken ist allerdings, dass die vier Verbindungsstücke der Typen 1 und 3 für die Gehäuselager nicht im Angebot eingebunden sind.

Bezüglich Bearbeitungs- und Montagekosten lässt sich sagen, dass die Zinken von Typ 2 die deutlich aufwändigste Bearbeitung benötigen, da nur spezielle Werkstätten derartige Kompo-

nenten mit den geforderten Genauigkeiten erstellen können. Die anderen Gabeln unterscheiden sich lediglich in dem Punkt, dass das U-Profil von Typ 1 gegenüber dem zusammengeschweißten T-Profil von Typ 3, aus einem U-Stahl nach Norm besteht.

Für das Kriterium Funktionalität kommen primär zwei mögliche Vorkommnisse im Betrieb zum Tragen:

- Ist die Hubgabel ausgefahren und erfährt dann eine seitliche Kraft, kann diese außermittig verschoben werden und beim Eintauchen in das Chassis setzt sie auf den Seitenteilen auf.
- Ist die Hubgabel ausgefahren können seitlich Gegenstände zwischen Chassis und Hubgabel eindringen und so Komponenten im Inneren beschädigen oder das Wiedereintauchen verhindern und so zu Verklemmungen führen, die das manuelle Lösen dieser Stellen erfordert.

Für beide Vorkommnisse ist es vorteilhaft, wenn die Hubgabel nach außen hin abgeschlossen ist und das Chassis abdeckt; dies ist lediglich bei Typ 1, dem U-Profil, der Fall. Eine Abstufung kann dann von Typ 3 zu Typ 2 erfolgen, da das T-Profil zwar keine seitliche Abdeckung besitzt, doch zumindest von oben das Chassis vollständig abdeckt und nicht über die gesamte Breite, sondern nur mit der T-Stütze, in das Chassis eintaucht. Das Profil von Typ 3 bietet weder Schutz gegen seitliches Eindringen von Gegenständen noch vor Aufsetzen beim Eintauchen ins Chassis.

Die Gewichte der verschiedenen Hubgabeln ergeben sich zu:

- Konzept 1: ~70kg
- Konzept 2: ~90kg
- Konzept 3: ~68kg

Für die Hubgabeln ergibt sich somit eine Gesamtbewertung gemäß Abbildung 80.

		Punkte für:	Kosten	Funktionalität	Gewicht
Lösung 1 ist:	Konzept 1 Schweiß		5	5	3
Lösung 2 ist:	Konzept 2 Schweiß		2	2	1
Lösung 3 ist:	Konzept 3 Schweiß		5	3	3

Die Lösung	Konzept 1 Schweiß	erreicht	400	Punkte
Die Lösung	Konzept 2 Schweiß	erreicht	150	Punkte
Die Lösung	Konzept 3 Schweiß	erreicht	350	Punkte

Abbildung 80: Bewertung Gesamt Hubgabel

Gemäß der Bewertung stellt sich das Konzept 1 mit dem U-Profil als präferierte Lösung heraus, die ohne weitere Einschränkungen im Nachgang gewählt wird.

6.4 Auswertung der Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalysen der Fahrgestelle und Hubgabeln ergeben entsprechend den Ausführungen der Kapitel 6.3.1 und 6.3.2 das Ergebnis nach Tabelle 2. Die final ausgewählten Konzepte sind blau markiert.

Konzepte	Punktzahl
Fahrgestell	
Typ 1 (Schrauben)	333
Typ 2 (Schweißen)	350
Typ 3 (Hybrid)	383

Konzepte	Punktzahl
Hubgabel	
Typ 1 (U-Profil)	400
Typ 2 (Zinken)	150
Typ 3 (T-Profil)	350

Tabelle 2: Ergebnisse Nutzwertanalyse

Das finale Konzept stellt somit eine Verbindung des Fahrgestells Typ 2, der Schraubvariante, mit der verschweißten Hubgabel Typ 2, dem U-Profil dar. In diesem Konzept werden nun auch die bekannten Elektronikkomponenten durch Dummy-Modelle eingebunden, sodass sich das gesamte FTF gemäß Abbildung 81 darstellt.

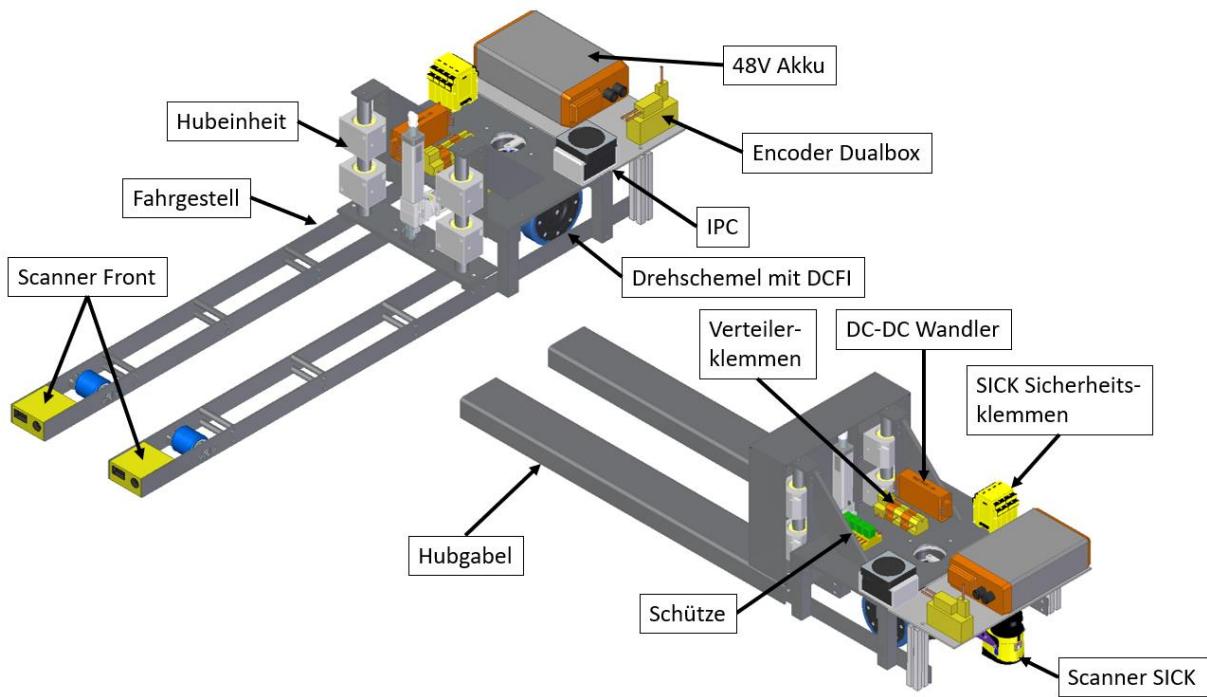


Abbildung 81: Finales Konzept Zusammenstellung

Gesamtbewertung

Die Position und Anzahl der platzierten Elektronikkomponenten entsprechen dabei nicht dem finalen Stand, sondern dienen als schematische Darstellung von bereits bekannten Elementen. Diese Platzierung gilt als Bauraumbetrachtung für die Elektronik und gewährleistet somit eine ausreichend große zur Verfügung stehende Fläche. Die übrigen Komponenten befinden sich zudem in der weiteren Entwicklung und werden nach Abschluss dieser platziert.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Firma Hanning Elektro-Werke GmbH & Co. KG entwickelt ein Antriebssystem zur Integration in FTS externer Anbieter. Dieses System soll in einem intern konstruierten FTF validiert werden. Mithilfe eines konstruktionssystematischen Prozesses kann die Aufgabenstellung zur Entwicklung und Evaluierung von verschiedenen Konzepten für einen Prototypenbau erfolgreich abgeschlossen werden. Dabei wird zunächst eine Anforderungsliste erstellt, die die Basis der Entwicklung bildet. Zentrale Anforderungen sind dabei die Integration von einem vorgegebenen Hubmechanikskonzept, einem Drehschemelantrieb und Sensorik für die Navigation. Die genannten Komponenten sind Ergebnisse von vorangegangen Arbeiten und Entwicklungen. Durch eine Systemanalyse können in einer Funktions- und Produktstruktur wichtige Schnittstellen und Funktionsträger ausgemacht werden. Auf Basis dessen entsteht ein Morphologischer Kasten, aus dem drei verschiedene Lösungskonzepte hervorgehen. Der primäre Unterschied der Konzepte ist die Verbindungstechnik, die durch Schrauben, Schweißen oder eine Hybridvariante ausgeführt ist. Zur Bewertung mittels der Nutzwertanalyse werden die Konzepte zu einem Detaillierungsgrad ausgelegt, der eine Beurteilung gemäß den Bewertungskriterien Kosten, Instandhaltung und Gewicht zulässt. Die einzelnen Komponenten werden dabei mithilfe von grundlegenden Berechnungsmethoden und teils FEM-Analysen konstruiert. Das Ergebnis der Nutzwertanalyse ist die Auswahl der Fahrgestellkonstruktion mit Schraubverbindungen und die Hubgabelkonstruktion mit Schweißverbindungen. Beide Konstruktionen sind nahezu vollständig aus Halbzeugen konstruiert, um den Sonderanfertigungsgrad der Bauteile zu reduzieren und somit auch die Kosten gering zu halten. Das zentrale Verbindungselement der beiden Konstruktionen, Fahrgestell und Hubgabel, ist die Hubeinheit, welche, entsprechend dem vorgegebenen Konzept, an die Belastungen angepasst ist.

Mit Abschluss dieser Arbeit ist die Konzeptphase der Konstruktion abgeschlossen. Das finale Konzept, welches grob dimensioniert ist, wird mittels einer Feingestaltung weiter ausgearbeitet. Aspekte der Feingestaltung sind die Berücksichtigung von Fertigungstechniken, Toleranzen und Montagemitteln. Zudem bildet die Linearführung und dessen Ausrichtung ein zentrales Element und bedarf gegenüber den übrigen Komponenten einer besonderen Betrachtung. Während der weiterführenden Bearbeitung können außerdem entstandene Erkenntnisse der Konstruktion zusätzliche Iterationsschleife erfordern. Auf Basis der finalen Iteration erfolgt dann eine erneute Kostenanalyse des Systems. Mit Abschluss der Feingestaltung werden anschließend Fertigungsunterlagen in Form einer technischen Dokumentation für die Produktion erstellt. Anhand dessen kann ein erster Prototyp des FTF aufgebaut werden.

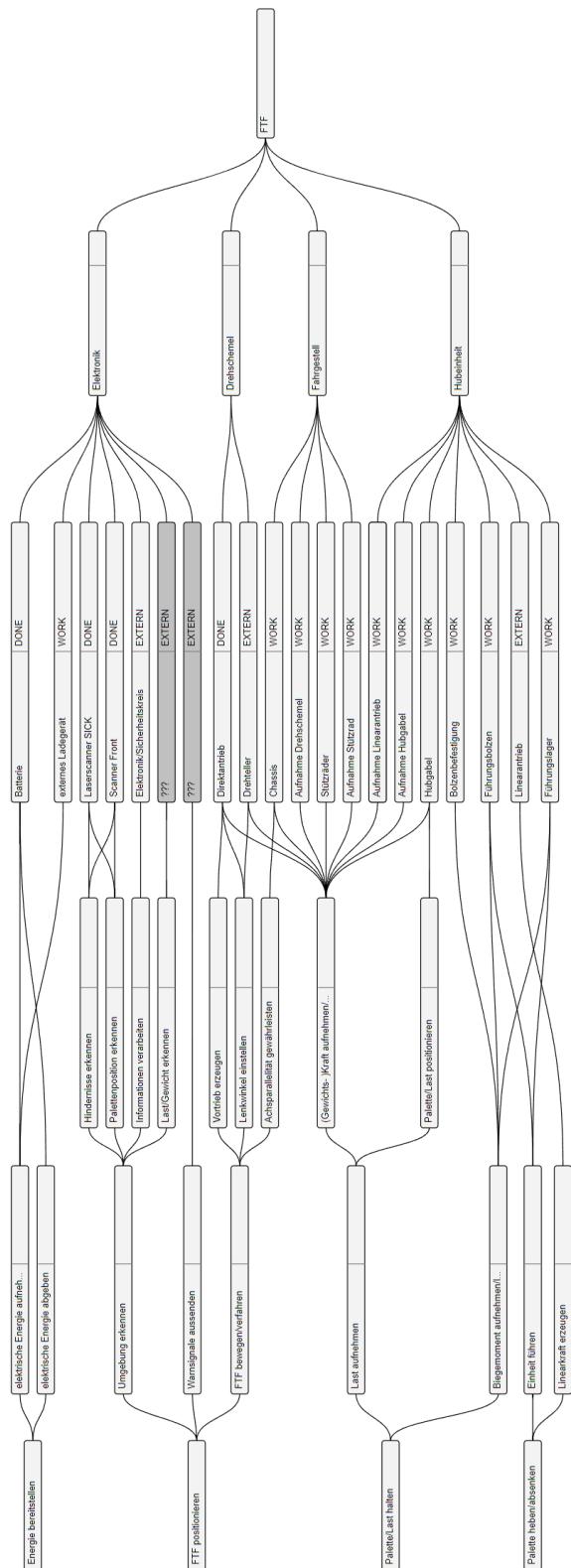
Literaturverzeichnis

- [DEIN21] Deinhammer GmbH, <https://www.deinhammer.at/gleitlager-oder-kugellager/>, 29.12.2021
- [DIN13698] DIN EN 13698-1, 2004, Produktspezifikation für Paletten – Teil 1: Herstellung von 800mmx1200mm. Flachpaletten aus Holz
- [EN10025] EN10025-2:2019-10, 2019, Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle
- [FELD13] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich, Pahl/Beitz Konstruktionslehre / Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung, 8. Auflage, Springer, Berlin, 2013, ISBN 978-3-642-29568-3
- [HABE09] Haberhauer, Horst, Maschinenelemente / Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 18. Auflage, Springer, Berlin, 2018, ISBN 978-3-662-53047-4
- [IGUS21] igus GmbH, 2021, <https://www.igus.de/info/iglidur-j-werkstoffdaten>, 20.12.2021
- [KAIS21] Kaiser Kraft GmbH, <https://www.kaiserkraft.de/raeder-rollen/gabelrollen-fuer-flurfoerderfahrzeuge/gabelrolle/polyurethan/p/M7341/?articleNumber=759496>, 28.12.2021
- [LAUT20] Lauterbach, Prof. Dr.-Ing. Maik, Skript Methodisches Konstruieren, Fachhochschule Bielefeld, 2020
- [MASC06] Maschinenrichtlinie Richtlinie 2006/42/EG, 2006, Maschinenrichtlinie – Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung), S. 60
- [MSMO21] MS Motorservice Deutschland GmbH, https://www.permaglide.com/gleitlager/vorteile-gegenueber-kugellager/?gclid=EAIaIQobChMIwPu5t4qs3A-IVAQAAAB0BAAAAEAYACAAEgJVzfD_BwE, 29.12.2021
- [SCHA17] Schaeffler Technical Documentation, Technisches Taschenbuch, 3. Auflage, Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach, 2017

- [SCHW21a] Schweizer, Anton, https://www.schweizer-fn.de/festigkeit/festigkeitswerte/stahl/stahl_start.php, 21.12.2021
- [SCHW21b] Schweizer, Anton, <https://www.schweizer-fn.de/maschinenelemente/schweissnaht/schweissverbindung.php#zulspannungs235>, 21.12.2021
- [ULLR11] Ullrich, Günter, Fahrerlose Transportsysteme / Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur Technik – für die Planung, 1. Auflage, Springer, Wiesbaden, 2011, ISBN 978-3-8348-0791-5
- [ULLR19] Ullrich, Günter; Albrecht, Thomas, Fahrerlose Tranportsysteme / Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur Technik – für die Planung, 3. Auflage, Springer, Wiesbaden, 2019, ISBN 978-3-658-27471-9
- [VDI2221] VDI 2221 Blatt 1, 2019, Entwicklung technischer Produkte und Systeme / Modell der Produktentwicklung
- [VDI2510] VDI 2510, 2005, Fahrerlose Transportsysteme (FTS)
- [WIKI21] <https://de.wikipedia.org/wiki/Europalette>, 02.01.2022
- [WITT17] Wittel, Günter et al., Roloff/Matek Maschinenelemente / Normung Berechnung Gestaltung, 23. Auflage, Springer, Wiesbaden, 2017, ISBN 978-3-658-17895-6
- [ZIMM17] Zimmer, Prof. Dr.-Ing. Detmar, Maschinenelemente-Verbindungen, Universität Paderborn, 2017

Anhang

Produktarchitektur METUS Raute



Materialkosten Fahrgestelle

Konzept 1 Fahrgestell Materialkosten			
Typ	Preis je Einheit á z.B. 6m [€]	Länge Modell [m]	Preis Modell [€]
FL606 – Flachstahl 60x6mm S235JR	28,08	3,96	18,53
BA604 – Bandstahl 60x4mm S235JR	21,60	4,00	14,47
FL608 – Flachstahl 60x8mm S235JR	37,44	0,68	4,24
FL508 – Flachstahl 50x8mm S235JR	31,20	0,60	3,12
FL505 – Flachstahl 50x5mm S235JR	20,41	1,36	4,63
FL656 – Flachstahl 65x6mm S235JR	37,00	0,33	2,04
FL15010 – Flachstahl 150x10 S235JR	115,44	0,50	9,62
RR50304 – Rechteckrohr EN 10305-5 bzw. EN 10219 50x30x4	106,80	0,43	7,65
RU40 – Rundstahl 40mm S235JR	101,06	0,80	13,47
RU20 – Rundstahl 20mm S235JR	24,16	0,26	1,05
Brennzuschnitte 502,5x680x10	S235JR 78,00	-----	78,00
Gesamtkosten			156,82

Konzept 2 Fahrgestell Materialkosten			
Typ	Preis je Einheit á z.B. 6m [€]	Länge Modell [m]	Preis Modell [€]
*FL706 – Flachstahl 70x6mm S235JR	34,34	2,81	16,08
FL705 – Flachstahl 70x5mm S235JR	28,62	3,81	18,17
FL10015 – Flachstahl 100x15mm S235JR	115,44	0,70	13,47
FL605 – Flachstahl 60x5mm S235JR	23,55	0,61	2,39
FL606 – Flachstahl 60x6mm S235JR	28,08	0,42	1,97
FL11010 – Flachstahl 110x10mm S235JR	86,90	0,50	7,24
FL3012 – Flachstahl 30x12mm S235JR	28,44	0,24	1,14

QR403 – Quadratrohr EN 10305-5 bzw. EN 10219 40/40/3	72,60	1,30	15,73
RU40 – Rundstahl 40mm S235JR	101,06	0,80	13,47
RU20 – Rundstahl 20mm S235JR	24,16	2,09	8,42
Brennzuschnitte S235JR 580x390x10	48,00	-----	48,00
ABHHKF5 Alu-Blech 99,5 hh 5x1000x2000 + Bearbeitungskosten Platten schneiden 580x280x5	65,00	-----	65,00
Gesamtkosten			211,08

Konzept 3 Fahrgestell Materialkosten			
Typ	Preis je Einheit á z.B. 6m [€]	Länge Modell [m]	Preis Modell [€]
FL605 – Flachstahl 60x5mm S235JR	23,55	3,92	15,39
FL608 – Flachstahl 60x8mm S235JR	37,44	4,93	30,76
FL15010 – Flachstahl 150x10mm S235JR	115,44	0,50	9,62
FL505 – Flachstahl 50x5mm S235JR	20,41	1,24	4,22
FL4012 – Flachstahl 40x12mm S235JR	37,92	0,24	1,52
QR403 – Quadratrohr EN 10305-5 bzw. EN 10219 40/40/3	72,60	0,39	4,72
RU40 – Rundstahl 40mm S235JR	101,06	0,80	13,47
RU20 – Rundstahl 20mm S235JR	24,16	0,26	1,05
RU15 – Rundstahl 15mm S235JR	14,49	1,87	4,52
Brennzuschnitte 502,5x420x10	42,00	-----	42,00
ABHHKF5 Alu-Blech 99,5 hh 5x1000x2000 + Bearbeitungskosten Platten schneiden 600x260x5	65,00	-----	65,00
Gesamtkosten			192,27

Materialkosten Hubgabeln

Konzept 1 Hubgabel			
Typ	Preis je Einheit á z.B. 6m [€]	Länge Modell [m]	Preis Modell [€]
Brennzuschnitte S235JR 510x532,5x5	34,00	---	34,00
UBAU160656 S235JR	194,00	2,72	87,95
*FL805 – Flachstahl 80x5mm S235JR	32,71	0,86	4,69
FL1405 – Flachstahl 140x5mm S235JR	60,52	1,67	16,84
Gesamtpreis:			143,48

Konzept 2 Hubgabel			
Typ	Preis je Einheit á z.B. 6m [€]	Länge Modell [m]	Preis Modell [€]
FL11030 – Flachstahl 110x30mm S235JR	283,62	3,35	158,35
FL9010 – Flachstahl 90x10mm S235JR	70,20	0,48	5,62
*FL6515 – Flachstahl 65x10mm S235JR	88,80	0,26	3,85
*FL406 – Flachstahl 40x6mm S235JR	18,96	0,97	3,07
Gesamtpreis:			170,89

Konzept 3 Hubgabel			
Typ	Preis je Einheit á z.B. 6m [€]	Länge Modell [m]	Preis Modell [€]
Brennzuschnitte S235JR 510x532,5x5	34,00	----	34,00
FL1405 – Flachstahl 140x5mm S235JR	60,52	1,67	16,84
FL5010 – Flachstahl 50x10mm S235JR	39,00	2,59	16,84
*FL1608 - Flachstahl 160x8mm S235JR	112,64	2,72	51,06
*FL805 – Flachstahl 80x5mm S235JR	32,71	0,86	4,69
Gesamtkosten:			123,43

Materialangebot Firma Thress



Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot

1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 1

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
1/0	BFL1606 Breitflach 160x6mm S235JR (ST37-2) DIN 59200 EN 10025	kg	48.00	176.00	H	EUR	84.48
Stab	1.00						
2/0	FL15010 Flachstahl 150x10mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025.	kg	74.00	156.00	H	EUR	115.44
Stab	1.00						
3/0	FL1405 Flachstahl 140x5mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg	34.00	178.00	H	EUR	60.52
Stab	1.00						
4/0	FL1408 Flachstahl 140x8mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg	56.00	156.00	H	EUR	87.36
Stab	1.00						
5/0	FL11010 Flachstahl 110x10mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg	55.00	158.00	H	EUR	86.90
Stab	1.00						

Uebertrag auf Seite 2

434.70

Julius Thress GmbH & Co. KG
Felix-Wankel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach
Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 2

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 1 434.70

6/0 FL11030	kg 163.00	174.00	H	EUR	283.62
Flachstahl 110X30mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

7/0 FL10015	kg 74.00	156.00	H	EUR	115.44
Flachstahl 100x15mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

8/0 FL9010	kg 45.00	156.00	H	EUR	70.20
Flachstahl 90x10mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

9/0 FL705	kg 18.00	159.00	H	EUR	28.62
Flachstahl 70x5mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

10/0 FL708	kg 28.00	156.00	H	EUR	43.68
Flachstahl 70x8mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

Uebertrag auf Seite 3 976.26

Julius Thress GmbH & Co. KG

Felix-Winkel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach

Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 3

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 2 976.26

11/0	FL656 Flachstahl 65x6mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg 20.00 Stab 1.00	185.00	H	EUR	37.00
------	--	-----------------------	--------	---	-----	-------

12/0	FL6510 Flachstahl 65x10mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg 32.00 Stab 1.00	185.00	H	EUR	59.20
------	--	-----------------------	--------	---	-----	-------

13/0	FL606 Flachstahl 60x6mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg 18.00 Stab 1.00	156.00	H	EUR	28.08
------	--	-----------------------	--------	---	-----	-------

14/0	BA604 Bandstahl 60x4 mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg 12.00 Stab 1.00	180.00	H	EUR	21.60
------	--	-----------------------	--------	---	-----	-------

15/0	FL608 Flachstahl 60x8mm S235JR (ST 37-2) DIN 1017 EN 10025	kg 24.00 Stab 1.00	156.00	H	EUR	37.44
------	--	-----------------------	--------	---	-----	-------

Uebertrag auf Seite 4 1159.58

Julius Thress GmbH & Co. KG

Felix-Winkel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach

Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 4

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 3 1159.58

16/0 FL605	kg 15.00	157.00	H	EUR	23.55
Flachstahl 60x5mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

17/0 FL508	kg 20.00	156.00	H	EUR	31.20
Flachstahl 50x8mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

18/0 FL505	kg 13.00	157.00	H	EUR	20.41
Flachstahl 50x5mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

19/0 FL5010	kg 25.00	156.00	H	EUR	39.00
Flachstahl 50x10mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

20/0 FL4012	kg 24.00	158.00	H	EUR	37.92
Flachstahl 40x12mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

Uebertrag auf Seite 5 1311.66

Julius Thress GmbH & Co. KG
Felix-Winkel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach
Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 5

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 4 1311.66

21/0 FL3012	kg 18.00	158.00	H	EUR	28.44
Flachstahl 30x12mm S235JR	Stab 1.00				
(ST 37-2) DIN 1017 EN 10025					

22/0 BRENNTTEILE	Stk 1	48.00	E	48.00
Brennzuschnitte S235JR				
entgratet / nach DIN				
580 X 390 X 10				

23/0 BRENNTTEILE	Stk 1	78.00	E	78.00
Brennzuschnitte S235JR				
entgratet / nach DIN				
502.5 X 680 X 10				

24/0 BRENNTTEILE	Stk 1	42.00	E	42.00
Brennzuschnitte S235JR				
entgratet / nach DIN				
502.5 X 420 X 10				

Uebertrag auf Seite 6 1508.10

Julius Thress GmbH & Co. KG
Felix-Wankel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach
Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 6

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 5 1508.10

25/0	BRENNTEILE Brennzuschnitte S235JR entgratet / nach DIN 510 X 532.5 X 10	Stk 1	68.00	E	68.00
------	--	-------	-------	---	-------

26/0	KOMA Kommissionierzuschlag je Auftrag	Stk 1	20.00	E	20.00
------	---	-------	-------	---	-------

27/0	ABHHKF5 Alu-Blech 99,5 hh 5 X 1000 X 2000	kg 27.00 Tafel 1.00	7.20	E	194.40
------	---	------------------------	------	---	--------

28/0	BEARBEITUNGSK Bearbeitungskosten PLATTEN SCHNEIDEN	Stk 1	48.00	E	48.00
------	--	-------	-------	---	-------

1 STK. 580 X 280 X 5

Uebertrag auf Seite 7 1838.50

Julius Thress GmbH & Co. KG
Felix-Wankel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach
Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 7

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
	Uebertrag von Seite 6						1838.50
	1 STK. 600 X 260 X 5						
30/0	RU40 Rundstahl 40 mm S235JR (ST 37-2) DIN 1013 EN 10025	kg	62.00	163.00	H		EUR 101.06
31/0	RU20 Rundstahl 20 mm S235JR (ST 37-2) DIN 1013 EN 10025	kg	16.00	151.00	H		EUR 24.16
32/0	RU15 Rundstahl 15 mm S235JR (ST 37-2) DIN 1013 EN 10025	kg	9.00	161.00	H		EUR 14.49
33/0	RR50304 Rechteckrohr EN 10305-5 bzw. EN 10219 50x30x4	m	6.00	35.60	E 50.00		106.80
34/0	QR402 Quadratrohr EN 10305-5 bzw. EN 10219 40/40/2	m	6.00	17.60	E 50.00		52.80

Uebertrag auf Seite 8

2137.81

Julius Thress GmbH & Co. KG

Felix-Wankel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach

Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 8

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 7 2137.81

35/0 QR403	m 6.00	24.20	E 50.00	72.60
Quadratrohr EN 10305-5 bzw.	Stab 1.00			
EN 10219 40/40/3				

36/0 UBAU160656	kg 77.00	194.00	H	149.38
U-Bau 160/65/6 RST 37.2	Stab 1.00			
(1.0038) EN 10027 S235JR				

37/0 UPE160	kg 105.00	192.00	H	EUR 201.60
UPE 160 S 235 JR	m 6.00			
DIN 1026 / EN 10025				

- die Preise beziehen sich auf
ihre Anfrage zur Kalkulation ihrer
Bachelorarbeit
- Preise gelten im Auftragsfall
nur bei Selbstabholung in
Bad Kreuznach

Uebertrag auf Seite 9 2561.39

Julius Thress GmbH & Co. KG

Felix-Winkel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach

Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de





Julius Thress GmbH & Co. KG · Postfach 2751 · 55516 Bad Kreuznach

Steffen Thiele

Angebot 1400934/1

Kunden-Nr. : DIVT01
Datum : 26.11.2021 99
Sachbearbeiter: JST 0671/709-0

Seite : 9

Lieferanschrift : Steffen Thiele

Bezugszeile : Bachelorarbeit Submission : ..
Termin u. Vorbehalt : Preisbindung: 27.11.2021
Kd-Auftr-Nr. :

Pos.	Art.-Nr./Bezeichnung	ME	Menge	Preis/EUR	PE	Rabatt	Gesamt/EUR
------	----------------------	----	-------	-----------	----	--------	------------

Uebertrag von Seite 8 2561.39

- Preise nur bei kompletter
Abnahme möglich!

Alle Angebote erfolgen ab
sofort unter dem Vorbehalt, dass es
durch die Corona-Pandemie zu
Verzögerungen in der Auslieferung
kommen kann.

Zwischensumme	EUR	2561.39*
Mwst 19% aus	EUR	486.66
-----		-----
Gesamtbetrag	EUR	3048.05*
=====		=====

Zahlbar innerhalb 0 Tagen mit 0% Skonto
oder innerhalb 1 Tagen rein netto

-Frachtkosten EUR 47,50 je Liefertag u. Abladestelle
-Abholpauschale EUR 5.00 je Abholung
-Kranentladung EUR 25.00 ab dem 3. Hub jeder weitere 10.00
-Zaunverpackung EUR 20/25/30 - bis 1230/1430+1630/ab 1830mm

Julius Thress GmbH & Co. KG

Felix-Winkel-Straße 9
55545 Bad Kreuznach

Telefon (06 71) 709-0
Telefax (06 71) 709-108

Bankverbindung
Sparkasse Rhein-Nahe
IBAN DE 2056 0501 8000 0000 1602
SWIFT MALADE51KRE
Es gelten die Ihnen bekannten
Zahlungs- und Lieferbedingungen

HRA 1217 AG und Sitz Bad Kreuznach
Komplementärin: Lienhard Thress GmbH
HRB 1162 AG und Sitz Bad Kreuznach
Geschäftsführer: Julius Thress
USt.-Id.-Nummer DE 148 095 304
www.Thress.de



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

03.01.2022, Borchen,
S. Thiel
Datum, Ort, Unterschrift