Recherche, Konzeptionierung und Umsetzung eines Transportsystems zwischen PTZ & Lernfabrik

STUDIENARBEIT T3101

des Studienganges Maschinenbau – Produktion & Management

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

Campus Friedrichshafen

von

Frederic Niere
&
Louis Wieland

17.07.2023

Matrikelnummer, Kurs	8463665, TMP20
	1444583, TMP20
Ausbildungsunternehmen	EBZ SysTec GmbH, Ravensburg
	ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen
Gutachter der Dualen Hochschule	Herr Peter Buckel

Eidesstattliche Erklärung

Gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Bachelorarbeit (bzw. Projektarbeit oder Studienarbeit bzw. Hausarbeit) mit dem Thema:

"**Recherche, Konzeptionierung und Umsetzung eines Transportsystems zwischen PTZ & Lernfabrik**"

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben. Wir versichern zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

……	……
Ort, Datum	Unterschrift
……	……
Ort, Datum	Unterschrift

Abstract

The following study paper deals with the conception and commissioning of a transport system for the newly created production line of the Center for Digitalization of the DHBW Ravensburg at the Friedrichshafen campus. After creating a schedule with clearly defined milestones, comprehensive cost-benefit analyses were used to determine the type of transport system to be used. The result of this method has proposed an automated guided vehicle (AGV) with a protection class suitable for outdoor use. In the next step, offers from companies offering such vehicles were obtained. Due to the high costs of the systems, an initial attempt was made to enter into a cooperation in order to reduce costs. Unfortunately, despite extensive efforts, no cooperation could be negotiated with several manufacturers. The AGV was therefore only procured by the DHBW in the later course of the project, which is why the vehicle could not be automated in time. Thus, the focus of this study paper is the conceptual design of the vehicle and the associated body for transporting workpieces. Since the task of automating the vehicle could not be processed, the creation of a digital twin of the production line was attached to the study paper. This part refers to the process of creating such a simulation with the Mechatronics Concept Designer tool of the Siemens NX program. This should make it easier for subsequent studies within the production line to make changes to the production line in the digital environment before further changes are made to the real production line. In addition, the comprehensive topic of the Digital Factory is touched upon in order to emphasize the importance of such methods.

Kurzfassung

Die folgende Studienarbeit beschäftigt sich mit der Konzeptionierung und der Inbetriebnahme eines Transportsystems für die neu entstandene Produktionslinie des Zentrums für Digitalisierung der DHBW Ravensburg am Campus Friedrichshafen. Nach der Erstellung eines Zeitplanes mit klar definierten Meilensteinen wurde zunächst anhand von umfänglichen Nutzwertanalysen festgestellt, um welche Art eines Transportsystems es sich hierbei handeln soll. Das Ergebnis dieser Methode hat ein Fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) mit einer für den Außenbereich geeigneten Schutzklasse vorgeschlagen. Somit konnten im nächsten Schritt Angebote von Firmen, welche derartige Fahrzeuge anbieten, eingeholt werden. Aufgrund von hohen Kosten der Systeme wurde zunächst versucht eine Kooperation einzugehen, um die Kosten zu senken. Leider konnte trotz umfänglichen Bemühungen bei mehreren Herstellern keine Kooperation verhandelt werden. Das FTF wurde deshalb erst im späteren Verlauf des Projektes seitens der DHBW beschafft, weswegen keine rechtzeitige Automatisierung des Fahrzeuges erfolgen konnte. Somit setzt sich der Mittelpunkt dieser Studienarbeit aus der Konzeptionierung des Fahrzeuges und dem dazugehörigen Aufbau zum Transport von Werkstücken zusammen. Da die Aufgabenstellung der Automatisierung des Fahrzeuges nicht bearbeitet werden konnte wurde der Studienarbeit die Erstellung eines Digitalen Zwillings der Produktionslinie angehängt. In diesem Teil wird auf den Ablauf der Erstellung einer derartigen Simulation mit dem Werkzeug Mechatronics Concept Designer des Programms Siemens NX Bezug genommen. Dadurch soll es nachfolgenden Studienarbeiten innerhalb der Produktionslinie erleichtert werden, Änderungen an der Produktionslinie im digitalen Umfeld vorzunehmen, bevor weitere Änderungen an der realen Produktionslinie getätigt werden. Zudem wird das umfängliche Thema der Digitalen Fabrik angeschnitten, um den Stellenwert derartiger Methoden hervorzuheben.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung II

Abstract III

Kurzfassung IV

Inhaltsverzeichnis V

Abbildungsverzeichnis VII

Tabellenverzeichnis VIII

Abkürzungsverzeichnis IX

1. Einleitung 11

1.1. Vorstellung RITZ 11

1.2. Vorstellung PTZ 12

1.3. Gesamtkonzept 12

1.4. Zieldefinition 13

1.5. Vorgehensweise 14

2. Aktueller Stand 16

2.1. Fahrerlose Transportsysteme 16

2.2. Simulationssoftware zur Erstellung eines Digitalen Zwillings 21

3. Anforderungen an das Transportsystem 24

3.1. Rahmenbedingungen 24

3.1.1. Sicherheit 24

3.1.2. Software 24

3.1.3. Hardware 25

3.2. Herausforderungen 26

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 27

4.1. Vorgehensweise 27

4.2. Nutzwertanalyse 28
4.3. Ergebnis der Nutzwertanalyse & Kostenrechnung 29
5. Digitaler Zwilling 32
5.1. Verwendete Funktionen des Mechatronics Concept Designer 32
5.1.1. Rigid Body 32
5.1.2. Hinge Joint 33
5.1.3. Fixed Joint 34
5.1.4. Position Control 35
5.1.5. Inverse Kinematics 36
5.1.6. Gripper Function 37
5.1.7. Collision Sensor 38
5.1.8. Transport Surface 39
5.1.9. Sliding Joints 40
5.1.10. Operationen 41
5.1.11. Sequence Editor 42
5.2. Verwendung des digitalen Zwillings 43
6. Umsetzung & Beschaffung 44
6.1. Recherche & Auswahl 44
6.2. Konzeptionierung von Vorrichtungen 46
6.3. Inbetriebnahme & Aufbau 47
7. Ergebnisse & Ausblick 49
8. Resümee 50
Literaturverzeichnis LI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erstes AGV als Routenzug 16
Abbildung 2: Funktionsblöcke einer FTS Steuerung 17
Abbildung 3: Innovationen getätigt durch die Automobilindustrie 2010 – 2019 Quelle: https://de-statista-com.ezproxy-dhrv-1.redi-bw.de/statistik/daten/studie/399053/umfrage/innovationen-der-globalen-automobilindustrie/ 18
Abbildung 4: Sonder-FTF mit RTK dGPS (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019) 21
Abbildung 5: Siemens Tecnomatix, Process Simulate 22
Abbildung 6: Anlagenscan VW-Atlas für spätere Simulation mittels Delmia 23
Abbildung 7: Schema zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 28
Abbildung 8: Clearpath Husky (Clearpathrobotics) 31
Abbildung 9: Starre Körper der Bin Picking Station 33
Abbildung 10: Hinge Joints der Bin Picking Station 34
Abbildung 11: Fixed Joint der Bin-Picking Station 35
Abbildung 12:Positions Kontrollen der Bin-Picking Station 36
Abbildung 13: Inverse Kinematik der ersten UR5e Station 37
Abbildung 14: Greifer Funktion der ersten UR5e Station 38
Abbildung 15: Kollissionssensor der Anlage im MCD 39
Abbildung 16: Transportflächen der Anlage im MCD 40
Abbildung 17: Sliding Joints der Verfahr Einheiten 41
Abbildung 18: Übersicht der Operationen des digitalen Zwillings 41
Abbildung 19: Sequence Editor des MCD 42
Abbildung 20: Transportweg FTS 44
Abbildung 21: Vorrichtung für die Schnittstelle 47
Abbildung 22: Aufbau für den Transport 47
Abbildung 23: Erster Fahrversuch im Außenbereich 48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorien FTS _____ 19
Tabelle 2: Navigationsarten im Außenbereich (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019) _____ 20
Tabelle 3: Kostenrechnung Hunter SE _____ 30
Tabelle 4: Nutzwertanalyse Hunter SE (FTF) _____ 30
Tabelle 5: Übersicht kontaktierte Hersteller _____ 45

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
CAD	Computer Aided Design
FTF / AGV	Fahrerloses Transportfahrzeug
FTS	Fahrerloses Transportsystem
IP	International Protection
IPH	Institut für Integrierte Produktion Hannover
IWT	Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer
OEM	Original Equipment Manufacturer
PTZ	Produktionstechnischen Zentrum
RITZ	Regionalen Innovations- und Technologietransfer Zentrum
UGV	unmanned ground vehicle

1. Einleitung

Der seit Jahren stetig steigende Konkurrenzkampf um Anteile am Kundenmarkt, zwingt Unternehmen zur Optimierung ihrer Produktion. Dafür ist unter anderem der Strukturwandel der internationalen Wirtschaft verantwortlich durch neue Mitspieler. Hierzu gehört seit den letzten Jahren etwa die Volksrepublik China mit steigender Qualität aber jedoch vergleichsweise geringen Kosten. Denn vor allem Personalkosten sind in Deutschland mehr als doppelt so hoch mit 39,50€ pro Stunde, als im Vergleich mit China von umgerechnet nur 14,39€. (Statistisches Bundesamt 2023), (Rene Muschter 2023)

Damit deutsche Unternehmen bei diesen Unterschieden der Personalkosten mithalten können, sind diese gezwungen den Anteil an direkten Mitarbeitern in der Produktion so gering wie möglich zu halten. Stattdessen ist das Ziel den Automatisierungsgrad zu steigern und dadurch verschwendete personelle Kapazitäten zu ersetzen. Verschwendungen können grundsätzlich in sieben verschiedene Kategorien zusammengefasst werden. Diese sind auch bekannt unter der Abkürzung TIM WOOD und stehen für Transport, Bestände, Bewegung, Wartezeit, Überproduktion, falsche Technologie/Prozesse und Ausschuss/Nacharbeit. (Selfbits GmbH) Vor allem für den Transport werden zusätzlich häufig Mitarbeiter verwendet, welche für Arbeitsschritte entlohnt werden ohne eine Wertschöpfung dem Produkt hinzuzufügen. Der Transport an sich lässt sich in der Regel jedoch kaum vermeiden, da häufig Produktionsschritte räumlich getrennt sind. Dazu gehört beispielsweise die Fertigung oder Montage in unterschiedlichen Hallen oder Gebäuden. Um eine Untersuchung zu effizienten Transportwegen und einer vernetzten Produktion aufzustellen, dient diese Studienarbeit. Dabei handelt es sich um die Produktion am Campus Friedrichshafen der Dualen Hochschule Baden-Württemberg, zwischen dem Produktionstechnischen Zentrum (PTZ) und dem Regionalen Innovations- und Technologietransfer Zentrum (RITZ). Nachfolgend wird das Gesamtkonzept des Projekts, sowie die Zielstellung aufgeführt.

1.1. Vorstellung RITZ

Das Regionale Innovations- und Technologietransfer Zentrum, auch abgekürzt als RITZ, steht als Netzwerk mit der passenden Infrastruktur für Wissenschaft und Wirtschaft zur Verfügung. Ziel ist die Gestaltung zukünftiger Mobilität und Digitalisierung im Kollektiv, durch die Förderung des Landes Baden-Württemberg sowie des Europäischen Fonds für regionale

Entwicklung. Mit dem Standort in Friedrichshafen bietet das RITZ Projektflächen, Besprechungsräume, sowie Experten in verschiedenen Fachgebieten für die Gemeinsame Entwicklung von Ideen. (RITZ Regionales Innovations- und Technologietransfer Zentrum GmbH 2023) Daher befindet sich auch das Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer (IWT) darin, mit dem Projekt der Lernfabrik-Fallenbrunnen. Dieses Projekt beschäftigt sich im Umfeld von Industrie 4.0 zur Forschung und Wissensvermittlung. Hierbei liegt der Schwerpunkt in der Digitalisierung, Visualisierung und der kollaborativen Robotik. (Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer) An diesen Themen wird mit einigen Stationen wie Transferbändern, Robotern und Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) geforscht. Die Gesamtheit dessen bildet eine einfache Produktionslinie ab. Diese Linie steht in Verbindung mit der des Produktionstechnischen Zentrums, durch abhängige Arbeitsschritte.

1.2. Vorstellung PTZ

Das Produktionstechnische Zentrum am Campus Friedrichshafen der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg dient als Arbeitsstätte für Entwicklungen von Methoden und Technologien des Managements, der Produktentwicklung und des Produktionsprozesses. Ebenfalls für die Gestaltung industrieller Betriebe. Entwicklungsziel im PTZ sind neue Technologien in Zusammenhang mit wirtschaftlichen Aspekten. Andererseits neue Beiträge in der anwenderorientierten Grundlagenforschung zu liefern. (DHBW Ravensburg 2023) Dazu zählt auch das Projekt Zukunftsfabrik Bodensee. Im Namen dieses Projekts entsteht eine „smarte“ Produktionslinie mit Hinblick auf Industrie 4.0 im PTZ. Durch Material- und Informationsfluss steht das PTZ im Austausch mit dem RITZ bzw. der Lernfabrik-Fallenbrunnen des IWT‘s. (DHBW Ravensburg 03.07.2023a)

1.3. Gesamtkonzept

Die Zukunftsfabrik Bodensee am Campus Fallenbrunnen bildet eine reale Wertschöpfungskette mit vernetzten, adaptiven und selbstlernenden Systemen ab. Gemeinsam mit der bestehenden Lernfabrik des IWT entsteht somit ein einzigartiges Produktionsnetzwerk. In dem Netzwerk wird ein „Smart Product“ in hoher Variantenvielfalt gefertigt und im Sinne der Kreislaufwirtschaft wieder zurückgeführt. Für die Zielgerichtete, praxisorientierte Lehre und Forschung zu digitalem Zwilling, Interaktion zwischen Mensch und Maschine sowie der KI in der Produktion, schafft die Zukunftsfabrik eine Grundlage. (DHBW Ravensburg 03.07.2023b)

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird ein Logistiksystem zur Vernetzung des PTZ's mit der Lernfabrik ausgewählt. Dieses transportiert die hergestellten Werkstücke für weitere Arbeitsschritte zwischen den Produktionsstätten. Einerseits zählt hierzu die Auswahl eines geeigneten Transportsystems bspw. eines Fahrzeuges, als auch die Erstellung eines Konzepts zur Einbindung in den Produktionsfluss. Dabei spielen die Schnittstellen eine Wichtige Rolle, denn dazu ist ein passender Aufbau für die Aufnahme der Werkstücke an den Fertigungslinien herzustellen. Das Transfersystem zwischen den beiden Produktionsstätten ist offensichtlich ein wichtiger Baustein im Gesamtkonzept. Durch den Transport der Werkstücke können örtlich getrennte Produktionsschritte verbunden und die Gesamtfertigung somit erweitert werden. Durch die angestrebte Automatisierung des Transports können Mitarbeiter entlastet werden.

Des Weiteren befasst sich diese Studienarbeit mit der Erstellung eines digitalen Zwillings der gesamten Fertigungsstätte des Produktionstechnischen Zentrums. Der digitale Zwilling stellt das Gesamtprojekt zusätzlich in digitaler Form zur Verfügung und zeigt den Herstellungsprozess auf. Dies eignet sich optimal einerseits zu Vorführungszwecken und andererseits können dadurch Optimierungspotenziale sowie mögliche Problemstellen aufgedeckt werden.

1.4. Zieldefinition

Für die Konzeptionierung und Einführung eines geeigneten Transportsystems bedarf es einer ausführlichen Recherche. Dabei müssen alle relevanten Schnittstellen betrachtet werden und in den Auswahlprozess miteinfließen. Weiterhin ist das Budget zu beachten und rechtliche sowie interne Vorschriften einzuhalten. Aus diesen Rahmenbedingungen lassen Sie sich folgende Zwischenziele beschließen, welche für die Auswahl und Beschaffung eines geeigneten Transportsystems zu erreichen sind:

- Die Recherche und Ermittlung des aktuellen Standes der Technik im Bereich Transfersysteme und Transportmittel.
- Planung und Festlegung des Transportweges zwischen den Produktionsstätten.
- Definition der Schnittstellen und die Übergabe der Bauteile.
- Konzeptionierung von Aufbauten zum Transportieren der Bauteile, sowie Vorrichtungen für die Übergabe der Bauteile an die nachfolgenden Stationen.

Diese dienen dem Hauptziel, der Beschaffung eines geeigneten Transportsystems für den Transport der gefertigten Produkte zwischen der Zukunftsfabrik und der Lernfabrik.

Das zweite Hauptziel beschäftigt sich mit der Erstellung eines digitalen Zwillings der Produktionsstätte Zukunftsfabrik Bodensee. Dies bedeutet die Erstellung eines dreidimensionalen (3D) digitalen Abbildes der einzelnen Stationen als gesamtheitliche Produktionslinie. Dazu zählt die Animation der Stationen, um Produktionsschritte wie etwa Roboterbewegungen oder Fügevorgänge zu Simulieren. Übersichtlich sind die folgenden Zwischenziele dargestellt:

- Einsammeln der 3D Daten der einzelnen Stationen.
- Digitales Zusammenführen der Produktionsstationen.
- Konstruktion von fehlenden Bauteilen zur Verknüpfung der Schnittstellen.
- Animation und Definition der Bewegungen von Bauteilen und Maschinen.

Der Grund für die Ableitung dieses Ziels ist hierbei die Produktion zu Simulationszwecken aufzubauen, um etwa nach Optimierungen zu suchen. Aber auch die Veranschaulichung zu Demonstrations- oder Lehrzwecken.

1.5. Vorgehensweise

Aufgrund der zeitlichen Unterbrechung der Bearbeitungsphase, ist diese vorgesehen als Beschaffungs- bzw. Lieferzeitraum des Transportsystems. Daher liegt der Fokus zu Beginn der Bearbeitungszeit in der Recherche, Klärung von Rahmenbedingungen und der Auswahl eines geeigneten Systems. Hierfür wird der aktuelle Stand aufgegriffen, welche Systeme oder Fahrzeuge aktuell in der Industrie für den Transport zwischen Produktionsstätten aber auch im Hallenbereich eingesetzt werden. Nach erfolgreicher Aufstellung der aktuellen Techniken, geschieht eine engere Eingrenzung für die Anwendung in diesem Projekt für die Zukunftsfabrik Bodensee und der Lernfabrik-Fallenbrunnen. Anschließend werden mögliche Systeme miteinander verglichen, sowohl aus technischer Sicht als auch mit wirtschaftlichen Kriterien bewertet. Hierfür wird eine Kosten-Nutzen-Rechnung verwendet. Das Ergebnis dessen wird als Empfehlungsgrundlage für die Auswahl eines geeigneten Systems verwendet und dieses anschließend bestellt.

Mit dem Start der zweiten Bearbeitungsphase, beginnt die Erarbeitung des digitalen Zwillings. Hierfür wird zu Beginn an die einzelnen Gruppen die Anforderung zur Erstellung ihrer Station als 3D Modell gestellt. Diese werden anschließend eingesammelt und miteinander verknüpft, gegebenenfalls noch aufbereitet und fehlende Elemente nachgearbeitet. Dabei wird der Produktionsfluss digital mithilfe der realen Linie erstellt. Das noch statische Modell wird durch

Bewegungsstrecken und Handhabungsaktionen animiert sowie im Gesamten der Produktionsprozess mit Sensorik und Aktorik simuliert.

Parallel dazu kann eine Vorrichtung zur Kopplung der Schnittstelle und ein Transportaufbau für das Werkstück konzipiert und ausgelegt werden. Nach Zustellung des Transfersystems, kann dieses in Betrieb genommen werden, nach kurzer vorheriger Einweisung. Hierbei wird die Funktionalität überprüft als auch das Verhalten des Systems getestet. Im Anschluss werden die konstruierte Vorrichtung und der Aufbau umgesetzt und montiert, dadurch kann der Transport des Werkstücks und dessen Übergabe an die nachfolgende Station kontrolliert erfolgen. Nach ausreichenden Tests und fein Justierungen ist sowohl der digitale Zwilling der Zukunftsfabrik-Bodensee, als auch das Transportsystem umgesetzt und implementiert.

2. Aktueller Stand

Da sich durch die Industrie 4.0 immer weitere Potentiale in dem Bereich Automatisierung ergeben, werden stets nach neuen Anwendungen beziehungsweise Technologien in den Bereichen der Logistik gesucht. Die Logistik kann mit einem großen Planungsaufwand und hohem Mitarbeiteraufwand verbunden werden. Aus diesem Grund werden gegenwärtig und auch zukünftig immer weitere Technologien entwickelt, um diesen Planungsaufwand auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Eine Bedeutende Technologie, welche aus Zeiten der Industrie 4.0 nicht wegzudenken ist, ist das Fahrerlose Transportfahrzeug. Hierbei handelt es sich jedoch um keine Technologie, welche durch die Industrie 4.0 hervorgebracht wurde, sondern bereits im Jahre 1954 ihre erste Anwendung fand (siehe Abbildung 1). (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019)

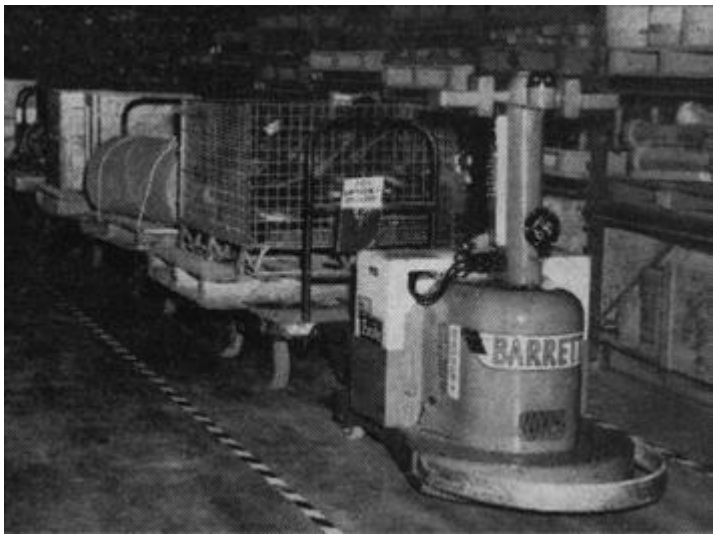


Abbildung 1: Erstes AGV als Routenzug

Jedoch wurde das FTS erst unter dem Stichpunkt Industrie 4.0 in die Intralogistik miteinbezogen, sodass in diesem Umfeld nicht nur Material, sondern auch Daten, transportiert werden.

Der zweite Teil des Kapitels wird sich von der realen Fabrik entfernen und das Stichwort Digitale Fabrik genauer umschreiben. Hierbei werden zunächst Techniken zur Datenerhebung vorgestellt, welche schlussendlich benötigt werden, um anhand von Simulationsprogrammen einen Digitalen Zwilling zu erstellen. Auch in diesem Themengebiet gibt es ein hohes Maß an unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten, welche unterschiedliche Abstraktionsebenen zulassen.

2.1. Fahrerlose Transportsysteme

Im Zuge der Industrie 4.0 entwickelten sich hinreichend Lösungen zum Materialtransport und der Datenübertragung mittels FTS. Damit die neuen Anwendungen, welche erst durch diese neue Epoche aufgekommen sind, erfüllt werden konnten, mussten einige Innovationen in unterschiedlichen Technologiefeldern durchgesetzt werden.

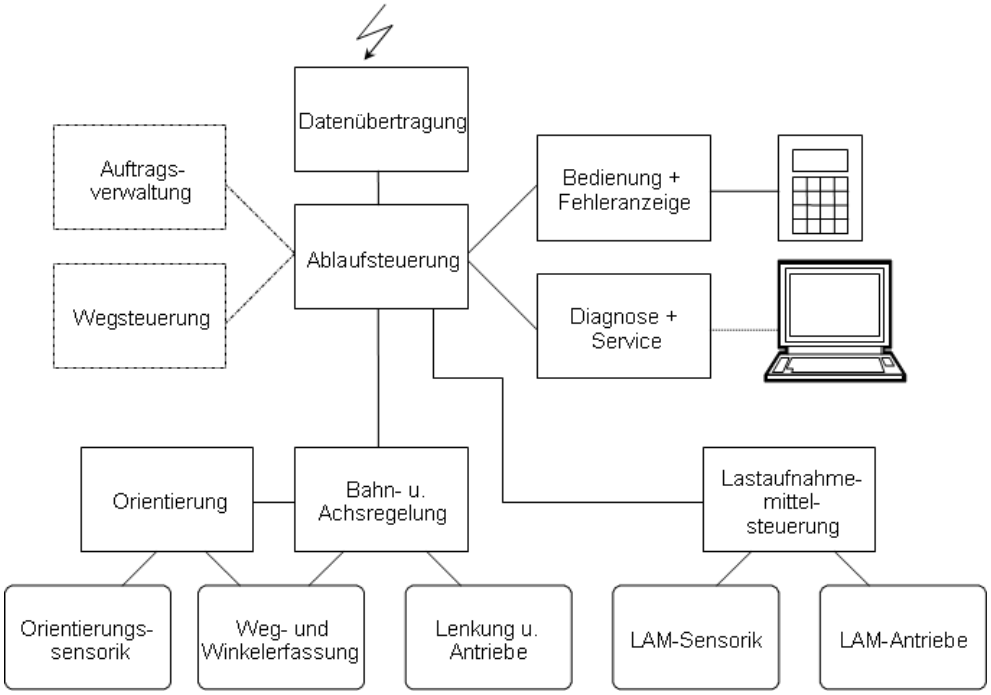


Abbildung 2: Funktionsblöcke einer FTS Steuerung

Die Bilderkennung steht hierbei im Mittelpunkt und beeinflusst die meisten einhergehenden Technologien. Um die Aufgaben des heute eingesetzten FTS zu ermöglichen, mussten preiswertere Produkte zur präzisen Vermessung und der Erfassung von Umgebungsmerkmalen geschaffen werden. Hierzu gehören Technologien wie 2D und 3D Kameras und dem umgangssprachlich benutzten Radar.

Ein weiteres Technologiefeld, wessen Entwicklung das heutzutage eingesetzte FTS benötigt hat, ist die Umgebungsnavigation. Die verbesserte Umgebungsnavigation konnte erst durch die verbesserte Bilderkennung und der Verbesserung der oben genannten Sensoren erfolgen. Somit hat die Entwicklung der Bilderkennung auch einen direkten Einfluss auf die Navigationstechnologien. (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019)

Auch die stark gesunkenen Preise der GPS-Empfänger sollen laut Ullrich und Albrecht eine große Rolle für die Entwicklung des heutigen FTS gespielt haben. So sei der nahezu flächendeckende Empfang von kostenfreien RTK-GPS-Signalen in Deutschland ein weiterer Treiber der Weiterentwicklung.

Wichtig auch für den Betrieb der FTS seien geringe Ladezeiten, beziehungsweise intelligente Lösungen für das Laden der Fahrzeuge. Somit erstellte die Entwicklung des induktiven Ladens von Lithium-Ionen-Batterien einen großen technologischen Treiber für die Verbesserung der Anwendungsgebiete von FTS dar.

Viele dieser Technologiefelder sind beeinflusst durch die Automobilindustrie. Durch die massive Forschung, welche in letzter Zeit im Bezug auf Fahrerassistenzsysteme durchgeführt wurde, entwickeln sich auch immer weitere Lösungen für andere Sektoren als den Automobilbereich. Fahrerlosetransportsysteme sollen so beispielsweise massiv durch die Entwicklungen der OEMs (Original Equipment Manufacturer) profitiert haben. Einige dieser Bereiche seien die Bilderkennung, die Video-Erkennung, die Implementierung von Algorithmen zur Rücksichtnahme auf Verkehrsteilnehmer und die Lokalisierung und Erkennung von Geräuschen. (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019)

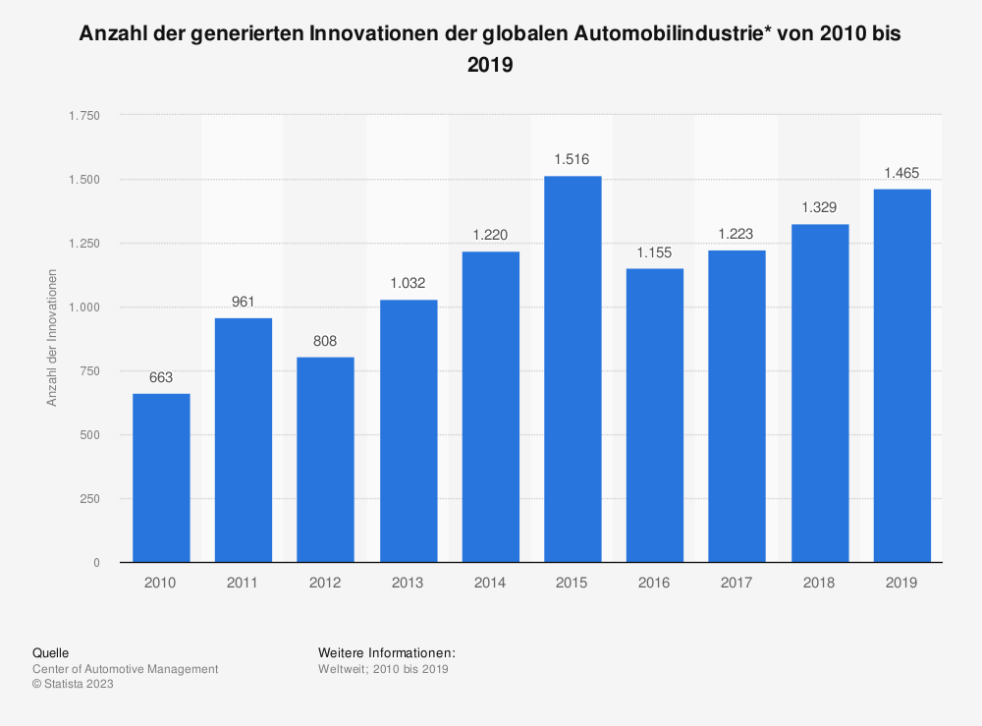


Abbildung 3: Innovationen getätigt durch die Automobilindustrie 2010 – 2019 Quelle: https://de-statista-com.ezproxy-dhrv-1.redi-bw.de/statistik/daten/studie/399053/umfrage/innovationen-der-globalen-automobilindustrie/

Laut Ullrich und Albrecht ließen sich jedoch nicht alle dieser Technologien genau so aus dem Automobilsektor übernehmen. Dies habe den Grund, da im Bereich des PKW momentan noch der Fahrer verantwortlich sei und im Bereich der FTS sei es der Hersteller.

Wie bereits in der Einleitung des Themas erwähnt, werden FTS mittlerweile für unterschiedliche Zwecke angewendet. Dennoch gilt das FTS primär als Mittel zur Raumüberbrückung zwischen der Quelle und der Senke. (Martin 2013)

Tabelle 1: Kategorien FTS

Kategorie	Benennung	Beschreibung
1	Gabelhub-FTF, eigene Konstruktion	Bodenebene Lastaufnahme, unterschiedliche Höhen, Standard- oder Sonderpaletten oder andere gabelfähige Behältnisse, stapelfähig, typisches Lastgewicht: 1 t; vom FTF-Hersteller konzipiert, konstruiert und hergestellt
2	Gabelhub-FTF, automatisiertes Seriengerät	wie 1, aber: der FTF-Hersteller setzt ein Seriengerät eines Gabelstapler-Herstellers ein und automatisiert dies mit der notwendigen FTF-Technik.
3	Huckepack-FTF	meist Beschränkung auf eine Übergabehöhe (z. B. 1 m), seitliche Lastaufnahme durch Rollenbahn oder Kettenförderer, typisches Lastgewicht: 1 t
4	Schlepper	engl. Tugger; zieht mehrere Anhänger, typisches Gesamtgewicht der Anhänger: 5 t
5	Unterfahr-FTF	Das Standard-FTF u. a. in der Krankenhaus-Logistik: es unterfährt den Rollcontainer und hebt ihn zum Transport an, typisches Lastgewicht: 500 kg, Fahrzeughöhe ca. 350 mm. In jüngerer Vergangenheit zunehmend auch in industriellen Anwendungen mit bis zu 1000 kg oder sogar mehr Lastgewicht und (max.) 220 mm Fahrzeughöhe
6	Montage-FTF	Einsatz in der Serienmontage: auf einem Unterbau sitzt die Aufnahme für das Montageobjekt, typisches Lastgewicht: bis zu 1 t
7	Schwerlast-FTF	Transport schwerer Papierrollen oder Stahlcoils bis 35 t; Transport von (Hochsee-)Containern, Werkstücken/Bauteilen etc.
8	Mini-FTF	Einsatz in größeren Flotten, z. B. zur Kommissionierung
9	Outdoor-FTF	i. d. R. Outdoor-Fahrzeuge, meist dieselelektrischer oder dieselhydraulischer Antrieb, typische Lastgewichte ≥3 t. Beispiele: Diesel-Stapler, Lkw, Radlader, Hafen-FTF für Seecontainer
10	Sonder-FTF	Sonderlösungen für Sonderaufgaben; alle FTF, die

	nicht in eine der obigen zehn Kategorien passen

Wie in der Tabelle 1 zu erkennen ist, bilden die Outdoor-FTF ihre eigene Kategorie unter den Transportfahrzeugen. Bei genauerer Recherche und Nachfrage bei vielen Deutschen Herstellern der FTS-Industrie ergibt sich jedoch, dass oftmals keine Lösungen für herkömmliche outdoor FTS angeboten werden. Viele Hersteller beschränken sich auf reine Flurförderfahrzeuge, welche über zu geringere Schutzarten verfügen, um diese im Außenbereich zu betreiben. Eine weitere Schwierigkeit beim Betrieb der FTF im Außenbereich ist oftmals die Navigation, welche sich theoretisch durch die oben angeführten Innovationen leicht realisieren ließe. In der Praxis hingegen wird noch immer auf die Navigation per Magnetschleife gesetzt, da in vielen Fällen auf die kosten geachtet werden muss und komplexe Navigationssysteme durch unteranderem Bildverarbeitung für industrielle Zwecke zu kostenintensiv sind. Laut Ullrich und Albrecht würden sich nur drei Navigationsarten für den Außenbereich eigenen:

Tabelle 2: Navigationsarten im Außenbereich (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019)

Kategorie	Benennung	Beschreibung
1	Transponder-Navigation	Datenträger mit eindeutiger Kodierung, welche in den Boden eingelassen werden. Transponder Schnittstelle: Transponder Leseantenne. Die Wiederholgenauigkeit liegt zwischen 2 und 20mm je nach Transponderabstand → Je geringer der Abstand, desto genauer die Navigation
2	GPS-Navigation	Real Time Kinematic Differential-GPS: es wird die freie Sicht zum Himmel benötigt, wobei nahe hohe Wände auch problematisch sein können. Die Positioniergenauigkeit liegt im kleinen Zentimeterbereich.
3	Laser-Navigation	Überwiegend für Kurzstrecken einsetzbar aufgrund von begrenzter Reichweite und Empfindlichkeit gegen Sonneneinstrahlung oder starkem Regen/Schneefall

Oftmals ist die Positioniergenauigkeit problematisch und Witterungsverhältnisse, auf die kein Einfluss genommen werden kann, erschweren den Einsatz von kleineren FTF im

Außenbereich, weswegen diese weniger Anwendung in der Industrie finden. Aus diesen Gründen finden Outdoor-FTF meistens nur als Sonderlösungen für große Transportgegenstände Verwendung.



Abbildung 4: Sonder-FTF mit RTK dGPS (Ullrich, G., & Albrecht, T. 2019)

2.2. Simulationssoftware zur Erstellung eines Digitalen Zwillings

Der Digitale Zwilling stellt ein möglichst identisches Abbild der Realanlage dar und nimmt einen großen Teil der Digitalen Fabrik ein. Neben der Abbildung durch den Digitalen Zwilling werden in der Digitalen Fabrik zudem auch Geschäftsprozesse in der digitalen Welt abgebildet. Generell gibt es jedoch verschiedene Ansätze der Digitalen Fabrik, so beispielsweise der Ansatz nach Bracht, welcher das Hauptanwendungsgebiet der Digitalen Fabrik im Digitalen sieht und somit die Simulation als Hauptbestandteil des Begriffes definiert. (Bracht, U., Geckler, D., & Wenzel, S 2017)

Generell bestehen unterschiedliche Anwendungsfälle für Digitale Zwillinge. Oftmals besteht nur die Anforderung das System abzubilden und in einen Räumlichen Bezug zu bringen, ohne die eigentlichen Prozesse mit Ihren jeweilig unterschiedlichen Parametern zu betrachten. Hierzu eignen sich Programme wie visTABLE.

visTABLE ist eine Software zur Erstellung von Struktur und Layoutplanungen für Fabriken. Somit werden in visTABLE also hauptsächlich Flächen geplant, um einen groben Überblick der Fertigung zu bekommen. Durch verschiedene Optionen, wie zum Beispiel die Materialflussplanung mit der damit verbundenen Layoutplanung, gibt die Software nützliche Daten zur Flächenbelegung aus. So kann der Anwender beispielweise planen, wie die einzelnen Arbeitsbereiche angeordnet werden sollen, um einen möglichst effizienten Materialfluss mit kurzen

Lieferaufwänden zu generieren. Durch die Anwendung von VisTABLE soll die Planungszeit grundlegend verkürzt werden, während die Planungsqualität steigt und die Akzeptanz der Entscheidungsträger gefördert wird. Zudem bietet die Software eine Touchscreen Bedienung, wodurch die Abbildung direkt vor Ort erstellt und überprüft werden kann. Neben der Flächenplanung besteht auch die Möglichkeit die Fertigungsbereiche über einen Step-Import mit den jeweiligen Stationen abzubilden. (Diem)

Sollen jedoch Materialflüsse näher abgebildet werden, so eignet sich die Siemens Software Tecnomatix am besten für diese Aufgabe. Hier ermöglicht beispielsweise das Modul Process Simulate die Erstellung eines Materialflusses mit den einzelnen Bearbeitungsstationen und dazwischenliegenden Förderstrecken. (siehe Abbildung 5) Dabei lassen sich unterschiedliche Arten an Bearbeitungszeiten hinterlegen, sowie Störungen und weitere Merkmale, um die Produktion so realistisch wie möglich nachzubilden. Grundlegend lassen sich durch das Programm wichtige Daten zu Engpassanalyse einer Anlage ermitteln. Nach der Durchführung einer Simulation über einen Bestimmten Zeitraum gibt das Programm dem Anwender im Anschluss realistische Daten über Wertschöpfung, mittleren Durchlaufzeiten und Arbeitsanteilen der einzelnen Stationen aus. (Fischer 11.04.2023)

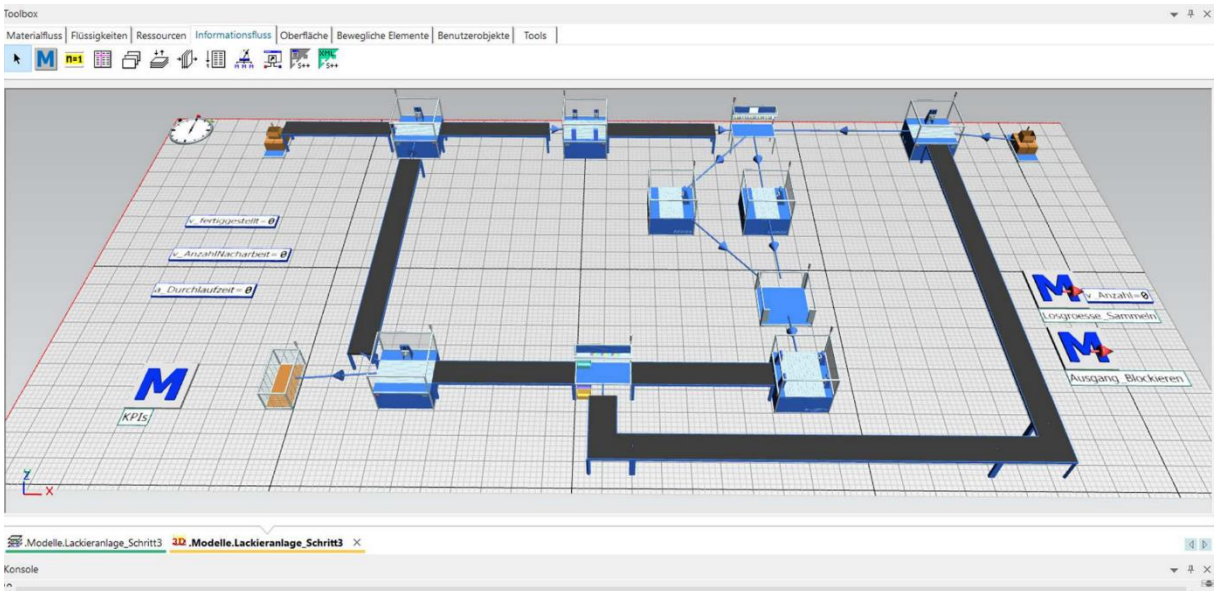


Abbildung 5: Siemens Tecnomatix, Process Simulate

Neben der Aufstellung des Materialflusses werden jedoch noch genauere Modelle von den OEM's verlangt. Hierfür sind meistens nicht die OEM's selber verantwortlich, sondern die zuständigen Anlagenbauer, welche die Prozesse um den vorgegebenen Materialfluss konzipieren. Hierfür werden Kollisionsmodelle benötigt, durch welche beispielsweise Erreichbarkeiten von Robotern simuliert werden können. Programme die sich hierfür eignen währen beispielsweise Delmia oder das Siemens NX Add-on Mechatronics Concept Designer. In den Programmen

lassen sich maßstäbliche CAD-Zeichnungen (Computer Aided Design) so bearbeiten, dass Prozesse wie in der Realität abgebildet werden können. Meistens wird in dieser besonders wichtigen Form des Digitalen Zwillings ein erhöhter Aufwand zur Datenerhebung Betrieben, sodass diese Art der Simulationen am meisten Zeit beanspruchen. Neue Technologien wie beispielsweise Anlagenscans mittels 3D-Laserscanner sollen die Primärdatenerhebung zur Erstellung des Digitalen Zwillings hierbei zeitlich beschleunigen, oftmals besteht jedoch ein Problem bei den Schnittstellen zwischen den einzelnen Programmen, wodurch die Qualität der Abbildung abnimmt (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Anlagenscan VW-Atlas für spätere Simulation mittels Delmia

Neben den aufgelisteten Simulationsprogrammen gibt es noch deutlich mehrere ähnliche Programme. Hieraus lässt sich auch klar das Problem des Digitalen Zwillings und den dazugehörigen Programmen ableiten. Leider bietet keine Software eine Gesamtlösung an, wodurch mehrere Modelle angefertigt werden müssen, was gegenwertig zu einer enormen Zeitbeanspruchung der Digitalen Fabrik führt. Zukünftig sollte also der Anspruch bestehen eine Softwarelösung zur Verfügung zu stellen, welche alle unterschiedlichen Funktionen der Digitalen Fabrik abbilden kann und somit ein leistungsfähiger Digitaler Zwilling erstellt werden kann.

3. Anforderungen an das Transportsystem

Für das zu beschaffende Transportsystem gibt es nicht nur Einschränkungen sondern auch Anforderungen. Diese sind breit gestreut und können grob in Sicherheit, Software und Hardware unterteilt werden. Vor allem letzteres stellt den größten Teil der Anforderungen. Diese sind im Folgenden Unterkapitel aufgeführt, sowie einige Herausforderungen bei der Implementierung dieses Transportsystems im Kapitel 3.2.

3.1. Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen für das Transfersystem ergeben sich beispielsweise aus rechtlichen Einschränkungen. Dazu gehört etwa ein Flugverbot am Campus aufgrund des nahegelegenen Flughafen Friedrichshafen. Aber auch die Zulassung beispielsweise für ein Straßenfahrzeug welches sich zwischen den zwei Produktionsstätten bewegt. Weitere Einschränkungen können beispielsweise sein, dass keine weiteren Mitarbeiter für den Transport von Werkstücken benötigt werden dürfen. Ebenfalls keine Verbrennermotoren, welche in den Räumlichkeiten Abgase verursachen oder starken Lärm verursachen. Letzteres aber sehr wichtiges ist natürlich die finanzielle Betrachtung, da die Einschränkung auch stark durch das Budget gesetzt wird.

Wie bereits genannt können die Rahmenbedingungen in drei grobe Kategorien unterteilt werden, diese sind nachfolgend aufgelistet.

3.1.1. Sicherheit

Aus Sicherheitsaspekten ist in erster Linie der Schutz von Personen zu betrachten. Dies bedeutet jegliche Gefährdungen von Mitarbeitern in den Räumlichkeiten, sich auf dem Campusgelände befindliche Personen aber auch auf der Straße fahrende Fahrzeug- oder Fahrradfahrer auszuschließen. Daher müssen beispielsweise autonom fahrende Fahrzeuge mit ausreichend Sicherheitstechnik ausgestattet sein, um niemanden zu gefährden, aber auch andererseits sich selbst keinen Sachschaden zuzufügen. Die zu transportierenden Werkstücke müssen vor Verlust auf der Transportstrecke abgesichert sein.

3.1.2. Software

Aus Sicht der Software ist generell gesprochen zu beachten, dass diese Programmierbar also Eigenständig anpassbar ist und kompatibel mit gängigen Programmiersprachen ist und mit üblichen Hardwareschnittstellen interagieren kann. Außerdem sollte diese geschützt sein vor externen Eingriffen und somit keine Manipulierbarkeit zulassen. Dies schützt vor Zugriffsverlust als auch eventuell Diebstahl oder Sachbeschädigung. Die Software muss stabil funktionieren, darf also nicht ausfallen oder Probleme beim Einsatz hervorrufen. Daher ist ein etablierter und getesteter Zulieferer zu wählen, welcher bereits ausreichend Erfahrung nachweisen kann. Weiterhin ist ein sehr wichtiger Punkt, dass dieser Zulieferer Kundensupport unterstützt und bei möglichen Problemen aushelfen kann, damit die Produktion nicht zum Stillstand kommt. Die Software muss auch bei größerem Abstand bspw. von einer Basisstation erreichbar und steuerbar sein, wie um etwa den Ausfall von Bluetooth oder WLAN zu vermeiden.

3.1.3.Hardware

Für die Hardware sind einige Punkte zu nennen die es zu beachten gibt beziehungsweise Rahmenbedingungen, die vorgegeben sind. Dazu zählt etwa die Dimension des Transportsystems, da dieses in die Gebäude gelangen, so wie auf dem Campusgelände sich bewegen muss und die Straße nicht blockieren darf. Als nächstes ist die Art des Transportsystems festzulegen, dabei wird unterschieden zwischen einem Fahrzeug, einem fliegenden System beispielsweise eine Drohne oder einem alternativen starren System, wie etwa z.B. einer Hängebahn, einer unterirdischen Förderung oder einem Transportband. die Strecke zwischen den zwei Gebäuden muss problemlos mehrmals von dem Transportsystem zurückgelegt werden können. Hierbei wird auf die Akkuleistung oder weitere ähnliche Einschränkungen angedeutet. Damit geht auch einher, dass Ladezeiten von Akkus beispielsweise zeitlich nicht zu lang sind, um einen kontinuierlichen Produktionsfluss zu gewährleisten, andernfalls müssen ausreichend Ersatzbatterien zur Verfügung stehen. Das Transportsystem muss fähig sein eine gewisse vordefinierte Menge an Werkstücken transportieren zu können, ebenfalls die eventuell nötige Transportvorrichtung und die Werkstückträger. Dabei ist der Fokus vor allem auf dem zu transportierendem Gewicht, aber auch die Anbau Fähigkeit von individuellen Bauteilen sowie die Beeinflussung der Stabilität statisch und im Betriebszustand. Das System muss für die Wege ausgelegt sein, um bspw. nicht durch kleinere Steine, Steigungen oder Türschwellen blockiert zu sein. Auch Umwelteinflüsse müssen betrachtet werden, hierzu zählt etwa der Einfluss von Wind und auch von Regen oder Temperatur. Eine gewisse Robustheit muss vorausgesetzt sein, da sich das System auf Wegen aufhält, welche durch viele Personen belegt sind. Hierbei kann es vor allem bei jüngeren Personen passieren, dass diese das System nicht sachgemäß behandeln oder sogar beschädigen.

3.2. Herausforderungen

Als Herausforderungen sind verschiedene Themen zu nennen, welche besonderen Fokus benötigen oder nicht einfach durch den Großteil von Anbietern von Transportsystemen gelöst werden können. Hierzu zählt etwa generell der Einsatz von Logistiksystemen im Außenbereich. Für die Nutzung eines FTS im Innenbereich gibt es zahlreiche Anbieter, da die Anforderungen an das System deutlich geringer sind. Für den Außenbereich gilt beispielsweise zu beachten, dass Umwelteinflüsse auf das System verstärkt einwirken, dazu zählt etwa ein höheres Aufkommen von Staub, Temperaturschwankungen, aber auch vor allem Regen bzw. Wasser. Daher sind diese Systeme mit einer International Protection (IP) Klassifizierung ausgelegt, welche sich für den Einsatz im Freien eignet. Die Klassifizierungsstufen sind durch die DIN EN 60529 festgelegt und befassen sich mit dem Eindringschutz von Fremdkörpern und Wasser in das Gehäuse, sowie Berührung. [DIN EN 60529: 2014-09] Neben Umwelteinflüssen spielt auch die Navigation des Fahrzeugs eine große Rolle, da verschiedene Navigationsmethoden nicht mehr anwendbar sind, bzw. im Falle der Zukunftsfabrik Bodensee. Dazu zählt etwa die Orientierung durch eine im Boden eingebettete Magnetschleife, weshalb auf andere komplexere Methoden zurückgegriffen werden muss. Weiterhin bieten viele Hersteller lediglich die Hardware, also das FTS an, jedoch ohne die passende Software. Diese sind somit nicht geeignet, da die Programmierbarkeit und Basis zur Automatisierbarkeit fehlt.

Eine weitere Herausforderung für die Implementierung eines FTS stellt die finanzielle Betrachtung dar. Der Großteil der Anbieter von FTS mit den nötigen Anforderungen an das System, bietet deren Lösungen für hohe Summen an, wobei das Budget der DHBW nicht oder kaum ausreicht. Kooperationen mit Partnerunternehmen sind schwer zu finden, da diese eigene Forschungseinrichtungen oder Abteilungen in diesem Bereich, andernfalls keinen lokalen Standort besitzen.

Neben diesen größeren Herausforderungen treten im Laufe der Erarbeitung einige kleinere auf, welche aufgrund der schnellen Lösungsfindung und mangelnder Relevanz hier nicht weiter aufgeführt werden.

4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Auswahl eines geeigneten Transportsystems zählen neben den Rahmenbedingungen aus rechtlicher Sicht, interner Vorschrift und technischer Umsetzbarkeit, vor allem die finanzielle Betrachtung. Hierfür wird eine Nutzwertanalyse und Kostenrechnung durchgeführt welche in den nachfolgenden Kapiteln aufgeführt ist.

4.1. Vorgehensweise

Im Zuge der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von unterschiedlichen Transportsystemen ist es zunächst wichtig ein geeignetes Schema für die korrekte Bewertung der verschiedenen Typen zu verwenden. Die VDI-Richtlinie 2710 sieht hierfür die Nutzwertanalyse vor. Mit der richtigen Auswahl der Verfahren zu Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen hat sich zudem auch das IPH (Institut für Integrierte Produktion Hannover) beschäftigt. Hierbei wurden neben der VDI-Richtlinie weitere Literaturquellen aus verschiedenen Jahren betrachtet, um die bestmögliche Variante für einen Anwendungsfall für Multicopter in der Produktion zu entwickeln. Zunächst gilt es laut der Ausarbeitung zu bestimmen, ob und in welchem Stil eine Betrachtung der Kosten des Systems sinnvoll ist. (Fritzsch, B., Namneck, A., Stonis, M., Schwab, A., & Kirchner, L. 2020) Im Anwendungsfall der DHBW ist diese grundlegend gewünscht, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass ein Hersteller von Transportsystemen bereit ist die hohen Kosten des Transportsystems allein zu tragen und dieses somit zu sponsern. Im nächsten Schritt sei es laut dem IPH sinnvoll die Art der Investitionsrechnung festzulegen, hierbei wird zwischen dynamischen und statischen Investitionsrechenverfahren unterschieden. Im Anwendungsfall der DHBW wird hierbei von einem dynamischen Investitionsrechenverfahren abgesehen, da es sich um ein Forschungsprojekt handelt, welches beispielsweise keinen monetären Return on Investment erzielt. Als statisches Investitionsverfahren wird eine Kostenrechnung beziehungsweise eine Kostenvergleichsrechnung der unterschiedlichen Varianten verwendet. Laut dem IPH ließe sich die Kostenrechnung auch als qualitatives Merkmal mit in die Nutzwertanalyse mit einbinden. Im Gegenwärtigem Anwendungsfall der DHBW spielen Kosten jedoch eine größere Rolle, weswegen die Investitionsrechnung gesondert betrachtet wird und in der späteren Rangfolge einen größeren Einfluss hat.

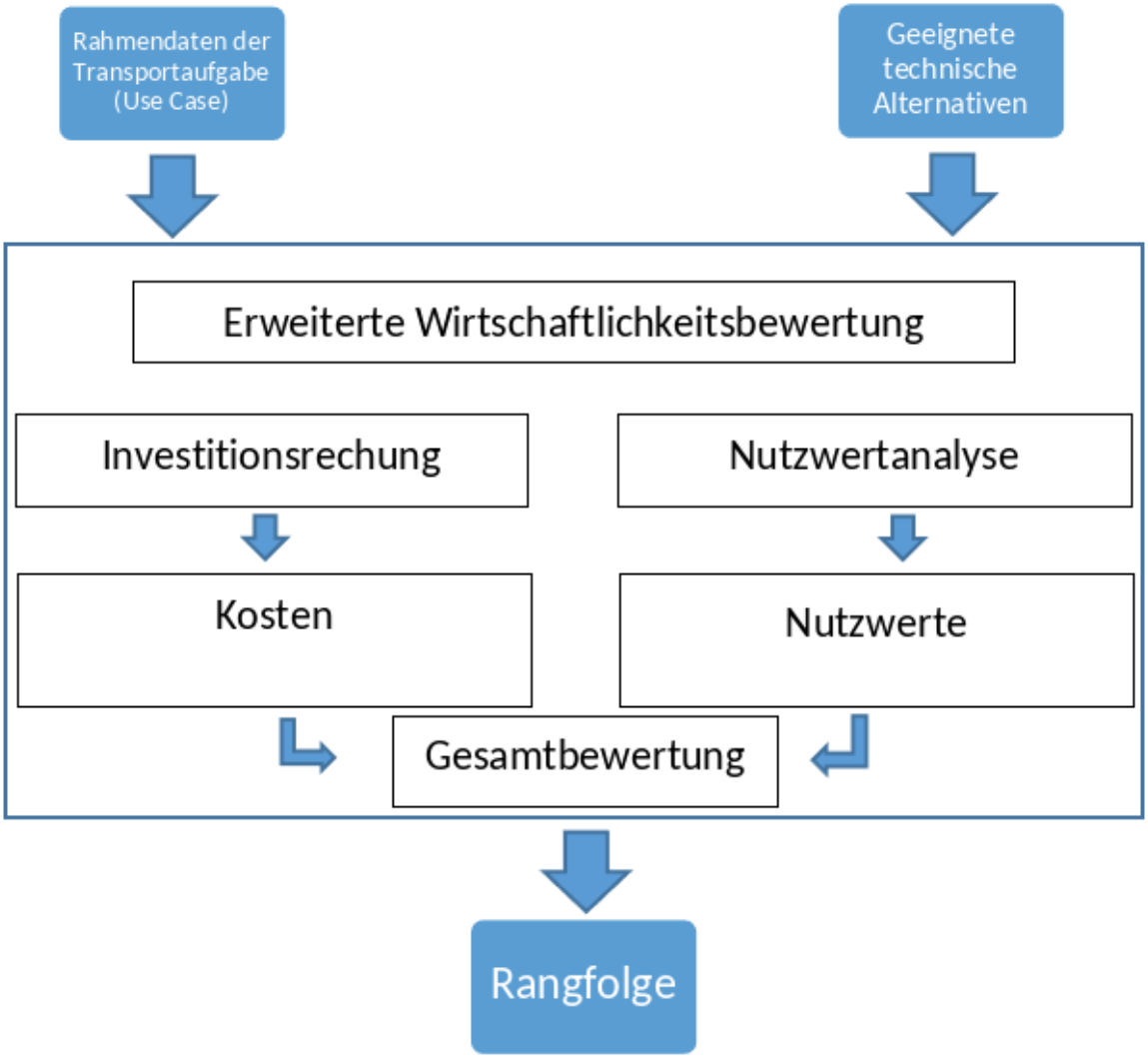


Abbildung 7: Schema zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Da nun das Schema anhand von vergleichbaren Anwendungsfällen bestimmt wurde, müssen die Einzelnen Kriterien bestimmt werden, nach denen die Nutzwerte bezogen auf den Anwendungsfall festgelegt werden.

4.2. Nutzwertanalyse

Um sicherzustellen, dass alle Kriterien relevant für die Nutzwertanalyse sind, muss zunächst ein Anwendungsfall bestimmt werden, welcher im Zuge der Ausarbeitung für alle betrachteten Systeme gleich ist. Hierbei wurde besonders berücksichtigt, dass es sich bei der zurückzulegenden Strecke zwischen dem RITZ und dem PTZ um eine Outdoorstrecke handelt, wodurch besondere Anforderungen an das Transportsystem entstehen. Das dabei ausgewählte Transportsystem kann bei jedem Kriterium zwischen einem und drei Punkte in der Wertung erzielen, wobei ein Punkt für nicht erfüllt, zwei Punkte für teilweise erfüllt und drei Punkte für eine

Erfüllung des Kriteriums stehen. Theoretisch können den einzelnen Kriterien auch unterschiedliche Gewichtungen zugeteilt werden, wovon jedoch abgesehen wurde, da alle Kriterien gleichermaßen entscheidend sind. Aus der Gewichtung der Kriterien und der Wertungen wird ein Nutzwert des Systems für jedes Kriterium festgelegt, die summierten Nutzwerte ergeben den Gesamtnutzwert, welcher später neben der Kostenrechnung zur Rangfolge der unterschiedlichen Lösungen führen.

Neben technischen Kriterien wie dem Automatisierungsgrad oder die Störbehandlung wurden weitergehend Ökologische, so wie Ergonomische Kriterien in die Analyse mit aufgenommen, um den Auswahlprozess möglichst realitätsnah durchzuführen.

4.3. Ergebnis der Nutzwertanalyse & Kostenrechnung

Nachdem für mehrere unterschiedliche infrage kommenden Transportsysteme eine Nutzwertanalyse durchgeführt wurde und die Kosten dieser mit in die Rangfolge eingeflossen sind wurde ein Ranking zwischen den einzelnen Systemen aufgestellt, um die wirtschaftlichste Lösung festzustellen. Hierbei schloss der Hunter SE die Wertung als wirtschaftlichstes Transportsystem für den Anwendungsfall ab. Beim Hunter SE der Firma AgileX handelt es sich zunächst um ein UGV (unmanned ground vehicle), welches somit nicht von Werk ab automatisiert betrieben werden kann. Zusätzlich wird von der Firma jedoch ein „Research und development Kit“ angeboten, welches in der Nutzwertanalyse und der Kostenrechnung mit betrachtet wurde.

Tabelle 4: Nutzwertanalyse Hunter SE (FTF)

Kriterium	Gewichtung	Hunter SE (FTS)	
		Wertung	%
Automatisierungsgrad	7,69%	3	7,69%
Integrierbarkeit in automatische Systeme	7,69%	3	7,69%
Flexibilität bei Layoutänderungen	7,69%	2	5,13%
Flexibilität bei Änderung der Förderleistung	7,69%	2	5,13%
Erweiterungsfähigkeit	7,69%	3	5,13%
Störbehandlung und Notbetrieb	7,69%	3	7,69%
Ergonomie	7,69%	3	7,69%
Pufferfähigkeit	7,69%	2	5,13%
Sicherheit gegen Unfall	7,69%	3	7,69%
Flächennutzung	7,69%	2	5,13%
Ökologische Gesichtspunkte	7,69%	3	7,69%
Überwinden von Steigungen	7,69%	3	7,69%
Genauigkeit	7,69%	2	5,13%
Gesamtnutzwert	7,69%		85%

Wie in der Tabelle 4 zu erkennen ist, schloss der Hunter SE die Nutzwertanalyse mit einem Nutzwert von 85% ab. Neben dem Hunter SE schlossen weitere Fahrerlose Transportsysteme mit gleichen Technischen Spezifikationen die Nutzwertanalyse mit 85% ab.

Tabelle 3: Kostenrechnung Hunter SE

Investition	**Kosten**
Hunter SE (UGV)	~9.900,00$
Autokit (UGV à AGV)	~15.000,00$
Gesamt	24.900,00$

Dadurch, dass der Hunter SE jedoch gegenüber den anderen betrachteten Fahrerlosen Transportsystemen deutlich günstiger ist, schloss das Transportsystem das Ranking auf dem ersten

Platz ab. Neben fahrerlosen Transportsystemen wurden zudem auch konventionelle Transportsysteme wie beispielsweise Schlepper betrachtet. Der Schlepper erzielte jedoch nur einen Gesamtnutzwert von 69%. Auch unkonventionelle Transportsysteme, bei denen der Aspekt des Technologievorsprungs im Vordergrund steht, wurden betrachtet. Hierzu wurde beispielsweise die DJI Matrice M300 RTK betrachtet, wobei es sich um einen Multicopter handelt. Der Multicopter schloss die Nutzwertanalyse mit 80% ab, konnte sich jedoch nicht gegenüber denn Fahrerlosen Transportsystemen durchsetzen, da sich der Standort der DHBW in einer Flugschneise befindet und auch die Kapazität der Drohne nicht den Prozesszeiten und der Ausbringung der restlichen Produktionslinie entspricht.

Schlussendlich wurde sich Seitens der DHBW trotz vorgelegter Nutzwertanalysen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht für den Hunter SE entschieden. Hierfür wurde als Begründung das Produktionsland (China) angegeben. Dazu sollten die Referenzen des FTS nicht umfangreich genug gewesen sein, sodass ein anderes FTS mit großer Verzögerung bestellt wurde. Hierbei handelt es sich um den Husky der kanadischen Firma Clearpath (siehe Abb.10). Der Husky besitzt im Grunde genommen die gleichen Attribute des Hunter SE, es handelt sich also zunächst um ein UGV, welches durch weitere Sensorik zum AGV wird. (Clearpathrobotics)



Abbildung 8: Clearpath Husky (Clearpathrobotics)

5. Digitaler Zwilling

Einen weiteren Umfang neben der Konzeptionierung und Inbetriebnahme des Transportsystems stellt der Digitale Zwilling des Gesamtsystems dar. Aufgabenstellung war es hierbei eine Simulation mithilfe des Siemens NX Mechatronics Concept Designer zu erstellen.

Auf Grundlage von CAD Modellen werden in der Applikation, welche in Siemens NX 1980 inbegriffen ist, den einzelnen Bauteilen Funktionen zugewiesen und diese Verknüpft um eine logische Prozessabfolge zu simulieren.

Als ersten Schritt zur Erstellung des Digitalen Zwilling müssen also zunächst sämtliche CAD Modelle des Gesamtsystems in dem Programm zusammengeführt werden, die einzelnen Stationen lassen sich mithilfe von Konstraints der Realität nach aufbauen.

5.1. Verwendete Funktionen des Mechatronics Concept Designer

Für die Animation des statischen Modells müssen verschiedene Beziehungen zwischen den Bauteilen, Flächen, Kanten und Ecken definiert werden. Diese digitale Abbildung der dynamischen Realität auf physikalischer Grundlage, birgt einige Herausforderungen. Daher sind vordefinierte Operationen bzw. Funktionen und Beziehungen bereits vordefiniert. Die verwendeten Beziehungen zwischen den Objekten sind in den nachfolgenden Unterpunkten erläutert.

5.1.1. Rigid Body

Die Funktion „Rigid Body“ ist dafür zuständig einzelne Wirkflächen eines Modells zuzuweisen. Diese Wirkflächen bzw. Körper sind zunächst starr, doch werden in weiteren Schritten mit Funktionen behaftet, welche die Zuweisung eines Rigid Bodys voraussetzen. Übersicht der verwendeten Rigid Bodys anhand der Bin Picking Station des Produktionssystems

In der Abbildung ist der UR 3e Roboter der Bin-Picking Station zu sehen. Um diesem im nächsten Schritt Achsen zuzuweisen müssen alle Beweglichen Elemente des Roboters als Rigid Bodys gekennzeichnet werden.

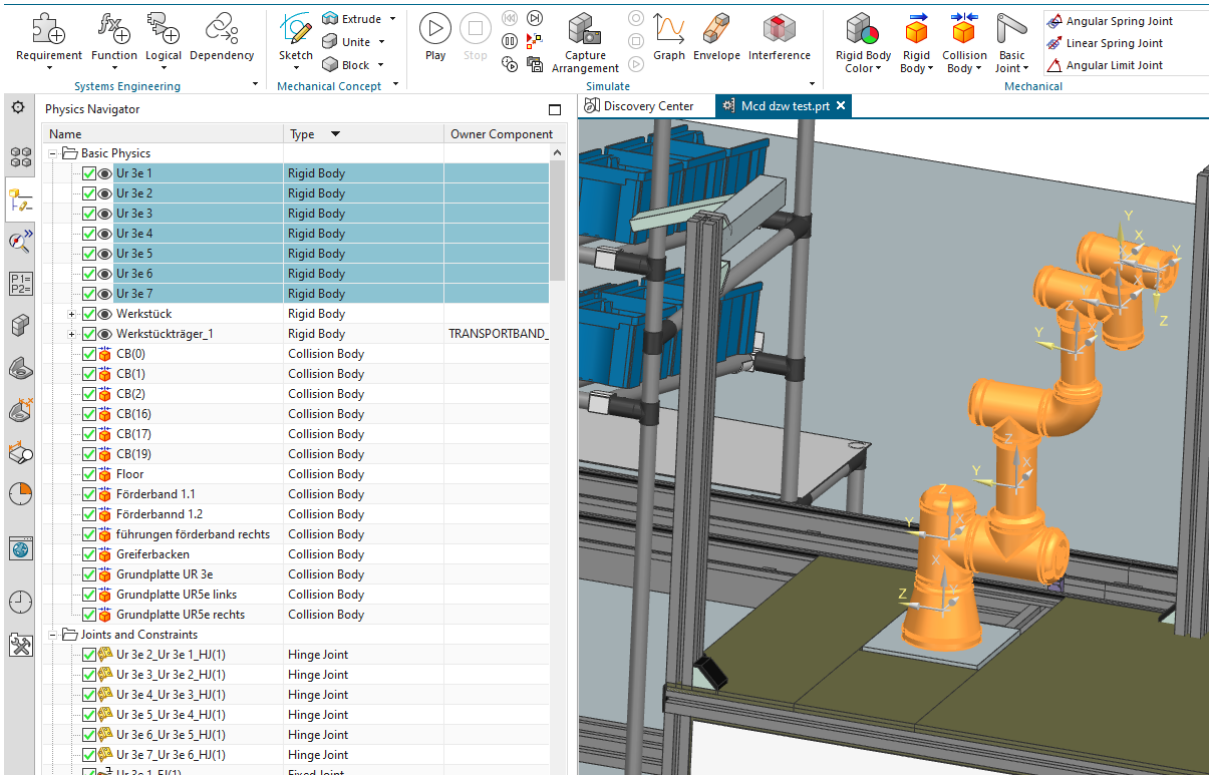


Abbildung 9: Starre Körper der Bin Picking Station

5.1.2.Hinge Joint

Um dem Roboter nun Bewegliche Achsen zuzuweisen wird die Funktion „Hinge Joint“ benötigt. Im Falle des Roboters wurden diese tangential zu den Grundflächen der einzelnen Rigid Bodys angeordnet, um die Achsen des Roboters zu simulieren.

Übersicht der verwendeten Hinge Joints anhand der Bin Picking Station des Produktionssystems in Abbildung 10:

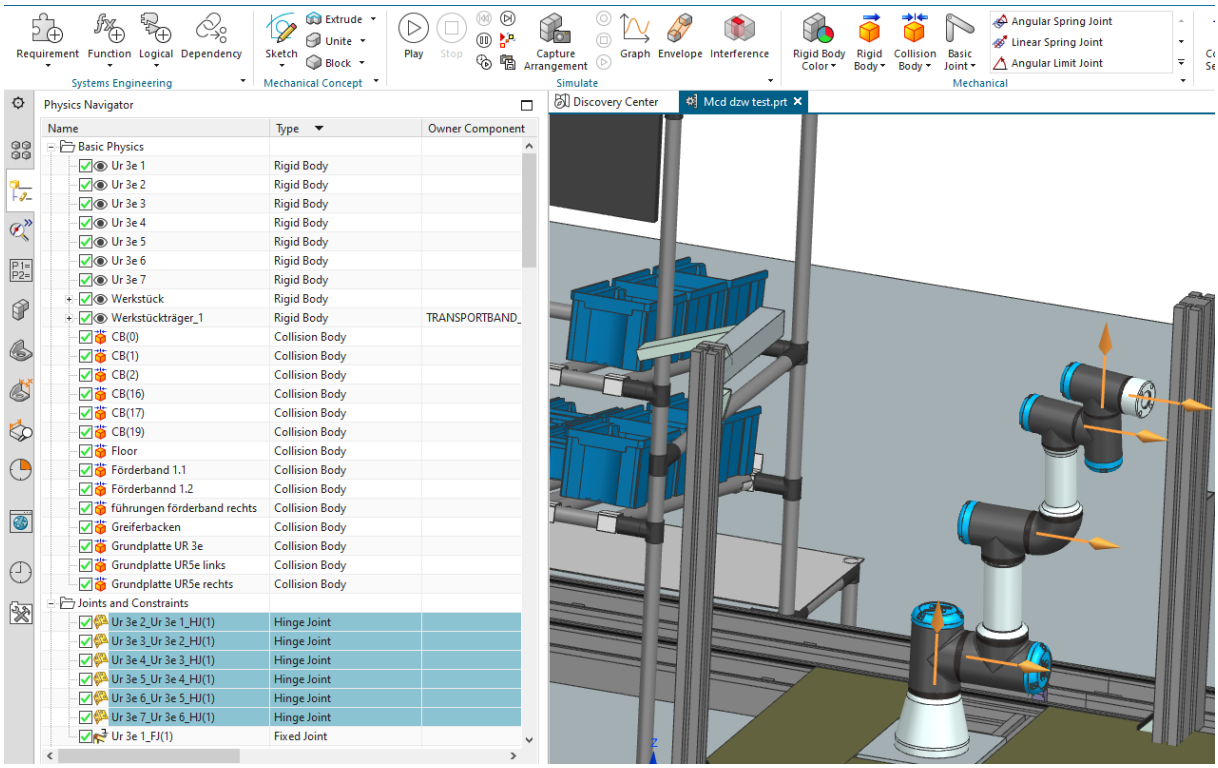


Abbildung 10: Hinge Joints der Bin Picking Station

Beim Starten der Simulation über die „Play“ Schaltfläche im Menü band des Programms wird klar, dass der Roboter noch immer ohne Funktion ist und zunächst ins Leere fällt. Um diese nicht gewollte Abfolge zu verhindern, wird im nächsten Kapitel die Funktion Fixed Joint beschrieben.

5.1.3.Fixed Joint

Fixed Joints weisen in der Simulation Beweglichen Objekte eine bestimmte Position zu. Im Falle des Ur 3e Roboters wurde dem Fuß des Roboters, welcher nicht beweglich ist, die Funktion Fixed Joint zugewiesen. Dadurch das der Roboter nun über den Fuß in einer definierten Position steht wird dieser während der Simulation nun nicht mehr aus der Station fallen. Übersicht über den erteilten Fixed Joint der UR 3e Station in Abbildung 11:

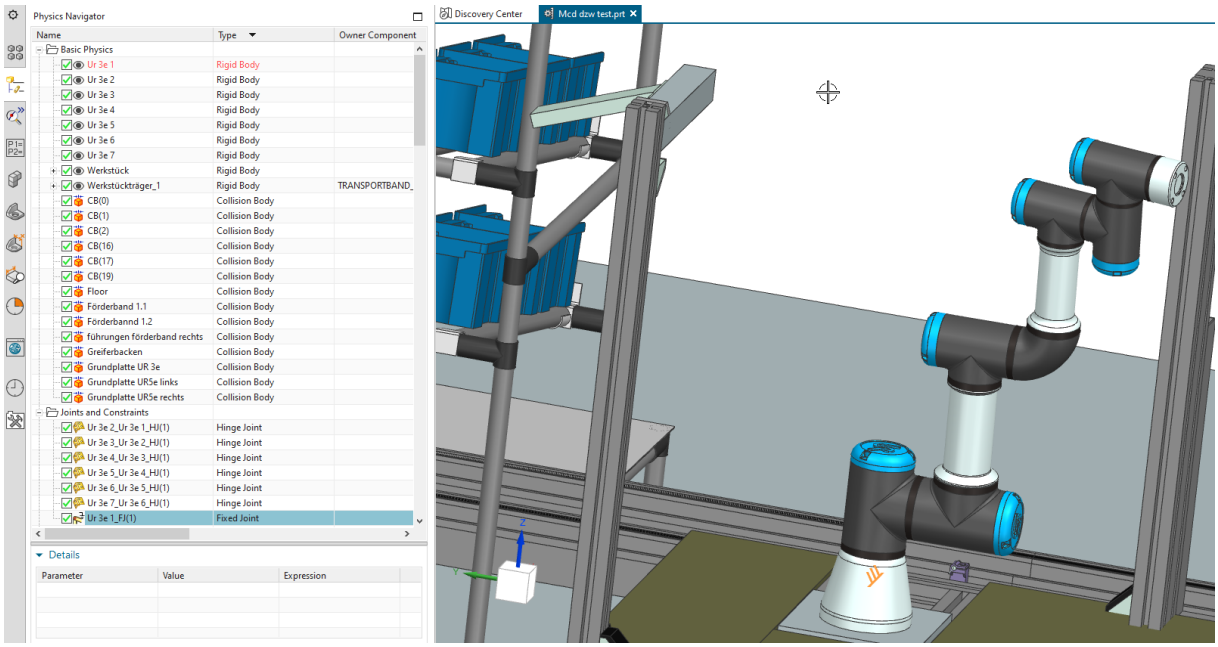


Abbildung 11: Fixed Joint der Bin-Picking Station

Nachdem der Station ein Fixed Joint zugewiesen wurde wird über einen weiteren Simulationslauf ersichtlich, dass der Roboter nun an einer festen Position steht, aber die einzelnen Achsen des Roboters ohne feste Positionen sind. Demzufolge bewegen sich in der Simulation die einzelnen Teile des Roboters unkontrolliert. Um dies zu verhindern, werden dem Roboter im nächsten Abschnitt feste Positionen für die einzelnen Achsen zugewiesen.

5.1.4.Position Control

Die Funktion „Position Control“ gibt an, in welche Richtung bzw. in welchem Radius sich ein Gelenk des Roboters bewegt. Die Positionen können hierbei direkt zugewiesen werden, im Falle des Roboters werden jedoch zunächst keine anderen Positionen als die Grundstellung festgelegt, da diese später innerhalb einer weiteren Funktion festgelegt werden. Überblick über die Position Controls der Ur 3e Station in Abbildung 12:

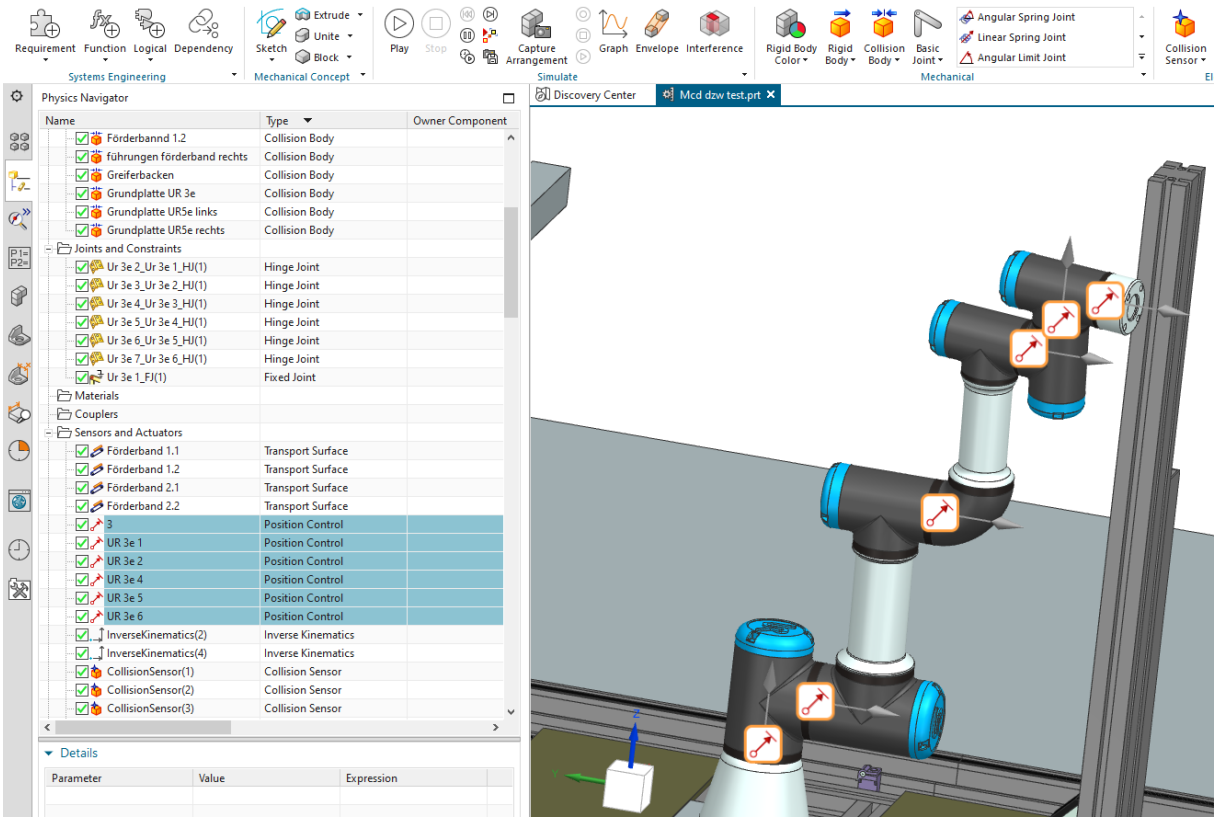


Abbildung 12:Positions Kontrollen der Bin-Picking Station

Startet der Anwender nun die Simulation gehen von dem Roboter keine Bewegungen aus, er befindet sich nun also in Grundstellung. Um dem Roboter Bewegungen hinzuzufügen wird im weiteren Schritt eine äußerst wichtige Funktion angewendet, welche es erlaubt die Achsen des Roboters als Gesamtheit anzusteuern.

5.1.5.Inverse Kinematics

Die Funktion „Inverse Kinematics“ wird eingesetzt, um den Roboter mit verschiedenen Bewegungen zu behaften. Zunächst muss ein Rigid Body des Roboters angewählt werden, hierbei bietet sich der Greifer, sofern vorhanden, an. Nach der Bestimmung eines bestimmten Punktes und des Richtungsvektors können dem Greifer unterschiedliche Posen zugeordnet werden. In dem Beispiel der Produktionslinie Teilen sich diese meist nach Grundstellung, Greifen des Werkstückes und abladen des Werkstückes auf. Manchmal ist es notwendig zwischen den Prozessstellungen des Roboters weitere Posen einzubauen, um unrealistisches Verhalten der Achsen zu verhindern. Überblick über die verwendete Pose der ersten UR 5e Station der Produktionslinie in Abbildung 13:

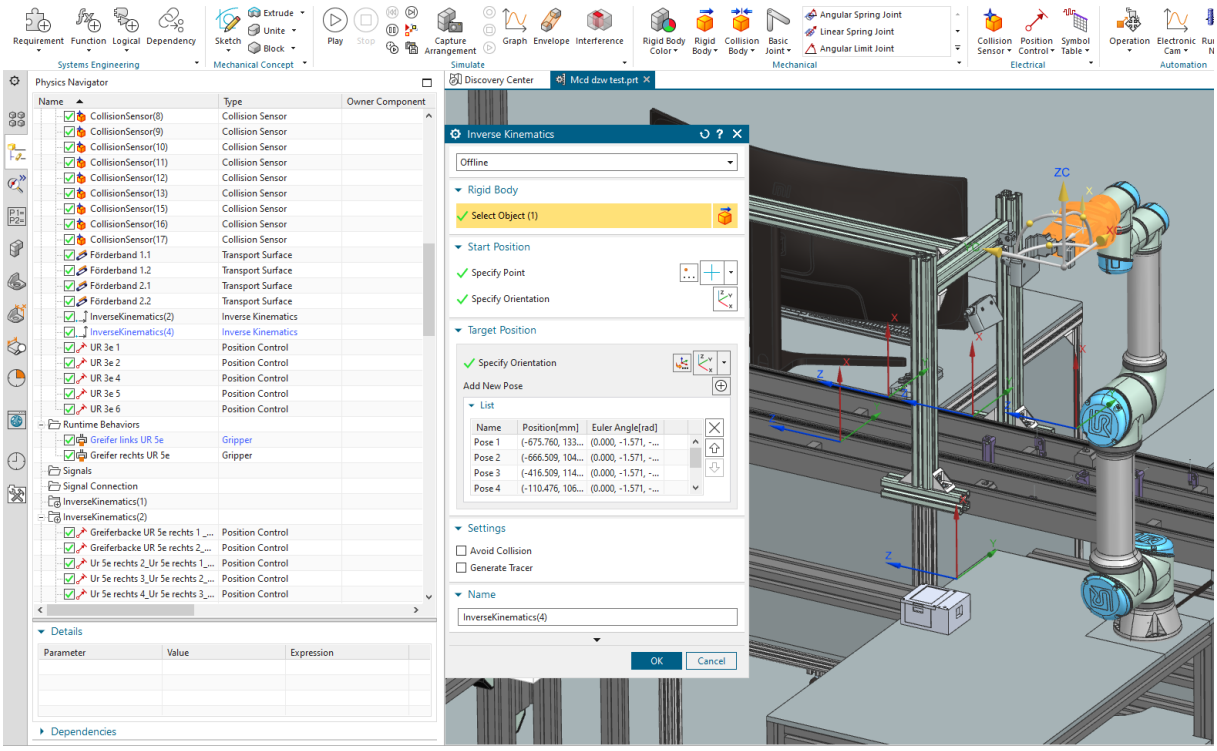


Abbildung 13: Inverse Kinematik der ersten UR5e Station

Nachdem die Roboterbewegungen festgelegt wurden und die Bewegungssabfolge des Roboters geprüft wurden, macht es Sinn dem Greifer eine Funktion für das Greifen des Bauteils und dem Abladen des Bauteiles zuzuordnen.

5.1.6.Gripper Function

Durch die Funktion Gripper wird dem Anwender eine Komplexe Bearbeitung durch „Sliding Joints“ erspart. Zunächst muss der Greifer (Rigid Body) als „Base Body angewählt werden, danach wird die Fläche bestimmt in welcher dieser Greifen kann. Im Anschluss werden die einzelnen Finger des Greifers zugewiesen, welche auch vorher als Rigid Bodys festgelegt werden müssen. Beim Festlegen der Finger können jeweils Richtung und weg für den Greifer Prozess festgelegt werden. Übersicht über die Gripper Funktion der ersten UR 5e Station der Produktionslinie:

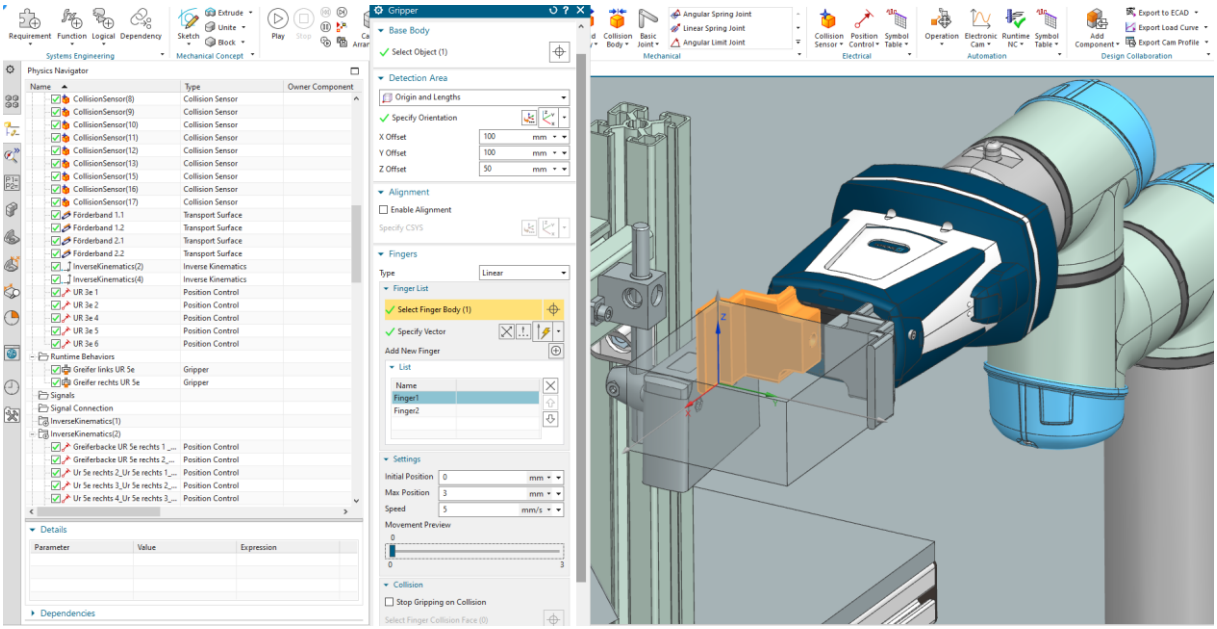


Abbildung 14: Greifer Funktion der ersten UR5e Station

Mit der Erstellung der Greifer Funktion sind nun sämtliche Abfolgen des Roboters festgelegt. Um diese jedoch im weiteren Schritt logisch im „Sequence Editor“ miteinander zu verknüpfen wird ein Signal benötigt. Dieses Signal ist im Falle der Produktionslinie eine Kollisionskontrolle, welche die Roboteraufgabe einleitet.

5.1.7.Collision Sensor

Für die Funktion „Collision Sensor“ ist es nicht notwendig Rigid Bodys zuzuweisen. Es ist jedoch notwendig einen Körper ausgehend vom Sensor mit der Funktion zu behaften. Über die Funktion lässt sich auswählen welches Profil und welche Maße der Sensor bzw. das Profil zum Detektieren von Collision Bodys haben soll. Übersicht über die Funktion Collision Sensor der ersten Ur 5e Station der Produktionslinie in Abbildung 15:

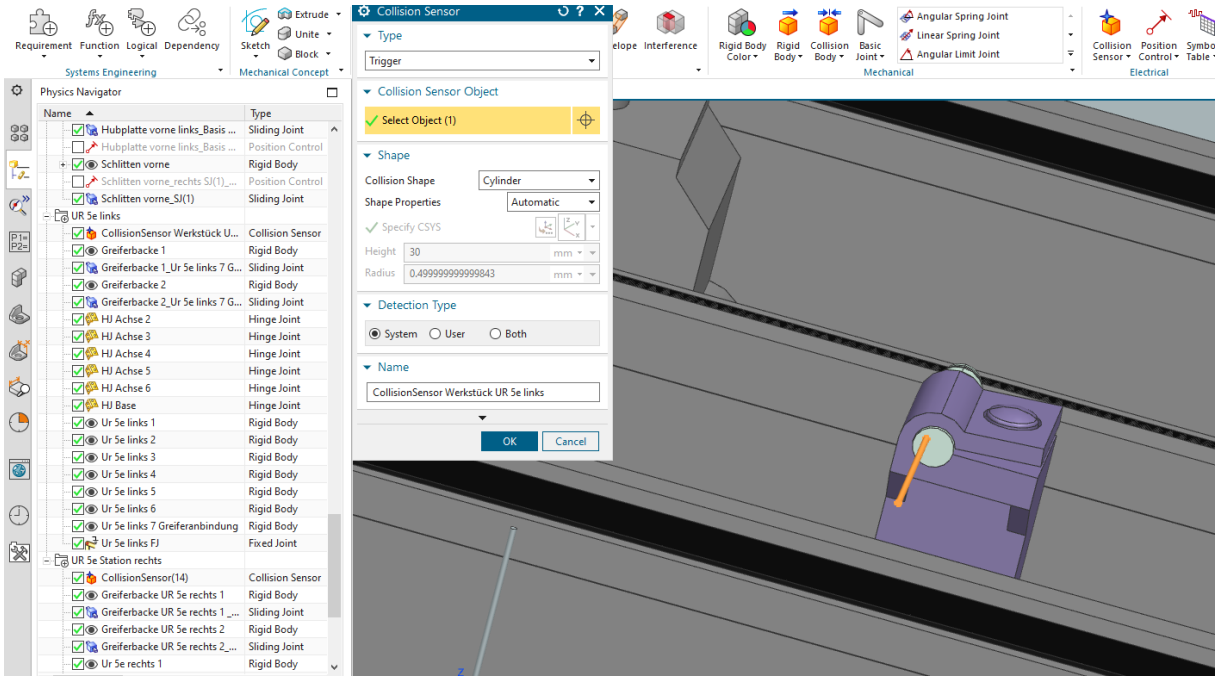


Abbildung 15: Kollissionssensor der Anlage im MCD

Der Collision Sensor erkennt jedoch nur Kollisionskörper. Dafür muss dem Werkstück und dem Werkstückträger die Funktion „Collision Body“ zugewiesen werden. Hierbei handelt es sich um eine ähnliche Funktion wie die Rigid Bodys, nur treffen für Kollisionskörper alle physikalischen Eigenschaften zu. So Fallen sie beispielsweise auf den Boden, sollten sie sich auf keinem weiteren Kollisionskörper befinden. Neben dem zuweisen von ganzen Körpern als Kollisionskörper wie dem Werksstück können auch einzelne Flächen als Kollisionskörper ausgewählt werden.

Um nun jedoch den Kollisionssensor der Station auszulösen, bedarf es einer Linearbewegung des Transportbandes, welches zunächst den Werkstückträger zu der Station transportiert.

5.1.8. Transport Surface

Die Funktion „Transport Surface“ Teilt einer Fläche die Funktion eines Förderbandes zu. Im Falle der Produktionslinie gibt es somit also insgesamt vier Transportflächen. Bei der Erstellung der Transportflächen ist darauf zu achten, dass der richtige Richtungsvektor angewählt wird und die richtige Geschwindigkeit festgelegt wird. Für den Fall der Produktionslinie ist es zudem auch wichtig gleichzeitig mit der Transportfläche einen Kollisionskörper für die Fläche zuzuweisen, sodass der Werkstückträger auf dieser verfahren kann. Übersicht über die verwendeten Parameter der Transportflächen der Produktionslinie in Abbildung 16:

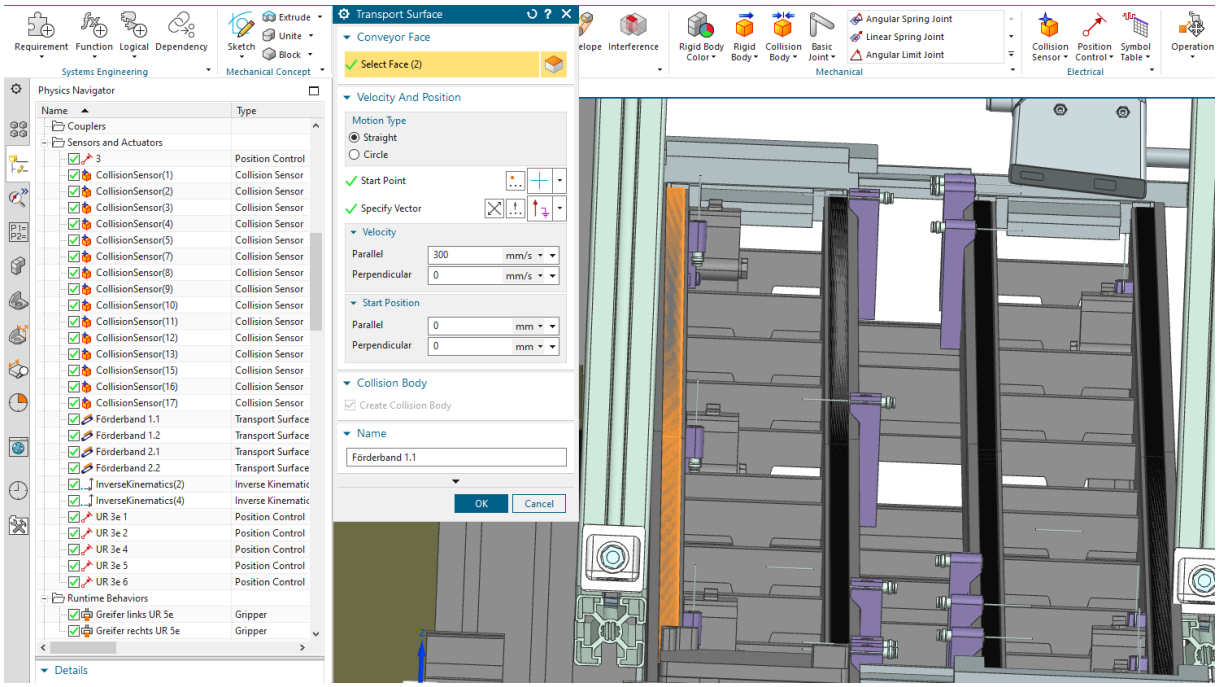


Abbildung 16: Transportflächen der Anlage im MCD

Auch die Transportflächen können über den Kollision Sensor angesteuert werden und demnach je nach Prozessschritt angehalten oder in Bewegung gesetzt werden.

Da die Produktionslinie jedoch nicht nur über Förderbänder für den Transport des Werkstückes verfügt müssen als letzter Schritt die Verfahr Einheiten am Ende der Förderstrecken mit Funktionen behaftet werden.

5.1.9.Sliding Joints

Für die Bewegung der Verfahr Einheiten und er Hubplatten am Ende der Förderstrecken wird hauptsächlich die Funktion „Sliding Joints“ genutzt. Den Flächen, die innerhalb der Simulation den Werkstückträger berühren wird die Funktion des Kollisionskörpers zugewiesen, sodass der Werkstückträger nicht über die Verfahr Einheit hinaus transportiert wird.

Für die Funktion Sliding Joint müssen den Komponenten zunächst Rigid Bodys zugeteilt werden, danach kann in der Funktion ein Aufsatz und eine Basis, auf die sich der Aufsatz bewegt bestimmt werden. Nach der Zuweisung der Flächen muss nun noch der Vektor in welcher sich der Schlitten bzw. der Aufsatz bewegt, wird festgelegt werden. Übersicht über die Funktion Sliding Joint anhand des hinteren Schlittens der Produktionslinie in Abbildung 17:

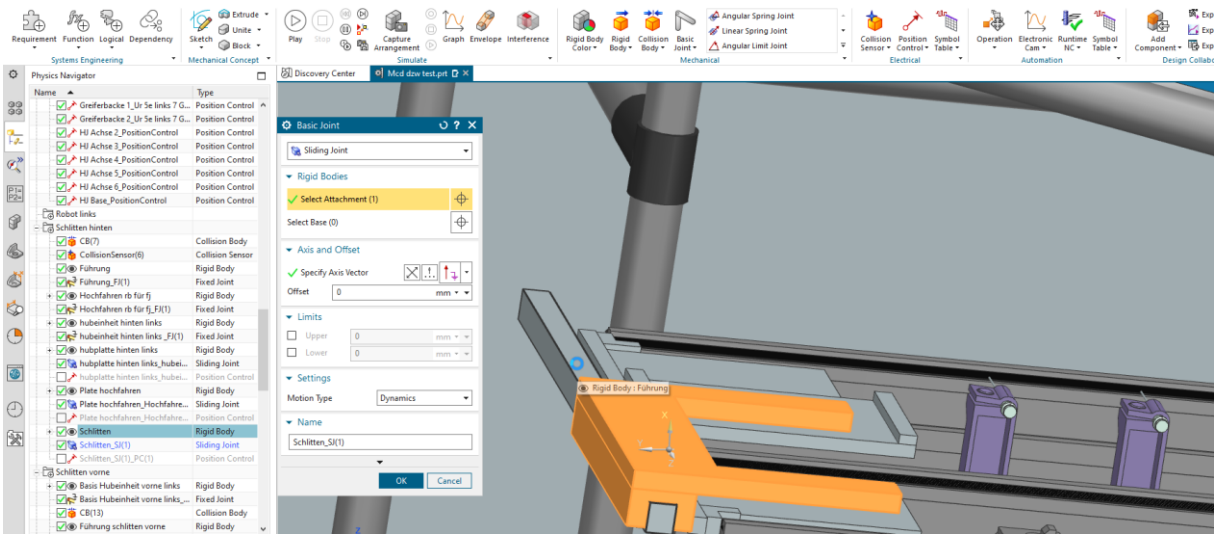


Abbildung 17: Sliding Joints der Verfahr Einheiten

Die Bewegung der Hubplatten wird analog zu der Schlittenbewegung erstellt.

Nun ist ein Rundlauf des Werkstückträgers in Funktionen eingebettet, die Roboter sind mit Greifern und Positionen zugewiesen, sowie Kollisionssensoren, welche die einzelnen Prozesse starten sollen. Um diese in eine Logische Abfolge zu bringen, müssen für jede erstellte Funktion Operationen erstellt werden.

5.1.10. Operationen

Operationen sind notwendig, um die Funktionen der Prozesse in die gewünschte logische Reihenfolge zu bringen. Beim Betätigen der Schaltfläche „Operation“ im Menü band können nun alle erstellten Funktionen mit Operationen behaftet werden. Übersicht über die zugeteilten Funktionen im Modell der Produktionslinie in Abbildung 18:

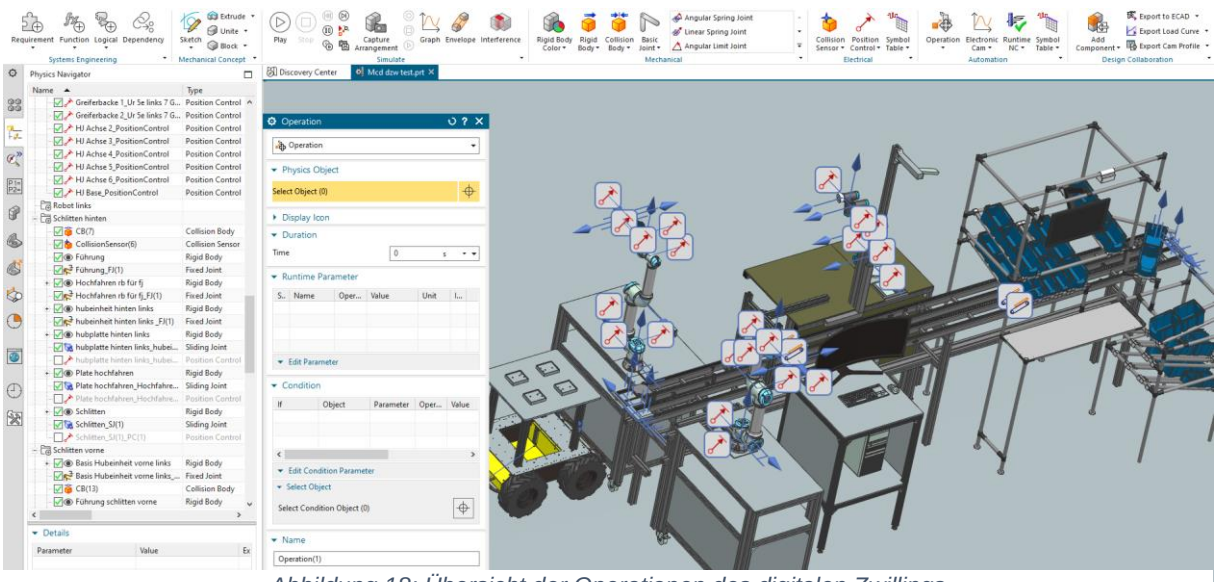


Abbildung 18: Übersicht der Operationen des digitalen Zwillings

Bei einigen Operationen ist es wichtig die Logik zu beachten. So sollten Sensoren beispielsweise nur aktiv sein, wenn ein Bauteil diesen auslöst. Ein Sensor stellt somit ein „Condition Object“ dar welches über eine seinen Wert (true/false) nur ändert, wenn der Sensor betätigt wird.

Ähnlich müssen die Operationen für die Förderstrecken und Verfahr Einheiten behandelt werden. Hierbei müssen jeweils zwei Operationen festgelegt werden, jeweils für das An- und Abschalten des Förderbandes oder für die vor und Rückwärtsbewegungen der Schlitten und Hubeinheiten.

Sind alle Funktionen mit den korrekten Parametern zugeteilt, lassen sich diese im nächsten Schritt verknüpfen, um die Prozesse für die Simulation in eine logische Reihenfolge zu bringen.

5.1.11. Sequence Editor

Hierzu wird der „Sequence Editor“ verwendet. Innerhalb des Sequence Editors werden alle erstellten Operationen angezeigt. Diese lassen sich nun so verbinden das die richtige Prozessreihenfolge erreicht wird und nicht alle Prozesse gleichzeitig zum Start der Simulation beginnen. Grundlegend muss der Benutzer im Sequence Editor Verbindungen zwischen den einzelnen Operationen erstellen. Überblick über die Sequenz, welche den hinteren Schlitten der Produktionslinie steuert in Abbildung 19:

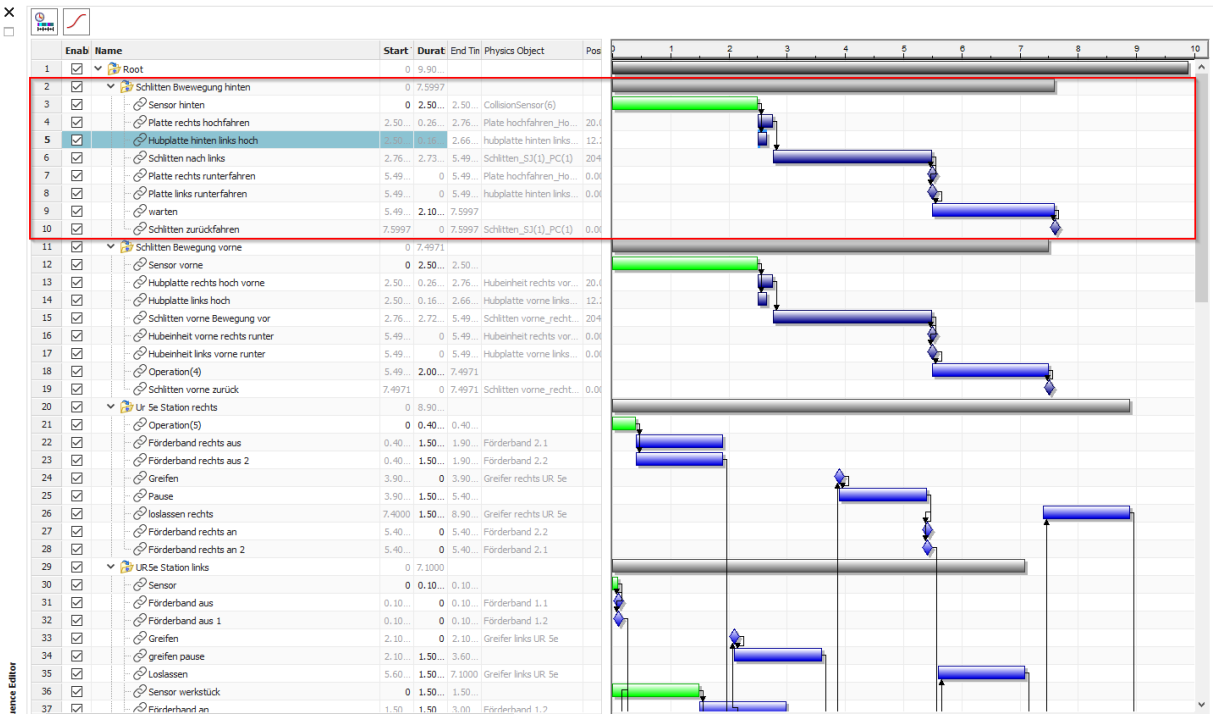


Abbildung 19: Sequence Editor des MCD

Da während der Erstellung einer Simulation für eine gesamte Produktionslinie viele Funktionen verwendet werden und somit gleichermaßen viele Operationen entstehen bietet es sich an innerhalb des Sequence Editors eine Ordnerstrucktur zu erstellen, welche die jeweiligen Prozesse gliedert, somit kann die Bearbeitungszeit minimiert werden und die Implementierung von Verbesserungen werden dem Anwender durch eine geordnete Struktur immens erleichtert.

Sind alle Operationen in die richtige Reihenfolge gebracht kann die Simulation gestartet werden und auf Fehler bzw. Verbesserungen geprüft werden.

5.2. Verwendung des digitalen Zwillings

Der digitale Zwilling zu der Produktionslinie der Zukunftsfabrik-Bodensee dient zu mehreren Zwecken. Einerseits zur Simulation des Produktionsflusses zur Analyse von Optimierungen aber auch zur Bestimmung von Durchlaufzeiten oder Kollisionsgefahren. Andererseits ist das digitale Abbild gut geeignet zur Veranschaulichung für Präsentationen oder Ausstellungen und kann daher auch für die Forschung genutzt werden. Letzteres hat auch vor allem einen großen Nutzen, beispielsweise für die Überzeugung von Investoren oder zur Demonstration für externe Unternehmen zur Bekräftigung der Meinung über die Einführung von Simulationsmodellen.

6. Umsetzung & Beschaffung

Dieses Kapitel wird unterteilt in die drei Hauptaufgaben für den gesamten Prozess der Auswahl bis zur Implementierung über die Anpassung des FTS. Diese sind, zuerst die grundlegende Recherche und Auswahl eines Systems, die Konzeptionierung von Vorrichtungen für den Einsatz in der Zukunftsfabrik und zuletzt die Inbetriebnahme mit dem Aufbau des FTS.

6.1. Recherche & Auswahl

Für die Auswahl eines geeigneten FTS steht eine grundlegende Recherche des aktuellen Standes der Technik an. Hierbei werden alle vorhandenen Systeme betrachtet, jedoch einige kurz darauf außer Betracht genommen. Dazu zählen alle Systeme und Fahrzeuge, welche ohne tiefere Betrachtung nicht den Rahmenbedingungen entsprechen, wie etwa industrielle Routenzüge oder zu groß dimensionierte, automatisierte Transportfahrzeuge. Für eine grobe Planung ist die Strecke für den Transport in Abbildung 20 definiert worden, einerseits oben Weggebunden und unten frei als Luftweg.

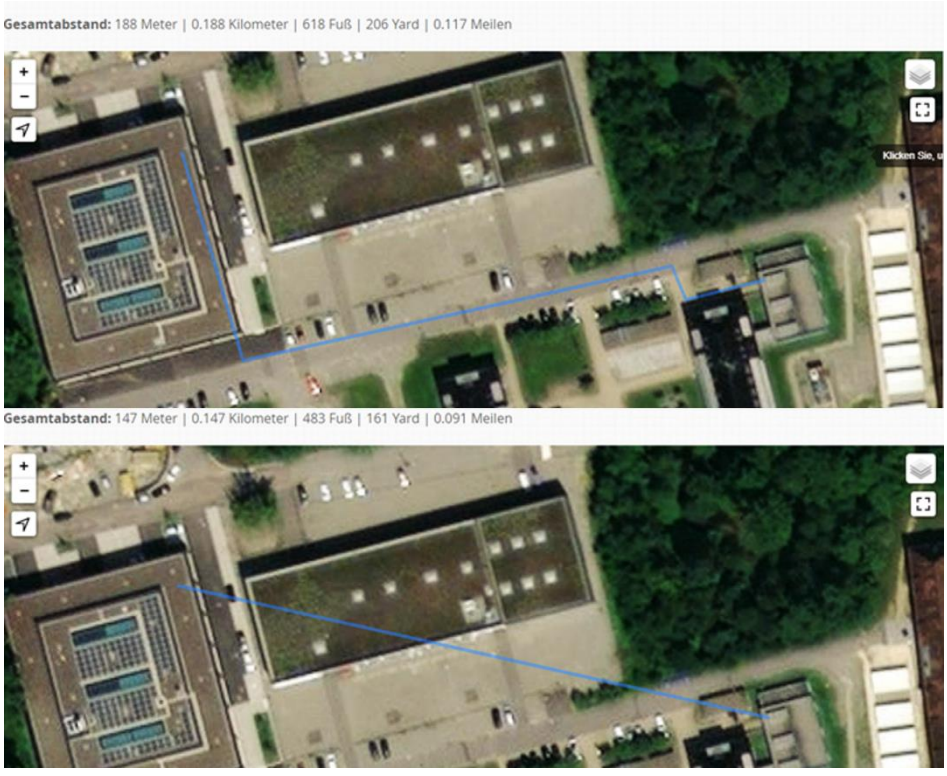


Abbildung 20: Transportweg FTS

In einer engeren Auswahl sind somit nur wenige Kategorien von Logistiksystemen, diese sind Fahrerlose Transportfahrzeuge auf Rädern, Flugobjekte wie Drohnen oder eine

Kombination aus den beiden. Aufgrund der mangelnden Erfahrung, der Stabilität und Zuverlässigkeit des Transportes sowie natürlich unter den wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind die Flugobjekte ausgeschlossen. Hinzu kommt die Komplexität der Navigation, sowie das Verhalten im Innenbereich. Daher wird als Transfersystem der Werkstücke ein FTF ausgewählt.

Die Beschaffung dessen, beginnt bei der Auswahl bzw. Anfrage verschiedener Hersteller. Hierfür ist eine Liste erstellt, welche die möglichen Lieferanten auflistet und die angefragt werden bezüglich eines Systems. Wie der Tabelle 5 zu entnehmen ist, sind insgesamt 18 Hersteller angefragt, von denen sich lediglich einer zu einem Informationsgespräch bereit erklärt. Sechs der restlichen Anbieter scheiden auf Grund einer Absage aus, vor allem, da diese lediglich Komponenten liefern oder das FTF nicht den Anforderungen entspricht. Die anderen elf Hersteller reagieren auf keine Anfragen.

Tabelle 5: Übersicht kontaktierte Hersteller

Anbieter	**Rückmeldung**
DigiTrans GmbH	Einladung zu einem Gespräch
Carrybots GmbH	Anfrage ohne Rückmeldung
Götting KG	Anfrage ohne Rückmeldung
P.P.H. WObit E.J. Ober s.c.	Anfrage ohne Rückmeldung
WEWO Techmotion	Anfrage ohne Rückmeldung
ek robotics GmbH	Anfrage ohne Rückmeldung
Genkinger GmbH	Anfrage ohne Rückmeldung
AgileX Robotics Ltd.	Anfrage ohne Rückmeldung
BÄR Automation GmbH	Anfrage ohne Rückmeldung
Alstef Gruppe	Anfrage ohne Rückmeldung
DIMOS Maschinenbau GmbH	Anfrage ohne Rückmeldung
AST Automatisierungs-System-Technik GmbH	Anfrage ohne Rückmeldung
MLR System GmbH	Absage auf eine Anfrage
Jungheinrich AG	Absage auf eine Anfrage
CREFORM Technik GmbH	Absage auf eine Anfrage
Grenzbach Gruppe	Absage auf eine Anfrage

Dpm Daum + Partner Maschinenbau GmbH	Absage auf eine Anfrage
DS AUTOMOTION GmbH	Absage auf eine Anfrage

Da der Großteil der oben genannten Hersteller aus diversen Gründen nicht weiter in Betracht gezogen werden, wird nach einem neuen Hersteller gesucht. Dieser findet sich unter dem Namen Clearpath Robotics Inc., einem Hard- und Softwarelieferanten im Bereich FTS mit Jahrelanger Erfahrung und Kundensupport. Aus mehreren Gründen ist dieser als Zulieferer ausgewählt, welcher das Modell Husky UGV an die Zukunftsfabrik Bodensee verkauft, über den Zwischenhändler MYBOTSHOP GmbH. Dieser eignet sich aus vielen verschiedenen Gründen, aber primär auch durch die geeignete Schnittstelle zum Programmieren, was die Forschung mit dem FTF erleichtert. Ebenso besteht durch eine Platte auf dem Fahrzeug die Möglichkeit einfach einen Anbau zu montieren, so wie dieses mit Automatisierungstechnik auszustatten.

6.2. Konzeptionierung von Vorrichtungen

Um die Bauteile zwischen den Produktionslinien zu transportieren und zu verhindern, dass diese beim Transport verrutschen oder verloren gehen, wird eine Vorrichtung konzipiert, ein erster Entwurf basiert auf den Abmessungen der vom Hersteller gelieferten Daten der Grundplatte. Dieser erste Aufbau ist einfach gehalten, um Änderungen simpel durchsetzen zu können.

Aufgrund der Abweichung der Abmessungen der Grundplatte nach Lieferung des FTF, wird eine neue Vorrichtung entwickelt. Diese ist etwas aufwändiger, jedoch stabiler gegen Schwingung beim Transport. Hierfür wird aufgrund des zeitlichen Rahmens die Montage direkt umgesetzt. Der fertige Aufbau ist in Abbildung 22 zu sehen. Auf der Holzplatte sind einheitliche Werkstückträger verschraubt, welche die Lage der Produkte für das Greifen mit dem Roboter fixiert.



Abbildung 22: Aufbau für den Transport

Um das FTF positionsgenau an die nachfolgende Station zu fahren, wird eine Vorrichtung entwickelt, welche ebenfalls die Anzahl der Werkstücke auf dem Fahrzeug misst. Dies ist in Abbildung 21 zu sehen.



Abbildung 21: Vorrichtung für die Schnittstelle

6.3. Inbetriebnahme & Aufbau

Die Inbetriebnahme des FTF erfolgt nach einer kurzen Einarbeitung in die Gebrauchsanweisung des Fahrzeugs, um etwa die Steuerung kennenzulernen oder die Batterie fachgerecht zu

laden. Anschließend wird der Aufbau auf das FTF montiert und erste Probefahrten können durchgeführt werden. Hier wird die dynamische und statische Festigkeit der Aufbauten und die Reaktion des FTF getestet. Die Fahrten sind sowohl im Innenbereich, als auch im Außenbereich des Campusgeländes wie in Abbildung 23 zu sehen ist.



Abbildung 23: Erster Fahrversuch im Außenbereich

Weiterhin wird das Anfahren an die Stationen sowie die Positionierungsgenauigkeit ausgelotet.

7. Ergebnisse & Ausblick

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse ausgewertet mit Hinblick auf die gestellten Ziele aus Kapitel 1.4. Erreicht sind die folgenden Zwischenziele:

- Die Recherche des aktuellen Standes der Technik im Bereich FTS für die Auswahl eines geeigneten Logistiksystems.
- Eine Definition des Transportweges zwischen den Fertigungsstätten.
- Die Übergabe bzw. die Übergabezone zwischen dem FTF mit Vorrichtung zur nachfolgenden Station ist festgelegt.
- Ein Aufbau für die Lagerichtige Positionierung und Transport der Werkstücke ist definiert und montiert.

Gesamt ist das Ziel erreicht, der Beschaffung und Implementierung eines Transportsystems.

Dies betrifft ebenfalls den digitalen Zwilling, bei dem alle Stationen als 3D Modell verknüpft sind. Ebenfalls ist der Produktionsfluss animiert und Simulationen können durchgeführt werden, sowie dieser zu Vorführungszwecken genutzt werden.

Für zukünftige Projekte in diesem Bereich steht nun die Automatisierung des Transportes an, bei dem das FTF selbstständig zu festgelegten Ereignissen oder Zeiten die Werkstücke transportiert. Ebenfalls besteht die Möglichkeit der Erweiterung der Kapazität der zu transportierenden Bauteile, da aktuell nur vier Stück platzierbar sind.

In Anbetracht des digitalen Zwillings besteht hier die Möglichkeit nach Optimierungspotenzialen Ausschau zu halten und die Produktion effizienter zu gestalten.

8. Resümee

Als Gesamtprojekt wird Anfangs eine Recherche betrieben, um den derzeitigen Stand aufzugreifen. Darauf aufbauen wird der zu erreichende Zielzustand definiert. Aus diesen zwei Zuständen wird das sogenannte Delta ermittelt, also die offenen Punkte, die es zu bearbeiten gibt. Hier lassen sich Zwischenziele oder Aufgaben definieren, welche zeitlich eingeplant werden. Aufgrund von vielen unerwarteten Wendungen oder eingeschränkte Unterstützung durch externe Unternehmen, sind Abweichungen nicht zu vermeiden. Daher ist die Aufgabe zur Erstellung des digitalen Zwillings dazugekommen, welche sich jedoch gut in das Gesamtprojekt einbauen lässt. Nach aktuellem abschließendem Stand stehen weiter Maßnahmen offen oder können optimiert werden.

Literaturverzeichnis

Bracht, U., Geckler, D., & Wenzel, S (2017): Digitale Fabrik. Hannover: Springer-Verlag. Clearpathrobotics. Online verfügbar unter https://clearpathrobotics.com/husky-unmanned-ground-vehicle-robot/, zuletzt geprüft am 12.07.2023.

DHBW Ravensburg (2023): TECHNIKCAMPUS FRIEDRICHSHAFEN. HIER WIRD DIE ZUKUNFT GEDACHT. Online verfügbar unter https://www.ravensburg.dhbw.de/fileadmin/Ravensburg/Dokumente_Bilder_Contentbereich/Allgemeine_Broschueren_Dokumente_Flyer/DHBW_RV_Flyer_Technikcampus.pdf, zuletzt geprüft am 15.07.2023.

DHBW Ravensburg (03.07.2023a): Die Zukunftsfabrik Bodensee setzt auf smarte Produktion. Online verfügbar unter https://www.ravensburg.dhbw.de/dhbw-ravensburg/aktuelles/detail/2023/7/die-zukunftsfabrik-bodensee-setzt-auf-smarte-produktion, zuletzt geprüft am 17.07.2023.

DHBW Ravensburg (03.07.2023b): Zukunftsfabrik Bodensee. Studienarbeiten. Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung, zuletzt geprüft am 15.07.2023.

Diem, M.: Vorlesung Fabrikplanungssoftware visTABLE. Friedrichshafen, DHBW Ravensburg.

Fischer, N. (11.04.2023): Vorlesung Digitale Produktionsplanung. Friedrichshafen, DHBW Ravensburg.

Fritzsch, B., Namneck, A., Stonis, M., Schwab, A., & Kirchner, L. (2020): Wirtschaftlichkeitsbewertung von Drohnen zum innerbetrieblichen Materialtransport. Hannover: Logistics Journal.

Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer: Lernfabrik Fallenbrunnen. Friedrichshafen. Online verfügbar unter https://www.iwt-bodensee.de/wp-content/uploads/2021/01/Lernfabrik-Fallenbrunnen_OnePager.pdf, zuletzt geprüft am 15.07.2023.

Martin, H. (2013): Transport- und Lagerlogistik. Hamburg: Springer-Verlag.

Rene Muschter (2023): Entwicklung des durchschnittlichen Jahresgehalts eines Beschäftigten in China von 2008 bis 2022. Hg. v. Statista GmbH. Statista GmbH. Online verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/219744/umfrage/durchschnittliches-jahresgehalt-eines-beschaeftigten-in-china/, zuletzt geprüft am 13.07.2023.

RITZ Regionales Innovations- und Technologietransfer Zentrum GmbH (Hg.) (2023): RITZ Regionales Innovations- und Technologietransfer Zentrum. RITZ Regionales Innovations- und Technologietransfer Zentrum GmbH. Online verfügbar unter https://ritz-innovationszentrum.com/, zuletzt geprüft am 14.07.2023.

Selfbits GmbH (Hg.): 7 Verschwendungsarten. Selfbits GmbH. Online verfügbar unter https://selfbits.de/2021/08/17/7-verschwendungsarten/, zuletzt geprüft am 13.07.2023.

Statistisches Bundesamt (Hg.) (2023): Arbeits- und Lohnnebenkosten. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitskosten-Lohnnebenkosten/_inhalt.html, zuletzt geprüft am 14.07.2023.

Ullrich, G., & Albrecht, T. (2019): Fahrerlose Transportsysteme. Dortmund.