DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg
Ravensburg
Campus Friedrichshafen

Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation

Studienarbeit T3100

des Studienganges Maschinenbau – Konstruktion und Entwicklung
an der dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg
Campus Friedrichshafen

von

Oliver Brückner

Vanessa Winkler

Abgabedatum:	17. 05. 2024
Bearbeitungszeitraum:	04.10.2023 - 17.05.2024
Matrikelnummer, Kurs:	9961141, TMK21-1 1432614, TMK21-1
Gutachter der Dualen Hochschule:	Prof. Dr. Thorsten Kever

I. Sperrvermerk

Gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsverordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 07.10.2022:

„Der Inhalt dieser Arbeit darf weder als Ganzes noch in Auszügen Personen außerhalb des Prüfungsprozesses und des Evaluationsverfahrens zugänglich gemacht werden, sofern keine anders lautende Genehmigung vom Dualen Partner vorliegt."

Friedrichshafen, den 13.05.2024



.....

Oliver Brückner



.....

Vanessa Winkler

II. Eigenständigkeitserklärung

Eigenständigkeitserklärung 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 in der Fassung vom 25.07.2018.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema:

„Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation“

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 13.05.2024

.....

Oliver Brückner

.....

Vanessa Winkler

III. Kurzfassung

Diese Studienarbeit befasst sich mit der Erstellung eines digitalen Zwillings eines realen Produktionsnetzwerkes, genannt *Zukunftsfabrik Bodensee*. Als Ausgangslage steht bereits ein grundlegendes digitales Modell aus einer vorangegangenen Studienarbeit zur Verfügung. Dieses wurde jedoch, aufgrund von drastischen Mängeln, verworfen, und daher ein gesamter Neuaufbau des Modells beschlossen. Aufgrund der Komplexität dieser Aufgabe wurde diese in zwei inhaltliche und somit auch zwei Teile der Studienarbeit getrennt. Dieser hier vorliegende zweite Teil inkludiert die theoretischen Grundlagen des Projektes sowie die Festlegung der gesamten Methodik und der Projektplanung. Darüber hinaus wird der Aufbau und die Erstellung des dreidimensionalem Modells des Produktionssystems erläutert. Im Anschluss folgt das Vorgehen und Ergebnis des Dynamisierens im Modell. Abschließend wird der gesamte Arbeitsprozess reflektiert und die Übergabe des Projektes "Digitaler Zwilling“ an die nachfolgende Studienarbeit mit deren neuer Studenten definiert.

IV. Abstract

This research project focuses on creating a digital twin of the real production network called *Zukunftsfabrik Bodensee*. There was already a basic digital model from a previous study group, but due to significant deficiencies, it was discarded, leading to a decision to entirely rebuild the model. Given the complexity of this task, it was divided into two parts, based on this the elaboration is also divided. This second part, presented here, includes the theoretical foundations of the project, as well as defining the entire methodology and project planning. Additionally, it elaborates on the construction and creation of the three-dimensional model of the production system. Following this is an explanation of the process and outcomes of dynamizing the model. Finally, the entire workflow is reflected upon, and the handover of the Digital Twin project to the next batch of students for their subsequent study is defined.

V. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 2.1: Konzept der Zukunftsfabrik [2] 2
Abbildung 3.1: Schema eines Digitalen Zwillings [8] 5
Abbildung 3.2: Bestehendes CAD-Modell Produktionslinie 9
Abbildung 3.3: Schemadarstellung Produktionslinie 10
Abbildung 4.1: WhatsApp Community "Zukunftsfabrik PTZ" 15
Abbildung 4.2: Ordnerstruktur bwSync&Share 16
Abbildung 4.3:Struktur der Modellablage in „50_Digitaler_Zwilling“ 17
Abbildung 4.4: Ordnerstruktur der Stationsbaugruppen 18
Abbildung 6.1: Gantt-Diagramm 21
Abbildung 6.2: Strukturbaum des alten Modells 22
Abbildung 6.3: Nicht zu bearbeitendes Bauteil 23
Abbildung 6.4: Benennungssystematik anhand des Beispiels der Station 1 25
Abbildung 6.5: Referenzbauteil der ersten Station 27
Abbildung 6.6: Rahmenbaugruppe Station 1 28
Abbildung 6.7: Station 1 gesamt 29
Abbildung 6.8: Baugruppe des Werkstückträgers 30
Abbildung 6.9: Dreidimensionales Modell des Montagebands 31
Abbildung 6.10: Sensoren am Transportband 32
Abbildung 6.11: Aktueller realer Aufbau des Umlegemechanismus 33
Abbildung 6.12: Modell des Umlegemechanismus 33
Abbildung 6.13: Dreidimensionales Modell der zweiten Station 34
Abbildung 6.14: Simulativ unendliche Quelle der Bolzen im Digitalen Zwilling 35
Abbildung 6.15: Dreidimensionales Modell der dritten Station 36
Abbildung 6.16: Dreidimensionales Modell der vierten Station 37
Abbildung 6.17: Dreidimensionales Modell des Portals 38
Abbildung 6.18: Dreidimensionales Modell der fünften Station 39
Abbildung 6.19: Demontageband der vierten Station 40
Abbildung 6.20: Dreidimensionales Modell des Transportroboters 41
Abbildung 6.21: Der aktuelle reale Stand des Transportroboters 42
Abbildung 6.22: Dreidimensionales Modell des gesamten Digitalen Zwillings 43
Abbildung 6.23: Kennzeichnung von Details am realen Aufbau des Produktionsnetzwerkes 44

VI. Abkürzungs- und Fremdbegriffsverzeichnis

Abkürzung	**Erläuterung**
CAD	Rechnerunterstütztes Konstruieren
DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
DIN	Deutsches Institut für Normung
F	Festforderung
i.O.	In Ordnung
IWT	Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer
KW	Kalenderwoche
MCD	Mechatronics Concept Designer
n.i.O.	Nicht in Ordnung
prt	Dateiformat „Siemens part file“
PTZ	Produktionstechnisches Zentrum
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
STEP	Dateiformat „Standard for The Exchange of Product model data“
TCP	Tool-center-point
W	Wunschanforderung
WLAN	Drahtlosnetzwerk, „Wireless Local Area Network“
ZDP	Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung
3D	dreidimensional

VII. Inhaltsverzeichnis

I. Sperrvermerk i
II. Eigenständigkeitserklärung ii
III. Kurzfassung iii
IV. Abstract iv
V. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis v
VI. Abkürzungs- und Fremdbegriffsverzeichnis vi
VII. Inhaltsverzeichnis vii
1 Vorwort 1
2 Vorstellung Zukunftsfabrik 2
3 Digitaler Zwilling 5
3.1 Allgemein 5
3.2 Aktueller Stand 9
4 Methodik 11
4.1 Anforderungen 11
4.2 Verwendete Programme 13
4.3 Schnittstellen 14
5 Ziel 19
6 Umsetzung 21
6.1 Zeitschiene 21
6.2 Analyse des bestehenden Modells 22
6.3 Struktur des CAD-Modells 24
6.4 Umsetzung des aktuellen Modells 29
6.5 Übergabe an die nächste Studienarbeitsgruppe 43
6.6 Lessons learned 45
7 Simulation 47
7.1 Erstellung des dynamischen 3D-Modells 47
7.2 Direkte Datenübertragung durch Simit 47
7.3 Ausblick der Simulation 47
8 Fazit und Ausblick 49
VIII. Literaturverzeichnis 51

1 Vorwort

In der sich ständig weiterentwickelnden Welt der industriellen Fertigung, ist die Optimierung von Produktionsabläufen elementar für Effizienz und Erfolg. Der stetige Druck, flexibel und vor allem schnell auf wechselnde Marktbedingungen und steigende Kundenerwartungen reagieren zu können, ist dauerhaft präsent. Stellen Sie sich vor Sie besäßen eine Zeitmaschine, mithilfe derer Sie in die Zukunft ihrer Produktionslinie blicken könnten. Es wäre Ihnen dadurch erlaubt potenzielle Herausforderungen vorherzusehen und für diese bereits vor realer Umsetzung der Produktionslinie optimale Lösungen zu finden. Genau das ermöglicht die Technologie des digitalen Zwillings. Durch ein bereits vor der realen Umsetzung bestehendes digitales Modell, lässt sich dessen Verhalten voraussagen und testen.

Im Rahmen dieser Arbeit gilt es eine digitale Repräsentation einer physischen Produktionslinie zu erstellen. Dieser sogenannte Digitale Zwilling soll diesem Produktionssystem maßgetreu entsprechen, sowie dessen reale Daten in Echtzeit empfangen und verarbeiten können. Aufgrund des enormen Umfangs dieser Aufgabe im Bereich der Simulation, wird diese Arbeit in zwei Teile gegliedert.

2 Vorstellung Zukunftsfabrik

Das Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung (ZDP) der Dualen Hochschule Ravensburg, dient Partnerunternehmen kooperativ an Forschungsprojekten im Bereich der Digitalisierung in der Produktion zu arbeiten.
Unter der Bezeichnung „Zukunftsfabrik Bodensee“ wird hier aktuell gemeinsam mit dem Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer (IWT) ein Produktionsnetzwerk entwickelt und errichtet. [1] Dessen Struktur und Organisation wird im Folgenden erläutert.

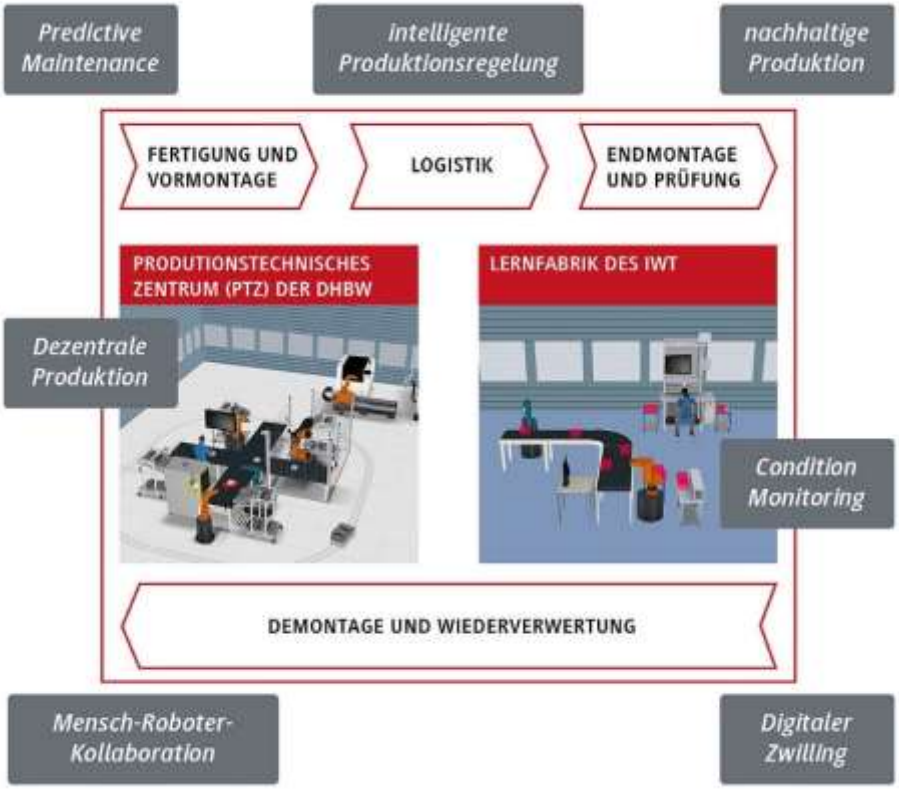


Abbildung 2.1: Konzept der Zukunftsfabrik [2]

Abbildung 2.1 zeigt das Konzept der Zukunftsfabrik. In deren Zentrum ist zu erkennen, dass das Produktionsnetzwerk auf zwei unterschiedliche Standorte aufgeteilt ist. Die Vormontage des Produktes, zu sehen im linken Abbildungsbereich, befindet sich im produktionstechnischen Zentrum (PTZ) an der DHBW am Standort Fallenbrunnen. Hier erfolgt die Vormontage verschiedener Varianten des Produktes. Die Logistik zwischen Vor- und Endmontage ist über einen Transportroboter gelöst. Dieser wird am Ende der Vormontagelinie beladen und transportiert anschließend die Produkte zum nahegelegenen Standort der Lernfabrik des Instituts für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer. Dort erfolgt die Endmontage und Prüfung der Produkte. Aus

Gründen der Nachhaltigkeit werden fehlerhafte Produkte zurückgeführt, demontiert und Komponenten in gutem Zustand erneut in den Produktionsprozess eingebracht.
Die Gesamtheit des Produktionsnetzwerkes dient der Herstellung, und parallel der Rückführung, eines variantenvielfältigen Produktes. Darin sind speziell im Folgenden erläuterte Technologiethemen integriert, welche zur allgemeinen, praxisorientierten Forschung dienen.
Die Zukunftsfabrik verfolgt den Ansatz von Produktionsplattformen, welche als zentrale Knotenpunkte fungieren und mehrere Produktionsprozesse beziehungsweise -einheiten miteinander verbinden. So eine Plattform stellt beispielsweise der in dieser Arbeit zu errichtende Digitale Zwilling dar, das virtuelle Abbild der realen Produktionslinie.
Im Kontext des Condition Monitoring wird der Digitale Zwilling zur kontinuierlichen Überwachung und Bewertung des Systems, für die Erfassung dessen aktuellen Zustandes, seiner Leistungsfähigkeit und potenzieller Abweichung von normalen Betriebsbedingungen genutzt. Hierfür werden kontinuierlich Daten von Sensoren und weiteren Quellen gesammelt und in Echtzeit mit dem digitalen Zwilling synchronisiert. [3] Damit einhergehend ist auch der Ansatz des Predictive Maintenance. Dies beschreibt die proaktive Wartung von Maschinen durch die Verwendung von Mess- und Produktionsdaten. Durch eine geschickte Analyse derer, kann die Qualität der Anlagen erhöht und der Produktionsprozess effektiver werden. Durch Predictive Maintenance lassen sich Störungen und daraus schlussfolgernde Produktionsverzögerungen oder gar Ausfälle bereits vor Eintritt reduzieren oder idealerweise sogar vermeiden. [4] Sowie das Condition Monitoring als auch Predictive Maintenance tragen durch die Erfassung und Auswertung von Echtzeitdaten des Systems zu einer intelligenten Produktplanung bei.
Darüber hinaus wird durch die unterschiedliche Standortwahl von Vormontage und Endprüfung eine dezentrale Produktion realisiert, welche durch Logistik aneinander angebunden sind.
Ein weiteres, hier umgesetztes Technologiethema ist die Mensch-Roboter-Kollaboration. Diese beschreibt die Zusammenarbeit von menschlichen Mitarbeitern, welche, wie am Vormontageband der Zukunftsfabrik umgesetzt, Hand in Hand mit Robotern arbeiten.
Durch die Rückführung, Demontage und Wiederverwendung der Produkte innerhalb dieses Produktionsnetzwerkes, wird zudem eine Kreislaufwirtschaft umgesetzt. [2]

Das Modell der Kreislaufwirtschaft verfolgt das Ziel der Abfallminimierung, Emissionssenkung und der Verwendung möglichst weniger Rohstoffe. Die Umsetzung erfolgt durch eine maximale und effiziente Verwendung vorhandener Produkte. Dies kann durch eine Verlängerung ihrer Lebenszyklen erreicht werden, zum Beispiel durch Wiederverwendung, Reparatur, Aufarbeitung oder Recycling. [5]

Am konkreten Beispiel der Zukunftsfabrik werden Produkte, welche als nicht in Ordnung geprüft wurden, ausgesondert und anschließend demontiert. Deren Einzelteile können so bei der Montage neuer Produkte wiederverwendet werden und dadurch wieder eine Wertschöpfung der Komponente generiert werden.

3 Digitaler Zwilling

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der allgemeinen Definition eines Digitalen Zwillings. In einem weiteren Unterpunkt findet sich eine spezifische Erläuterung zu dem bisher bestehenden Digitalen Zwilling der Zukunftsfabrik.

3.1 Allgemein

Digitale Zwillinge bilden physische Produkte beziehungsweise Prozesse virtuell ab. Hierbei wird deren gesamter Lebenszyklus erfasst. [6] Mithilfe eines digitalen Zwillings ist es möglich durch eine entsprechende Implementierung bereits vor dem Einsatz realer Prototypen Simulationen oder Anpassungen am Modell durchzuführen. Dies erlaubt Änderungen zu prognostizieren und anhand derer das Produkt oder den Prozess zu optimieren. Bei Übereinstimmung mit dem realen Abbild, repliziert der digitale Zwilling durch den Erhalt realer Echtzeitinformationen und -daten das reale Verhalten des Objektes. Dies dient zudem der Überwachung des Betriebs. [7]

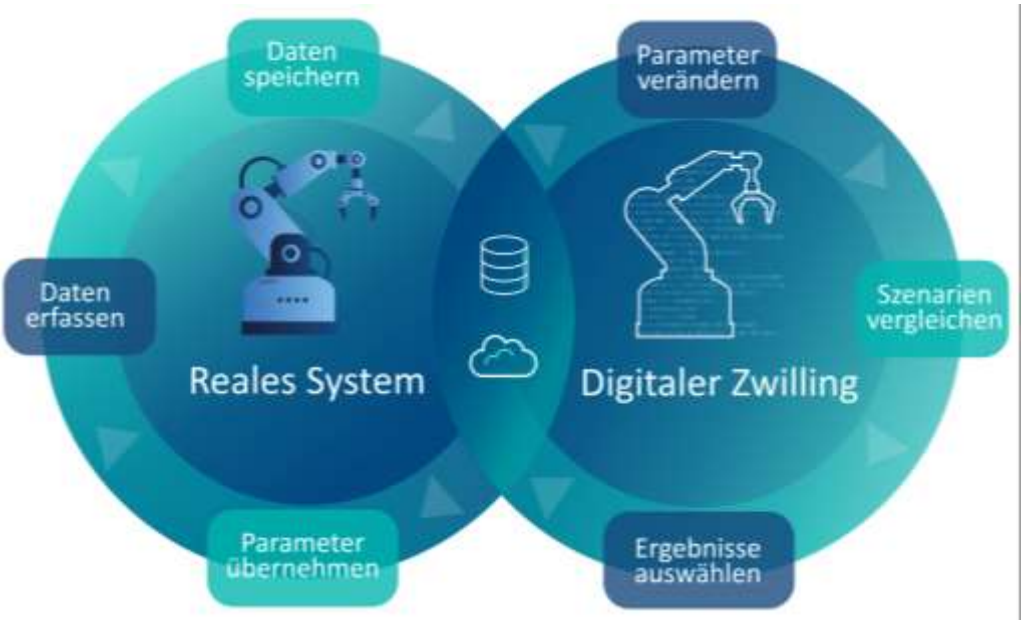


Abbildung 3.1: Schema eines Digitalen Zwillings [8]

Abbildung 3.1 zeigt schematisch die Verknüpfung des digitalen Zwillings mit dessen realem System auf. Diese stellt einen kontinuierlichen Informationsaustausch zwischen den beiden Parteien dar. Aus dem Verhalten des physischen Originals werden Daten erfasst, gespeichert und in Echtzeit an den Digitalen Zwilling weitergeleitet. In diesem lassen sich wiederum verschiedene Parameter anpassen und so das Verhalten des Digitalen Zwillings abändern. Es entstehen unterschiedlich

kreierte Szenarien, welche miteinander verglichen werden können. Daraus gilt es anschließend günstige Ergebnisse auszuwählen. Deren Parameter werden dann wiederum in das reale System übernommen. Läuft das System dann mit diesen Werten, setzt sich der Prozess wieder zyklisch mit der Datenerfassung und -speicherung fort.

Die Verwendung eines digitalen Zwillings bietet zudem eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Qualitätssicherung in der Produktion. Potenzielle Schwachstellen oder Engpässe können bereits durch eine Simulation von Prozessen und Abläufen erkannt werden, bevor sie in der Realität auftauchen. Dies ermöglicht eine Fehlerbehebung und Optimierung von Produktionsabläufen, bevor der Fehler beziehungsweise dessen Auswirkungen überhaupt auftreten. Zusätzlich kann Qualitätssicherung im Rahmen einer Echtzeiterfassung betrieben werden. Durch die kontinuierliche Erfassung und Analyse von Daten in Echtzeit, ist es möglich Abweichungen von Qualitätsstandards oder Leistungsindikatoren frühzeitig zu erkennen. Daraufhin kann sofort mittels einer Implementierung von Korrekturmaßnahmen reagiert werden und die Produktqualität weiterhin erhalten bleiben. [9]

Heutzutage sind gerade personalisierte Produkte bei Kunden stark im Trend. Die Hersteller müssen dieser Nachfrage bei gleichzeitig möglichst geringem Kostenaufwand gerecht werden. Auch hier bietet das Verwenden von Digitalen Zwillingen zahlreiche Vorteile. Nach der herkömmlichen Herangehensweise fertigt ein Unternehmen für neue Produkte Prototypen an. Mit steigender Varianz derer, erhöht sich deren Prototypenanzahl, sowie deren Erprobungsaufwand. Dies führt zu einem hohen Kosten- sowie Zeitaufwand, welcher durch das Einsetzen eines Digitalen Zwillings minimiert werden kann. Ein Digitaler Zwilling kann gerade auf die Diversität der Produkte eingehen und diese abbilden, was bei einer hohen Merkmalsvielfalt einen enormen Vorteil erbringt. [9]

Des Weiteren kann der interne Einsatz eines Digitalen Zwillings in einer Firma zu einer Steigerung deren Knowhows verhelfen. Wurden beispielsweise Strömungsuntersuchungen, welche bei einer realen Erprobung einen Windkanal erfordern, bisher extern durchgeführt, können diese durch im digitalen Zwilling integrierte Strömungssimulationen stark vermindert werden. Gleichzeitig gewinnt das eigene Unternehmen durch die Simulationsergebnisse und deren Optimierungen an Wissen und kann dadurch effizienter nachfolgende Produkte entwickeln. [10]

Die Minimierung der Prototypenmodelle sowie derer Erprobungsaufbauten stellt gleichzeitig auch eine Ressourcenersparnis dar. Dies dient zur Förderung der Nachhaltigkeit. [10]

Neben diesen Aspekten zur Ressourcenminderung, werden die dennoch verwendeten Ressourcen effizienter genutzt. Dies geschieht beispielsweise durch den Einsatz von intelligenter Sensorik, welche laufend die Messgrößen überprüft und Abweichungen, beispielsweise durch Verschleiß von Maschinenkomponenten erkennt und zur Wartung meldet. [10]

Nachdem nun Vorteile bei der Verwendung eines Digitalen Zwillings erläutert wurden, betrachtet dieser Abschnitt nun die notwendigen Voraussetzungen, um einen solchen bei sich im Unternehmen zu implementieren. Zu Beginn ist dafür der Zweck und Umfang für den Digitalen Zwilling klar zu definieren. Beispiele hierfür können Problemlösung oder Prozessverbesserung sein. Die gewünschten Eigenschaften sollten realistisch und messbar sein. Bei der Definition des Umfanges sind die abzubildenden realen Objekte, sowie die zu verarbeitenden und darzustellenden Signale und Messgrößen klar festzulegen. [11] Sofern das Wissen noch nicht in benötigten Ausmaß vorhanden ist, müssen Mitarbeiter, wie Ingenieure, IT-Experten und weitere Fachkräfte, geschult werden. Im Rahmen der darauffolgenden technischen Umsetzung, werden Technologien Sensoren, sowie Plattformen definiert. Der Aufbau und die Inbetriebnahme des Digitalen Zwillings können hierbei sowohl im Entwurfs- beziehungsweise Entwicklungsprozess als auch nach Fertigstellung des realen Objektes erfolgen. Es muss in jedem Fall sichergestellt sein, dass die Simulationssoftware, die Sensoren, sowie das Programm zum Aufbau des dreidimensionalen Modells miteinander kompatibel sind. Dies ist nämlich stark herstellerabhängig. [12]

Um die für den Digitalen Zwilling notwendigen Daten zu sammeln, wird intelligente Sensorik eingesetzt. Deren Daten werden ebenso von weiteren Aktuatoren, beispielsweise Ventilen oder Motoren, empfangen und verwendet. Um diese Signale und Informationen an die Datenverarbeitungsplattform zu übertragen, werden Gateway-Geräte als Schnittstelle eingesetzt. Zum Ermöglichen von Kommunikation und Datenaustausch verschiedener Netzwerke, werden die Daten in einem Sammelportal erfasst und einem Verarbeitungsportal übergeben. Für einen sicheren

und effizienten Datenübertragung ist hier eine zuverlässige Netzwerkinfrastruktur, wie beispielsweise WLAN, Ethernet oder Bluetooth, von Nöten. [13]

Ebenso gilt es die gesammelten und bereitgestellten Daten zu speichern, verarbeiten und analysieren. Hierfür dient eine sogenannte Datenverarbeitungsplattform, beispielweise Apache Hadoop oder Amazon Web Services, welche die Datenmengen mithilfe von Big-Data-Verarbeitung, Textanalysen, maschinellem Lernen, Vorhersagemodellen oder weiteren Methoden analysiert. Die verarbeiteten Daten können visuell aufbereitet, und anhand derer fundierte Entscheidungen getroffen werden. Beispielsweise ist zu entscheiden, ob der digitale Zwilling lediglich der Datenanalyse von Testdurchläufen dient, oder ob dieser die Daten auch während des realen Prozesses in Echtzeit auswertet, um aktiv auf Ereignisse einzugehen. [11]

Darüber hinaus ist die Sicherheit des Digitalen Zwillings zu gewährleisten. Heutzutage sind Cyberangriffe ein reales Risiko, welche die Geheimhaltung firmeninterner Daten gefährdet. Daher müssen die Informationen im Digitalen Zwilling mithilfe geeigneter Sicherheitsmaßnahmen verschlüsselt übertragen und gespeichert werden, sowie bei Bedarf Zugriffskontrollen implementiert sein. [10]

Die vorangegangene Erläuterung zur Umsetzung eines Digitalen Zwillings ermöglicht eine solide Grundlage zur erfolgreichen Einführung eines Digitalen Zwillings in einem Unternehmen. Aufgrund der sich im Wandel befindenden technischen Möglichkeiten ist zudem zu erwarten, dass sich im Laufe des technischen Fortschrittes noch weitere, zusätzliche Möglichkeiten zur Implementierung im Digitalen Zwilling auftun. Dieser kann zu jedem Zeitpunkt ergänzt und weiterentwickelt werden.

Gerade in der Industrie ist die Digitalisierung von Produktionsnetzwerken aktuell stark im Trend. Ein reales Beispiel hierfür gibt Mercedes Benz, die in bis in zwei Jahren eine neue Plattform ihrer Fahrzeugproduktion einzuführen planen. Im Rahmen dessen wurde am Standort Rastatt bereits ein Digitaler Zwilling für die Produktion neuer Fahrzeuggenerationen implementiert. Hier werden die exakten Maschinenpositionen, der Verlauf von Versorgungswegen, sowie Produktionslinien simuliert. Darüber hinaus erstellte Mercedes Benz am Standort Kecskemét einen, das Gebäude inklusive den Pausenbereich und die Mitarbeiterumkleidekabinen umfassenden, digitalen Zwilling. Durch das Schaffen der digitalen Abbilder kann Mercedes Benz beispielsweise eine

Montagelinie planen, umbauen sowie überprüfen. Hierbei werden nachweislich Kosten eingespart, sowie die Produktion effizienter gestaltet. [14]

3.2 Aktueller Stand

In vorausgegangenen Studienarbeiten wurde bereits das Produktionssystem und seine einzelnen Abschnitte grob definiert, sowie bereits Teile davon in die Realität umgesetzt. Dieser Stand wurde auch schon von einer Vorgängergruppe weitgehend als CAD-Modell umgesetzt. Diese Version ist weder exakt parametrisiert oder aktuell, dient aber für eine grobe Vorstellung der Zukunftsfabrik. Anhand dieses Modells, das in Abbildung 3.2 dargestellt ist, werden nun die einzelnen Stationen der Vormontage erläutert.

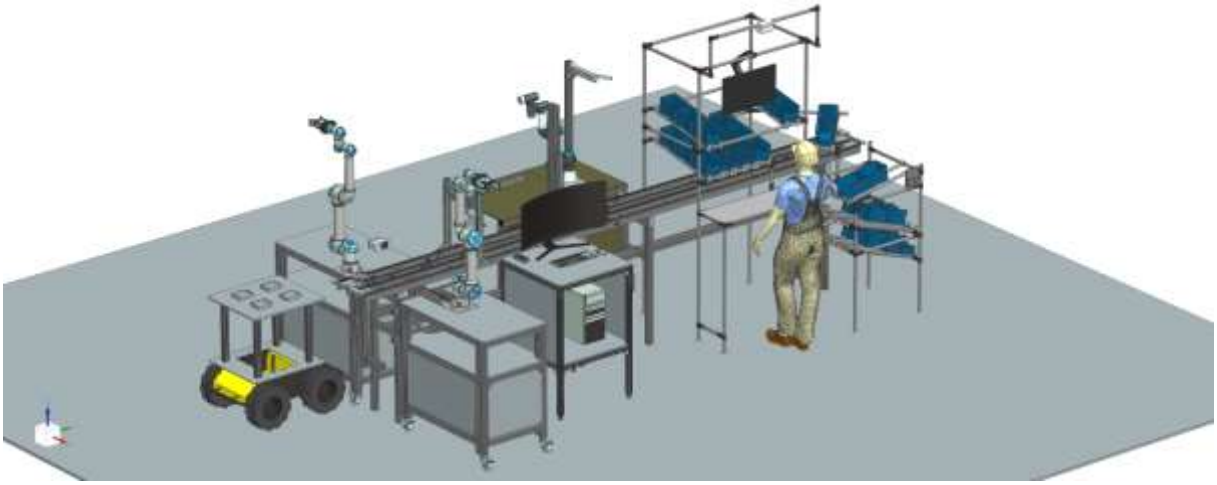


Abbildung 3.2: Bestehendes CAD-Modell Produktionslinie

Man erkennt in der Bildmitte das zentrale, lineare Bandsystem, um wessen Rand sich die einzelnen Prozessschritte reihen. Am linken unteren Bandende erkennt man in Gelb eingefärbt den Transportroboter, welcher die Teile zu Station 1 anliefert und von Station 5 abtransportiert. Die zweite Station folgt auf der Hinterseite der Bandmitte. Der in dieser Abbildung beispielhaft integrierte Mitarbeiter befindet sich an Station 3. Station 4 dagegen ist links neben dieser, mittig auf der Vorderseite des Transportbandes. Die letzte, fünfte Station ist in vorderen Bereich des linken Bandendes platziert. Die einzelnen Prozessschritte an den jeweiligen Stationen sind in dem Schema in Abbildung 3.3 veranschaulicht.

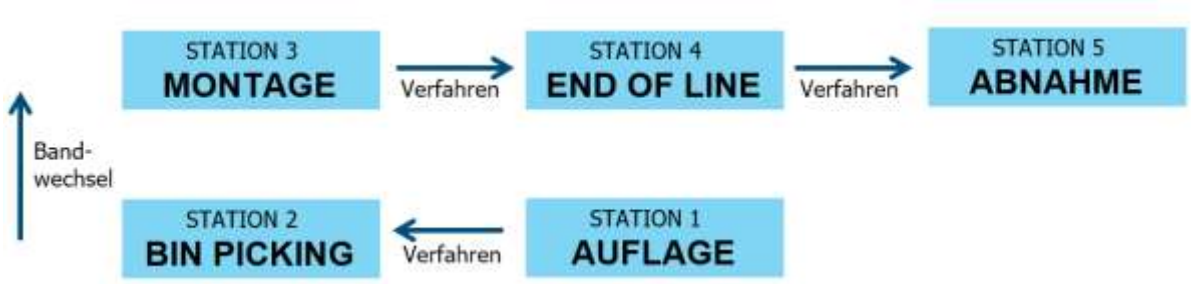


Abbildung 3.3: Schemadarstellung Produktionslinie

An der ersten Station wird der Werkstückträger von seiner Parkposition mithilfe des Greifers entnommen und auf das Band gelegt. Anschließend wird das Bauteil ebenso von seiner Parkposition auf das Band gehoben und auf dem Werkstückträger platziert. Diese Teilekombination verfährt dann zu Station zwei, genannt *Bin Picking*, wo ein weiterer Roboter nacheinander zwei Bins greift und diese in ihre Ablageposition des Werkstückträgers einsetzt. Als nächstes verfährt der beladene Werkstückträger weiter, wechselt über einen Umleger das Band und erreicht die dritte Station. Dies ist die Montagestation, auch genannt Handarbeitsplatz. Hier entnimmt ein Arbeiter das Bauteil vom Werkstückträger, montiert dies nach einem vorgegebenen Prozess mit weiteren Einzelteilen, und legt das montierte Produkt wieder zurück auf das Band. Die vierte Station stellt die End of Line Prüfung dar, wobei eine Sensorik die Baugruppe auf seine Vollständigkeit und Richtigkeit analysiert und ein Computer auswertet. Bei einer positiven „in Ordnung (i.O.)“ Entscheidung, greift ein weiterer Roboter das Produkt und belädt den Transportroboter damit. Wird das montierte Produkt jedoch von dem System als „nicht in Ordnung (n.i.O.)“ eingestuft, so wird dieses zur Montage transportiert und dort wieder demontiert. Der voll beladene Transportroboter soll zukünftig automatisiert zur Endmontage am Standort des IWT fahren.

4 Methodik

Um einen effektiven und zuverlässigen digitalen Zwilling zu entwickeln, ist es von entscheidender Bedeutung, von Beginn an eine klare Methodik festzulegen. Diese definiert nicht nur den Rahmen, sondern bildet auch die Grundlage für die gesamte Entwicklung und Implementierung des digitalen Zwillings.

4.1 Anforderungen

Um den Rahmen dieses Projekts klar definieren zu können, sind alle Anforderungen zu sammeln und deren Umsetzung zu definieren. Hierbei sind für eine Vollständigkeit der Anforderungen neben den verpflichtenden Festforderungen (F) auch Wünsche (W) zu berücksichtigen. Während Festforderungen zwingend erfüllt werden müssen, sind Wünsche optional umzusetzen, ohne dabei eine Festforderung zu behindern oder Mehraufwand zu betreiben. [15]

Die nachfolgende Tabelle 1 enthält aufgelistet die zusammengetragenen Hauptanforderungen an den digitalen Zwilling:

Tabelle 1: Anforderungen an den digitalen Zwilling

Nr.	**Bereich**	**Kurzbeschreibung**
F1	Sicherheit	Mit allen Daten ist vertraulich umzugehen.
F2	Kompatibilität aller verwendeten Programme und Komponenten	Es ist im Voraus abzuklären, dass alle verwendeten Programme miteinander kompatibel sind. Ebenso müssen die im realen System verbauten Komponenten kompatibel mit den Programmen sein.
F3	Änderungsmöglichkeit	Die dreidimensionalen Modelle sind änderbar zu erstellen. Aufgrund der Weitergabe und Zusammenarbeit an verschiedene Gruppen.
F5	Aktualisierungsmanagement	Es ist zu gewährleisten, dass bei Änderungen das gesamte Modell aktualisiert wird und die Simulation dabei nicht ihre bestehenden Referenzen verliert
W1	Informationsrückführbarkeit	Die Herkunft und Art der Komponenten soll nachweisbar sein.
W2	Änderungsdokumentation	Übersichtliche und regelmäßige Archivierung der unterschiedlichen Änderungsstände.

Die erste Forderung ist alle Daten vertraulich zu behandeln. Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass alle verwendeten Programme miteinander kompatibel sind, sowie auch die im realen System verbauten Komponenten kompatibel mit den Programmen sein müssen. Des Weiteren ist das dreidimensionale Modell so aufzubauen, dass daran jederzeit und möglichst einfach Änderungen implementierbar sind. Dies muss auch nachfolgenden Studienarbeitsgruppen möglich sein. Eine weitere Forderung ist ein gutes Aktualisierungsmanagement. In dessen Rahmen ist zu gewährleisten, dass der Digitale Zwilling bei dem Einbringen von Änderungen im

Modell gesamtheitlich aktualisiert wird, ohne dass dabei für die Dynamisierung relevante Referenzen verloren gehen. Neben diesen nun erläuterten Festforderungen bestehen noch zwei zusätzliche Wunschanforderungen. Dies ist zum einen die Informationsrückführbarkeit. Hier soll durcheine entsprechende Dokumentation die Herkunft und die Komponenteneigenschaften nachweisbar sein. Der weitere Wunsch ist das Vorhandensein einer Änderungsdokumentation. Dies umfasst eine Übersichtliche und regelmäßige Archivierung der unterschiedlichen Änderungsstände, sodass jederzeit auch bereits veraltete Stände des Digitalen Zwillings abgerufen werden können.

4.2 Verwendete Programme

Für die Methodik elementar ist die Auswahl der verwendeten Programme und Tools, welche für die Erstellung des digitalen Zwillings verwendet werden. Dies beinhaltet die Modellierungssoftware, sowie die Software zur Simulation, Datenintegration und Analyse. Ziel hierbei ist eine derartige Auswahl zu treffen, sodass eine nahtlose Interaktion, ein gut funktionierendes Änderungsmanagement und die Erfüllung aller Anforderungen gewährleistet ist. Aufgrund der bestehenden Hardware, welche der Zukunftsfabrik zur Verfügung gestellt ist, sowie der geleisteten Vorarbeit, wurde sich bereits auf die Modellierungssoftware Siemens NX 1980 sowie dem Erweiterungsmodul MCD (Mechatronic Concept Designer) festgelegt. Da als Steuerung des Produktionsnetzwerks eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) von Siemens zum Einsatz kommt und auch die Schnittstelle zwischen SPS und digitalem Zwilling simuliert werden soll, wird zudem für die Simulation mit dem Programm SIMATIC S7-PLCSIM Advanced und TIA Portal V18 gearbeitet. Anbei sollen hier die verwendeten Programme kurz erläutert werden.

<u>Siemens NX Mechatronics Concept Designer (MCD):</u>

Der Mechatronics Concept Designer ist ein Zusatzmodul für die Software Siemens NX und verfügt über eine “Physik-Engine”, welche es ermöglicht, dem CAD-Modell physikalische und kinematische Merkmale hinzuzufügen. Aus dem statischen CAD-Modell lässt sich somit ein dynamisiertes Modell erstellen. In diesem Fall lässt sich das Modell somit zu einem vollständigen digitalen Zwilling erweitern. Zudem kann das Modell mit Sensoren und Aktuatoren bestückt werden und die entsprechenden Signale zur Steuerung dieser können zugewiesen werden. Durch Sequenzinformationen von Prozessen oder Bewegungsabläufen kann schließlich die

Interaktion von Mechanik, Elektronik und Automatisierung überprüft werden. Außerdem können alle zuvor genannten Eigenschaften durch eine integrierte Simulation direkt getestet werden, um Schwachstellen im erstellten Design zu identifizieren, bevor die tatsächliche Produktion des Modells beginnt.

SIMATIC S7-PLCSIM Advanced:

Wie bereits erwähnt, übernimmt die Steuerung des Produktionsnetzwerks eine SPS von Siemens, genauer ein S7-1500 Controller. Das Tool SIMATIC S7-PLCSIM Advanced dient zur Erstellung und Inbetriebnahme eines virtuellen Controllers. Durch den Einsatz des virtuellen Controllers entfällt die Notwendigkeit einer realen SPS, sodass die Inbetriebnahme vollständig auf der Softwareseite erfolgen kann. Die gesamte Konfiguration erfolgt über die Software TIA Portal, womit sich das SPS-Programm auf den virtuellen Controller laden lässt, um im weiteren Verlauf den Programmablauf zu simulieren. Zusätzlich zum geladenen SPS-Programm stehen weitere Controllerfunktionen für die Simulation zur Verfügung, wie der Webserver, der OPC UA Server und weitere S7-Kommunikationen, um auch die Schnittstellen zu anderen Geräten oder Programmen simulieren zu können. Dies ermöglicht ein frühzeitiges Testen der Controller-Software ohne Hardware, was die Nachbearbeitungszeit bei der Inbetriebnahme reduziert.

4.3 Schnittstellen

Ein weiterer entscheidender Aspekt, welchen es im Rahmen der Methodik festzulegen gilt, ist die Definition der Schnittstellen. Diese dienen als Verbindungselemente zwischen den einzelnen Komponenten des digitalen Zwillings. Sie ermöglichen den Daten- und Informationsaustausch in Echtzeit. Für eine dahingehende reibungslose Kommunikation zwischen den einzelnen Systemen, gilt es diese klar zu definieren und standardisieren. Hierbei muss man klar zwischen allgemeinen und speziellen technischen Schnittstellen unterscheiden. An dieser Stelle wird sich auf die allgemeinen Schnittstellen in diesem Projekt bezogen. Detaillierte Festlegungen zu technischen Schnittstellen, beispielsweise die exakte Art und Eigenschaft eines zu übertragenden Signals von einem Sender zum Empfänger, werden dann im Rahmen der Umsetzung an geeigneter Stelle festgelegt und dokumentiert. Die allgemein festgelegten Schnittstellen finden sich im Folgenden aufgelistet und erläutert.

Kommunikation zwischen den verschiedenen Parteien:

Es wurde festgelegt, dass bei konstruktiven Änderungen der realen Anlage das jeweilige Team umgehend das Team des digitalen Zwillings über das Kommunikationstool Slack informiert und ihnen die neuen CAD-Daten, bei Kaufteilen das Datenblatt, sowie eine kurze Textbeschreibung über die Hintergründe der Änderung zukommen lässt. Des Weiteren hat sich im Laufe der Zeit das Kommunikationsmittel WhatsApp aufgetan. Hier wurde eine sogenannte Community „Zukunftsfabrik Bodensee“ erstellt, in welcher sich alle beteiligten Studenten befinden. Deren Struktur ist in folgender Abbildung 4.1 aufgezeigt.



Abbildung 4.1: WhatsApp Community "Zukunftsfabrik PTZ"

Im Bereich „Ankündigungen“ werden wichtige, allgemeine Informationen veröffentlicht, beispielsweise Termine für Treffen im PTZ. In der Gruppe „Studienarbeiten im PTZ“ befinden sich alle Studenten laufender Studienarbeiten. Es existieren zusätzlich weitere Gruppen je Studienarbeit, welche mit deren zugewiesener Nummer gekennzeichnet sind. Diese Studienarbeitsgruppe ist demnach als „#2 Digitaler Zwilling“ benannt. In diesen befinden lediglich die jeweilig an dieser Studienarbeit verantwortlichen Mitglieder. Sobald nun eine Gruppe Kommunikation zu eine anderen benötigt, kann dies in die jeweilige Gruppe geschrieben, und so direkt mit allen

Beteiligten geklärt werden. Sobald das Anliegen beendet ist, verlassen die Mitglieder der fremden Studienarbeit wieder diese Gruppe.

Allgemeine Datenablage

Die allgemeine Datenablage in der Gruppe des Digitalen Zwillings erfolgt über die Oberfläche „bwSync&Share“. Hierbei kann über einen Link von jedem Gerät aus auf eine Ordnerstruktur zugegriffen werden. Diese ist, wie in Abbildung 4.2 gezeigt, aufgebaut.

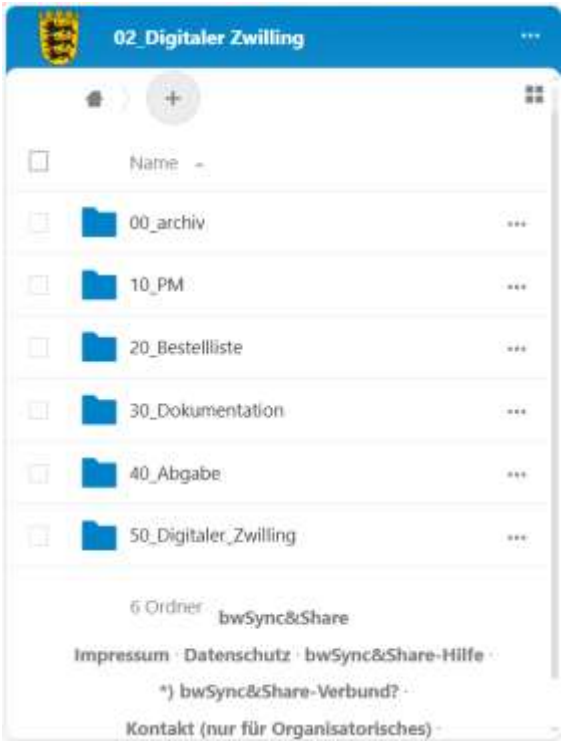


Abbildung 4.2: Ordnerstruktur bwSync&Share

Der Bereich „00_archiv“ enthält alle von der vorherigen Studienarbeit übergebenen Daten. Der Ordner „10_PM“ dient zur Ablage von Dateien zum Projektmanagement. Hier befindet sich beispielsweise der Zeitplan zur Organisation und Durchführung dieser Studienarbeit. Wie sich bereits aus dem Name ableiten lässt, enthält „20_Bestelliste“ die Kaufteile mit deren Modellen und Datenblättern. Unter „30_Dokumentation“ wurde die Ausarbeitung mit den dazugehörigen Bilddateien gesichert. Alle seitens DHBW erforderlichen Abgabedokumente bezogen auf die Studienarbeit sind unter „40_Abgabe“ zu finden. Der Digitale Zwilling selbst liegt in Form von CAD-Dateien im Ordner „50_Digitaler_Zwilling“.

Nun wird der Ordner „50_Digitaler_Zwilling“ näher betrachtet. Hier sind in den jeweilig datierten Ständen nicht einfach alle dreidimensionalen Modelle ungeordnet hineingeladen, sondern ist hier eine weitere Struktur angelegt. Diese ist in Abbildung 4.3 dargestellt.

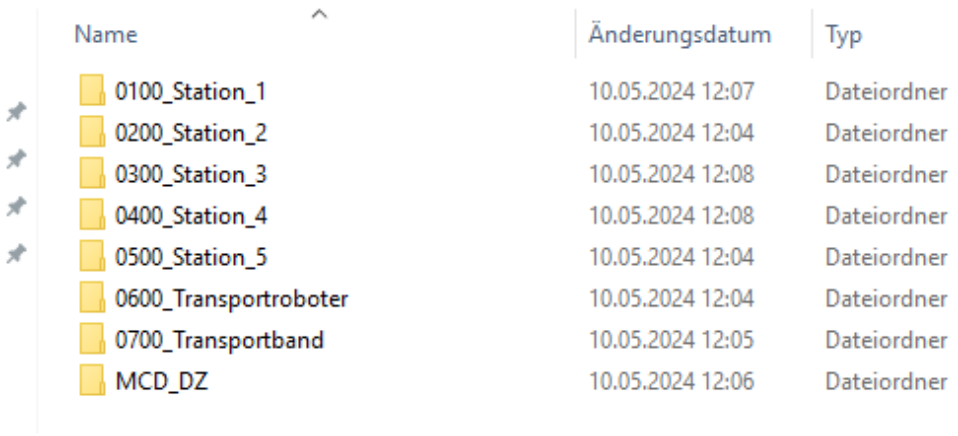
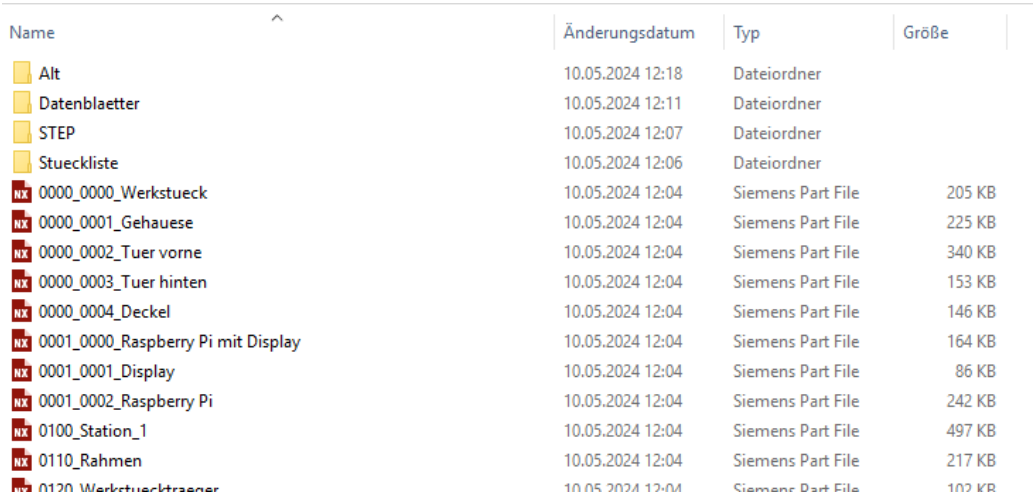


Abbildung 4.3:Struktur der Modellablage in „50_Digitaler_Zwilling“

In dem Ordner „MCD_DZ“ befindet sich die große Baugruppe des gesamten Digitalen Zwillings. Darüber sind die einzelnen Stationen in separaten Ordnern abgelegt. Die Baugruppe MCD_DZ lädt immer automatisch die aktuelle Version aller Stationsordner. Durch diese räumliche Teilung der Einzelstationen und der Gesamtbaugruppe können ohne eine gegenseitige Behinderung oder Einschränkung, gleichzeitig konstruktive Änderungen, als auch simulative Änderungen an dem Digitalen Zwilling vorgenommen werden. Dafür werden konstruktive Themen in den Einzelstationen, und Simulatives in der Gesamtbaugruppe durchgeführt. Dieses Vorgehen gewährleistet das Vermeiden von Datenverlusten an den Modellen oder an der Dynamisierung, hier muss lediglich im Fall einer Umbenennung von Dateien gesamtheitlich vorgegangen werden.

In den jeweiligen Stationsordnern sind der Vollständigkeit halber noch die Ordner „Alt“ für veraltete Bauteile, die nicht mehr in der Konstruktion verwendet werden, „Stückliste“ mit der dazugehörigen Stückliste, „Datenblätter“ für deren Aufbewahrung der Kaufteile. Dies ist in Abbildung 4.4 gezeigt.



Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
Alt	10.05.2024 12:18	Dateiordner	
Datenblaetter	10.05.2024 12:11	Dateiordner	
STEP	10.05.2024 12:07	Dateiordner	
Stueckliste	10.05.2024 12:06	Dateiordner	
0000_0000_Werkstueck	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	205 KB
0000_0001_Gehauese	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	225 KB
0000_0002_Tuer vorne	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	340 KB
0000_0003_Tuer hinten	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	153 KB
0000_0004_Deckel	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	146 KB
0001_0000_Raspberry Pi mit Display	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	164 KB
0001_0001_Display	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	86 KB
0001_0002_Raspberry Pi	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	242 KB
0100_Station_1	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	497 KB
0110_Rahmen	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	217 KB
0120_Werkstuecktraeger	10.05.2024 12:04	Siemens Part File	102 KB

Abbildung 4.4: Ordnerstruktur der Stationsbaugruppen

Schnittstelle zwischen dem CAD-Modell und dem Simulationstool:

Bereits beim Aufbau des CAD-Modells werden die jeweiligen Freiheitsgrade der Elemente definiert. Ebenso werden Materialeigenschaften hinterlegt und Abhängigkeiten zu den umliegenden Körpern festgelegt. So können in der Simulation realistische Bewegungen bezüglich beispielsweise Gewichtskraft, Bewegungsfreiheit und Trägheit erstellt und simuliert werden.

Schnittstelle zwischen dem digitalen Zwilling und der SPS:

Zur Simulation des Prozessablaufs des Produktionsnetzwerks besteht außerdem eine Schnittstelle zwischen dem digitalen Zwilling und der (virtuellen) SPS. Hierbei werden Daten in Form von Ein- und Ausgangssignalen übertragen, wie sie auch an der realen Anlage vorzufinden sind.

5 Ziel

Das Hauptziel ist die Entwicklung eines digitalen Zwillings, um Simulationen, am sich immer weiterentwickelnden Produktionsnetzwerk, durchführen zu können. Dabei fokussiert sich diese Studienarbeit auf die Umsetzung des digitalen Zwillings als dreidimensionales Modell und dessen Simulation. Hierfür lässt sich dieses Ziel grob in mehrere aufeinanderfolgende Etappen gliedern:

Aktueller Stand des dreidimensionalen Modells:

Das bereits bestehende dreidimensionale Modell ist intensiv zu analysieren und zu bewerten. Auf Basis dieser Beurteilung ist ein mit dem aktuellen Stand des realen Produktionsnetzwerkes übereinstimmendes, digitales Modell zu erstellen. Hierbei ist eine hohe Änderungsfreundlichkeit gewünscht.

Aufnahme neuer Änderungen im dreidimensionalen Modell:

Die während des Zeitraums dieser Studienarbeit erzielten Optimierungen und Ergänzungen anderer Gruppen, sind in das aktuelle Modell einzubringen. Dies soll mit möglichst geringem Änderungsaufwand umgesetzt werden können, sowie einheitlich erfolgen.

Simulation des aktuellen dreidimensionalen Modells:

Nachdem im ersten Teil dieser Studienarbeit grundlegende Erfahrungen über die Simulation anhand des veralteten Modells gesammelt wurden, ist nun das aktuelle Modell mit der Simulation zu versehen, was ebenso die Dynamisierung, Schnittstellendefinition und Kommunikation zur virtuellen SPS ermöglicht.

Simulation von Erweiterungen / Umbauten:

Mithilfe des digitalen Zwillings sollen zudem zukünftige Erweiterungen/Umbauten am Produktionsnetzwerk bereits vor der Umsetzung simuliert und optimiert werden können. Hierfür werden Simulationen, in Absprache mit den anderen Gruppen, entwickelt.

Schnittstelle zu realer SPS:

Zuletzt soll eine Schnittstelle zur realen SPS entwickelt werden, um die Abläufe des realen Produktionsnetzwerk auch nebenbei, in Echtzeit, am digitalen Zwilling verfolgen zu können.

6 Umsetzung

6.1 Zeitschiene

Da mehrere Gruppen im identischen Zeitraum an dem Produktionsnetzwerk arbeiten, sind thematische Überschneidungen und gegenseitige Abhängigkeiten nicht zu vermeiden. Daher wird in diesem Unterkapitel eine zeitliche und thematische Planung definiert. Der Übersicht halber ist diese in Form eines Gantt-Diagrammes in Abbildung 6.1 dargestellt.

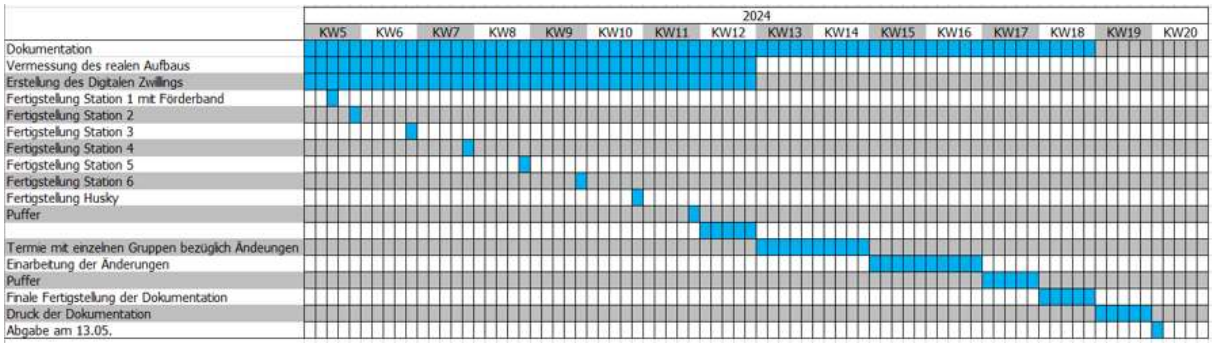


Abbildung 6.1: Gantt-Diagramm

Die horizontale Achse zeigt den Bearbeitungszeitraum von Kalenderwoche (KW) 5 bis 20. Vertikal sind die Themenbereiche aufgelistet, deren Bearbeitungszeiträume blau eingefärbt sind. Die reine Zeitspanne zur Bearbeitung der Aufgabe erstreckt sich von KW5 bis KW18, über welchen sich auch kontinuierlich die schriftliche Dokumentation zieht. In KW19 wird die Studienarbeit gedruckt und gebunden, da am 13.05.2024 die Abgabefrist endet. Betrachtet man den Bearbeitungszeitraum genauer, so wird bis Kalenderwoche 12 der reale Aufbau vermessen und der digitale Zwilling dreidimensional aufgebaut. Dieser Aufbau erfolgt im einwöchigen Takt mit der Fertigstellung von jeweils einer Station. An dessen Ende ist ein einwöchiger Puffer einrechnet, sodass bei unerwarteten zeitlichen Ungereimtheiten dennoch genügend Zeit ist. Darauf folgen zwei Wochen, in welchen Abstimmungen mit den anderen Gruppen über deren Änderungen am realen Produktionsnetzwerk, stattfinden. Diese können dann in KW15 und KW16 eingearbeitet werden, wobei KW17 ebenso wieder als Puffer bereitsteht. Anschließend erfolgt die finale Fertigstellung der Dokumentation. Dieser Zeitplan wurde für alle anderen Gruppen zugänglich gemacht, sodass diese informiert sind und ihre Zeitpläne mit diesem abstimmen können.

6.2 Analyse des bestehenden Modells

Wie bereits im Vorherigen erläutert, kann der Benutzer anhand des bestehenden Modells bereits einen ungefähren räumlichen Eindruck des Produktionsbandes und der daran angebundenen einzelnen Stationen gewinnen. Die bisherige existierende CAD-Baugruppe ist jedoch unübersichtlich und weist in keiner Weise eine Dateienstruktur oder einheitliche Benennung auf. Ein Ausschnitt dessen Strukturbaumes in Abbildung 6.2 dargestellt.

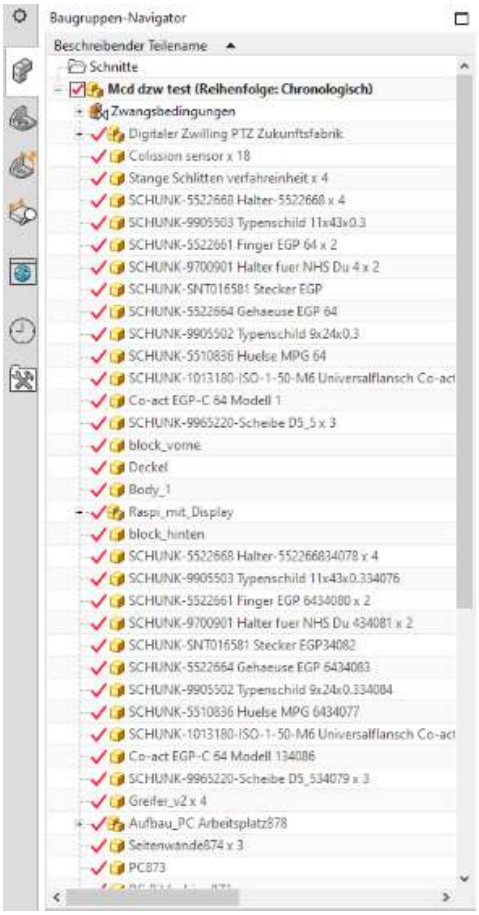


Abbildung 6.2: Strukturbaum des alten Modells

Man erkennt hier keine einheitliche Struktur von einzelnen Stationsbaugruppen oder andere Untergliederungsstrukturen. Es sind zahlreiche mit „Schunk“ beginnende Dateien enthalten, welche auf Bauteile des gleichnamigen Herstellers schließen lassen. Dagegen sind andere Komponenten lediglich mit allgemeinen Worten benannt, beispielsweise „Deckel“, „Body_1“ oder auch „block_vorne“. Diese lassen sich weder als Kauf- oder Eigenteil zuordnen und auf ihre Position oder Anwendung

in der Anlage ist nicht zu schließen. Dies erschwert, beziehungsweise verhindert sogar teilweise, das Nachvollziehen der Herkunft der Komponenten.

Des Weiteren sind bei Stichprobentests falsche Maße enthalten, beispielsweise entspricht die digitale Tischplattenhöhe, ein elementares Maß, nicht dem Wert im realen Aufbau. Der wohl schwerwiegendste negative Aspekt ist die nicht vorhandene Änderungsmöglichkeit. Dies zeigt beispielhaft Abbildung 6.3.

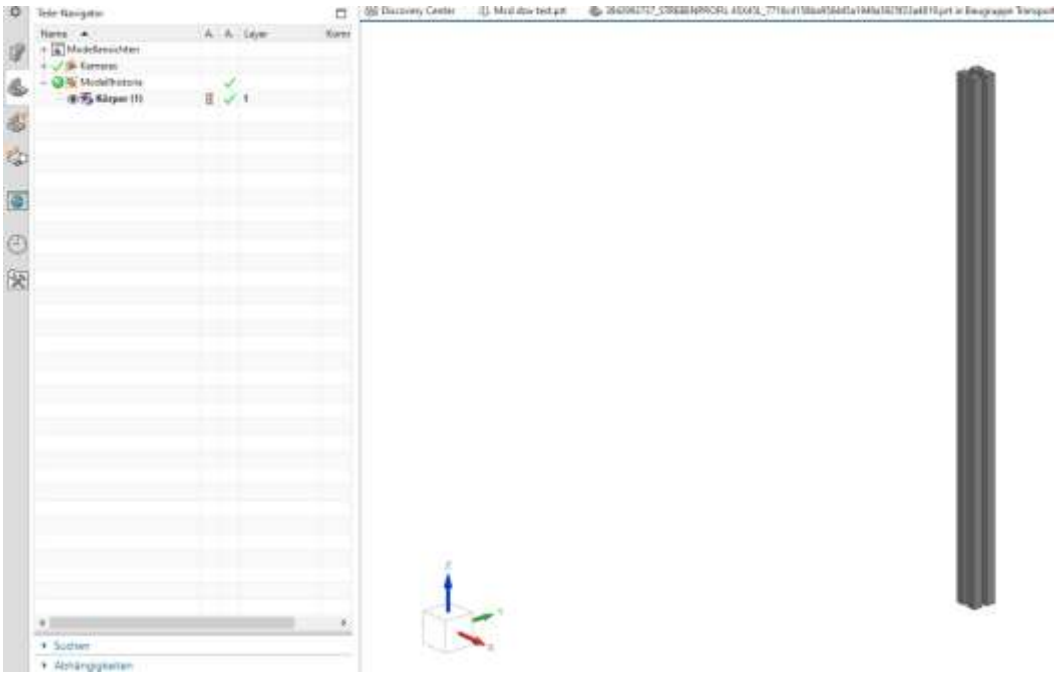


Abbildung 6.3: Nicht zu bearbeitendes Bauteil

Aus dem Teilenavigator dieses Bauteils ist herauszulesen, dass lediglich ein Körper darin enthalten ist. Hier gibt es keine Skizzen, Extrusionen, Maße, Abhängigkeiten, Zwangsbedingungen oder andere anpassbare Parameter. Damit sind seine Eigenschaften und seine Gestalt unveränderbar. Dies beruht auf dem Dateiformat dieser Einzelkomponenten. Diese wurden als sogenannte STEP-Datei importiert, was für „**St**andard for the **E**xchange of **P**roduct model data“ steht. Sie folgt einer Norm des Deutschen Institutes für Normung (DIN) mit der Bezeichnung DIN10303. Eine STEP-Datei enthält Informationen über Toleranzen, Materialeigenschaften, Texturen, Materialarten und Topologien des Modells. [16] Mithilfe dieses Formates können Informationen zu Fertigprodukten ausgetauscht werden, wenn diese beispielsweise in unterschiedlichen CAD-Programmen entstanden sind. [17] Im Gegensatz zu dem originalen Dateiformat eines in Siemens NX erstellten Teils, einer „Siemens part file“ (.prt), sind in einer STEP-Datei keine Untergruppen, wie Skizzen mit deren

Bemaßungsparametern, oder Abhängigkeiten enthalten. An die originalen, parametrisierten Dateien ist aufgrund von mangelnder Dokumentation der Vorgängergruppe nicht mehr zu gelangen. Bei einer persönlichen Kontaktaufnahme zu Mitgliedern des vorherigen Teams ist ebenso kein weiteres Material zur Verfügung gestellt worden. Zudem besitzen zahlreiche bereits vorhandene, nicht anpassbare Modelle, falsche Maße. Aufgrund der Gesamtheit dieser Mängel wurde in Absprache mit allen relevanten Parteien beschlossen, eine von Grund auf neue und allgemein gültige Methodik zu erstellen und darauf basierend ein neues, änderungsfreundliches Modell mit dazugehörigen Dateien zur Dokumentation aufzubauen.

Dies hat elementare Folgen auf die Simulation. Deren Referenzen basieren nämlich auf dem CAD-Modell. Da die Umsetzung der Simulation auf der Zeitschiene weitgehend parallel zu der Verbesserung des Modells erfolgen soll, wurde folgende Vorgehensweise festgelegt: Die Einarbeitung in die Simulationstools und erste Implementierungen finden anhand des alten Modells statt. Die finale und gesamtheitliche Simulation wird dann zu einem späteren Punkt in der Zeitschiene im neuen Modell umgesetzt und auf dieses referenziert. Dies kann dann aber aufgrund der intensiven Vorarbeit in kürzerer Zeit erfolgen.

Aufgrund dessen wird im Folgenden eine von Grund auf neue Baugruppe erstellt, welche übersichtlich und änderungsfreundlich geführt wird.

6.3 Struktur des CAD-Modells

Die Organisation einer CAD-Baugruppe spielt eine elementare Rolle in der Schaffung eines effizienten Konstruktionsprozesses. Ein angemessenes Anordnen und Strukturieren von Baugruppenelementen trägt maßgeblich dazu bei. Dies sollte auf einer hierarchischen Struktur, also eine Unterteilung der Baugruppe in Subbaugruppen und Einzelteile basieren. Hierbei werden die Elemente logisch und funktional angeordnet, sodass diese zu jedem Konstruktionszeitpunkt eindeutig identifiziert, einfach bearbeitet und verwaltet werden können.

Des Weiteren sind eine klare und konsistente Benennung der Bauteile, sowie eine detaillierte Dokumentation von entscheidender Bedeutung. Dafür wird direkt zu Beginn eine standardisierte Benennung eingeführt und durch den gesamten Konstruktions- und Änderungsprozess angewandt. Zusätzlich ist eine ständige und

umfassende Dokumentation über alle Einzelkomponenten und Änderungen zu gewährleisten. Dies ermöglicht die Nachvollziehbarkeit jedes Musterstandes und jeder Änderung im Laufe der Entwicklung. Es folgt eine Erläuterung des festgelegten Benennungsschemas, wie in Abbildung 6.4 umgesetzt.

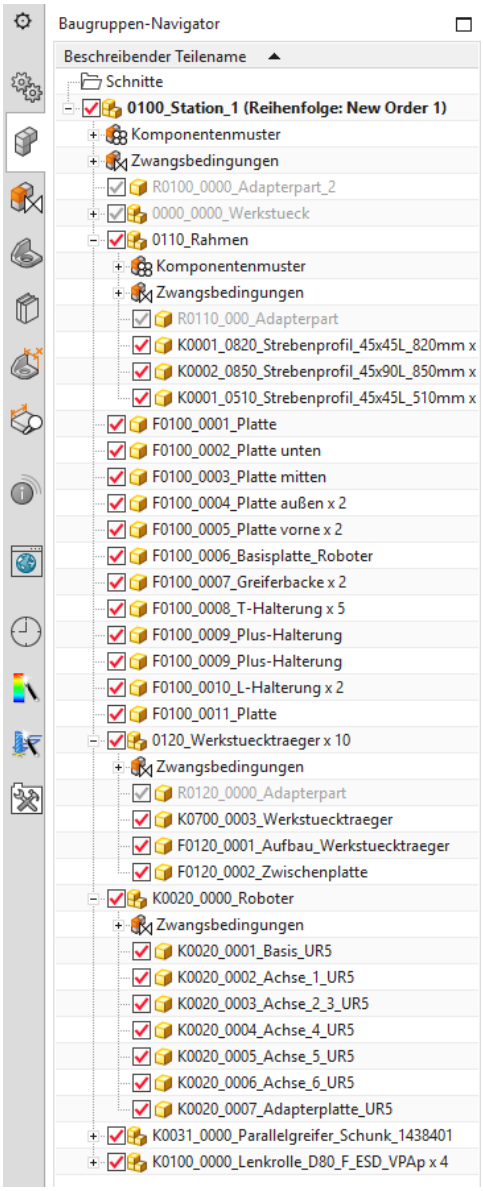


Abbildung 6.4: Benennungssystematik anhand des Beispiels der Station 1

Grundlegend wird das Gesamtsystem in Hauptgruppen eingeteilt. Diese stellen die fünf Stationen und das Förderband dar. Diese sind mit einer vierstelligen Nummer zu identifizieren, wobei mithilfe der ersten beiden Ziffern aufwärts gezählt wird. Daraus ergeben sich die Nummern 0100 bis 9900. Dieser Zahlenkombination folgt die Bezeichnung der Hauptgruppe in Worten. Beispielhaft ergibt sich so für Station 1 die Benennung:

Hauptbaugruppe: 0100_Station_1

Als nächst kleinere Untergliederung gibt es die Unterbaugruppen. Diese stellen die elementaren Komponentenbaugruppen der jeweiligen Hauptgruppen dar. Zu deren Erkennung dient die dritte Stelle der oben eingeführten vierstelligen Zahlenfolge. Innerhalb der ersten Baugruppe ergibt sich so eine Zahlenrange von 0110 bis 0190. Die zweite Hauptgruppe besitzt dann die neun möglichen Untergruppen 0210 bis 0290.

Unterbaugruppe: 0110_Rahmen

Bestehen diese Untergruppen wiederum aus einzelnen Komponenten, so sind diese nach demselben Schema mit der vierten Zahlenfolgenstelle zu bezeichnen:

Teilbaugruppe: 0111_Winkelverbinder

Nachdem nun die Gliederung des Gesamtsystems und deren Benennung detailliert beschrieben wurde, folgt nun eine nähere Erläuterung im Bereich der Bauteilerstellung selbst. Hierbei wurde unter Berücksichtigung der Änderungsfreundlichkeit und Übersichtlichkeit mit Hilfsebenen gearbeitet. Die Erstellung von Adapterteilen ermöglicht eine einheitlich geregelte und änderungsfreundliche Positionierung aller Baugruppenkomponenten. Näher betrachtet sind dies Referenzen enthaltende Dateien, die wie eine Art Skelett aus elementaren Abmessungen fungieren. Hier sind wichtige Maße in Form von Ebenen enthalten, beispielsweise die Tischhöhe der ersten Station. Im obigen Strukturbaum sieht man hier als Beispiel das Adapterteil R0100_0000_Adapterpart_2.

Des Weiteren ist in dem gezeigten Strukturbaum eine Komponente mit der Bezeichnung 0000_0000_Werkstück eingebaut. Diese 000_000-Bauteile stellen jeweils ein Beispielteil aus einem Vorrat dieser Teileart dar. Diese gehören nicht zu dem festen Grundaufbau des Produktionssystems, sondern sind sich frei bewegende Komponenten, die alle Stationen durchlaufen, und sind daher für die Simulation vorhanden. In diesem Fall handelt es sich um das Werkstück des Produktionsnetzwerkes, also das Gehäuse des Raspberry-Pi. Dieses ist im Transportroboter eingebaut, jedoch ausgeblendet, und dient hier als Vorrat, der von den Robotern immer wieder gegriffen werden kann. Ein weiteres Beispiel hierfür sind die Bolzen, welche auch Teile des gefertigten Produktes darstellen.

Während Referenzteile in ihrer Benennung mit einem vorangestellten R gekennzeichnet sind, besitzen Fertigteile ein F und Kaufteile ein K als Präfix.

Im Folgenden wird der Aufbau anhand der ersten Station einmal detailliert erläutert. Begonnen wird mit dem Adapterteil für den Rahmen des Wagens. Dieses ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

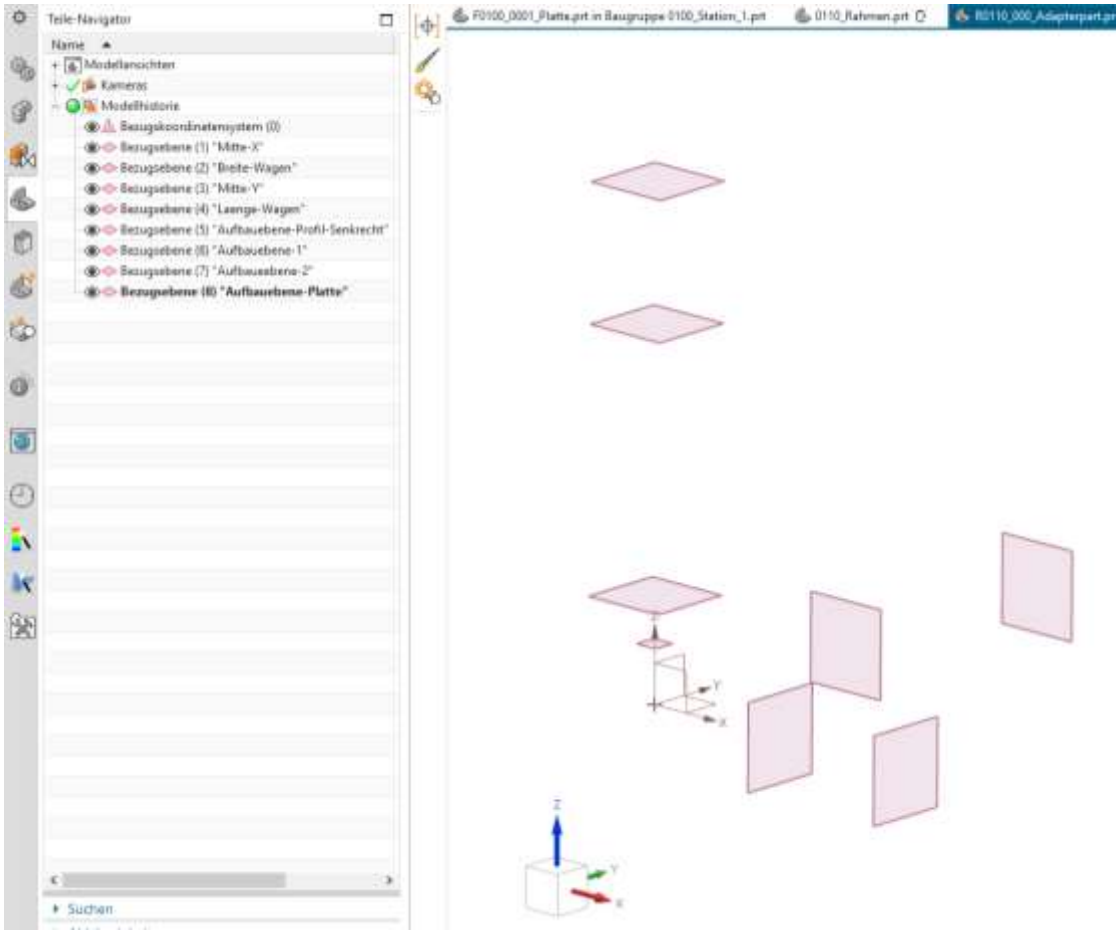


Abbildung 6.5: Referenzbauteil der ersten Station

Man erkennt in diesem Adapterteil die acht Ebenen der jeweils wichtigsten Maße des Rahmens für den Wagen der ersten Station. Diese sind die Breite des Wagens, die Länge des Wagens, deren jeweilige Mitten, die Aufbauebene des senkrechten Profils, die Aufbauebene der Platte, sowie zwei weitere Ebenen für Aufbauten.

Als nächst höhere Instanz wird der Rahmen des Wagens aufgebaut. Hierfür ist das Adapterteil in diese Baugruppe eingefügt. Nach und nach wird nun der Rahmen aus durch das Einfügen der Profile erbaut. Hierbei sind deren Einbaureferenzen auf die Ebenen des Adapterteils gelegt. Das Ergebnis ist in der folgenden Grafik 6.6 gezeigt.

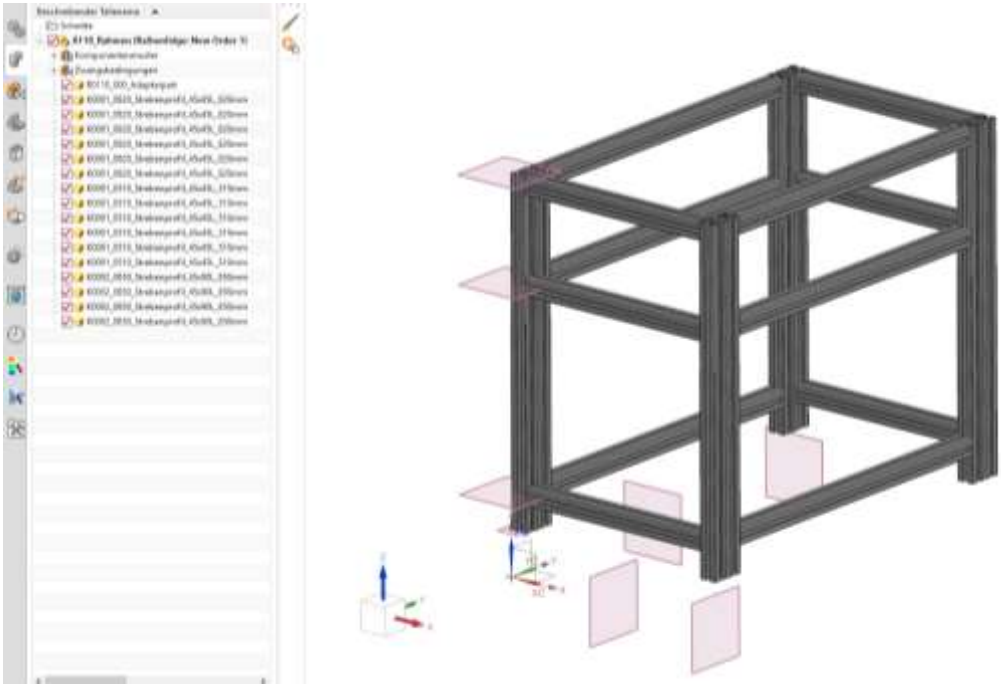


Abbildung 6.6: Rahmenbaugruppe Station 1

So passt sich bei Änderungen an der Position dieser Ebenen das gesamte Modell immer automatisch an. Dieser Rahmen wird nun als Unterbaugruppe in die gesamte erste Station eingefügt. Hier muss er, wie auch die anderen Unterbaugruppen, nur noch auf sein Standardkoordinatensystem in die Station eingefügt werden. Es ergibt sich so folgende Abbildung 6.7.

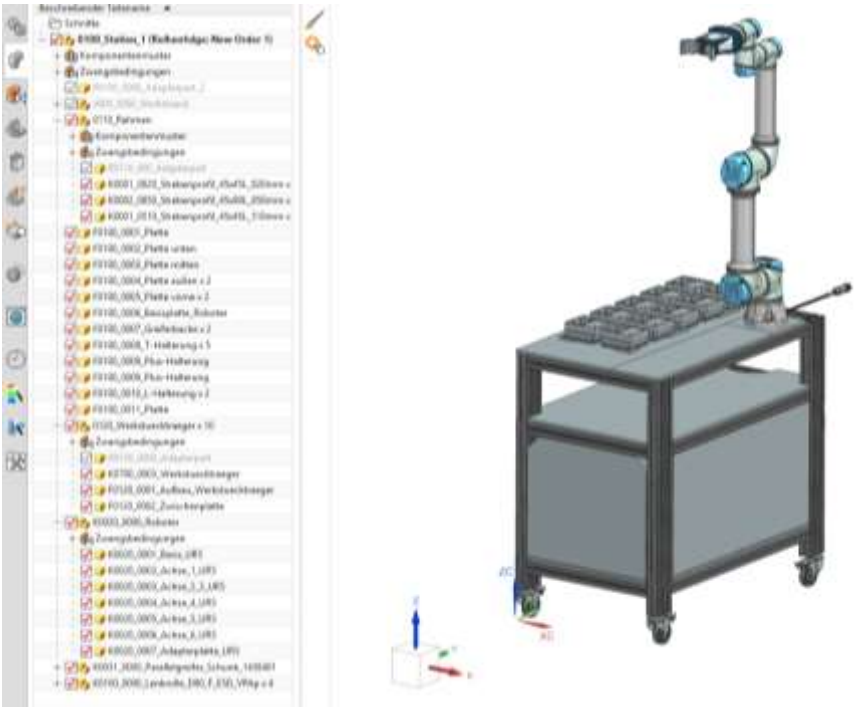


Abbildung 6.7: Station 1 gesamt

Darüber hinaus bestehen weitere Bezüge der Baugruppe zu den Adapterebenen. Dies ist beispielsweise bei den Tischplatten der Fall. Deren Konturen sind bereits in ihrer Skizze mithilfe von Zwangsbedingungen auf die entsprechenden Ebenen für Tischlänge und -breite referenziert. So passt sich die Größe der Tischplatte automatisch den durch die Ebenen definierten Tischabmaßen an. Nach dem gleichem Schema sind auch die Profile bemaßt.

Der Aufbau der ersten Station ist an diesem Punkt abgeschlossen und der Aufbau wird in den gesamten Digitalen Zwilling integriert.

6.4 Umsetzung des aktuellen Modells

Die Umsetzung des dreidimensionalen Modells für den aktuellen Stand des Produktionssystems ist Station für Station durchgeführt.

Station 1

Begonnen wird mit Station 1, der Auflage der Komponenten. Diese erste Station, wie sie bereits im vorherigen Abschnitt in Abbildung 6.7 dargestellt ist, besteht grundlegend aus den Komponenten Rollenwagen, der Auflage der Werkstückträger und dem Roboter mit Greifer. Während die ersten beiden Modelle selbst aufgebaut

sind, existiert bereits ein dreidimensionales Modell des Roboters Universal Robots 5 (UR5) vom Hersteller, da der ein Kaufteil ist. Hier wurden an der Basis des Roboters, sowie an dessen Tool-center-points (TCP) Koordinatensysteme ergänzt. Im Greifer, einem Parallelgreifer Co-act-EGP-C von Schunk, wurde an der Adapterplatte als auch im Mittelpunkt der Greiferbacken eingefügt, welche im Zusammenbau referenziert werden. Die Greiferbacken sowie die Werkstückträger sind eines angefertigte 3D-Druck-Teile. Auf der Tischplatte befinden sich zehn Parkplätze für Werkstückträger. Dieser ist in Abbildung 6.8 gezeigt.

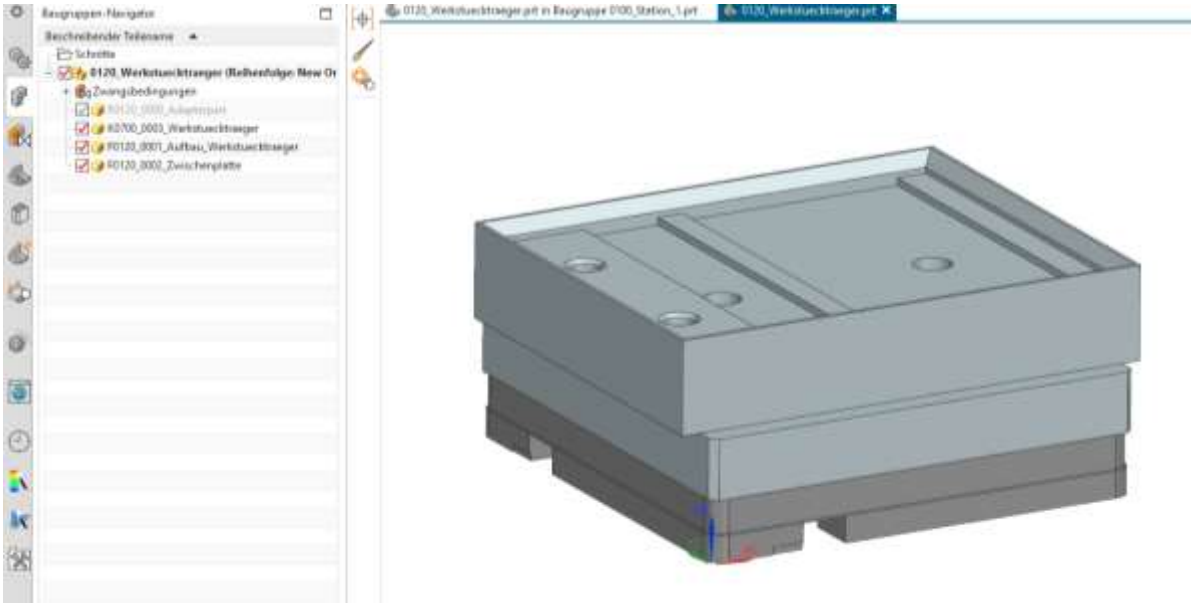


Abbildung 6.8: Baugruppe des Werkstückträgers

Der Werkstückträger besteht aus drei Einzelteilen: der Grundkörper, die Zwischenplatte und die Aufbauplatte, auf welcher das Werkstück später liegt. Aufgrund von Erprobungsversuchen des Demontageprozesses existieren für die Werkstückträger mehrere, sich leicht unterscheidenden Modelle. Diese waren zusätzlich nicht mehr aktuell, weshalb sie gänzlich ausgetauscht wurden. Des Weiteren gab es mit dem Team dieser Station eine intensive Abstimmung, in welche Dimensionen der Greifer bewegbar sein muss. Ebenso wurde in der Abstimmung das Konzept zur Lagerung der Teile auf dem Wagen definiert und parametrisiert. Auch die Anbindung an das Förderband, sowie die Positionierung des Transportroboters über Profile und einem Sensor waren im alten Digitalen Zwilling noch nicht vorhanden oder falsch umgesetzt, weshalb diese neu konstruiert wurden.

Montageband

Nun folgt das Modell des Montagebandes, im Folgenden auch als Förderband bezeichnet, zu sehen in Abbildung 6.9.

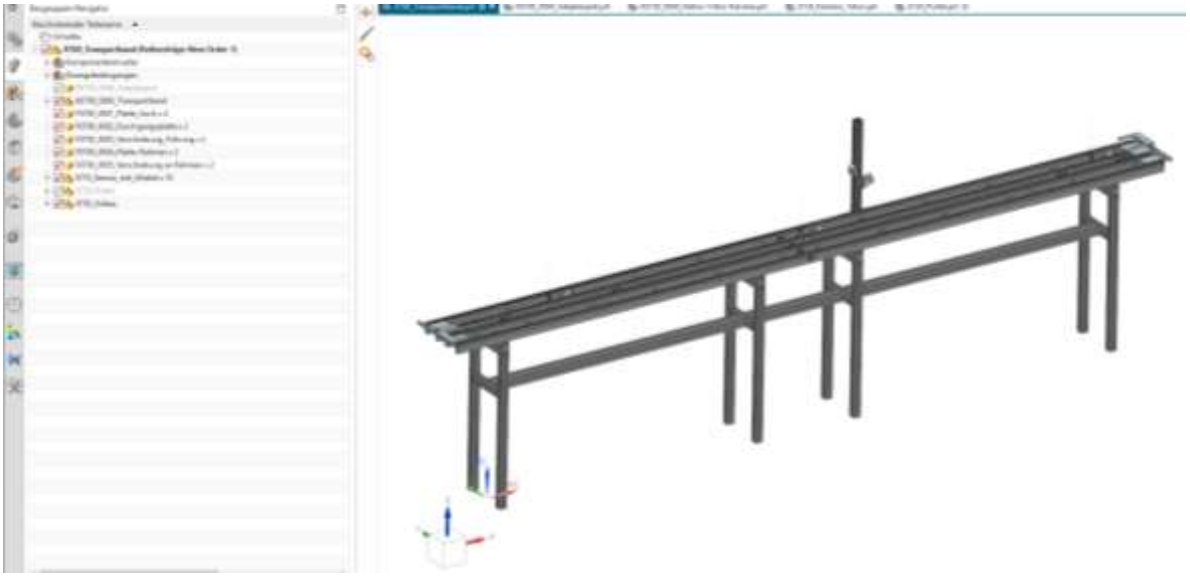


Abbildung 6.9: Dreidimensionales Modell des Montagebands

Das Grundgerüst des Förderbandes ist eine Schenkung der Firma Bosch Rexroth, weshalb dazu bereits herstellerseitig ein Modell zur Verfügung gestellt wurde. Dieses wiederum wurde im Rahmen dieser Arbeit ergänzt, beziehungsweise abgeändert. Um es im Digitalen Zwilling verwenden zu können, mussten teilweise Baugruppen mit ihren Einzelteilen, die aus einem Körper bestehen, so aufgebaut werden, damit sie beweglich werden. Dies war beispielsweise bei dem Stopper der Fall. Zum einen wurden bereits vorhandene Stopper, auch bekannt als Vereinzeler, entfernt und neue ergänzt. Ebenso sind neue Sensoren hinzugefügt und mittels Winkel befestigt worden. Dies ist in Abbildung 6.10 gezeigt.

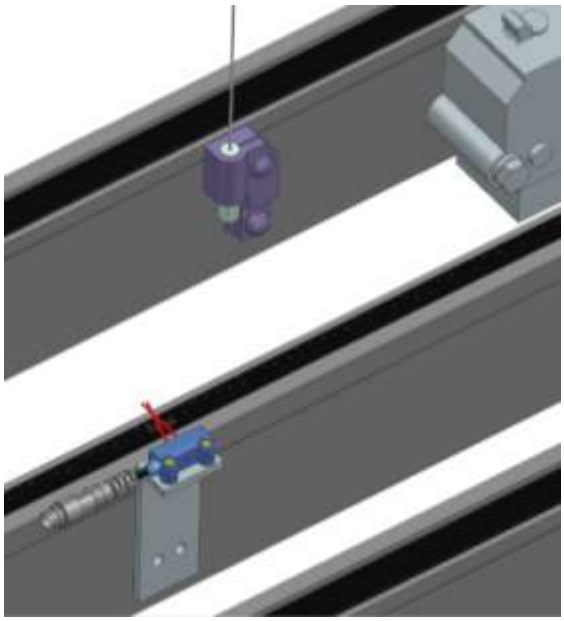


Abbildung 6.10: Sensoren am Transportband

Da diese am realen System bereits vorhanden sind, wurden deren Positionen ausgemessen und so im digitalen Zwilling angebracht. An den Sensoren befinden sich konstruierte Hilfslinien, um die jeweiligen Sensorstrahlen zu imitieren. Mithilfe dieser Sensoren wird im Produktionsprozess erkannt, ob sich die auf dem Band umherlaufenden Werkstückträger an der richtigen Position befinden. Für die Positionen der einzelnen Stationen um das Montageband herum wurden Adapterpart-Hilfsebenen eingefügt.

Der Umlegemechanismus wurde übernommen, aber in seiner Position und Geometrie genauer angepasst. Dies ist im folgenden Vergleich der aktuellen Realität, in Abbildung 6.11, und des digitalen Modells, in Abbildung 6.12, zu erkennen.

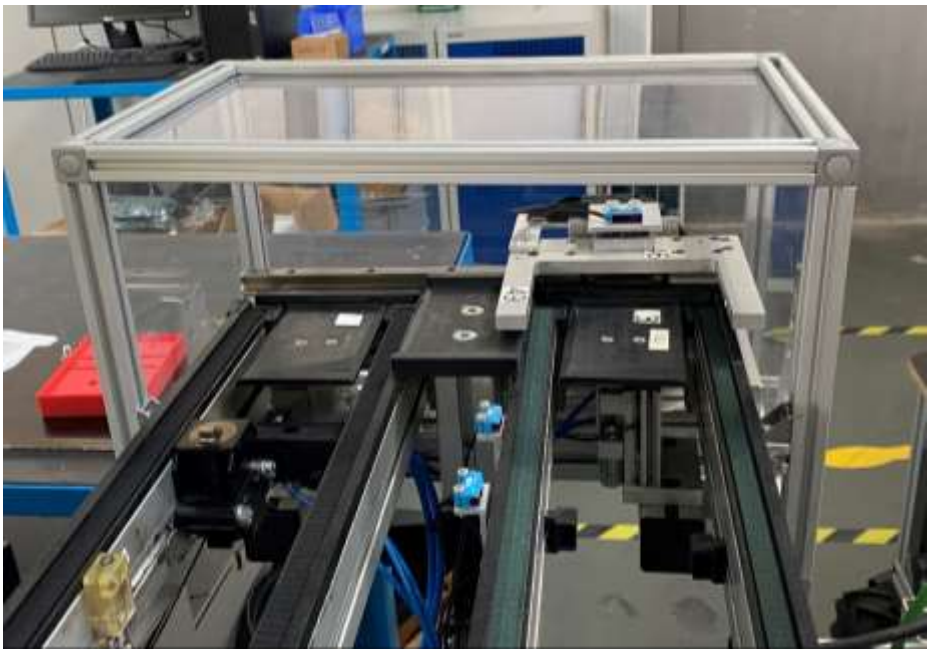


Abbildung 6.11: Aktueller realer Aufbau des Umlegemechanismus

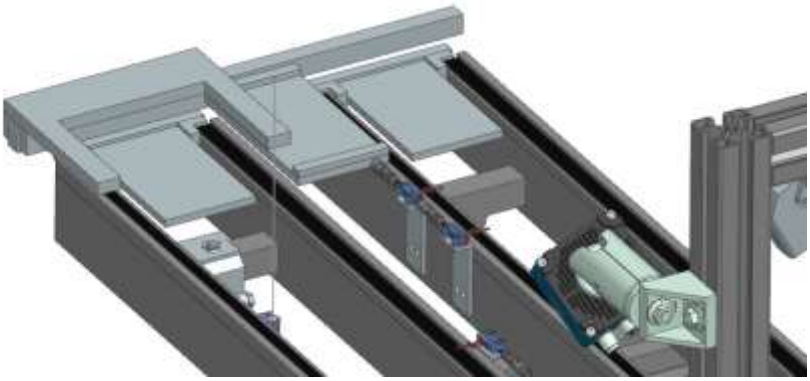


Abbildung 6.12: Modell des Umlegemechanismus

Hier sind alle für die Bewegung in der Simulation des Digitalen Zwillings notwendigen Details ausgearbeitet. Auch die aktuellen Sensoren, im Modell blau eingefärbt, sind eingefügt. Ebenso wurde dem Montageband in weiteren Schritten das Portal ergänzt. Dieses ist jedoch im Abschnitt der End-of-Line-Prüfung erläutert.

Im alten Digitalen Zwilling wurde eine Anbindung, auch als Galgen zu bezeichnen, aus Profilen gar nicht umgesetzt. Diese wurde ebenfalls ausgemessen, mit einem Barcodescanner ausgestattet und mithilfe eines Klemmstücks an das Profil befestigt.

Station 2

Als nächstes wurde die zweite Station, das Bin-Picking, dreidimensional aufgebaut.

Abbildung 6.13 zeigt die neu aufgebaute Bin-Picking-Station.

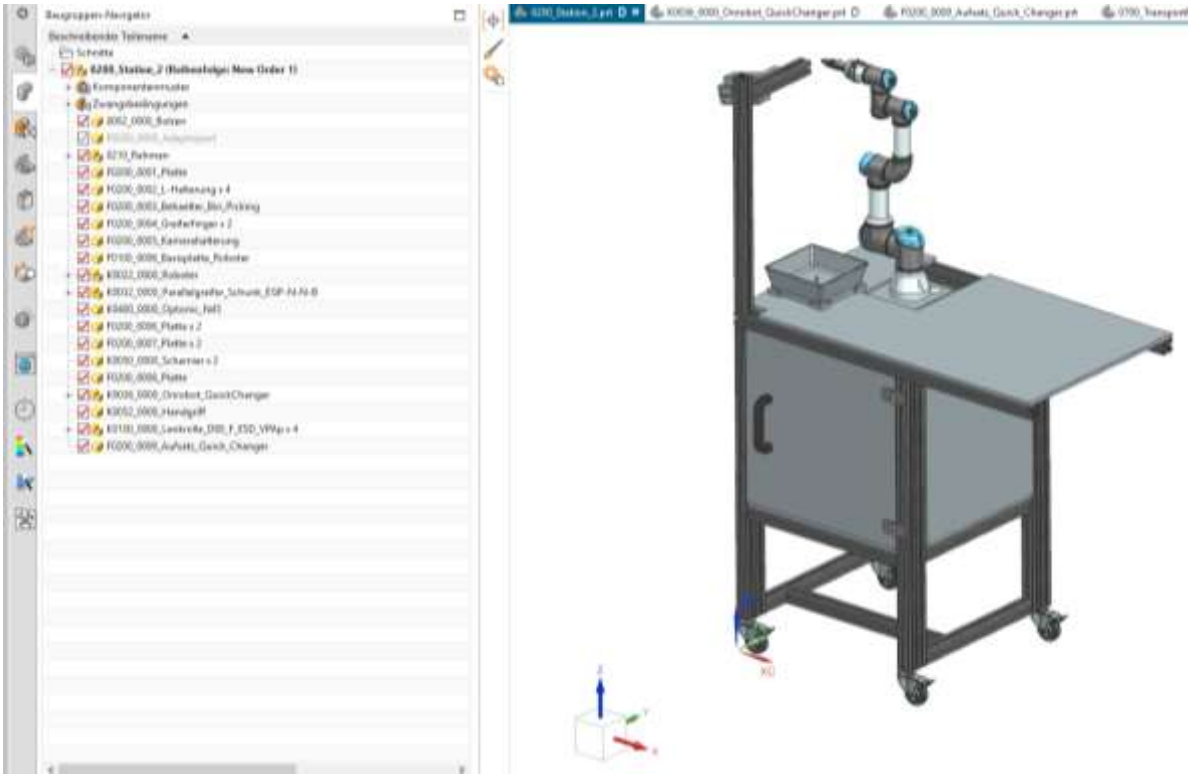


Abbildung 6.13: Dreidimensionales Modell der zweiten Station

Das Bin-Picking war im alten Modell zwar bereits CAD-technisch vorhanden, jedoch falsch bemaßt, nicht dynamisiert und wurde in der Animation des alten Digitalen Zwillings ausgelassen. Der Vollständigkeit und Richtigkeit halber wurde diese Station neu ausgemessen und konstruiert. Beispielsweise der Greifer und dessen Backen mit deren Aufnahme waren im alten Modell veraltet, weshalb sie im Neuaufbau ausgetauscht wurden. Da an dieser Station aktuell weitere, für diesen Anwendungszweck nicht relevante Messungen und Versuche stattfinden, erfolgte hier eine intensive Absprache mit Studienarbeitsgruppe. Es wurde exakt definiert welche Komponenten benötigt werden, sowie wie diese anzuordnen sind. Unter diesen Bauteilen befanden sich Winkel, die 3D gedruckt sind. Sie dienen zur Positionierung des Behälters für den Bolzenvorrat auf der Tischplatte. Im Inneren dieses Behälters wurde, dargestellt in Abbildung 6.14, einer der Bolzen eingefügt.

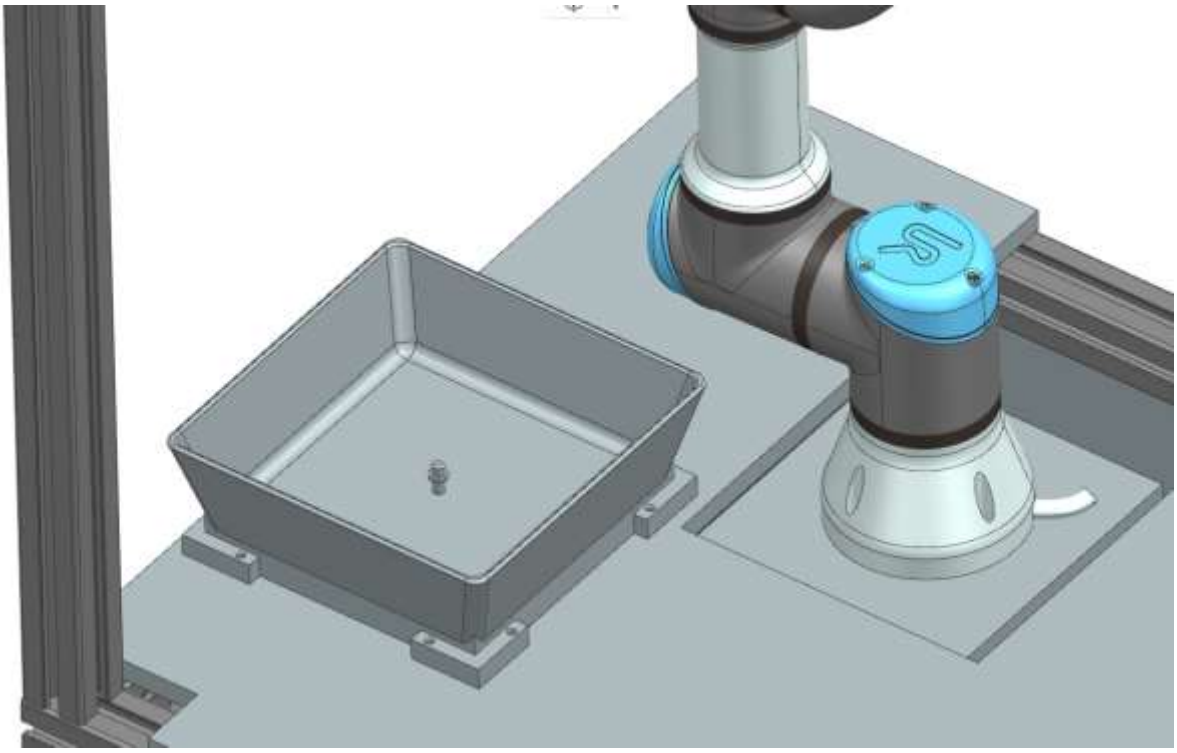


Abbildung 6.14: Simulativ unendliche Quelle der Bolzen im Digitalen Zwilling

Dieser dient der Simulation als unendliche Quelle zum Greifen von Bolzen, sodass bei jedem Werkstückträger in der Simulation Bolzen in den Werkstückträger eingefügt werden kann. Auch die Kamera, die für die Erkennung des Bolzens zuständig ist, wurde eingefügt, und mithilfe eines 3D- Druckteils an den Galgen befestigt. Der Greifer und seine Backen mit deren Aufnahme waren im alten Modell nicht vorhanden, weshalb sie im Neuaufbau parametrisiert und eingefügt wurden.

Zwischen dem Roboter und seinem Greifer befindet sich ein Schnellwechsler, welcher ebenfalls als Kaufteil eingefügt wurde. Es handelt sich hierbei um das Modell Onrobot QC10G1Y2019 Quick Changer.

Station 3

Es folgt der Aufbau der dritten Station, des Montageplatzes.

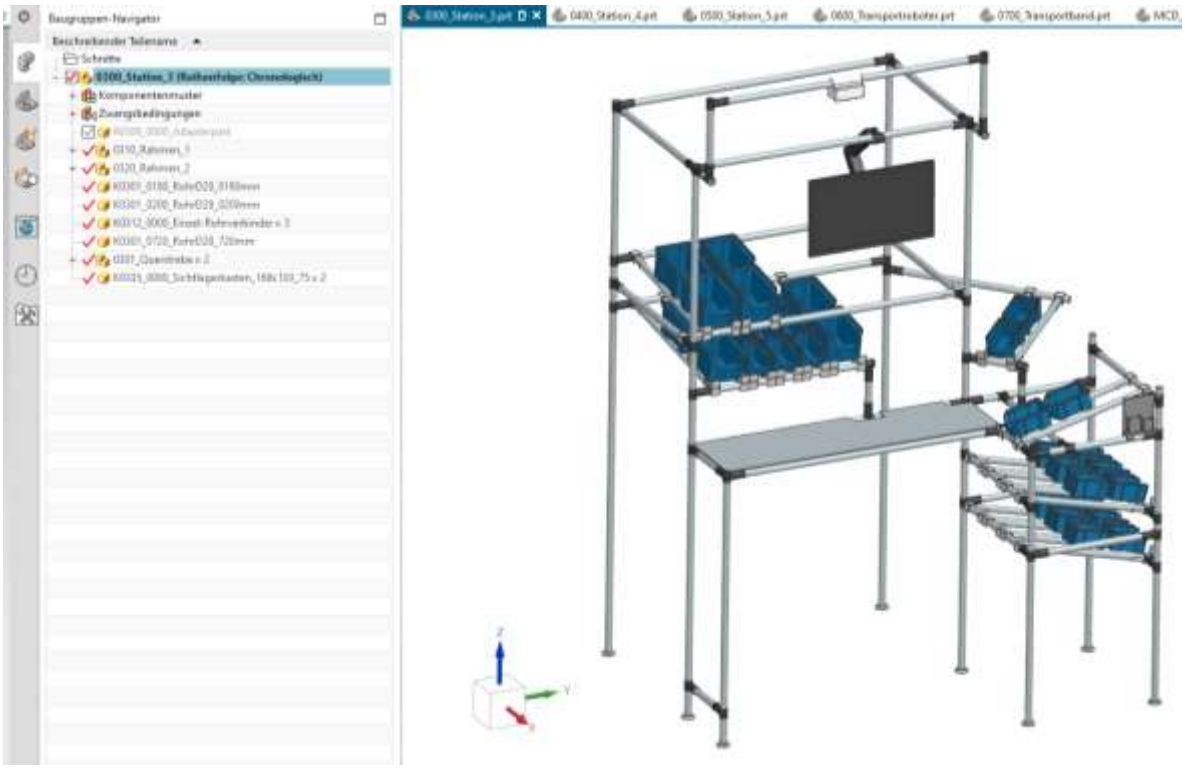


Abbildung 6.15: Dreidimensionales Modell der dritten Station

Dessen Grundgerüst ist aus Rundprofilen aufgebaut. Mittig befindet sich eine Tischfläche, neben und über dieser regalartig Aufbewahrungskisten angeordnet sind. In diesen Kisten befinden sich die zur Montage der Produkte notwendigen Einzelteile. Aus der Kisten werden die für das aktuell montierte Produkt nötigen Komponenten entnommen und auf der Arbeitsfläche mit den Werkstücken gefügt. Ein über der Tischplatte hängender Bildschirm zeigt dem Mitarbeiter die durchzuführenden Montageschritte an. Im realen Aufbau werden zwei Sensoren, welche als Lichtschranken fungieren erprobt. Damit wird erkannt, wenn der Monteur ein Werkstück vom Transportband entnimmt und wenn er es wieder zurück auf das Band legt. Dies verhilft die Verfahrzeitpunkte des Bandes zu definieren.

Station 4

Anschließend wurde die End-of-Line-Prüfung aufgebaut, welche die vierte Station darstellt. Sie ist in Abbildung 6.16 dargestellt.

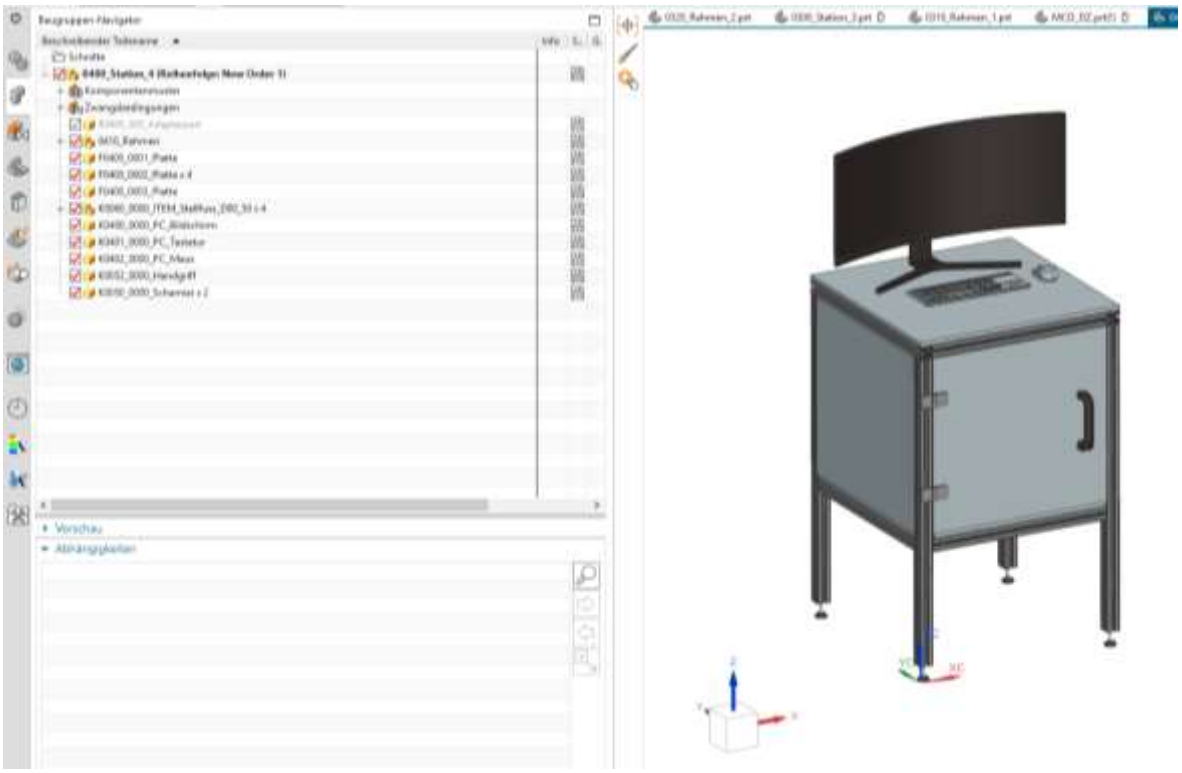


Abbildung 6.16: Dreidimensionales Modell der vierten Station

Diese Station besteht aus einem tischartigen Aufbau, auf welchem der Rechner sowie der Bildschirm platziert sind. Die eigentliche Prüfeinrichtung der Produkte befindet sich an einem Portal auf dem Förderband. Dies ist in der Grafik 6.17 dargestellt.

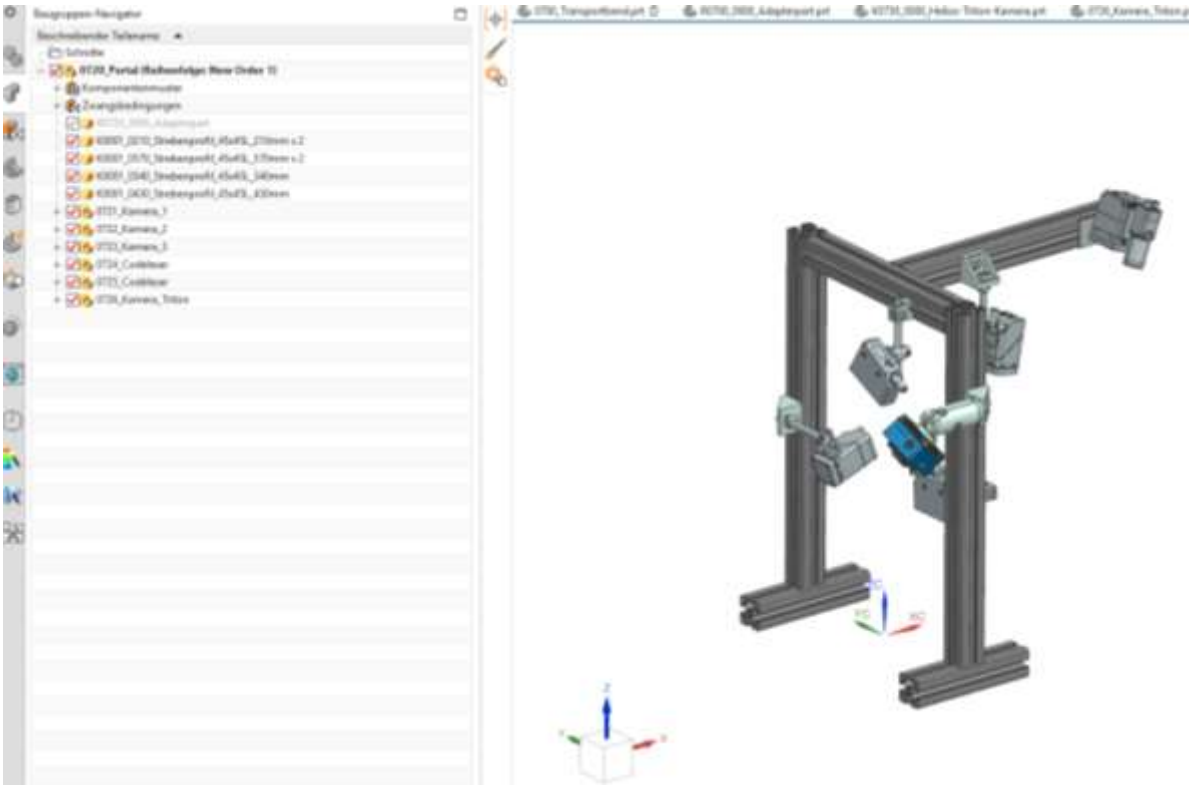


Abbildung 6.17: Dreidimensionales Modell des Portals

Zur Modellerstellung wurden die Komponenten ausgemessen und im CAD aufgebaut. Die Sensoren selbst sind Kaufteile, womit deren Modelle beim Hersteller angefragt und anschließend platziert wurden.

Station 5

Zuletzt wurde die fünfte Station, die Abnahme definiert. Das dreidimensionale Modell ist in Abbildung 6.18 zu erkennen.

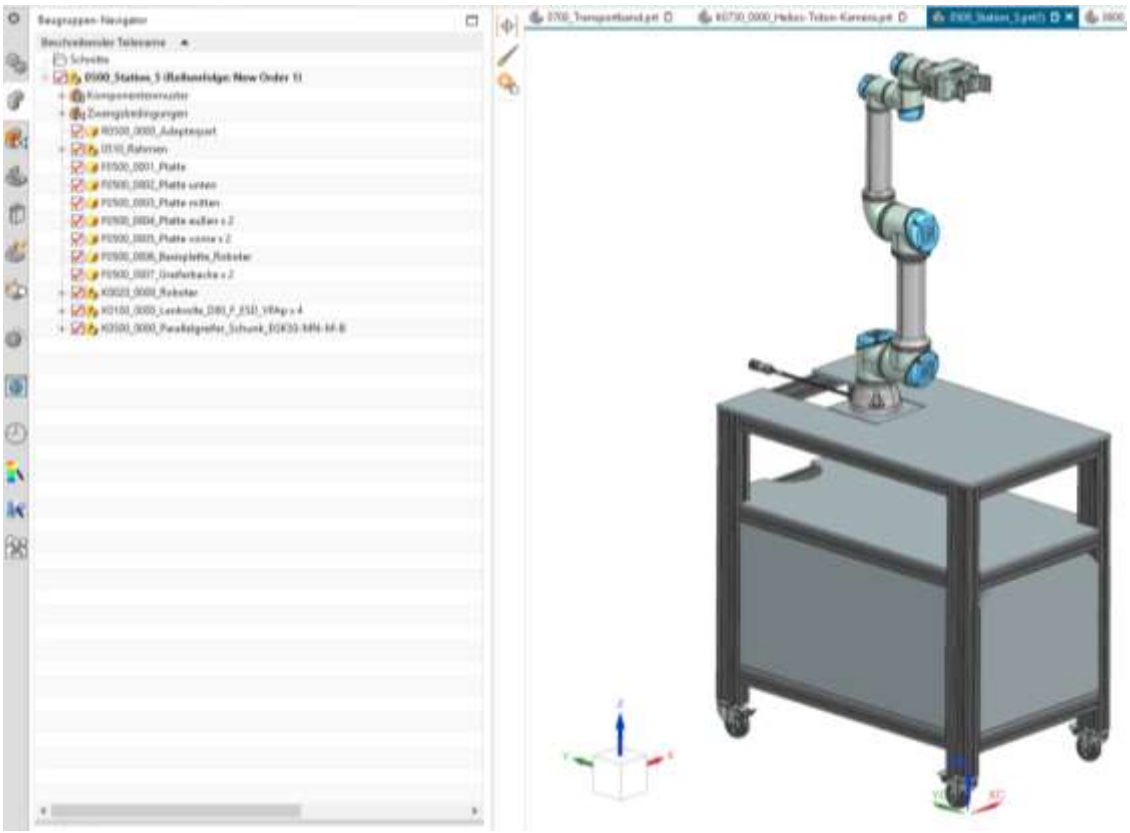


Abbildung 6.18: Dreidimensionales Modell der fünften Station

Hiervon sind die Hauptkomponenten das Kamerasystem, welches den Zustand des Produktes erkennt, der Greifer, welcher das Produkt versetzt, und die Rückführung für die Produkte mit dem Status „nicht in Ordnung“. Die Station 5 besteht aus einem Rollenwagen, der ähnlich wie Station 1 aufgebaut ist. Auf dessen Aufbauplatte befindet sich, analog zu Station 1, ein UR5-Roboter, der aus Station 1 übernommen werden konnte. Im alten Digitalen Zwilling befanden sich der gleiche Greifer und Greiffinger. In dem realen Aufbau befindet sich ein anderer Greifer mit einer Adapterplatte für einen UR5. Auch die Greiffinger mussten angepasst werden, da diese eine andere Anbindung an die Backen benötigen.

Für die Rückführung der als „nicht in Ordnung“ beurteilten Produkte zum Montageplatz, wurde ein Rollenband angebracht. Dieses ist in blau eingefärbt in folgender Abbildung 6.19 gezeigt.



Abbildung 6.19: Demontageband der vierten Station

Dieses wurde als Bausatz bei einem externen Hersteller erworben, weshalb dessen dreidimensionales Zusammenbaumodell dort angefragt wurde. Da zum Zeitpunkt der Beendigung dieser Studienarbeit jedoch noch keine Antwort des Herstellers vorliegt, ist es noch nicht im Digitalen Zwilling integriert. Dessen Einbau in die Gesamtbaugruppe ist daher im Kapitel der Überhabe an die nachfolgende Studienarbeitsgruppe vermerkt.

Transportroboter

Ergänzt wird nun noch der Transportroboter, der das logistische Bindeglied zwischen dem Produktionsaufbau im PTZ und dem Ritz darstellt.

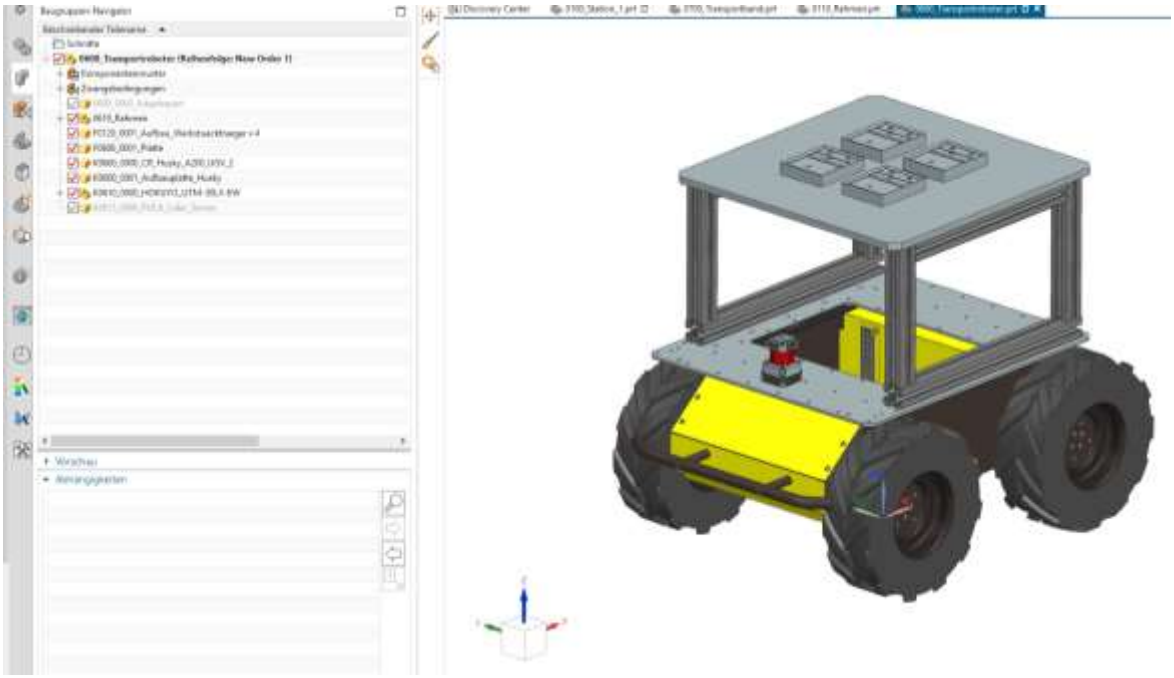


Abbildung 6.20: Dreidimensionales Modell des Transportroboters

Der Transportroboter ist ein „CR Husky A200UGV“, versehen mit einer zusätzlichen Aufbauplatte des Roboterherstellers. Auf der Platte sind, von einem anderen Studienarbeitsteam gestaltet, zwei vertikale Rahmen und eine Abdeckung mit zwei WLAN-Antennen, zur Herstellung einer Remote-Verbindung, montiert. Das Modell der Antennen mit der dazugehörigen Abdeckung liegt herstellerseitig zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor, weshalb es im späteren Verlauf noch ergänzt wird. Da es für den digitalen Zwilling keine technische Funktion hat, ist dessen aktuelles Nichtvorhandensein hier lediglich ein optisches Makel. Auf den Rahmen ist eine horizontale Platte fixiert. Auf dieser sind Werkstückträger angebracht. Zusätzlich befindet sich auf der Vorderseite des Roboters ein Sensor, bezeichnet als „3D Lidar VLP16“ des Herstellers Velodyne, welcher die Map-Daten generiert. Da dessen Erprobung noch nicht abgeschlossen wurde, ist dessen Höhe und genaue Position noch nicht final bestimmt. Das dreidimensionale Modell ist bereits in die Baugruppe des Transportroboters integriert, jedoch aufgrund seiner nicht festgelegten Endposition aktuell ausgeblendet. Da der Sensor, sowie die WLAN-Antennen bereits getestet werden, sind diese, in noch variabler Position, bereits im realen Roboter zu erkennen. Dieser ist in Abbildung 6.21 gezeigt.

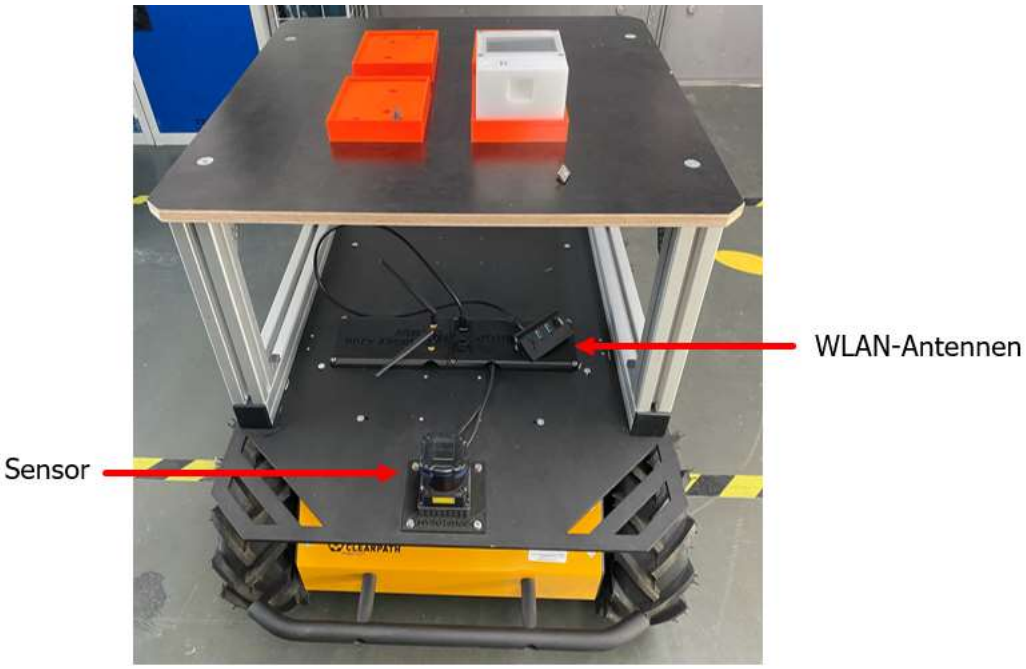


Abbildung 6.21: Der aktuelle reale Stand des Transportroboters

Mithilfe dieses Transportroboters können die Werkstücke zwischen den Standorten des IWT und des PTZ transportiert werden.

Gesamtbaugruppe

Im nächsten Schritt gilt es die einzeln aufgebauten Stationsmodelle in einer Gesamtbaugruppe zusammenzufügen. Dabei wurde eine Referenzskizze erstellt, welche alle Standardkoordinatensysteme der Hauptbaugruppen in deren richtiger Platzierung besitzt. So sind deren Modelle anschließend nur noch auf dieses Koordinatensystem eingebaut, da ihre realen Abstände bereits in der Unterbaugruppe ausgemessen und integriert wurden. Die Gesamtbaugruppe ist in folgender Abbildung 6.22 dargestellt.

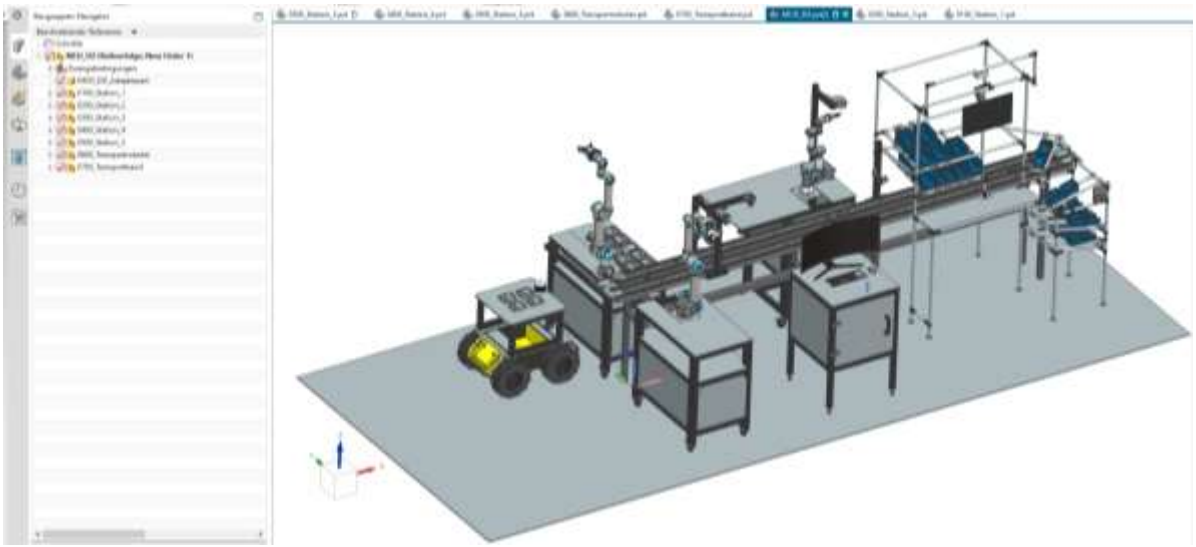


Abbildung 6.22: Dreidimensionales Modell des gesamten Digitalen Zwillings

6.5 Übergabe an die nächste Studienarbeitsgruppe

Um eine möglichst effiziente Übergabe an die nachfolgende Gruppe zu ermöglichen, werden im Rahmen dieses Kapitels bereits die am Ende dieser Ausarbeitung anfallenden Aufgaben definiert. Zuallererst ist der zu ihrem Übergabezeitpunkt bestehende allgemeine Stand am realen Produktionsnetzwerk zu analysieren und bei Bedarf das Modell auf diesen Stand zu aktualisieren. Dies ist der Fall, da die aktuellen Studienarbeiten an den einzelnen Stationen aufgrund gemischter Studiengänge auch unterschiedliche Bearbeitungs- und Abgabezeitpunkte besitzen. Somit sind nach Festlegung des finalen Stands des Digitalen Zwilling am Ende dieser Studienarbeit noch Änderungen am realen Aufbau durch andere Gruppen möglich, die einen späteres Ende ihrer Studienarbeit besitzen. Ebenso ist noch eine detaillierte Stückliste aus allen gesammelten Datenblättern zu erstellen. Darüber hinaus sind für das Gesamtbild noch kleine, für die technische Funktion des digitalen Zwillings unrelevante Details zu ergänzen. Dies sind beispielsweise Abdeckkappen und Winkel der Profile, wie sie in Abbildung 6.23 gekennzeichnet sind.

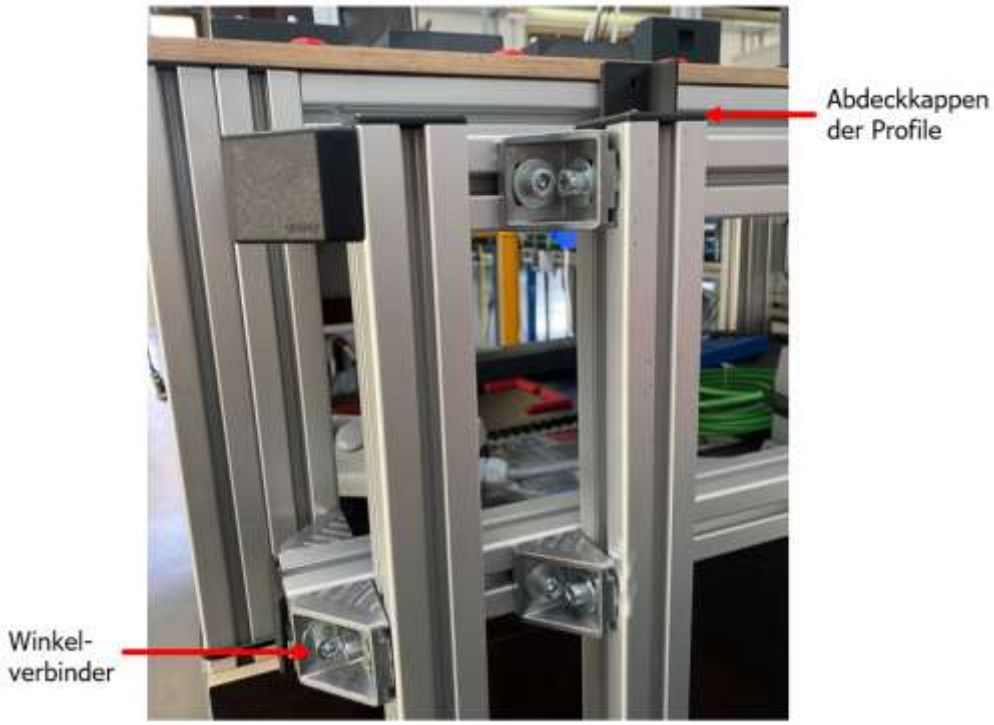


Abbildung 6.23: Kennzeichnung von Details am realen Aufbau des Produktionsnetzwerkes

Des Weiteren ist ein noch offener Punkt die Ausdetaillierung des Umlegemechanismus. Dier wurde bereits im Gegensatz zu dem alten Digitalen Zwilling optimiert, jedoch besteht dort noch weiteres Potential zur Darstellung von Details.

Die Anbindung der einzelnen Stationen an das Förderband wurde bereits im Aufbau des Digitalen Zwillings berücksichtigt und implementiert. Hier gilt es zum Zeitpunkt der nachfolgenden Studienarbeit die exakte Position an dem Band zu überprüfen und bei Bedarf die Parameter anzupassen.

Wie bereits an entsprechender Stelle bei der Erläuterung der einzelnen Stationen angemerkt, sind das WLAN-Modul sowie der Sensor nach Erhalt derer dreidimensionalen Modelle vom Hersteller in den Digitalen Zwilling einzupflegen.

Da zum Zeitpunkt des Endes dieser Arbeit das beim Hersteller angefragte, dreidimensionale Modell des Demontage-Rollenbandes ebenso noch nicht vorliegt, ist dieses nach Erhalt noch in den Digitalen Zwilling zu integrieren.

An Station 1 sind zukünftig noch stirnseitig noch Profile anzubringen, die dazu dienen, dass der Transportroboter hier seine exakte Position anfahren kann.

Ebenso kann optional, dem gesamten Erscheinungsbild halber, der Gesamtbaugruppe der Schaltschrank hinzugefügt werden.

6.6 Lessons learned

In diesem Kapitel werden wichtige Erkenntnisse aus der Modellerstellung des Digitalen Zwillings präsentiert. Es dient als Reflektion und Analyse von sowohl positiven als auch negativen Aspekten der Umsetzung dieses Projektes. Die Erkenntnisse dienen dazu, künftige Projekte und Studienarbeiten in diesem Bereich effektiver zu gestalten und eine fundierte Planung und Umsetzung zu ermöglichen.

Die parallelen Zeitschienen einerseits der Erstellung des digitalen Zwillings, und gleichzeitig der Optimierung des realen Modells durch andere Gruppen, haben von vorneherein erschwert, einen Grundstand des Digitalen Zwillings zu definieren und diesen zu konstruieren. Sobald etwas vermessen und konstruiert wurde, passte es mit bei dem späteren Vermessungsprozess von anliegenden Komponenten nicht mehr zusammen, da dort in der Zwischenzeit Änderungen vorgenommen wurden. Deshalb mussten die Stationen des Öfteren neu ausgemessen und im CAD umgebaut werden. Dies lag daran, dass während der Ausmessungszeiträume für die Digitalisierung bereits zahlreiche Umbauten vorgenommen wurden, wobei es hier nicht an den Umbauten selbst, sondern an einem eine klaren Informationsfluss seitens der anderen Gruppen mangelte. Darüber hinaus sind im Zeitraum des Ausmessens andere Aufbauten am Produktionsnetzwerk getätigt worden, welche lediglich für Messversuche anderer Projekte dienten. Dies wurde ebenso von deren Verantwortlichen nur mangelnd und teilweise überhaupt nicht kommuniziert. In diesem Aspekt mangelte es grundlegend an einer klaren Projektverantwortung auf einer höheren Ebene, die eine ausführliche Übersicht über alle an diesem Aufbau mitwirkenden Parteien und Projekte außerhalb der reinen Studienarbeiten bereitstellt. In dem vorliegenden Fall wurde das Problem gelöst, indem die Gruppe des Digitalen Zwillings mit jeder einzelnen Stationsgruppe in ein Einzelgespräch gegangen ist, und hier ein klarer Stand, wie er dann im Digitalen Zwilling abgebildet ein soll, definiert wurde. So konnte man zwar keine einzelnen klaren Ausgangs- und Optimierungszustände getrennt voneinander definieren, hat jedoch bereits ein teilweise optimiertes, stimmiges Modell, sowie bereits einen kommunizierten Überblick über noch zukünftig geplante Änderungen. Ansonsten lief das Vermessen selbst sehr flüssig. Hierfür wurden Skizzen auf Papier angefertigt, in welche die Maße

des realen Aufbaus eingetragen wurden. Anschließen galt es diese im dreidimensionalen Modell umzusetzen.

Bezüglich der bereitgestellten Übergabeinformationen zwischen der aktuellen und der nachfolgenden Studienarbeitsgruppe, wurde aus dem Vorgehen der letzten Studienarbeitsgruppe gelernt, und Optimierungen für die nächste Gruppe durchgeführt. Nachdem dieser aktuellen Gruppe lediglich ein lückenhafter Ordner voller Dateien übermittelt wurde, ist nun nach dieser Studienarbeit ein strukturiertes Ordnerverzeichnis vorhanden. Hier sind alle Daten abgelegt und eindeutig zu identifizieren. Der Digitale Zwilling enthält einheitliche Datentypen, wobei Kaufteile mit Datenblättern versehen wurden. Selbst Änderungen während dem Zeitraum dieser Studienarbeit sind durch das Speichern von Zwischenständen nachzuvollziehen und jederzeit wieder reproduzierbar. Sie sind mit dem Datum versehen in dem bwSync&Share-Ordner „50_Digitaler_Zwilling“ abgelegt. Ebenso stehen alle Beteiligten dieser Studienarbeit noch über deren offizielle Abgabe hinaus persönlich zur Verfügung und können dem nachfolgenden Team unterstützend zuarbeiten.

7 Simulation

Dieses Kapitel beleuchtet die Simulation des Digitalen Zwillings näher. Im Rahmen dieser wird das dreidimensionale Modell des Digitalen Zwillings dynamisiert.

7.1 Erstellung des dynamischen 3D-Modells

Zeitversetzt zur Erstellung der dreidimensionalen Modelle der einzelnen Stationen, werden diese Schritt für Schritt in der Datei der Gesamtbaugruppe dynamisiert. Hierbei wird das Wissen zur Implementierung angewendet, welches im ersten Teil der Studienarbeit anhand des alten Modells erarbeitet wurde. Damit wird der gesamte Prozess von dem Greifen des Werkstückes vom Transportroboter bis zur Abnahme dynamisiert. Das statische CAD-Modell wird mit allen nötigen, dynamischen Eigenschaften versehen, um die Abläufe und Bewegungen des realen Produktionsnetzwerks abbilden zu können.

7.2 Direkte Datenübertragung durch Simit

Es ist eine Schnittstelle zu erarbeiten, die es ermöglicht, Signale zwischen der virtuellen oder realen SPS auszutauschen, um Prozessabläufe simulieren zu können.

Bisher wurde der Ansatz verfolgt mithilfe des TIA-Portals die dynamischen Bewegungen der Komponenten nachzuahmen und so den Digitalen Zwilling optisch dem physischen Original anzupassen. Nun wird nun die Idee ausgearbeitet, sich mithilfe einer neuen Schnittstelle direkt dem originalen Code der Komponentenansteuerung zu bedienen. Hierbei wird dann nicht mehr mit zusätzlichem Aufwand die Bewegung nachgeahmt, sondern der digitale Zwilling wird über die Schnittstelle mit dem Tool Simit direkt mit dem ursprünglichen Programmcode versorgt. Somit werden reale Anpassungen im Programm automatisch auf den Digitalen Zwilling und dessen Echtzeitübertragung aktualisiert. Des Weiteren ist es so auch möglich mit minimalem Aufwand zukünftige Programmänderungen im Voraus direkt im digitalen Zwilling zu erproben.

7.3 Ausblick der Simulation

Die detaillierte Erläuterung zur Dynamisierung des Produktionsnetzwerkes findet sich im Zusatz dieser Studienarbeit, welcher aufgrund sich unterscheidender

Abgabetermine der Studienarbeit der einzelnen Studierenden zu einem späteren Zeitpunkt abgegeben wird.

8 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Studienarbeit ist von Grund auf ein neues dreidimensionales Modell für den Digitalen Zwilling in der Zukunftsfabrik entstanden. Dieses bildet den realen Zustand des Produktionssystems zu einem definierten Zeitpunkt ab.

Im Folgenden wird auf den Erfüllungsgrad der zu Beginn dieser Arbeit definierten Anforderungen einzugehen eingegangen. Die Sicherheit der Daten dieses Projektes wurde durch einen auf dieser Studienarbeit liegenden Sperrvermerkt sichergestellt. Des Weiteren sind alle verwendeten Programme auf ihre Kompatibilität geprüft worden, indem im ersten Teil dieser Studienarbeit Tests zur Dynamisierung an dem dreidimensionalen Modell durchgeführt wurden. Dies wird im Rahmen der Umsetzung der neuen Schnittstelle mit Simit im nächsten Teil dieser Arbeit weitergeführt. Die Änderungsmöglichkeit der Modelle ist dadurch gegeben, dass alle Komponenten als Siemens part file aufgebaut wurden, wessen Parameter jederzeit änderbar sind. Die Hauptmaße sind über Referenzebenen individuell festzulegen, sowie auch alle weiteren Maße bearbeitbar sind. Dies betrifft lediglich nicht diejenigen Kaufteile, beispielsweise Sensoren, die seitens des Herstellers fest definiert sind. Darauf aufbauend sind die einzelnen Stationen in eigenen Ordnern angelegt, worin Geometrieänderung vorgenommen werden können. Dagegen wird in der Gesamtbaugruppe, die sich in einem separaten Ordner befindet, die Dynamisierung durchgeführt. Durch eine eingestellte, automatische Aktualisierung der Hauptbaugruppe mit den Stationsbaugruppen ist hier das Änderungsmanagement so gelöst, dass ohne Daten- oder Referenzverluste zeitgleich an Geometrie sowie Simulation gearbeitet werden kann. Dieses Modell weist eine einheitliche und eindeutige Benennung auf, sodass alle Komponenten identifiziert und deren Herkunft und Eigenschaften jederzeit ermittelt werden können. Die gewünschte Informationsrückführbarkeit wurde dahingehend umgesetzt, dass die Herkunft der Komponenten in Bezug auf Eigen- und Kaufteil bereits durch die Präfixe E beziehungsweise K aus dem Modellnamen zu entnehmen sind. Die zu den Kaufteilen gehörigen Datenblätter sowie weitere relevante Zusatzdokumente sind strukturiert auf der bwSync&Share-Plattform abgelegt. In einem separaten Ordner sind hier auf bezogen auf den Wunsch nach einer Änderungsdokumentation übersichtlich

regelmäßige Änderungsstände des Digitalen Zwillings abgelegt. Deren Benennung erfolgt anhand des Datums des jeweiligen Zwischenstandes.

Die Gesamtbaugruppe des Digitalen Zwillings in einer separat folgenden Abgabe dieser Studienarbeit dynamisiert.

In Zukunft können Umbauten beziehungsweise Erweiterungen des Produktionsnetzwerks vorab virtuell am digitalen Zwilling getestet werden, bevor sie an der realen Anlage umgesetzt werden. Um einen reibungslosen Übergang nach der offiziellen Abgabe dieser Studienarbeit in Bezug auf die Weiterführung des Projektes zu gewährleisten, wird die Gruppe des Digitalen Zwillings, wie bereits im Kapitel „lessons learned“ reflektiert, weiterhin bis Semesterende als Ansprechpartner dienen. Hierbei besteht die Möglichkeit die Studierenden einer Folgestudienarbeit in diesem Themenbereich in den aktuellen Stand einzuführen und zu begleiten.

Betrachtet man den Ausblick dieses Digitalen Zwillings wird dieser zukünftig in einem weiteren Studienarbeitsprojekt, dem des virtuellen Shopfloor Managements, integriert. Im Rahmen dieser Anwendung soll es dem Anwender möglich sein, mithilfe des Benutzens einer 3D-Brille den Raum des Produktionsnetzwerkes zu betreten und dessen Aufbau zu erkunden. Da der Digitale Zwilling das Abbild dessen darstellt, eignet er sich hierfür ideal. Des Weiteren ist in Planung, dass der Digitale Zwilling in der Realität über der Produktionslinie im PTZ auf einem Bildschirm in Echtzeit dargestellt wird. Selbstverständlich erfolgt weiterhin über den gesamten Anwendungszeitraum dieses Digitalen Zwillings seine Aktualisierung und Optimierung.

VIII. Literaturverzeichnis

[1] Duale Hochschule Baden-Württemberg, „DHBW," [Online]. Available: https://www.ravensburg.dhbw.de/forschung-transfer/kompetenzzentren/zentrum-fuer-digitalisierung-in-produktion-und-produktentwicklung. [Zugriff am 02 11 2023].

[2] Duale Hochschule Ravensburg, „DHBW - Zukunftsfabrik," [Online]. Available: https://www.ravensburg.dhbw.de/forschung-transfer/kompetenzzentren/zentrum-fuer-digitalisierung-in-produktion-und-produktentwicklung#zukunftsfabrik-bodensee. [Zugriff am 20 11 2023].

[3] IPH Hanover, „Condition Monitoring," [Online]. Available: https://www.iph-hannover.de/de/dienstleistungen/digitalisierung/condition-monitoring/. [Zugriff am 02 01 2024].

[4] REFA AG, „predictive maintenance," [Online]. Available: https://refa.de/service/refa-lexikon/predictive-maintenance. [Zugriff am 04 01 2024].

[5] Europäisches Parlament, „Aktuelles," [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile . [Zugriff am 20 11 2023].

[6] ibm, „What is a digital twin," [Online]. Available: https://www.ibm.com/de-de/topics/what-is-a-digital-twin. [Zugriff am 10 12 2023].

[7] Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, „Digitaler Zwiling," [Online]. Available: https://www.iese.fraunhofer.de/de/leistungen/digitaler-zwilling.html. [Zugriff am 05 01 2024].

[8] GBTEC, „Digitale Zwillinge – Erfolgsgarant für eine smarte Prozessoptimierung," [Online]. Available: https://www.gbtec.com/de/ressourcen/digitaler-zwilling/. [Zugriff am 03 12 2023].

[9] IBM, „Was ist ein digitaler Zwilling?," [Online]. Available: https://www.ibm.com/de-de/topics/what-is-a-digital-twin. [Zugriff am 10 04 2024].

[10] Dassault Systems, „DIgital Twin- was bringt der digitale Zwilling und wie wied er in der Praqxis eingesetzt?," [Online]. Available: https://www.3ds.com/de/virtual-twin/digital-twin. [Zugriff am 10 04 2024].

[11] M. Diwo, „Erstellung Digitaler Zwillinge: Ein Leitfaden," 2024. [Online]. Available: https://technavigator.de/digitaler-zwilling/wie-erstelle-ich-einen-digitalen-zwilling/. [Zugriff am 10 04 2024].

[12] HOMAG, „Virtuelle Inbetriebnahme: Der digitale Zwilling - So funktioniert`s!," [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=etfeXIjzc98&t=44s. [Zugriff am 12 04 2024].

[13] M. Diwo, „Digitaler Zwilling: Revolution in der Industrie durch Digitale Transformation," [Online]. Available: https://technavigator.de/digitaler-zwilling/. [Zugriff am 12 04 2024].

[14] B. Reder, „Mercedes-Benz digitalisiert die Produktion," CIO, 28 09 2023. [Online]. Available: https://www.cio.de/a/mercedes-benz-digitalisiert-die-produktion,3721095. [Zugriff am 02 05 2024].

[15] K.-J. Peschges, Im Team Entwickeln und Konstruieren, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.

[16] Vogel Communications Group, „Konstruktionspraxis," [Online]. Available: https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/was-ist-eigentlich-das-step-format-a-976902/. [Zugriff am 15 02 2024].

[17] clous GmbH, „Clous Lexikon," [Online]. Available: https://lexikon.clous.io/step-datei-format-entwicklung-und-%C3%B6ffnen-der-datei. [Zugriff am 16 02 2024].

[18] K.-J. Peschges, Im Team entwickeln und Konstruieren, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.

[19] DHBW Ravensburg, „Broschuere Zukunftsfabrik Bodensee," [Online]. Available: https://www.ravensburg.dhbw.de/fileadmin/Ravensburg/Dokumente_Bilder_Contentbereich/ZDP/Broschuere_Zukunftsfabrik_Bodensee.pdf . [Zugriff am 21 11 2023].