ZDP
ZENTRUM FÜR DIGITALISIERUNG
IN PRODUKTION UND PRODUKTENTWICKLUNG

DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg
Ravensburg
Campus Friedrichshafen

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

STUDIENARBEIT I T3_3100

des Studiengangs Elektrotechnik Automation

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

von

Simon Hermann und Philipp Veser

13.01.2025

Bearbeitungszeitraum	15 Wochen
Matrikelnummer, Kurs	5394789 und 8195376, FN-TEA22
Ausbildungsort	ZDP
Betreuer der DHBW	Prof. Dr.-Ing. Thorsten Kever

Sperrvermerk

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 (DHBW) vom 29.09.2017:

„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 12. Januar 2025



Simon Hermann und Philipp Veser

Unterschrift

Erklärunug zur Eigenleistung

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der DHBW vom 29.09.2017.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit (beziehungsweise (bzw.) Projektarbeit oder Studienarbeit bzw. Hausarbeit) 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 12. Januar 2025



Simon Hermann und Philipp Veser

Unterschrift

Glossar

Bin Picking Aufnehmen bekannter Objekte in zufälligen Positionen aus einem Behälter. 2

Industrie 4.0 Ist die Bezeichnung für Projekte zur umfassenden Digitalisierung der industriellen Produktion. 3

kollaborativer Roboter Oder kurz Cobot wird ein Industrieroboter bezeichnet, der mit Menschen gemeinsam arbeitet und im Produktionsprozess nicht durch Schutzeinrichtungen von diesen getrennt ist. 2, X

Disclaimer

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und diverser Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für alle Geschlechter.

Vorwort

„Während der fünften und/oder sechsten Theoriephase sollen die Studierenden eigenständig wissenschaftliche Arbeiten anfertigen. Dadurch sollen sie die im entsprechenden Modul genannten Lernziele erreichen und die entsprechenden Kompetenzen erwerben.
Die Themen der Studienarbeiten werden von der DHBW gestellt, Themenvorschläge durch den Dualen Partner oder nebenberufliche Dozentinnen bzw. Dozenten sind willkommen. Die Aufgabenstellungen orientieren sich dabei an den Studienplänen der Studiengänge. Die Studienakademie führt die Vergabe der Themen an die Studierenden durch.
Im Rahmen der Studienarbeit soll für die Studierenden neben der fachlichen Auseinandersetzung mit dem gestellten Thema insbesondere das eigenverantwortliche Einarbeiten in eine neue Themenstellung, das Suchen und Auswerten geeigneter Informationen, die Verknüpfung zugrundeliegender theoretischer Überlegungen mit den praktischen Gegebenheiten und die wissenschaftlich korrekte Darstellung und Aufbereitung ihrer Ergebnisse im Vordergrund stehen [1].“

Zusammenfassung

Die vorliegende Studienarbeit beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung des digitalen Zwillings für die Produktionsanlage im Produktionstechnisches Zentrum (PTZ). Ziel ist die Verbesserung der Visualisierung und der Simulation, um eine präzise Abbildung und Analyse der Anlage zu ermöglichen. Die Arbeit gliedert sich in drei zentrale Bereiche: Die Vorstellung der Zukunftsfabrik, die Grundlagen des Digitalen Zwillings und der Aktuelle Stand des digitalen Zwillings.

Im Rahmen der Vorstellung der Zukunftsfabrik wird ein kurzer Überblick über das Konzept dieser gegeben. Im weiteren Verlauf werden die Grundlagen der Produktionsanlage im PTZ erläutert.

Im zweiten Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen des digitalen Zwillings behandelt. Dabei werden Definitionen, die Komponenten und die zentralen Vorteile dieser Technologie erläutert. Der digitale Zwilling ermöglicht eine präzise Abbildung und Simulation physischer Systeme, was zu verbesserten Analysen und Vorhersagen führt.

Im letzten Teil der Arbeit wird der aktuelle Stand des digitalen Zwillings behandelt. Hierfür werden frühere Projektarbeiten analysiert und Schwachstellen identifiziert. Gleichzeitig wird an der Weiterentwicklung des digitalen Zwillings durch Anpassungen in der Informationstechnologie (IT)-Infrastruktur und dem strukturierten Aufbau einer Wissensdatenbank gearbeitet.

Diese Arbeit trägt zur Optimierung des digitalen Zwillings bei und schafft eine fundierte Basis für zukünftige Projekte im PTZ.

Abstract

This student research project deals with the further development of the digital twin for the production plant in the PTZ. The aim is to improve visualization and simulation in order to enable precise mapping and analysis of the plant. The work is divided into three central areas: The presentation of the future factory, the basics of the digital twin and the current status of the digital twin.

As part of the introduction to the future factory, a brief overview of its concept is given. The basics of the production plant in the PTZ are then explained.

The second section deals with the theoretical foundations of the digital twin. Definitions, the components and the key advantages of this technology are explained. The digital twin enables precise mapping and simulation of physical systems, which leads to improved analyses and predictions.

The last part of the thesis deals with the current status of the digital twin. For this purpose, previous project work is analyzed and weaknesses are identified. At the same time, work is carried out on the further development of the digital twin through adjustments to the IT infrastructure and the structured creation of a knowledge database.

This work contributes to the optimization of the digital twin and creates a sound basis for future projects in the PTZ.

Inhaltsverzeichnis

Sperrvermerk **I**

Erklärung zur Eigenleistung **II**

Glossar **III**

Disclaimer **IV**

Vorwort **IV**

Zusammenfassung **V**

Abstract **VI**

Abbildungsverzeichnis **IX**

Tabellenverzeichnis **IX**

Abkürzungsverzeichnis **X**

1 Vorstellung Zukunftsfabrik Bodensee **1**

2 Grundlagen des Digitalen Zwillings **4**

2.1 Definition 4

2.2 Komponenten 5

2.3 Beispiel aus der Industrie 5

2.4 Vorteile 7

2.5 Fazit 8

3 Aktueller Stand des digitalen Zwillings im PTZ **9**

3.1 Voraussetzungen 9

3.1.1 Siemens NX 9
3.1.2 Mechatronics Concept Designer 10
3.1.3 SIMATIC TIA Portal 10
3.1.4 SIMATIC S7-PLCSIM Advanced 11
3.1.5 Kommunikation MCD mit externen Quellen 11
3.2 Beschreibung vorheriger Projektarbeiten 12
3.2.1 Dateistruktur und Benennung 13
3.2.2 Aufbau der Stationen 15
3.2.3 Dynamisierung des Zwillings 19
3.2.4 Offene Punkte/Ausblick aus den Studienarbeiten 21
3.3 Programmanalyse 22

4 Zielsetzung **23**
4.1 Allgemeine Ziele 23
4.2 Spezifische Ziele der Projektarbeit Teil 1 (T3_3100) 24

5 Umsetzung **28**

6 Fazit und Ausblick **31**

Literatur **32**

A Anhang **A**

Abbildungsverzeichnis

1.1 Konzept der Zukunftsfabrik [2] 2
2.1 Hype Cycle for Emerging Technologies 2017 [3] 6
2.2 Hype Cycle for Emerging Technologies 2024 [4] 6
3.1 CAD-Modell Gesamtbaugruppe aus dem Studienjahr 2022/2023 [5] 12
3.2 Transportroboter 16
3.3 Transportband 16
3.4 Station 1 17
3.5 Station 2 17
3.6 Station 3 18
3.7 Station 4 18
3.8 Station 5 19

Tabellenverzeichnis

3.1 Bennenungssystematik der Baugruppe aus dem Studienjahr 2023/2024 15
A.1 Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen . . . . . A

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
Cobot	kollaborativer Roboter
DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
DToC	Digital twin of a customer
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnologie
IWT	Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer
KI	künstliche Intelligenz
KMU	kleinen und mittleren Unternehmen
LIDAR	Light Detection and Ranging
MCD	Mechatronics Concept Designer
PTZ	Produktionstechnisches Zentrum
QR	Quick Response
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
STEP	Standard for the Exchange of Product model data
TIA	Totally Intergrated Automation
z.B.	zum Beispiel
ZDP	Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

1 Vorstellung Zukunftsfabrik Bodensee

Das Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung (ZDP) der DHBW Ravensburg unterstützt Unternehmen dabei, die Herausforderungen dynamischer Produkt- und Produktionslebenszyklen zu begegnen. Die Vernetzung und die Auswertung der Daten von intelligenten Sensoren und Aktoren spielen eine immer größer werdende Rolle. Diese bringen stetig wachsende Datenmengen mit sich und erfordern das Zusammenspiel von Prozesstechnologien und IT. Der Gedanke des ZDP´s ist Lehre und Forschung miteinander zu verknüpfen. In Kooperation mit Partnerunternehmen werden Forschungsprojekte geplant, die von Studierenden bearbeitet werden. Diese können ihr Wissen wiederum in die Unternehmen einbringen.

Die „Zukunftsfabrik Bodensee“ bildet zusammen mit der bestehenden Lernfabrik des Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer (IWT) und der Produktionslinie des PTZ ein Produktionsnetzwerk, in der Studierende realitätsnah arbeiten und ihr gelerntes aus Theorie in die Praxis umsetzen können. Die Idee hinter der Zukunftsfabrik Bodensee ist die Schaffung einer realen Wertschöpfungskette, die von vernetzten, adaptiven und selbstlernenden Systemen geprägt ist.

In Abbildung 1.1 ist das Konzept der Zukunftsfabrik Bodensee dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass das Produktionsnetzwerk physisch in zwei Teile aufgeteilt ist. Die Vormontage des Produkts findet im PTZ der DHBW statt. Ein Transportroboter übernimmt die Logistik zwischen Vor- und Endmontage, in dem er die Produkte zur Lernfabrik des IWT transportiert. Dort erfolgt die Endmontage und Prüfung des Gesamtprodukts. Fehlerhafte Produkte werden zur Demontage an das PTZ zurückgeführt, wobei noch intakte Komponenten zurück in den Produktionsprozess integriert werden können.

Im dargestellte Produktionsnetzwerk wir ein „Smart Product“ in vielfältigen Varianten hergestellt und im Sinne der Kreislaufwirtschaft zurückgeführt. Die Zukunftsfabrik bildet somit die Grundlage für praxisorientierte Forschung und Lehre in den Bereichen **Digitaler Zwilling**, Künstlicher Intelligenz (KI) in Produktion, Mensch-Maschine-Interaktion, Produktionsplattfor-

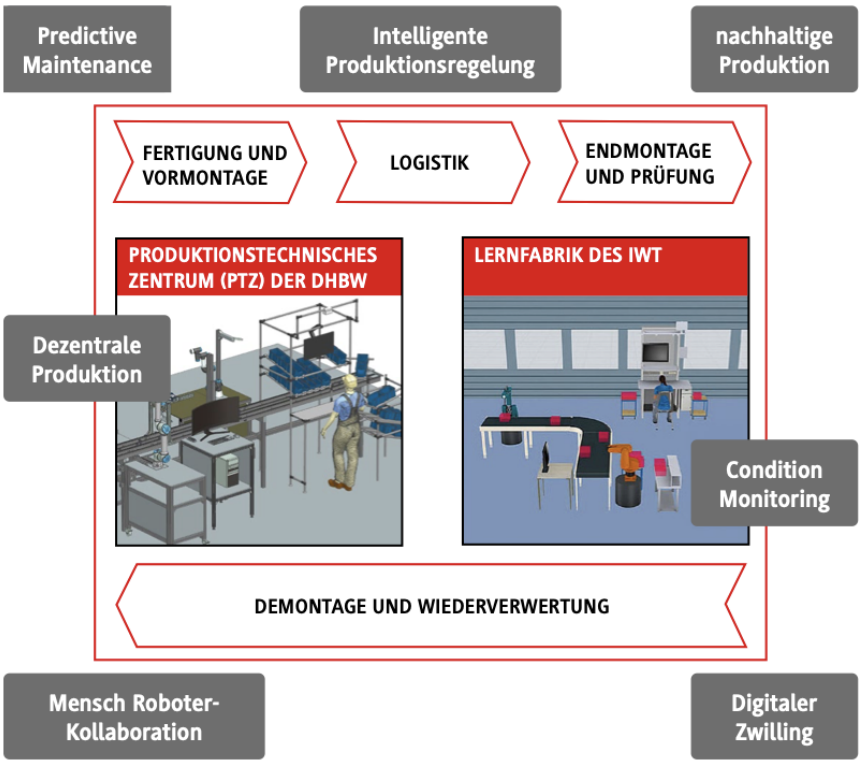


Abbildung 1.1: Konzept der Zukunftsfabrik [2]

men sowie Kreislaufwirtschaft. Die Forschungsvorhaben orientieren sich dabei an den aktuellen Bedürfnissen der Industrie unter Einbeziehen der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) aus der Region.

Das Konzept der Zukunftsfabrik sieht folgendermaßen aus: Zunächst wird über einen Quick Response (QR)-Code am zu fertigen Bauteil erfasst welche Variante produziert werden soll. Diese wird im System eingelastet. Danach erfolgt die Beladung des Werkstückträgers durch einen kollaborativen Roboter (Cobot). Anschließend wir der Werkstückträger samt Bauteil auf ein mit Sensoren ausgestattetes Bandsystem befördert, der die Komponenten durch die vier Stationen führt. An der zweiten Station werden, je nach Variante, Bolzen mittels Bin Picking kommisioniert und auf dem Werkstück platziert. Über einen Umleger wird der Werkstückträger auf ein zweites Förderband plaziert. An Station drei ist ein manueller Handarbeitsplatz mit ergonomischer Ausrichtung zu finden. Dieser beinhaltet die entkoppelte Vormontage wie auch die finale Montage des Vorprodukts vor der Endprüfung im PTZ. Der Werker wird Geführt

durch ein hochmodernes Werkerassistenzsystem. Die letzte Station des Produktionsprozesses beinhaltet die Endprüfung des hier produzierten Werkstücks und die Übergabe auf den Transportroboter. Mit dem Transportsystem wird das Produkt über den Campus zur Lernfabrik des IWT geliefert, wo nach einer kurzen manuellen Montagetätigkeit die Endmontage mit einer automatisierten Schraubstation stattfindet. Der Endmontagezustand wird dann an einem weiteren Prüfstand auf Richtigkeit überprüft, bevor das Produkt eingelagert und für die Demontage vorbereitet wird. Die Demontage erfolgt im gleichen Kreislauf wie die Montage. Durch die Montage- und Demontageprozesse entsteht ein vollständiger Produktionskreislauf [2].

Für das Großprojekt der Zukunftsfabrik Bodensee sind im Jahr 2024/25 insgesamt zehn Studienarbeitsthemen ausgeschrieben. Die Umsetzung der Projekts erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen Forschern, Lehrenden und Studierenden, wobei der Fokus auf einer praxisorientierten Anwendung von Industrie 4.0-Technologien liegt. Durch die Zusammenarbeit wird nicht nur die Forschung vorangetrieben, sondern es entstehen auch wertvolle Erfahrungen und Kompetenzen bei allen Teilnehmenden, die dieses wiederum in ihre Unternehmen einbringen können. Im Auswahlprozess für die Studienarbeitsthemen ist für uns die Wahl auf die praxisorientierte Arbeit zum Thema „Digitaler Zwilling“ gefallen. Was ein Digitaler Zwilling eigentlich ist und wofür er Verwendung findet, ist im nachfolgenden Abschnitt 2 beschrieben.

2 Grundlagen des Digitalen Zwillings

2.1 Definition

Bereits im Jahr 1999 benutze Kevin Ashton den Begriff Internet of Things (IoT), mit welchem Produkte oder Systeme gemeint waren, die mit dem Internet verbunden sind [6]. Aus dem Begriff IoT wurden über die Zeit neue Geschäftsmodelle entwickelt, aus denen Konzepte wie der Digital Thread, der Digitale Zwilling oder der Digitale Schatten entstanden sind [7]. Laut Michael Grieves, einem international anerkannten Experten für Produktlebenszyklusmanagement und dem Begründer des Konzepts des Digitalen Zwillings, benötigt ein Digitaler Zwilling drei Elemente:

- „das physische Produkt auf dem echten Markt,
- Seinen digitalen Doppelgänger in einer virtuellen Welt und
- Die Informationen, die beide miteinander verbinden.“ [7] [8]

Bei einem Digitalen Zwilling kann es sich sowohl um materielle als auch immaterielle Objekte handeln. Diese können in Form von Produkten, Systemen, Dienstleistungen oder Prozessen realisiert sein [6].

Durch die Erfassung von Echtzeitdaten, der Analyse sowie der letztendlichen Simulation bieten Digitale Zwillinge ein hilfreiches Tool für die Optimierung eines Systems. Das übergeordnete Ziel besteht darin, eine Konvergenz zwischen der realen und digitalen Welt zu erreichen, um die digitalen Modelle möglichst präzise abzubilden. Dies muss über den gesamten Lebenszyklus eines physischen Systems erfolgen [9].

Im Vergleich zu standardmäßigen Simulationen ist der Digitale Zwilling weitaus umfangreicher, da er durch die Integration von Daten über die Dynamik und Kinematik neben dem Prozess einer Anlage auch das physische Verhalten simuliert. Durch die Integration von Daten aus Sensorik und Aktorik wird ein kontinuierliches Modell, welches mit Echtzeitdaten arbeitet, erstellt [10]. Neben der Möglichkeit der Überwachung von Prozessen bietet eine Simulation

mit einem Digitalen Zwilling auch Vorhersagen, wodurch physische Systeme direkt durch die Software gesteuert oder angepasst werden können.

2.2 Komponenten

Oftmals ist zu Beginn der Erstellung eines Digitalen Zwillings unklar, welche Elemente enthalten sein sollen und wie zur Erstellung vorgegangen werden muss. Daher folgt ein Überblick über die erforderlichen Komponenten und Erstellungsabfolge [11]:

1. Definition des konkreten Ziels.
2. Bestimmung der beteiligten Akteure (beispielsweise Zulieferer und Abteilungen).
3. Gewährleistung der Verfügbarkeit von Daten für den Digitalen Zwilling.
    a. Für die Datenerhebung ist die Ermittlung der relevanten Daten für die spezifischen Ziele von großer Relevanz, um die Erfassung irrelevante Datenmengen zu vermeiden.
4. Im Anschluss an das Datenmanagement erfolgt die Verwendung der genannten Daten in Algorithmen und Modellen.
5. Definition eines Rechenort für die Ausführung der Simulation (beispielsweise in der Cloud).

2.3 Beispiel aus der Industrie

Im Jahr 2018 verwies das Frauenhofer Institut in dem Hype Cycle for Emerging Technologies darauf, dass für weniger als ein Prozent der zum damaligen Zeitpunkt ausgelieferten Maschinen und/oder Komponenten Modelle bestanden, welche das Verhalten dieser aufzeichnen und abbilden. Somit wird in Zukunft weiter in die Forschung und Entwicklung von digitalen Zwillingen investiert. Laut Abbildung 2.1 wird es noch ca. 5-10 Jahre dauern, bis das Plateau der Produktivität (Plateau of Productivity) erreicht wird [3].

Vergleicht man Abbildung 2.1 mit dem Hype Cycle for Emerging Technologies aus dem Jahr 2024 Abbildung 2.2 erkennt man, dass der digitale Zwilling nicht mehr aufgelistet ist. Jedoch ist eine Weiterentwicklung, der Digital twin of a customer (DToC), zu sehen. Hierbei

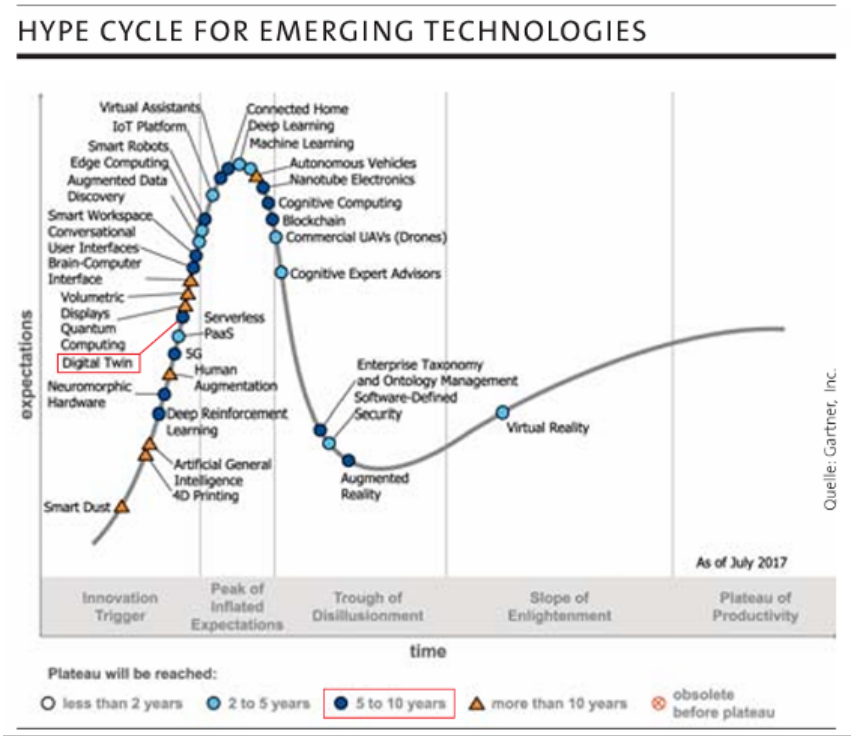


Abbildung 2.1: Hype Cycle for Emerging Technologies 2017 [3]

handelt es sich um ein dynamisches und virtuelles Abbild eines Kunden, in welchem die Vorlieben und Wünsche des Kunden gespeichert werden. Hierdurch kann ein besserer Service und Kundenkontakt garantiert werden [4].

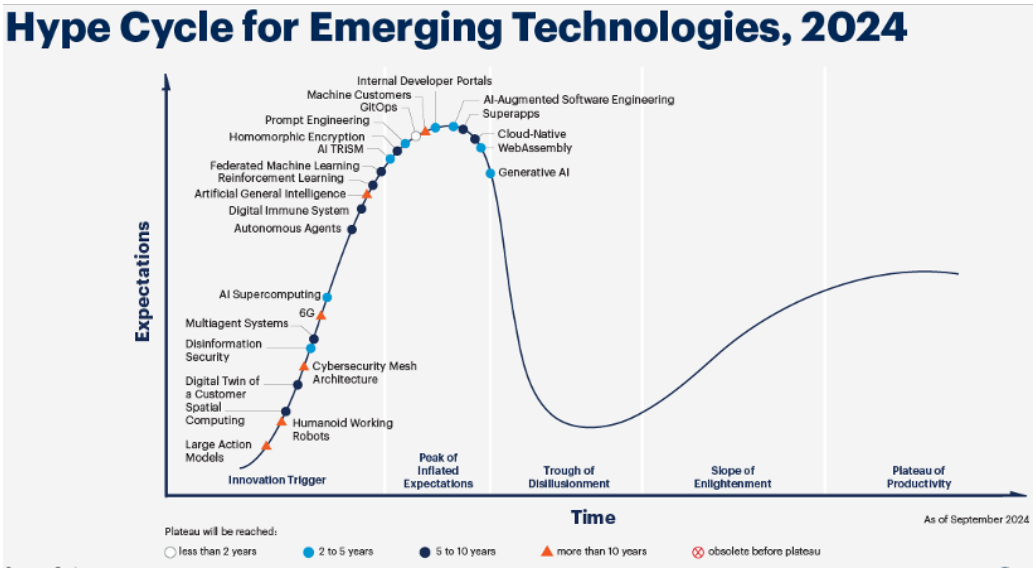


Abbildung 2.2: Hype Cycle for Emerging Technologies 2024 [4]

Klar ist, dass durch das digitale Abbild von Maschinen und Prozessen essenzielle Vorteile

geschaffen werden. Der digitale Zwilling spielt schon heute einen entscheidenden Vorteil beispielsweise in der Automobilindustrie. Hier sind digitale Zwillinge von Produkten oder Produktionsanalgen vorhanden. Bei den Anlagen liegt der Fokus auf der Korrelation von Qualitätsdaten mit den Prozessparametern, um bei fehlerhaft produzierten Produkten eine automatisierte Nachregelung der Prozessparameter zu erstellen. Auch die Zulieferer der Automobilunternehmen werden hierbei berücksichtigt. Durch die bessere Datenqualität können auch die Prozesse bei den Zulieferern verbessert werden. Im konkreten nennt das Frauenhofer Institut das Beispiel von Daten für einen Coil eines Presswerks, welcher zu Platinen verarbeitet wird. Je spezifischer die Messwerte des Stahlherstellers des Coils sind, umso besser lassen sich beim Verarbeiter die Tiefziehparameter einstellen, um Rissen oder fehlerhafte Merkmale zu verhindern, oder die Möglichkeit zu haben, diese sogar vorauszusagen [3].

2.4 Vorteile

Ein Digitaler Zwilling als Gegenstück eines physischen Systems hat viele Vorteile. Ein Beispiel ist die detaillierte Multi-Domain-Simulation, bei welcher die Möglichkeit besteht, mehrere physische Subsysteme wie beispielsweise mechanische, elektrische oder thermodynamische Systemkomponenten gleichzeitig und in Abhängigkeit voneinander zu simulieren [12]. Sie verbessert die Zusammenarbeit unter Domänenexperten, wodurch komplexe Szenarien leichter simuliert werden können.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit einer virtuellen Inbetriebnahme, wodurch die Dauer der realen Inbetriebnahme reduziert werden kann. Des Weiteren liegt ein Vorteil des Digitalen Zwillings in der Echtzeitüberwachung, wodurch schnell auf plötzliche Zustandsänderungen eingegangen werden kann [13].

Durch eine fortlaufende Auswertung von Maschinendaten können Abweichungen unmittelbar erkannt werden. Dies ermöglicht neben einer präzisen Bewertung der Qualität von Produkten auch wertvolle Informationen zur Vorhersage von potenziellen Störungen. Diese Informationen ermöglichen der vorbeugenden Instandhaltung (engl. Predictive Maintenance) frühzeitige Hin-

weise auf drohende Störungen, wodurch Wartungspläne gezielter terminiert werden können, was wiederum zu verringerten Stillstandszeiten führt [14].

2.5 Fazit

Der digitale Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines physischen Produktes, Systems oder Prozesses, das durch die Verbindung von Echtzeitdaten und Simulationen eine präzise Analyse und Optimierung ermöglicht. Ein wesentliches Merkmal des Digitalen Zwillings ist seine Fähigkeit, physisches Verhalten zu simulieren und durch Echtzeitdaten kontinuierlich aktualisiert zu werden. Die Vorteile des Digitalen Zwillings gehen weit über die Überwachung hinaus. Durch den digitalen Zwilling können beispielsweise Störungen vorausgesagt werden, wodurch die Effizienz einer Produktion gesteigert werden kann. Während der digitale Zwilling 2018 wenig verbreitet war, konnte sich dies über die letzten Jahre ändern, sodass neue Anwendungsfelder bereits erprobt werden.

Im Folgenden wird der Aktuelle Stand des digitalen Zwillings im PTZ genauer beleuchtet. Dabei werden benötigte Programme und vorherige Projektarbeiten untersucht und nötige Ergänzungen ausgearbeitet.

3 Aktueller Stand des digitalen Zwillings im PTZ

3.1 Voraussetzungen

Für die Erstellung eines digitalen Zwillings sind gewisse Voraussetzungen notwendig. Dazu zählt unter anderem die Auswahl der zu verwendeten Software. Dabei wurde sich in vergangenen Studienarbeiten bereits auf die Modellierungssoftware Siemens NX mit dem Erweiterungsmodul Mechatronics Concept Designer (MCD) geeinigt. Die Erstellung des Simulationsprogramms erfolgt gleich wie das Programm des Produktionsnetzwerks über die Software SIMATIC Totally Intergrated Automation (TIA)-Portal. Die Hardwaretechnische speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) wird dann über die Software SIMATIC S7-PLCSIM Advanced simuliert. Die verwendeten Programme sind nachfolgend erklärt.

3.1.1 Siemens NX

NX ist ein Softwaretool von Siemens welche die Konstruktion virtueller 2D- und 3D-Modelle ermöglicht. Es umfasst verschiedene Module für Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Engineering (CAE) und Computer Aided Manufacturing (CAM). Diese haben sich im Zuge der digitalen Darstellung von Produkten in der Entwurfsphase etabliert. CAD beschreibt dabei die Nutzung von Computern um einen beliebigen Entwurf zu erstellen, zu modifizieren, zu optimieren und zu analysieren. CAE nutzt einen CAD-Entwurf und erweitert diesen mit dynamischen Eigenschaften für Simulationen. CAM verwendet einen CAD-Entwurf, um daraus einen Fertigungsplan für Maschinen zu generieren.

Durch diese Funktionen kann NX die Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Konstruktionsabteilungen, wie der mechanischen Konstruktion, der Elektronikentwicklung und der Automatisierungstechnik unterstützen. Zudem kann das Zusammenspiel der verschiedenen Bereiche innerhalb eines Unternehmens oder in dem Fall innerhalb der DHBW deutlich vereinfacht werden [15].

3.1.2 Mechatronics Concept Designer

Der MCD ist ein Zusatzmodul für die zuvor beschriebene Software Siemens NX. Mit Hilfe dieses Softwaretools kann das digitale Abbild durch eine „physics engine“ um physikalische und kinematische Eigenschaften erweitert werden. Aus dem statischen CAD-Modell kann so ein dynamisches, simulationsfähiges Modell, welches als Grundlage für einen vollständigen digitalen Zwilling dienen kann, erstellt werden.

Das Modul ermöglicht zudem, Modelle mit Sensoren und Aktoren auszustatten und die entsprechenden Signale für deren Steuerung zuzuweisen. Mit Hilfe von Sequenzinformationen über Prozesse oder Bewegungsabläufe kann das Zusammenspiel von Mechanik, Elektronik und Automatisierung überprüft und validiert werden.

Zusätzlich erlaubt der MCD durch seine integrierte Simulation die direkte Überprüfung aller Eigenschaften des Modells. Das kann dabei helfen Schwachstellen frühzeitig zu identifizieren und zu beheben, noch bevor die reale Produktion des Modells beginnt [15].

3.1.3 SIMATIC TIA Portal

TIA Portal ist eine Entwicklungsumgebung von Siemens für die Planung, Programmierung, Inbetriebnahme und Wartung von Automatisierungsprojekten. Die Oberfläche beinhaltet verschiedene Engineering-Tools wie STEP 7 (SPS-Programmierung), WinCC (Visualisierung) und StartDrive (Antriebstechnik). Die Software ermöglicht zudem die Integration von Echtzeitsimulationen, wodurch Steuerungsprogramme vor der physischen Inbetriebnahme getestet werden können. Die Plattform wird zur Programmierung an der Prozessanlage eingesetzt und unterstützt nahtlos die Kommunikation über verschiedene industrielle Netzwerke wie PROFINET oder PROFIBUS. Die verschiedenen Hardwarekomponenten der Anlage können in der Software vernetzt werden und bilden so eine Schnittstelle. Darüber hinaus können alle Einstellungen der verschiedenen Komponenten direkt in der Automatisierungssoftware vorgenommen und somit einfach über eine gemeinsame Plattform bedient werden. Darüber hinaus können die verschie-

denen Komponenten programmiert und auch auf das System übertragen werden. Ein weiterer Vorteil des TIA-Portals ist, dass die verschiedenen Einstellungen und Programme einfach online getestet werden können. Mit Hilfe zusätzlicher Funktionen kann das TIA-Portal auch genutzt werden, um eine Schnittstelle für Panels zu erstellen und in der Software zu simulieren. [16] [17].

3.1.4 SIMATIC S7-PLCSIM Advanced

Das Tool SIMATIC S7-PLCSIM Advanced dient zur Erstellung und Inbetriebnahme eines virtuellen Controllern und ermöglicht es, SPS-Programme vollständig auf Softwarebasis zu testen, ohne dass eine reale SPS-Hardware erforderlich ist.

Die gesamte Konfiguration erfolgt über die Software TIA Portal, in der das SPS-Programm auf den virtuellen Controller geladen werden kann. Dies erlaubt die Simulation des Programmablaufs sowie die Validierung der Steuerungslogik in einer kontrollierten Umgebung. Zusätzlich bietet PLCSIM Advanced erweiterte Funktionen wie einen integrierten Webserver, einen OPC UA Server und die Unterstützung für S7-Kommunikationen, wodurch auch die Schnittstellen zu anderen Geräten oder Programmen realitätsnah getestet werden können [15].

3.1.5 Kommunikation MCD mit externen Quellen

Das Ziel bei einem digitalen Zwilling ist eine Verbindung zu einer Steuerung herzustellen, sodass die dynamischen Eigenschaften die im Vorfeld im MCD eingestellt wurden durch die Steuerung geändert und die Resultate aus dem MCD der Steuerung zur Verfügung gestellt werde können. Dabei bietet MCD mehrere Möglichkeiten. Eine davon ist die so genannte S7 Kommunikation über PLCSIM Advanced mittels Signalzuordnung. Die Kommunikation mit dem externen Programm erfolgt über die Definition und Zuordnung von Signalen.

3.2 Beschreibung vorheriger Projektarbeiten

Das Beschreiben vorheriger Projektarbeiten zu Beginn des Projekts ist notwendig um den aktuellen Stand des digitalen Zwillings detailliert zu erklären. Zudem kann es dabei helfen aus vergangenen Erfahrungen und Fehlern zu lernen und auf diese hinzuweisen. Erfolgreiche Ansätze können übernommen und so beibehalten werden, zudem kann der Kontext besser verstanden und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Projekten besser verstanden werden. Im folgenden sind die Projektarbeiten aus dem Studienjahr 2022/2023 und 2023/2024 zusammengefasst um ein möglichst breites und aufschlussreiches Bild der vergangenen Jahre zu erhalten.

Grundsätzlich basiert der digitale Zwilling auf den Projektarbeiten des Studienjahres 2022/2023. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde das Produktionssystem grundlegend definiert und die Stationen der Anlage wurden entweder neu entwickelt oder weiter optimiert. Anschließend setzten die verschiedenen Gruppen diese Stationen in ein CAD-Modell um und fügten dies der Gesamtbaugruppe hinzu. Somit waren zu diesem Zeitpunkt mehrere Gruppen an dem Gesamtmodell (siehe Abbildung 3.1) beteiligt.

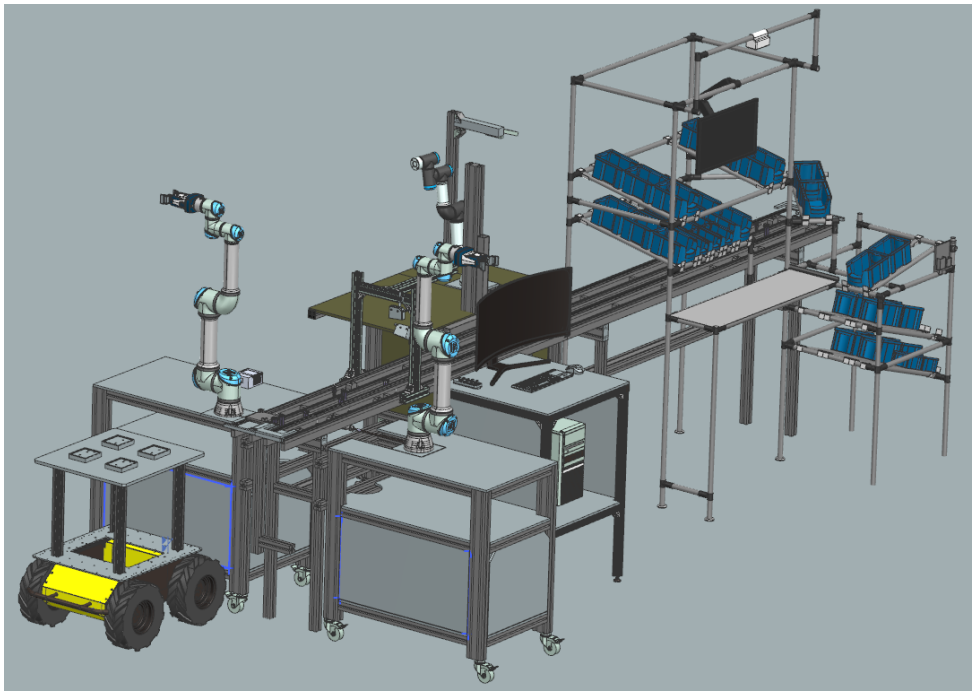


Abbildung 3.1: CAD-Modell Gesamtbaugruppe aus dem Studienjahr 2022/2023 [5]

Auf den ersten Blick mag dieses Modell gut aussehen und gibt einen räumlichen Eindruck des Produktionsbandes und der angebundenen einzelnen Stationen. Allerdings wurde in den Studienarbeiten zum digitalen Zwilling im Jahr 2023/2024 [18] [19] [20] aufmerksam gemacht, dass dieses Modell nicht dem aktuellen Stand des hardwaretechnischen Aufbaus entspricht und einiges an Verbesserungspotential bietet.

Dabei wurde in der Anlayse, der Studienarbeit Winkler/Brückner [20], zum bestehenden Modell (Abbildung 3.1) festgestellt, dass die existierende CAD-Baugruppe in keiner Weise eine einheitliche Dateistruktur oder Benennung aufweist. Zudem ist das bestehende Modell, laut intension, aufgrund falscher Maße und fehlender Änderungsmöglichkeiten unbrauchbar. Die Standard for the Exchange of Product model data (STEP)-Dateien (Format zum Austausch von Fertigprodukten) enthalten keine anpassbaren Parameter und die ursprünglichen parametrierten Dateien sind durch mangelnde Dokumentation der Studienarbeiten aus dem vorigen Jahr nicht mehr verfügbar. Daher wurde aufgrund der Gesamtheit der Mängel entschieden, ein neues, übersichtliches und änderungsfreundliches Modell mit klarer Dokumentation zu erstellen.

Dieser neue Aufbau des CAD-Modells hat elementare Folgen auf die Simulation. Die Referenzen derer basieren nämlich auf dem Modell. Da die Studienarbeit von Kehrer zur Simulation des digitalen Zwillings [18] [19] parallel zu der von Winkler/Brückner [20] stattfindet, wurde sich darauf geeinigt das die Einarbeitung in die Simulationtools und eine Implementierung bzw. dynamisierung anhand des alten Modells erfolgen soll. Die gesamtheitliche Simulation wird dann zu einem späteren Zeitpunkt im neuen Modell umgesetzt.

3.2.1 Dateistruktur und Benennung

Sämtliche Dateien waren bei der Analyse beginnend mit dem Wortlaut „Schunk“, die auf den gleichnamigen Hersteller des Teils zurückzuführen sind. Andere Komponenten waren lediglich mit allgemeinen Worten benannt, wie zum Beispiel (z.B.) „Deckel“, „Body_1“ oder „block_vorne“. Zudem liesen sich diese Dateien weder als Kaufteil noch als Eigenteil zuordnen. Ein weiterer Nachteil der nicht vorhandenen Dateistruktur ist, dass sich die Einzelteile

nicht in einzelne Stationsbaugruppen oder andere Untergliederungsstrukturen zuordnen liesen. Durch das Angemessene Anordnen und Strukturieren von Baugruppenelementen in einer hierarchischen Struktur, also einer Unterteilung der Baugruppen in Subbaugruppen und Einzelteile, werden die Elemente logisch und funktional angeordnet, sodass diese zu jedem Zeitpunkt eindeutig identifiziert, bearbeitet und verwaltet werden können. Hierzu ist im laufe der Studienarbeit eine standardisierte Benennung und eine einheitliche Dateistruktur eingeführt worden, die durch den gesamten Konstruktions- und Änderungsprozess angewandt wurde. Diese ist nachfolgend in der Tabelle 3.1 beschrieben. Die Dateistruktur ergibt sich dann aus aus der Anordnung dieser Nummerierungen in einer Struktur [20].

Bezeichnung	**Nummerierung**	**Beschreibung**
Hauptbaugruppen	01XX bis 99XX Beispiel: `0100_Station_1`	Das System ist in Hauptgruppen unterteilt. Diese stellen in unserem Fall fünf Stationen und das Förderband dar. Es sind 99 Hauptbaugruppen möglich.
Unterbaugruppen	XX1X bis XX9X Beispiel: `0210_Rahmen`	Elementare Komponentenbaugruppen der Hauptbaugruppen. Die dritte Stelle der vierstelligen Nummer dient zur Identifikation. Es sind 9 Unterbaugruppen möglich.
Teilbaugruppen	XXX1 bis XXX9 Beispiel: `0321_Winkelverbinder`	Einzelteile innerhalb der Unterbaugruppen werden anhand der vierten Stelle der Nummer gekennzeichnet. Es sind wiederum 9 Teilbaugruppen möglich.

Bezeichnung	Nummerierung	Beschreibung
Referenzteile	R-Präfix Beispiel: `R0100_0000_Adapter_2`	Enthalten wichtige Maße und Referenzen für eine einheitliche Positionierung der Komponenten. Diese werden auch als Adapterpart-Hilfsebenen bezeichnet.
Fertigteile	F-Präfix Beispiel: `F0100_0001_Rahmen`	Teile, die zum festen Grundaufbau gehören und produziert werden.
Kaufteile	K-Präfix Beispiel: `K0100_0002_Schraube`	Zugekaufte Standardkomponenten.
Sonderteile	0000_0000 Beispiel: `0000_0000_Werkstück`	Frei bewegende Teile, die durch das System transportiert werden (z. B. Werkstücke) und nicht Teil des festen Aufbaus sind. (Simulationsteile)

Tabelle 3.1: Bennenungssystematik der Baugruppe aus dem Studienjahr 2023/2024

3.2.2 Aufbau der Stationen

Grundsätzlich wird für den Aufbau an jeder Station gleich vorgegangen. Begonnen wird mit dem Referenzteil. Beim Aufbau des Modells wird dieses Referenzteil mit den Adapterpart-Hilfslinien in die Baugruppe eingefügt. So passt sich das gesamte Modell bei Änderungen der Position in der jeweiligen Ebene automatisch an. Dann wird diese Teil- oder Unterbaugruppe der übergeordneten Baugruppe hinzugefügt. Kaufteile werden mit den jeweiligen Datenblättern versehen. Zuletzt wird der Aufbau der Station in den digitalen Zwilling integriert. In diesem separaten Ordner wird später die Dynamisierung durchgeführt. Die Änderungsmöglichkeit der Modelle ist dadurch gegeben, dass alle Komponenten als Siemens part file aufgebaut werden,

dessen Paramater jederzeit änderbar sind. Nachfolgend ist beschrieben was jeweils im Studienjahr 2023/2024 an den einzelnen Stationen bereits erledigt wurde und was zum aktuellen Stand noch ergänzt/geändert werden muss. Daneben ist jeweils das zugehörige CAD-Modell dargestellt [20].

Transportroboter

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- Vertikale Rahmen neu (Querstreben)
- Horizontaler Rahmen neu
- Light Detection and Ranging (LIDAR)-Sensor hinzugefügt

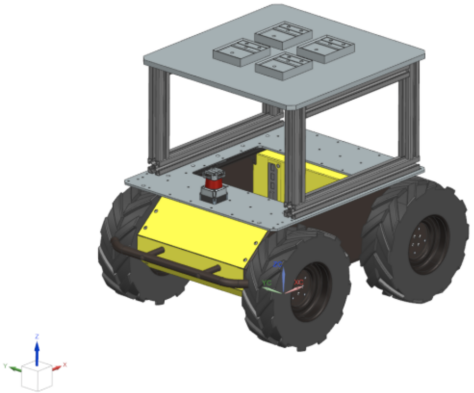


Abbildung 3.2: Transportroboter

Ergänzungen/Änderungen:

- LIDAR-Sensor Höhe und Position aktualisieren
- WLAN-Modul und Abdeckung hinzufügen
- Ergänzungen von unrelevanten Details

Transportband

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- Modell von Hersteller ergänzt bzw. abgeändert
- Vorbereitung für die Dynamisierung
- Stopper bzw. Vereinzeler entfernt und neue ergänzt
- Sensoren mit Hilfslinien hinzugefügt
- Position und Geometrie von Umlegemechanismus angepasst

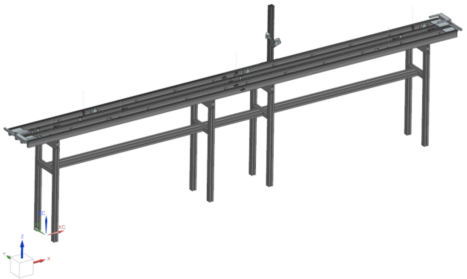


Abbildung 3.3: Transportband

Ergänzungen/Änderungen:

- Umlegemechanismus ausdetaillieren
- Ergänzungen von unrelevanten Details

Station 1 - Auflage der Komponenten

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- TCP und Basis Koordinatensystem an Roboter ergänzt
- Greiferbacken eingefügt
- Werkstückträger aktualisiert
- Anbindung an Förderband
- Positionierung Roboter über Profile und Sensor

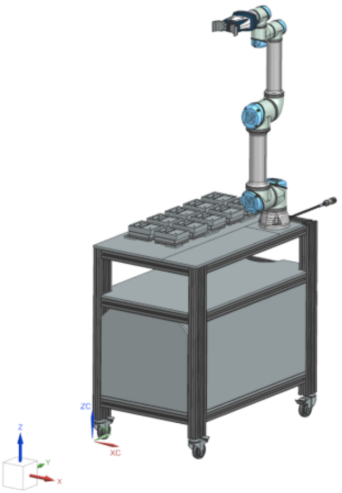


Abbildung 3.4: Station 1

Ergänzungen/Änderungen:

- Stirnseitige Profile für den Transportroboter
- Ergänzungen von unrelevanten Details

Station 2 - Bin-Picking

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- Station neu ausgemessen und konstruiert
- Greiferbacken eingefügt und parametrisiert
- Simulativ unendliche Quelle von Bolzen hinzugefügt
- Kamera zur Erkennung der Bolzen mit Adapter eingefügt

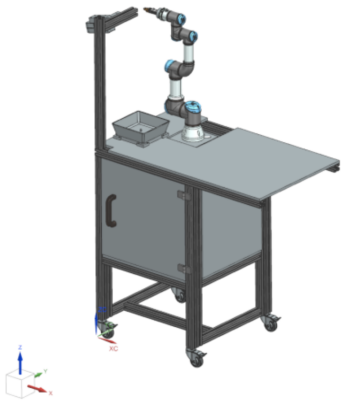


Abbildung 3.5: Station 2

Ergänzungen/Änderungen:

- Ergänzungen von unrelevanten Details

Station 3 - Montageplatz

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- Station neu ausgemessen und aktualisiert
- Aktualiserung der Behälterpositionen
- Standbeine aktualisiert

Ergänzungen/Änderungen:

- Lichtschranken für die Entnahme/Rückgabe hinzufügen
- Ergänzungen von unrelevanten Details

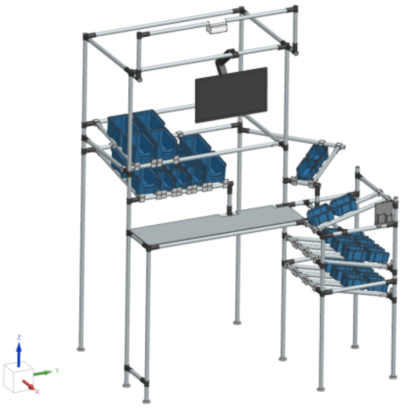


Abbildung 3.6: Station 3

Station 4 - End-of-Line-Prüfung

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- Station neu ausgemessen und aktualisiert
- Sensoren ausgemessen und platziert

Ergänzungen/Änderungen:

- Ergänzungen von unrelevanten Details

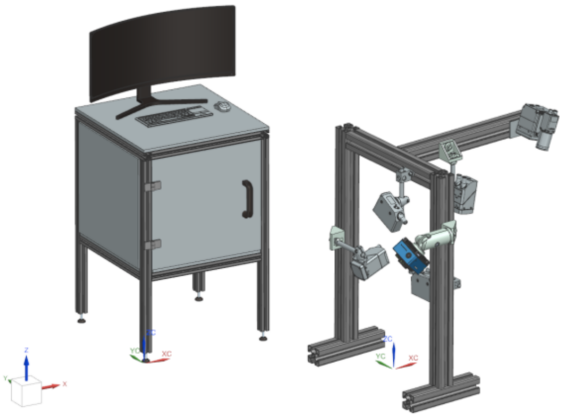


Abbildung 3.7: Station 4

Station 5 - Abnahme

Erledigt:

- Adapterpart-Hilfslinien hinzugefügt
- Anpassen der Greiffinger
- Adapterplatte aktualisiert
- Anfrage Demontageband

Ergänzungen/Änderungen:

- Einbau des Demontagebands in Gesamtbaugruppe
- Ergänzungen von unrelevanten Details

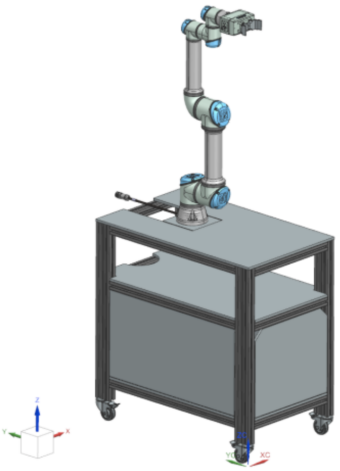


Abbildung 3.8: Station 5

3.2.3 Dynamisierung des Zwillings

Das statische 3D-Modell des digitalen Zwillings wird mit allen notwendigen dynamischen Eigenschaften versehen um die Abläufe und Bewegungen des Produktionsnetzwerks abbilden zu können. Diese dynamischen Eigenschaften wurden zur Simulation des Montage Prozesses in der Projektarbeit verwendet und sind nachfolgend kurz beschrieben [18] [19].

- **Starrkörper**
  - Verleiht Objekten Masse und Schwerkraft.
  - Grundlage für weitere dynamische Definitionen.
- **Kollisionskörper**
  - Verhindert, dass Objekte durch andere fallen.
  - Ermöglicht Kollisionen zwischen definierten Objekten.
  - Anpassung von Materialien und Reibungswerten möglich.
- **Transportfläche**
  - Wandelt Flächen in bewegliche Flächen um.
  - Definition von Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Typ (linear, zirkular).

- **Festes Gelenk**
  - Fixiert Objekte an einer festen Position im Raum.
  - Verhindert jegliche Bewegung.
- **Schubgelenk**
  - Ermöglicht lineare Bewegungen entlang eines definierten Vektors.
  - Verwendung bei beweglichen Komponenten wie Schlitten oder Hubplatten.
- **Drehgelenk**
  - Fügt drehbare Achsen für Rotationen hinzu.
  - Notwendig für Roboterbewegungen (z. B. UR-Roboter).
- **Positionsregler**
  - Steuerung von Objekten durch definierte Position, Geschwindigkeit und Kräfte.
  - Verbindung mit virtuellen oder realen Steuerungssystemen.
- **Greifer**
  - Direktdefinition eines Greifers ohne manuelle Zuordnung von Gelenken.
  - Definiert Basis, Finger und Erfassungsbereich des Greifers.
- **Kollisionssensor**
  - Erkennung von Kollisionen mit definierten Objekten.
  - Simuliert reale Sensoren wie Lichtschranken oder Kontaktsensoren.
- **Inverse Kinematik**
  - Definition von Posen als Koordinaten (x, y, z), um Bewegungsabläufe des Roboters zu steuern.
  - Erlaubt gezielte, realistische Bewegungen durch vorher festgelegte Positionen.
  - Automatische Erstellung von Positionsreglern für jedes Gelenk und deren Integration in den Sequenz-Editor.
- **Operationen und Sequenz-Editor**
  - Operationen ermöglichen den Zugriff auf Parameter wie Gelenkpositionen oder Transportflächengeschwindigkeiten.

- Im Sequenz-Editor werden Abläufe als Sequenzen koordiniert und logisch verknüpft (zeitbasiert oder ereignisgesteuert).
- Darstellung der Abläufe in einem Gantt-Diagramm-ähnlichen Navigator.

Damit der Zwilling zukünftig über eine virtuelle SPS Signale austauschen kann wurde in der Projektarbeit gezeigt wie die Signale in MCD definiert, mit einer Symboltabelle importiert und mit Hilfe von Signaladaptern mit externen Signalen verknüpft werden. Am Beispiel des Umlegers wird dieser Prozess erklärt.

Ein Signal ermöglicht die Steuerung der physikalischen Eigenschaften eines Objekts in der Simulation durch Laufzeitausdrücke, die sich während der Simulation ändern können. Der Signaladapter verknüpft Signale dabei mit Laufzeitausdrücken und ermöglicht es, mehrere Signale und Ausdrücke miteinander zu kombinieren. Eine Symboltabelle listet alle Signale auf und sorgt für eine eindeutige Benennung, die auch aus externen Quellen (TIA Portal) importiert werden kann. Die Signalzuordnung verknüpft interne Signale aus MCD mit externen Signalen aus einer SPS, um die Kommunikation zwischen beiden Systemen zu ermöglichen.

3.2.4 Offene Punkte/Ausblick aus den Studienarbeiten

Aus den Studienarbeiten wurde zur möglichst effizienten Übergabe bereits anfallende Aufgaben definiert. Daraus geht hervor, dass zum Übergabezeitpunkt der aktuelle Stand des realen Produktionssnetzwerks überprüft und die exakte Position an dem Band aktualisiert werden soll. Aus den gesammelten Datenblättern der Kaufteile könnten detaillierte Stücklisten erstellt werden. Desweiteren können für das Gesamtbild noch kleine, für die technische Funktion des digitalen Zwillings unrelevante Details (abdeckkappen und Winkel von Profilen) ergänzt werden. Ein weiterer offener Punkt wäre die Ausdetaillierung des Umlegemechanismus am Fördeband und das Einpflegen von WLAN-Moduls am Transportroboter. Nach Erhalt des Modells vom demontage-Rollenband kann dieses noch in das Modell eingepflegt werden. An der Station 1 werden stirnseitig Profile verwendet die dafür dienen dass der Roboter seine exakte Position

anfährt. Zusätzlich kann dem gesamten Erscheinungsbild halber, der Schaltschrank hinzugefügt werden [20].

Weitere Mögliche nächste Schritte in der Simulation könnten z.B. die Umsetzung des Demontageprozesses sein. Die Nutzung des digitalen Zwillings, um Anpassungen und Erweiterungen vorab zu testen, bevor diese an der realen Anlage umgesetzt werden ist erst denkbar wenn alle dynamisierten Schritte umgesetzt sind. Desweiteren kann an einer Schnittstelle zwischen dem UR5e-Roboter und MCD geforscht werden, sodass diese nicht mehr in MCD aufwändig simuliert werden müssen. Dies ist bislang sehr aufwändig und fehleranfällig [18] [19].

3.3 Programmanalyse

Da die bereitgestellten Übergabeinformationen zwischen der Studienarbeitsgruppen aus 2022/2023 und 2023/2024 nur aus einem lückenhaften Ordner voller Dateien bestand, waren diese jetzt in einem strukturierten Ordnerverzeichnis vorhanden. Dabei wurden alle Daten abgelegt und können so eindeutig identifiziert werden. Der Zwilling enthält nun einheitliche Datentypen, wobei Kaufteile mit Datenblättern versehen wurden. Änderungen während des Zeitraums sind durch Speichern von Zwischenständen mit Datum gut nachzuvollziehen und sind reproduzierbar.

Leider wurde bei der Erstellung des Zwillings eine veraltete Version 1980 von NX verwendet. Bei der Integration dieser Dateien in die neuen Version 2306 sind dabei einige Teile mit Freiheitsgraden festgestellt worden. Diese spielten in der vorigen Version eine eher weniger entscheidenende Rolle. Müssen aber jetzt zur Simulation befestigt werden. Zu den genannten Informationen aus Abschnitt 3.2.4 sollten diese Probleme also auch behoben werden.

4 Zielsetzung

Eine klare Zielsetzung ist für das Gelingen der Projektarbeit von großer Bedeutung, da hierdurch ein Rahmen für alle weiteren Arbeitsschritte geschaffen wird. Sie legt fest, welche spezifischen Ergebnisse erreicht werden sollen, und bietet bei Abschluss der Arbeit eine Referenz, welche den Erfolg der Arbeit messbar macht. Im Folgenden werden zuerst die übergeordneten Ziele der gesamten Projektarbeit erläutert, um einen Überblick über die geplanten Arbeitsschritte zu erhalten. Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts werden die spezifischen Ziele für den ersten Teil der Projektarbeit, also der T3100, erläutert.

4.1 Allgemeine Ziele

Abgleich des Digitalen Zwillings mit dem realen System

Ein Ziel der Projektarbeit ist der Abgleich des bereits vorhandenen Digitalen Zwillings mit dem realen System vor Ort, um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Modells sicherzustellen. Der bereits existierende Zwilling, welcher in einer früheren Projektarbeit teilweise entwickelt wurde, ist mittlerweile veraltet und entspricht nicht mehr vollständig dem aktuellen Systemaufbau. Deshalb ist eine Überarbeitung, um den Digitalen Zwilling auf den aktuellen Stand zu bringen, erforderlich.

Schwachstellenanalyse des Digitalen Zwillings

Ein weiteres Ziel der Projektarbeit ist die Analyse und Identifizierung der Schwachstellen des Digitalen Zwillings. Da der aktuelle Digitale Zwilling aus mehreren vorherigen Projektarbeiten entstanden ist, können Fehler oder Schwachstellen im Modell zu Ungenauigkeiten und Störungen der Simulation führen. Hierbei ist die Schwachstellenanalyse ein wichtiges Tool, um potenzielle Fehlerquellen frühzeitig zu erkennen und im Anschluss zu beheben. Eine fehlende Schwachstellenanalyse kann in späteren Phasen des Projektes zu Komplikationen führen, welche einen höheren Aufwand für deren Behebung erfordern als eine unmittelbare Überprüfung.

Behebung der Schwachstellen

Nach der Identifizierung der Schwachstellen des Digitalen Zwillings besteht das nächste Ziel in der Behebung der festgestellten Mängel. Die Korrektur von beispielsweise fehlerhaft implementierten Baugruppen führt im Allgemeinen zu einer erhöhten Stabilität der Simulation und verringert die Anfälligkeit für Störungen. Des Weiteren ist die Optimierung des vorhandenen Zwillings eine wichtige Grundlage, um zukünftige Erweiterungen ohne Folgefehler zu realisieren.

4.2 Spezifische Ziele der Projektarbeit Teil 1 (T3_3100)

Um den Erfolg des Gesamtprojektes zu gewährleisten, ist es erforderlich, zunächst spezifische Teilziele für die Projektarbeit 1 (T3_3100) zu definieren. Diese Ziele bilden eine solide Wissensbasis, welche es ermöglicht, den Digitalen Zwilling umfassend zu verstehen und weiterzuentwickeln. Darüber hinaus fördern die Teilziele eine strukturierte Herangehensweise.

Grundlagenforschung

Das erste Teilziel ist die Grundlagenforschung. Sie ist für die Projektarbeit von grundlegender Bedeutung, da hierdurch ein tiefgehendes Verständnis der theoretischen und praktischen Aspekte des Digitalen Zwillings erlangt wird. Dies bildet die Basis für spätere Weiterentwicklungen des Modells. Im Rahmen der Projektarbeit werden aktuelle wissenschaftliche Publikationen, technische Berichte und der aktuelle Systemaufbau im PTZ untersucht, um die Möglichkeiten und Innovationspotentiale des Digitalen Zwillings zu analysieren.

Vorteile:

- Durch Erkenntnisse aus den oben genannten Quellen, kann das erlangte Wissen auf das bestehende System und den Digitalen Zwilling angewandt werden.
- Die erarbeiteten Erkenntnisse können nicht nur für die aktuelle Projektarbeit, sondern auch

für zukünftige Projekte wie beispielsweise die T3_3200 genutzt werden.

Informationsbeschaffung

Ein weiteres Teilziel der ersten Projektarbeit liegt in der systematischen Informationsbeschaffung. Als Quellen werden hierfür bisherige Projektarbeiten zu dem Thema Digitaler Zwilling untersucht. Ziel ist es, den aktuellen Stand des Zwillings zu erfassen und die Ergebnisse vorangegangener Projektarbeiten zu analysieren und im Weiteren zusammenzufassen. Hierbei sollen bereits implementierte Funktionen und Lösungen betrachtet werden.

Vorteile:

- Die Informationsbeschaffung schafft Transparenz über den bisherigen Fortschritt und vermeidet doppelte Arbeitsschritte.
- Daraus ergibt sich eine Zeitersparnis, da vorhandene Erkenntnisse direkt verwendet oder angepasst werden können.
- Des Weiteren ist durch die Informationsbeschaffung die Kontinuität des Projektes gewährleistet, da die aktuelle Projektarbeit direkt an vorangegangene Projektarbeiten anknüpfen kann.

IT-Infrastruktur

Ein wichtiger Aspekt der ersten Projektphase ist die Analyse und Festlegung der erforderlichen IT-Infrastruktur, die für den Betrieb und die Weiterentwicklung des Digitalen Zwillings nötig ist.

Zu Beginn ist eine Analyse der bestehenden IT-Landschaft erforderlich, um die Grenzen dieser zu bewerten. Daraus resultiert eine klare Übersicht über verfügbare Ressourcen und mögliche Schwachstellen, welche im weiteren Verlauf der Projektarbeit behoben werden können. Um sicherzustellen, dass alle technischen Anforderungen mit dem bestehenden System kompatibel sind, werden Ansprechpartner und beauftragtes Personal der IT-Abteilung der Hochschule hinzugezogen. Ein weiterer Punkt ist die Untersuchung und Definition der Schnittstellen zwischen der realen Anlage und dem Digitalen Zwilling. Hierzu wird untersucht, ob bereits Schnittstellen

vorhanden sind und welche zusätzlichen Verbindungen für eine zuverlässige Kommunikation nötig sind.

Ein weiterer Punkt ist die Festlegung der benötigten Software. Hierbei ist darauf zu achten, welche Programme die Anforderungen des Projekts erfüllen. Das Augenmerk liegt vor allem auf der Simulationssoftware und Tools für das Schnittstellenmanagement. Da bereits Projektarbeiten über den Digitalen Zwilling vorliegen muss geprüft werden, ob die bisher verwendeten Programme den aktuellen Anforderungen in Punkto Sicherheit, Skalierbarkeit und Kompatibilität gerecht werden.

Vorteile:

- Eine gründlich geplante IT-Infrastruktur reduziert den Aufwand für die Implementierung und Anpassung von Funktionen, da sie bereits auf das Projekt zugeschnitten ist.
- Durch eine einheitliche IT-Struktur wird das Arbeiten mit anderen Projektgruppen erleichtert, da Kompatibilitätsprobleme minimiert werden.
- Für zukünftige Projektgruppen des Digitalen Zwillings wird eine solide IT-Basis gewährleistet, da durch die Implementierung fehlender Programme und die Aktualisierung veralteter Programme eine vollumfängliche IT-Landschaft direkt an der realen Produktionsanlage geschaffen wird.

Zentrale Wissensdatenbank

Ein weiteres Ziel der Projektarbeit ist die Erstellung einer zentralen Wissensdatenbank, welche die Ergebnisse früherer Projektarbeiten strukturiert aufarbeitet und zusammenfasst. Die Datenbank soll als Nachschlagewerk sowohl für die aktuelle Projektarbeit als auch für zukünftige Projektgruppen dienen. Sie stellt sicher, dass der Entwicklungsstand des Digitalen Zwillings klar dokumentiert und für alle Projektbeteiligten zugänglich ist.

Die Wissensdatenbank soll mehrere Funktionen erfüllen. Zum einen soll sie als Nachschlagewerk für alle Projektarbeiten dienen. Hierfür werden alle vorhandenen Arbeiten untersucht, sodass die relevantesten Informationen und Erkenntnisse zusammengefasst werden können. In

einem weiteren Schritt können diese Daten dann systematisch gegliedert werden, wodurch eine nachvollziehbare Dokumentation entsteht. Daraus kann dann eine detaillierte Darstellung des bisherigen Modells angefertigt werden und bestehende Schwachstellen analysiert werden. Zum anderen soll durch die Wissensdatenbank das Risiko, dass wichtige Erkenntnisse verloren gehen und neu erarbeitet werden müssen, minimiert werden.

Vorteile:

- Ein wichtiger Vorteil ist die Zeitersparnis, da relevante Informationen schneller bereitgestellt werden können und somit Recherchearbeiten minimiert werden.
- Durch die strukturierte Aufarbeitung werden die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Entwicklungsschritte gesteigert.
- Des Weiteren findet durch eine Wissensdatenbank eine effizientere Kommunikation statt, da Informationen nicht mehrfach abgefragt, oder aufwendig recherchiert werden müssen.

5 Umsetzung

Die Umsetzung des Projekts „Digitaler Zwilling“ erforderte eine strukturierte Herangehensweise, um theoretische Grundlagen zu schaffen und praktische Aufgaben zu bewältigen. Dabei lag der Fokus auf vier zentralen Bereichen: der Grundlagenforschung, der Informationsbeschaffung, der IT-Infrastruktur und der Wissensdatenbank. Diese Ziele, wie sie bereits in Kapitel 4.2 ausgeführt wurden bilden zusammen den Arbeitsauftrag für die Studienarbeit T3100. Im Folgenden werden die Vorgehensweise und die durchgeführten Maßnahmen der einzelnen Bereiche genauer beleuchtet.

Grundlagenforschung

Um ein tiefgehendes Verständnis der theoretischen Aspekte eines Digitalen Zwillings zu erlangen, wurde im ersten Schritt die Grundlagenforschung priorisiert.

1. **Kick-Off und Sicherheitsunterweisung:** Das Projekt startete mit einem Kick-Off-Meeting, bei welchem sich alle Projektgruppen, welche mit dem Digitalen Zwilling und der Produktionsanlage im PTZ in Verbindung standen, kennenlernten. Neben einer kleinen Einführung in die Funktionsweise der Produktionsanlage wurde auch eine Sicherheitsunterweisung durchgeführt. Diese war Pflicht, um an dem Modell arbeiten zu dürfen.
2. **Sichtung der Produktionsanlage:** Im nächsten Schritt wurde sich genauer mit der Produktionsanlage im PTZ befasst, um ein tiefgehendes Verständnis dieser zu erlangen. Hierfür wurden Gespräche mit anderen Projektgruppen, sowie mit dem Projektleiter geführt. Zusätzlich wurde versucht, Informationen über Schaltpläne oder Bedienungsanleitungen zu beschaffen, was jedoch nicht erfolgreich war.
3. **Arbeitsweise und Arbeitsschritte:** Durch die Analyse der Produktionsanlage entstand nun ein Verständnis über die Arbeitsweise und die einzelnen Arbeitsschritte der Anlage. Daraus konnte im Folgenden eine allgemeine Abfolge der Arbeitsschritte, wie sie in Abschnitt 1 „Vorstellung Zukunftsfabrik Bodensee“ erklärt ist, erstellt werden.

4. **Quellenrecherche:** Um das Thema der Grundlagenforschung abzuschließen wurde sie durch die Integration von Fachliteratur und wissenschaftlichen Veröffentlichungen ergänzt. Dadurch konnte eine vollumfängliche theoretische Basis geschaffen werden. Das Augenmerk lag hierbei vor allem auf dem Konzept des Digitalen Zwillings, welches in Abschnitt 2 „Grundlagen des Digitalen Zwillings“ aufgefasst wird.

Informationsbeschaffung

Die Informationsbeschaffung war ein wichtiges Teilziel der Projektarbeit, da hierdurch Transparenz über bisherige Projektarbeiten und eine sich daraus ergebende Zeitersparnis entstanden sind.

1. **Analyse vorheriger Projektarbeiten:** Um Informationen über den Projektfortschritt der früheren Projektarbeiten zu gewinnen wurden die Ausarbeitungen gesichtet und ausgewertet. Hieraus konnten Informationen über die bisher verwendeten Programme und durchgeführten Schritte gesammelt werden.
2. **Fachgespräche:** Durch Fachgespräche mit wissenschaftlichen Mitarbeitern konnten weitere Informationen erlangt und offene Fragen im Kontext zum Digitalen Zwilling beantwortet werden. Ein Beispiel hierfür wäre das Gespräch mit Herrn Rief, aus welchem viele Informationen und Erkenntnisse über das Programm Siemens NX mit dem Zusatzmodul Mechatronics Concept Designer gesammelt werden konnten.
3. **Programmanalyse:** Durch die Fachgespräche konnte ein Grundverständnis über das vorliegende Programm geschaffen werden. Im weiteren Verlauf wurde das Programm analysiert. Hierbei wurden einige Schwachstellen und nötige Anpassung identifiziert. Diese werden in Kapitel 3 genauer ausgeführt.
4. **Teamabstimmungen:** Durch wöchentliche, im späteren Verlauf im Turnus von zwei Wochen, stattfindende Meetings wurde der Informationsfluss unter den Projektgruppen hochgehalten. Zusätzlich gab es WhatsApp Communitys. Diese wurden unterteilt in eine allgemeine Gruppe, in welcher alle Teilnehmer aller Projektarbeiten vertreten waren. Des Weiteren gab es themen-

spezifische Community Gruppen, in welcher nur Teilnehmer eines Themas und Teilnehmer aus anderen Projektgruppen, welche Schnittstellen aufwiesen involviert waren.

IT-Infrastruktur

Für ein Gelingen der Projektarbeit ist die Planung und Anpassung der IT-Infrastruktur wichtig, da eventuelle Kompatibilitätsprobleme bereits zum Anfang beseitigt werden können, was im Endeffekt zu einer Zeitersparnis führt.

1. **Bedarfsanalyse:** Zunächst wurde der Bedarf an Software und Hardware für den Digitalen Zwilling ermittelt. Dabei lag der Fokus auf dem Simulationsprogramm für den Zwillings und der Schnittstellen zur Produktionsanlage. Ein weiterer wichtiger Punkt waren die Zugänge zu Rechnern im PTZ, welche erst nach längerer Zeit zur Verfügung gestellt wurden.
2. **Softwarebeschaffung und Installation:** In Abstimmung mit wissenschaftlichen Mitarbeitern des PTZ konnte in einem weiteren Schritt die Installation der benötigten Software geplant und auf den relevanten Rechnern durchgeführt werden.
3. **Integration und Tests:** Abschließend wurde die Integration der Software getestet, um sicherzustellen, dass alle Komponenten reibungslos funktionieren und im weiteren Verlauf der Projektarbeit keine Komplikationen auftreten.

Wissensdatenbank

Im Rahmen der Projektarbeit galt es, eine strukturierte Wissensdatenbank aufzubauen, welche auf den Erkenntnissen aus vorherigen Projektarbeiten basiert. Diese Datenbank sollte als Nachschlagewerk für relevante Informationen, verwendete Komponenten und abgeschlossene Arbeitsschritte dienen. Durch die Aufarbeitung der vorherigen Projektarbeiten in Kapitel 3 kann diese Projektarbeit als eine Art Wissensdatenbank gesehen werden. Sie soll somit die Informationsbeschaffung für zukünftige Projektteams erleichtern.

6 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Studienarbeit hat durch die strukturierte Aufarbeitung der vorhandenen Informationen aus den vorangegangenen Projektarbeiten des digitalen Zwillings im PTZ einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung geleistet. Die Grundlagenforschung ermöglichte ein umfassendes Verständnis des theoretischen Konzepts und den technischen Anforderungen des digitalen Zwillings. Durch die Analyse des aktuellen Stands des digitalen Zwillings im PTZ konnten vorhandene Schwachstellen identifiziert und Optimierungsmöglichkeiten erarbeitet werden.

Mit Abschluss dieser Arbeit wurde eine solide Basis der Informationen für den digitalen Zwilling geschaffen. Dennoch bleiben einige offene Punkte, die in der kommenden Studienarbeit T3200 bearbeitet werden können. Dazu gehört insbesondere die weitere Dynamisierung des Modells.

Die kommende Studienarbeit T3200 wird auf den Ergebnissen dieser Arbeit aufbauen, um die allgemeinen Ziele des Gesamtprojekts zu vervollständigen. Sie zielt darauf ab, den digitalen Zwilling so weiterzuentwickeln, dass dieser vollständig mit dem realen System übereinstimmt und die noch vorhandenen Schwachstellen behoben werden. Hierdurch wird der digitale Zwilling zu einem vollumfänglichen Werkzeug für die Simulation und Echtzeitüberwachung der Produktionsanlage im PTZ. Daraus ergibt sich ein Modell, welches auch für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte im PTZ dient.

Literatur

[1] F. Technik, „Leitlinien für die Bearbeitung und Dokumentation der Module Praxisprojket I bis III Studienarbiet I/II Bachelorarbeit," S. 2–6, 13, 14, 18–34, Oktober 2021, [Online]. Verfügbar unter: https://www.ravensburg.dhbw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Dokumente_fuer_Studierende/191212_Leitlinien_Praxismodule_Studien_Bachelorarbeiten.pdf. Einsichtnahme: 14.10.2024.

[2] DHBW, „Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung," S. 2, 5, 6, Dezember 2023, [Online]. Verfügbar unter: https://www.ravensburg.dhbw.de/fileadmin/Ravensburg/Dokumente_Bilder_Contentbereich/FIT/DHBW_RV_FN_Imagebroschuere_ZDP.pdf. Einsichtnahme: 14.10.2024.

[3] F. IOSB, „Automobil Produktion Meinungsmacher 08/2018," *erfolgsmedien für experten*, 2018, [Online]. Verfügbar unter:https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.iosb.fraunhofer.de/content/dam/iosb/iosbtest/documents/geschaeftsfelder/automatisierung-digitalisierung/Automobil%2520Produktion%2520Meinungsmacher%252008_2018.pdf&ved=2ahUKEwiduszbk-mKAxUiQvEDHVpVGecQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw3e81UPUfFIv7aoH40iJcwy. Einsichtnahme: 27.12.2024.

[4] A. Chandrasekaran, „Gartner 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies Highlights Developer Productivity, Total Experience, AI, and Security," *Gartner Newsroom*, 2024, [Online]. Verfügbar unter: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-tota Einsichtnahme: 28.12.2024.

[5] S. 2022/2023, „CAD-Modell Geamtbaugruppe," 2023, [Online]. Verfügbar unter:https://bwsyncandshare.kit.edu/s/iCC5DGekyc5wraM?dir=undefined&path=%2F11_Digitaler%

20Zwilling%2FScreenshots%20Digitaler%20Zwilling&openfile=3071117767. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[6] K. Ashton *et al.*, „That 'internet of things' thing," *RFID journal*, Vol. 22, Nr. 7, S. 97–114, 2009, [Online]. Verfügbar unter:http://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf. Einsichtnahme: 27.12.2024.

[7] M. Eigner, „Digitaler Zwilling–Stand der Technik," *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 115, Nr. s1, S. 3–6, 2020, [Online]. Verfügbar unter:https://www.degruyter.com/document/doi/10.3139/104.112300/html. Einsichtnahme: 27.12.2024.

[8] M. Grieves und J. Vickers, „Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems," *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches*, S. 85–113, 2017, [Online]. Verfügbar unter:https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-38756-7_4. Einsichtnahme: 27.12.2024.

[9] M. Schluse, *Experimentierbare Digitale Zwillinge : Konvergenz von Simulation und Realität*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024, [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-44445-7. Einsichtnahme: 28.12.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-44445-7

[10] A. Verl, Hrsg., *Echtzeitsimulation in der Produktionsautomatisierung : Beiträge zu Virtueller Inbetriebnahme, Digitalem Engineering und Digitalen Zwillingen*, 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2024, [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-66217-5. Einsichtnahme: 28.12.2024. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-66217-5

[11] A. Massonet, R. Kiesel, und R. H. Schmitt, „Der digitale Zwilling über den Produktlebenszyklus," *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 115, Nr. s1, S. 97–100, 2020, [Online]. Verfügbar unter:https://www.degruyter.com/document/doi/10.3139/104.112324/html. Einsichtnahme: 27.12.2024.

[12] M. Faruque, V. Dinavahi, M. Steurer, A. Monti, K. Strunz, J. Martinez, G. Chang, J. Jatskevich, R. Iravani, und A. Davoudi, „Interfacing issues in multi-domain simulation tools," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 27, Nr. 1, S. 439–448, 2011, [Online]. Verfügbar unter:https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6074983. Einsichtnahme: 27.12.2024.

[13] M. Klein, B. Maschler, A. Zeller, B. A. Talkhestani, N. Jazdi, M. Weyrich, und R. Rosen, „Architektur und Technologiekomponenten eines digitalen Zwillings," S. 89–102, 2019, [Online]. Verfügbar unter: https://www.ias.uni-stuttgart.de/dokumente/publikationen/2019_Architektur_und_Technologiekomponenten_eines_digitalen_Zwillings.pdf. Einsichtnahme: 28.12.2024.

[14] N. Göckel und P. Müller, „Entwicklung und betrieb digitaler zwillinge," *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 115, Nr. s1, S. 7–10, 2020, [Online]. Verfügbar unter: https://www.degruyter.com/document/doi/10.3139/104.112321/html. Einsichtnahme: 28.12.2024.

[15] S. AG, „Digital Twin in der Ausbildung: Virtuelle Inbetriebnahme mit MCD und TIA Portal," S. 11–12, 2019, [Online]. Verfügbar unter: https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/digital-twin/sce-150-001-mcd-tia-com-digital-twin-at-education-virtual-commissioning-hsd-0919-de.pdf. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[16] ——, „Totally Intergrated Automation Portal," 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Products/10090014?tree=CatalogTree. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[17] ——, „Totally Intergrated Automation Portal-Always ready for tomorrow," 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://contentpath.siemens.com/tia_main/always-ready-for-tom-1. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[18] L. Kehrer, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation Teil 1," S. 6–23, 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://bwsyncandshare.kit.edu/s/88tGea6mEdSDJ2B?dir=undefined&path=%2F02_Digitaler%20Zwilling%2F30_Dokumentation&openfile=4072646908. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[19] ——, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation Teil 2," 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://bwsyncandshare.kit.edu/s/88tGea6mEdSDJ2B?dir=undefined&path=%2F02_Digitaler%20Zwilling%2F30_Dokumentation&openfile=4072646911. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[20] O. B. Vanessa Winkler, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation," S. 22–50, 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://bwsyncandshare.kit.edu/s/88tGea6mEdSDJ2B?dir=undefined&path=%2F02_Digitaler%20Zwilling%2F30_Dokumentation&openfile=4072646920. Einsichtnahme: 14.11.2024.

A Anhang

Nutzung von KI-basierten Werkzeugen

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
ChatGPT	Finden von alternativen Satzbauten durch Eingabe von Texten (gesamt)
Deepl Write	Nutzung für die Korrekte Rechtschreibung und Zeichensetzung sowie einer besseren Formulierung von Abschnitten (gesamt)
Deepl	Übersetzung von Textpassagen zwischen deutsch und englisch (Abstract)

Tabelle A.1: Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen