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 II T3_3200

des Studiengangs Elektrotechnik Automation

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

von

Simon Hermann und Philipp Veser

14.07.2025

Bearbeitungszeitraum	14 Wochen
Matrikelnummer, Kurs	5394789 und 8195376, FN-TEA22
Ausbildungsort	ZDP
Betreuer der DHBW	Prof. Dr.-Ing. Thorsten Kever

Erklärung 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 Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) vom 29.09.2017.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Studienarbeit beziehungsweise (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 haben. Wir versicheren zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 7. Juli 2025



Simon Hermann und Philipp Veser

Unterschrift

Glossar

Git ist ein verteiltes Versionskontrollsystem, das Änderungen an Dateien nachvollziehbar speichert und die parallele Zusammenarbeit an Projekten ermöglicht. 23, 24

SharePoint Eine von Microsoft entwickelte Plattform zur Verwaltung von Dokumenten, Inhalten und Prozessen, die Zusammenarbeit und Informationsaustausch innerhalb von Unternehmen unterstützt. 19

Subversion ist ein zentrales Versionskontrollsystem, das alle Dateiänderungen in einem zentralen Repository verwaltet und so die Zusammenarbeit und Nachverfolgbarkeit erleichtert. 23

Wiki Eine kollaborative Online-Plattform zur gemeinschaftlichen Erstellung, Bearbeitung und Verlinkung von Inhalten, häufig genutzt zur strukturierten Wissensdokumentation in Organisationen. 19

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 T3_3200 baut auf den Ergebnissen der vorherigen Projektphase T3_3100 auf und verfolgt das Ziel, den digitalen Zwilling der Produktionsanlage im Produktionstechnisches Zentrum (PTZ) weiterzuentwickeln. Dabei standen drei zentrale Aufgabenfelder im Fokus.

In Abschnitt 2 der Arbeit werden zunächst die in der ersten Projektphase vorgenommenen Veränderungen an der realen Anlage analysiert und mit dem digitalen Modell abgeglichen. Durch diesen Vergleich konnten zahlreiche Abweichungen identifiziert werden, die eine Aktualisierung des digitalen Zwillings erforderlich machen. Auf dieser Grundlage und weiterer Umstände wurde unter Abschnitt 3 eine umfassende Schwachstellenanalyse durchgeführt, in der technische als auch organisatorische Defizite, wie fehlende Computer Aided Design (CAD)-Daten oder unvollständige Steuerungsprojekte, aber auch eine unzureichende Informationstechnologie (IT)-Infrastruktur systematisch erfasst, bewertet und mit konkreten Maßnahmen zur Verbesserung hinterlegt wurden.

Parallel dazu wurde in Abschnitt 4 der Arbeit ein strukturierter Bereich innerhalb einer webbasierten Wissensplattform aufgebaut. Ziel war es, zentrale Erkenntnisse, Arbeitsprozesse und Dokumentationen systematisch aufzubereiten, zu gliedern und für nachfolgende Projektgruppen zugänglich zu machen. Die Inhalte wurden in überarbeiteter Form eingepflegt und durch wichtiges Material wie CAD-Dateien und Simulationsprojekte im Cloud-Speicher ergänzt. Zudem wurde eine einfache, manuelle Versionsverwaltung eingeführt, um Änderungen an Modellständen nachvollziehbar zu dokumentieren.

Durch die Verbindung technischer Analysen und organisatorischer Maßnahmen schafft diese Studienarbeit eine belastbare Grundlage für die kontinuierliche Weiterentwicklung des digitalen Zwillings. Gleichzeitig fördert sie durch das eingeführte Wissensmanagement eine effizientere Zusammenarbeit im Projektverbund des PTZ und verkürzt die Einarbeitungszeit zukünftiger Projektgruppen erheblich.

Abstract

This student research project T3_3200 builds on the results of the previous project phase T3_3100 and aims to further develop the digital twin of the production plant in the PTZ. The focus was on three central task areas.

In section 2 of the work, the changes made to the real plant in the first project phase are first analyzed and compared with the digital model. This comparison made it possible to identify numerous deviations that made it necessary to update the digital twin. Based on this and other circumstances, a comprehensive vulnerability analysis was carried out under section 3, in which technical and organizational deficits, such as missing CAD data or incomplete control projects, but also an inadequate IT infrastructure were systematically recorded, evaluated and backed up with concrete measures for improvement.

At the same time, a structured area within a web-based knowledge platform was set up in section 4 of the work. The aim was to systematically prepare and organize key findings, work processes and documentation and make them accessible to subsequent project groups. The content was entered in revised form and important material such as CAD files and simulation projects were stored in cloud storage. In addition, a simple, manual version management system was introduced in order to document changes to model statuses in a traceable manner.

By combining technical analysis and organizational measures, this study work creates a reliable basis for the continuous further development of the digital twin. At the same time, it promotes more efficient collaboration within the PTZ project network thanks to the knowledge management introduced and significantly shortens the training period for future project groups.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung zur Eigenleistung **I**

Glossar **II**

Disclaimer **III**

Vorwort **III**

Zusammenfassung **IV**

Abstract **V**

Abbildungsverzeichnis **VIII**

Tabellenverzeichnis **VIII**

Abkürzungsverzeichnis **IX**

1 Einleitung **1**

1.1 Rückblick auf die Projektarbeit Teil 1 (T3_3100) 1

1.2 Spezifische Ziele der Projektarbeit Teil 2 (T3_3200) 3

2 Veränderungen an der Zukunftsfabrik seit T3_3100 **6**

3 Schwachstellenanalyse des Digitalen Zwillings **10**

3.1 Ziel und Nutzen der Schwachstellenanalyse 10

3.2 Ist-Zustandsanalyse 11

3.3 Identifikation von Schwachstellen 11

3.4 Bewertung der Schwachstellen 13

3.5 Maßnahmen zur Behebung der Schwachstellen 15

3.6 Zusammenfassung der Schwachstellenanalyse 17

4 Wissensmanagement **19**

4.1 Einfügen und Bearbeiten relevanter Informationen 20

4.2 Was wurde der Wissensdatenbank hinzugefügt 22

4.3 Vorgehensweise bei der Umsetzung 26

5 Fazit und Ausblick **28**

Literatur **30**

A Anhang **A**

Abbildungsverzeichnis

2.1 Vergleich: CAD Modell (a) und echtes Modell (b) des Transportroboter 6
2.2 Vergleich: CAD Modell (a) und echtes Modell (b) des Umlegers 7
2.3 Vergleich: CAD Modell (a) und echtes Modell (b) der Station 6 8
2.4 Neue Stationsübersicht der Anlage nach der Abänderung 8
4.1 Einstellen von Dokumenten in der Wissensmanagement Website [2] 21

Tabellenverzeichnis

3.1 Bewertung der Schwachstellen nach technischer und organisatorischer Kritikalität 14
4.1 Versionsverwaltung der Änderungen am digitalen Zwilling 25
4.2 Vorgehensweise bei der Umsetzung 27
A.1 Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen . . . . . A

Abkürzungsverzeichnis

bzw. beziehungsweise

CAD Computer Aided Design

DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

IT Informationstechnologie

KI künstliche Intelligenz

LIDAR Light Detection and Ranging

MCD Mechatronics Concept Designer

PDF Portable Document Format

PTZ Produktionstechnisches Zentrum

SPS speicherprogrammierbare Steuerung

TIA Totally Intergrated Automation

z.B. zum Beispiel

ZDP Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

1 Einleitung

Mit zunehmenden Einsatz von digitalen Zwillingen in der industriellen Produktion verfolgen Unternehmen und Forschungseinrichtungen das Ziel, reale Anlagen digital abzubilden, zu analysieren und kontinuierlich zu optimieren. Der digitale Zwilling gilt dabei als führende Technologie für Effizienzsteigerung, Zustandsüberwachung und virtuelle Inbetriebnahmen [3]. Insbesondere im Kontext zu komplexen Fertigungsprozessen, wie sie zum Beispiel (z.B.) im PTZ vorzufinden sind, ermöglicht der digitale Zwilling eine tiefgreifende Analyse und ein frühzeitiges Erkennen potenzieller Schwachstellen. Insbesondere bei der Planung und Umsetzung [4].

Im Rahmen dieser Studienarbeit, aufbauend auf einer bzw. mehreren Studienarbeit/en [5][6][7] wurde bereits im ersten Teil (T3_3100 [8]) die Grundlage für die vorliegende Fortsetzung geschaffen. Aufbauend auf den dort erzielten Ergebnissen und Erkenntnissen, wird im zweiten Teil der Fokus auf die gezielte Weiterentwicklung sowie der präzisen Erfassung des aktuellen Anlagenzustands gelegt. Diese Arbeit knüpft somit direkt an die bisherige Arbeit [8] an und führt die in der ersten Studienarbeit genannten allgemeinen Zielsetzungen weiter.

Im Unterabschnitt 1.1 wird zunächst ein Rückblick auf die Inhalte und Ergebnisse der ersten Studienarbeit gegeben, um die Ausgangslage für Teil 2 nachvollziehbar darzustellen. Anschließend werden in Unterabschnitt 1.2 die spezifischen Ziele der Projektarbeit Teil 2 (T3_3200) erläutert, welche den inhaltlichen Rahmen dieser Arbeit bilden.

1.1 Rückblick auf die Projektarbeit Teil 1 (T3_3100)

Die vorangegangene Studienarbeit im Rahmen der Projektarbeit T3_3100 [8] beschäftigte sich mit der konzeptionellen und technischen Weiterentwicklung eines digitalen Zwillings für die Produktionsanlage im PTZ. Ziel war es, eine solide Wissensbasis aufzubauen, die sowohl ein fundiertes Verständnis des digitalen Zwillings vermittelt als auch die Grundlage für eine spätere dynamische Simulation und die Anbindung an reale Steuerungssysteme schafft.

In den ersten beiden Kapiteln wurde das Konzept des Digitalen Zwillings als virtuelles

Abbild eines physischen Systems grundlegend erläutert. Im Mittelpunkt standen dabei dessen zentrale Komponenten – das reale Objekt, das digitale Modell und die verbindende Datenschnittstelle. Es wurden wesentliche Vorteile wie Predictive Maintenance, Echtzeitüberwachung und virtuelle Inbetriebnahme aufgezeigt sowie industrielle Anwendungsbeispiele und die Relevanz im Kontext der „Zukunftsfabrik Bodensee“ betrachtet.

Kapitel 3 widmete sich dem aktuellen Stand des digitalen Zwillings im PTZ. Hier wurden die technischen Voraussetzungen analysiert, die für die Erstellung und Weiterentwicklung notwendig sind. Die Softwareumgebung basiert auf Siemens NX mit dem Zusatzmodul Mechatronics Concept Designer (MCD) zur Erweiterung um physikalische und kinematische Eigenschaften. Ergänzt wird der Zwilling durch das Totally Intergrated Automation (TIA) Portal für SPS-Programmierung und SIMATIC S7-PLCSIM Advanced für die virtuelle Steuerungssimulation. Es wurden erste Schnittstellen zwischen Modell und Steuerung (z.B. über Signaladapter) betrachtet und Möglichkeiten der Integration skizziert.

Im Zuge der Analyse früherer Projektarbeiten (Studienjahre 2022/2023 und 2023/2024 [6] [7] [5]) wurden strukturelle Schwächen des bestehenden CAD-Modells identifiziert, darunter eine uneinheitliche Dateibenennung, mangelhafte Dokumentation und fehlende Änderbarkeit der Modelle. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, eine neue, standardisierte Dateistruktur mit systematischer Benennung und parametrischen Modellen zu definieren, die für spätere Modifikationen und Simulationen geeignet ist. Die neu geschaffene Struktur berücksichtigt Haupt-, Unter- und Teilbaugruppen, sowie eine Trennung zwischen Referenz-, Kauf- und Fertigteilen.

Ergänzend wurde eine Programmanalyse durchgeführt, bei der die bestehende Projektstruktur überarbeitet und alle relevanten Dateien in ein einheitliches und nachvollziehbares Verzeichnis überführt wurden. Dabei zeigte sich, dass die vorher verwendete Softwareversion (NX1980) mit der aktuellen Version (NX2306) nur bedingt kompatibel ist, was zu zusätzlichen technischen Herausforderungen führt.

Kapitel 4 beschrieb die allgemeinen und spezifischen Ziele der Projektarbeit. Als allgemeines, übergeordnetes Ziel beider Projektteile wurde die vollständige Digitalisierung und

Simulation der realen Produktionsumgebung benannt. Da dies so einfach nicht möglich ist, mussten zunächst kleinere Teilziele erarbeitet werden. Für die T3_3100 [8] wurden vier zentrale Teilziele definiert: Die Grundlagenforschung zum digitalen Zwilling, die systematische Informationsbeschaffung (insbesondere durch Auswertung vorheriger Projektstände), die Bewertung und Optimierung der IT-Infrastruktur, sowie der Aufbau einer zentralen Wissensdatenbank, die alle relevanten Informationen bündeln und für künftige Projektgruppen zugänglich machen soll.

Die praktische Umsetzung dieser Ziele wurde in Kapitel 5 beschrieben. Im Bereich Grundlagenforschung lag der Fokus auf Literaturrecherche, dem Verständnis der Produktionsanlage und dem Austausch mit anderen Projektgruppen sowie Fachpersonen. Für die Informationsbeschaffung wurden frühere Studienarbeiten ausgewertet und fachliche Gespräche geführt. In Bezug auf die IT-Infrastruktur wurden Softwarebedarfe ermittelt. Es wurde deutlich, dass grundlegende Voraussetzungen wie die rechtzeitige Installation aller benötigten Softwarekomponenten nicht gegeben waren. Infolgedessen kam es zu einem verzögerten Projektstart und eingeschränkten Arbeitsmöglichkeiten in Bezug auf die Studienarbeit. Diese Problematik wurde thematisiert und führte zu der Forderung nach einem dauerhaft eingerichteten Arbeitsplatz mit geeigneter Software, der für die Bearbeitung des Digitalen Zwillings ausgestattet ist. Die notwendigen Installationen wurden dann in die Wege geleitet und erste Integrations- und Funktionstests durchgeführt. Die in Bezug auf die Studienarbeit erstellte Dokumentation dient dabei als zentrales Wissensmanagement für künftige Projektgruppen. [8]

Insgesamt bildete die erste Projektarbeit T3_3100 eine technische und konzeptionelle Grundlage für die nun folgende zweite Phase (T3_3200), in der die erarbeiteten Strukturen konkret weiterentwickelt und funktional mit der realen Anlage abgeglichen werden sollen. Nachfolgend sind die spezifischen Ziele nun genauer benannt.

1.2 Spezifische Ziele der Projektarbeit Teil 2 (T3_3200)

Die vorliegende Projektarbeit im Rahmen der Studienarbeit T3_3200 basiert zum Teil auf den Ergebnissen der ersten Studienarbeit T3_3100, welche in der letzten Theoriephase bearbeitet

wurde. In der ersten Phase lag der Fokus bei dem allgemeinen Aufbau des digitalen Zwillings und seiner Umgebung im PTZ. In der zweiten Projektphase liegt der Schwerpunkt auf der gezielten Weiterentwicklung des digitalen Zwillings und der Verbesserung der Arbeitsbedingungen für nachfolgende Projektgruppen. Dabei lassen sich die Ziele in drei zentrale Aufgabenfelder unterteilen:

Abgleich des digitalen Zwillings mit dem realen System

Im Laufe der letzten und aktuellen Akademiephase wurden an der Produktionsanlage mehrere technische und organisatorische Änderungen vorgenommen. Bei den Änderungen handelt es sich beispielsweise um zusätzliche Elemente an der Station 6 oder den Veränderungen am Transportroboter. Ziel der Projektarbeit ist es, diese vorhandenen Änderungen zu identifizieren, zu dokumentieren und für spätere Projektgruppen aufzuarbeiten. Dies ist wichtig, um die Aktualität der Dokumentation bei einem sich schnell verändernden Objekt wie der Produktionsanlage zu wahren.

Schwachstellenanalyse des digitalen Zwillings

Ein weiteres Ziel der Projektarbeit besteht in der Erfassung und Bewertung der bestehenden Schwachstellen des digitalen Zwillings. Die Analyse baut auf der in der T3_3100 gemachten Ist-Zustandsanalyse auf und erweitert diese um die Nennung technischer und organisatorischer Defizite. Durch die Schwachstellenanalyse sollen die vorhandenen Defizite identifiziert, deren Auswirkung bewertet und Maßnahmen zur Verbesserung genannt werden. Das Ziel ist eine verlässliche Arbeitsgrundlage für nachfolgende Projektgruppen zu schaffen, welche sich an dieser Dokumentation orientieren können.

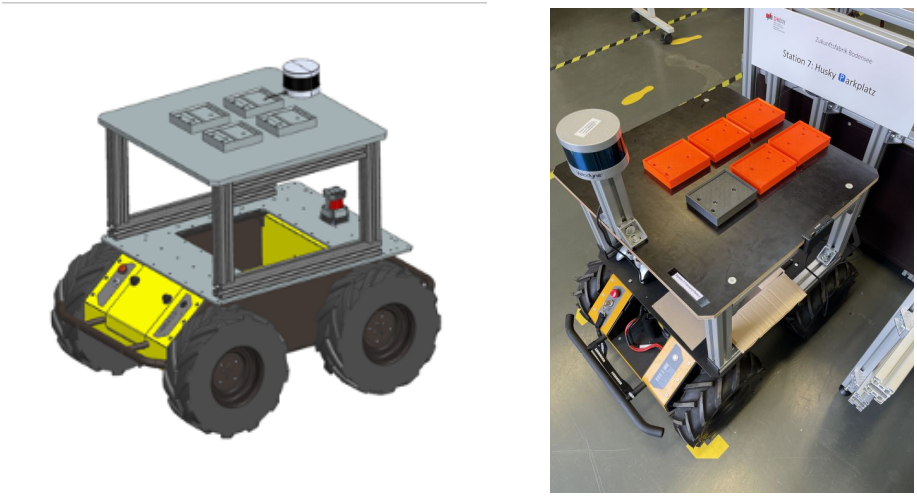
Aufbau des Wissensmanagements

Auch der Aufbau eines nachhaltigen Wissensmanagements, welches sämtliche relevanten Informationen, Dateien und Projektstände sichert und logisch auffindbar macht, ist ein Ziel dieser Projektarbeit. Durch die Zusammenarbeit mit einer parallelen Projektgruppe, welche eine webbasierte Wissensplattform entwickelt, sollen Inhalte wie Dokumentationen, Simulationen und Wissenswertes gepflegt werden. Des Weiteren soll für größere technische Dateien ein zugehöriger Cloud-Speicher genutzt werden. Hierdurch soll die Einarbeitung nachfolgender Projektgruppen erleichtert und die Weiterentwicklung des digitalen Zwillings beschleunigt werden.

2 Veränderungen an der Zukunftsfabrik seit T3_3100

Ein wichtiger Aspekt für die Verbesserung und Weiterentwicklung des Digitalen Zwillings ist die kontinuierliche Synchronisation mit dem physischen System. Nur wenn Änderungen konsistent im digitalen Modell nachgebildet werden, kann der Digitale Zwilling seine Funktionen im Bereich Analyse und Simulation aufrechterhalten. Während der Bearbeitung der T3_3100, sowie in der aktuellen Akademiephase wurden Änderungen an der Produktionsanlage im PTZ vorgenommen. Diese Änderungen sind bislang nicht vollständig in das CAD-Modell des Digitalen Zwillings integriert worden. Die nachfolgenden Beispiele zeigen exemplarisch die bestehenden Abweichungen zwischen dem realen und virtuellen System.

- **Transportroboter „Husky“:**

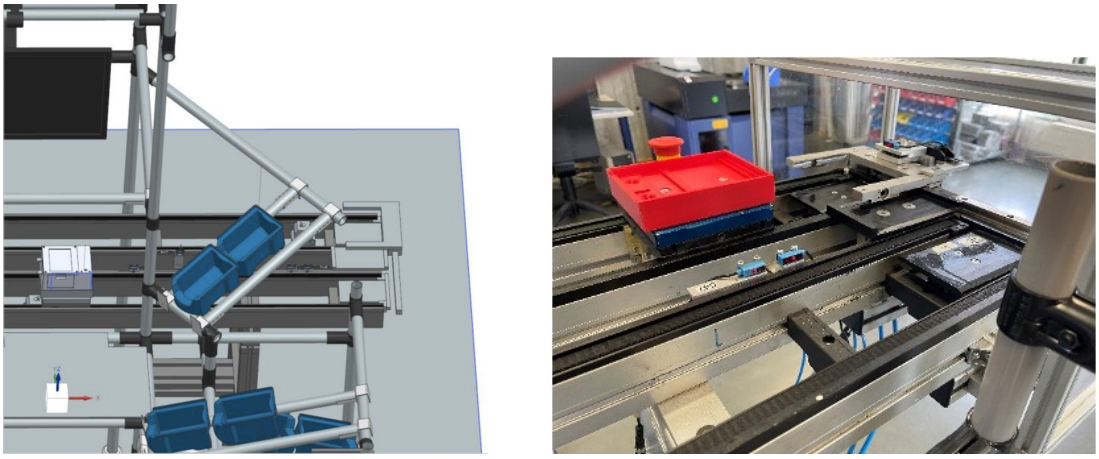


(a) **(b)**

Abbildung 2.1: Vergleich: CAD Modell (a) und echtes Modell (b) des Transportroboter

Der am Roboter verbaute Light Detection and Ranging (LIDAR)-Sensor wurde in seiner Position verändert. Diese Änderung wurde zwar in der T3_3100 bereits erwähnt, ist bislang jedoch nicht im CAD-Modell des Zwillings berücksichtigt worden. Des Weiteren besitzt der Husky mittlerweile sechs, anstelle der zuvor vorhandenen vier Befestigungen auf der Oberseite. Dadurch besteht ein Unterschied zwischen dem realen und digitalen Abbild. Dies ist in der oben zu sehenden Abbildung 2.1 dargestellt.

- **Transportband – Umlege Mechanismus:**



(a) (b)

Abbildung 2.2: Vergleich: CAD Modell (a) und echtes Modell (b) des Umlegers

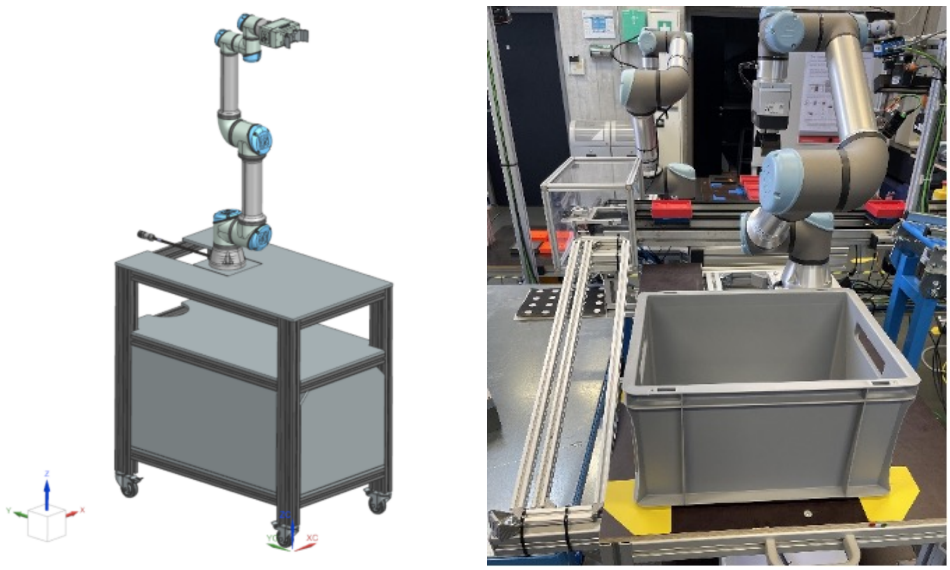
Ein weiteres Beispiel betrifft das zentrale Transportband der Anlage. Der ursprünglich installierte mechanische „Umleger“, welcher Werkstücke zwischen zwei Bändern umlegt, wurde aufgrund eines Defekts an der hinteren Seite des Bandes verändert. Diese bauliche Änderung wurde bisher weder dokumentiert noch in Form einer aktualisierten CAD-Baugruppe in den bestehenden Digitalen Zwilling übernommen. Dies ist in der oben zu sehenden Abbildung 2.2 dargestellt.

- **Demontageband:**

  Am zentralen Transportband befindet sich, zugehörig zu Station 8 ein Demontageband der Firma Baving. Auf Anfrage sind für dieses Band keine CAD-Dateien vorhanden. Zwar existiert im digitalen Zwilling eine erstellte Konstruktion, diese weist jedoch erhebliche Mängel auf und ist für eine Simulation nicht wirklich brauchbar.

- **Station 6 – Schiene und Kiste:**

  Eine weitere, bislang nicht berücksichtige Änderung ist an Station 6 festzustellen. An dieser Stelle wurde eine Kiste zur Ablage von Werkstücken installiert. Darüber hinaus wurde neben der Station eine Schiene zur Platzierung von Werkstücken eingerichtet. Beide Anlagenteile sind weder dokumentiert, noch existiert eine CAD-Datei. Die Implementierung



(a) (b)

Abbildung 2.3: Vergleich: CAD Modell (a) und echtes Modell (b) der Station 6

der Bauteile in den Digitalen Zwilling hat bisher noch nicht stattgefunden. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung 2.3 zu erkennen.

- **Änderung der Stationsnamen:**

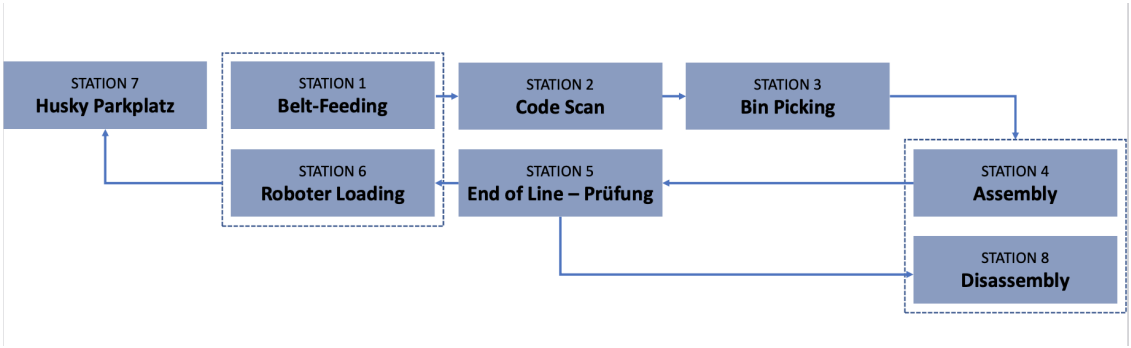


Abbildung 2.4: Neue Stationsübersicht der Anlage nach der Abänderung

Im Zuge der Weiterentwicklung des digitalen Zwillings wurden die einzelnen Anlagestation neu definiert. Im Vergleich zu vergangenen Versionen wurden den Stationen teils neue Namen und neue Nummern zugeordnet. So wurde beispielsweise die bisherige Station 2, die zuvor das Bin-Picking beinhaltete nun zur Station „Code-Scan“. Dies ist zu erkennen an der Abbildung 2.4. Hierdurch müssen auch die zugehörigen Dokumentationen

angepasst werden.

Diese Beispiele zeigen exemplarisch, dass Veränderungen am physischen System nicht automatisch im Digitalen Zwilling reflektiert werden. Ohne ein konsequentes Änderungsmanagement verliert der Digitale Zwilling an Präzision und somit an Aussagekraft für beispielsweise Analysen oder Simulationen.

3 Schwachstellenanalyse des Digitalen Zwillings

3.1 Ziel und Nutzen der Schwachstellenanalyse

Die Schwachstellenanalyse stellt ein zentrales methodisches Instrument dar, das der systematischen Erfassung und Bewertung von Mängeln in technischen Systemen dient. Sie ermöglicht die Identifikation bestehender oder potenzieller Defizite, die Analyse ihrer Ursachen sowie die Ableitung geeigneter Maßnahmen zur Optimierung. Dabei geht es neben der technischen Fehlerbehebung auch um die Verbesserung von Prozessen und Strukturen [9].

In Bezug auf den Digitalen Zwilling besitzt die Schwachstellenanalyse eine besondere Relevanz. Dies liegt an der Aktualität und Präzision, auf welcher die Datenbasis beruht. Der Digitale Zwilling ist eine virtuelle Repräsentation eines physischen Systems und übernimmt wichtige Funktionen in den Bereichen Simulation, Visualisierung und Optimierung. Jede Abweichung oder Unvollständigkeit im Modell hat erhebliche negative Auswirkungen auf die Aussagekraft und Nutzbarkeit des Zwillings [10].

Eine praxisorientierte Schwachstellenanalyse, insbesondere im Rahmen dieses Projektes im PTZ, verfolgt mehrere Ziele:

- die Sicherstellung der Aktualität des Digitalen Zwillings im Vergleich zur realen Anlage,
- die Verbesserung der Arbeitsbedingungen für nachfolgende Projektgruppen,
- sowie die Identifikation von technischen und organisatorischen Defiziten, welche den Erfolg des Projektes gefährden könnten.

Die Durchführung der Schwachstellenanalyse beinhaltet bei der vorliegenden Studienarbeit die folgenden Schritte:

1. **Erfassung des Ist-Zustandes:** Dokumentation des Zustandes des aktuellen Digitalen Zwillings.

2. **Identifikation von Schwachstellen:** Durch Vergleich des Digitalen Zwillings mit der realen Anlage und Überprüfung des aktuellen Digitalen Zwillings.
3. **Bewertung der Schwachstellen:** Analyse der Schwere der Fehler bzw. Defizite und deren Auswirkung.
4. **Gegenmaßnahmen definieren:** Handlungsempfehlungen für technische und organisatorische Korrekturen formulieren.

Gerade in einem Projekt mit ständig wechselnden Teams und nicht standardisierten Vorgängen, wie es im PTZ der Fall ist, ist eine strukturierte Schwachstellenanalyse unabdingbar. Sie bildet die Basis für den nachhaltigen Betrieb und letztendlich Erfolg des Digitalen Zwillings.

3.2 Ist-Zustandsanalyse

Bereits in der vorangegangenen Studienarbeit T3_3100 [8] wurde eine Ist-Zustandsanalyse durchgeführt, in welcher der Ist-Zustand der CAD-Datenstrukturen, der Steuerungsanbindung und der eingesetzten Software erfasst und beschrieben wurde. Neben der Erfassung des Ist-Zustandes wurden erste Verbesserungsmaßnahmen wie zum Beispiel die Ausbesserung einzelner Freiheitsgrade eingeleitet. Aufgrund der bereits bestehenden Ist-Zustandsanalyse aus der T3_3100 wird auf eine erneute Darstellung in dieser Arbeit verzichtet. Stattdessen richtet sich die Konzentration der Arbeit auf die Analyse von Abweichungen und Defiziten, die Auswirkungen dieser und der Ausarbeitung von möglichen Lösungsansätzen.

3.3 Identifikation von Schwachstellen

Im Folgenden wird ein Überblick über die vorliegenden strukturellen und funktionalen Schwachstellen dargestellt. Diese wurden während der Bearbeitung der beiden Studienarbeiten T3_3100 und T3_3200 identifiziert und zeigen Diskrepanzen zwischen dem physischen System und dem digitalen Modell. Die Benennung der Schwächen erfolgt nach der in Unterabschnitt 3.1 „Ziel und Nutzen der Schwachstellenanalyse“ beschriebenen methodischen Struktur.

Fehlende oder veraltete CAD-Dateien

Die unvollständige und nicht versionierte Bereitstellung der CAD-Dateien stellt eine erste Schwachstelle dar. Für mehrere Baugruppen, wie zum Beispiel der geänderte Umlegemechanismus am Transportband, liegen keine aktualisierten CAD-Daten vor. Teilweise wurden Konstruktionen erstellt, welche lediglich auf lokalen Rechnern einzelner Studierender gespeichert und nicht dokumentiert wurden. Hierdurch fehlen Anlagenbauteile und somit Informationen, durch welche eine Synchronisation des digitalen Modells mit der realen Produktionslinie erschwert wird. Die Folge ist, dass mechanische Änderungen an der Produktionslinie nicht abgebildet werden können, wodurch die Simulationsfähigkeit im MCD abnimmt.

Fehlende TIA-Projekte

Eine weitere Schwachstelle betrifft die Steuerungsebene des Modells. Es liegt kein aktuelles TIA-Projekt des Umlegers an der Rückseite des Transportbandes vor. In der Studienarbeit von Kehrer wurde die Thematik der Umsetzung einer Schnittstelle zwischen MCD und einer virtuellen SPS anhand des Umlegers bereits behandelt. Hierfür wurde bereits ein Programmcode und PLC-Variablentabellen mit den dazugehörigen Ein- und Ausgabesignalen erstellt, welche den Umleger steuern sollen [7]. Allerdings fehlt das TIA-Projekt vollständig. Dies führt dazu, dass die Simulation der Steuerung in PLCSIM Advanced nicht korrekt ausgeführt werden kann. Dies ist ein weiterer Punkt, durch welchen die Simulationsfähigkeit des digitalen Zwillings eingeschränkt, was eine zentrale Anwendung darstellt.

Fehler bei der Dynamisierung in MCD

Aktuell ist eine Durchführung der dynamischen Simulation in MCD nicht möglich. Bereits vor dem Start der Sequenzsimulation erscheint die Fehlermeldung: „The object contains no geometries. The geometry may have been deleted“. Dies deutet darauf hin, dass ein Objekt, auf das zugegriffen werden soll, keine Geometrie mehr enthält. Eine mögliche Ursache könnte ein gelöschtes Element, auf das sich eine Verknüpfung bezieht, sein. Auch könnte ein falsch referenziertes Bauteil, welches falsch eingebettet oder nicht mehr vorhanden ist, die Ursache

sein.

Des Weiteren zeigen Videoaufnahmen älterer Versionen des Modells, dass bei erfolgreichem Start der Simulation grafische Mängel auftreten. Beispiele hierfür sind kurzeitig verschwindende Bauteile, sich sprunghaft bewegende Bauteile oder Bauteile, welche sich durch feste Oberflächen hindurchbewegen. Diese Fehler deuten auf fehlende bzw. falsch zugewiesene physikalische Eigenschaften hin. Für den aktuellen Stand des digitalen Zwillings steht jedoch zuerst die Behebung der oben genannten Fehlermeldung im Vordergrund.

Mangelhafte IT-Infrastruktur

Eine nicht technische, aber organisatorische Schwachstelle liegt in der IT-Infrastruktur. Bereits in der Studienarbeit T3100 wurde festgestellt, dass sich die Bereitstellung der benötigten Softwareumgebung als zeitaufwendig und unkoordiniert gestaltet. Es vergingen mehrere Wochen, bis alle relevanten Programme, wie Siemens NX, TIA-Portal und PLCSIM Advanced an einem geeigneten Platz installiert wurden und lauffähig waren. Zu Beginn der Studienarbeit T3200 wurde festgestellt, dass erneut die gleichen Probleme wie in der ersten Studienarbeit auftraten. Auch bei der T3200 vergingen mehrere Wochen, bis alle Programme auf einem Rechner funktionsfähig waren. Für die Bearbeitung des digitalen Zwillings ist ein fester, dauerhaft eingerichteter Arbeitsplatz erforderlich, welcher über sämtliche notwendigen Programme für die Bearbeitung verfügt. Durch die fehlende Kontinuität kam es in der Vergangenheit häufig zu Projektverzögerungen und erhöhtem Arbeitsaufwand.

3.4 Bewertung der Schwachstellen

Auswirkungen auf Funktion und Nutzung

Die genannten Schwächen des digitalen Zwillings beeinträchtigen dessen Funktionen in hohem Maße. Vor allem die fehlenden und veralteten CAD-Daten führen dazu, dass die Produktionsanlage im PTZ nicht korrekt im virtuellen Modell abgebildet werden kann. Dies betrifft neben den geometrischen Abbildungen auch kinematische Abläufe und Kollisionsprüfungen.

Auch das fehlende TIA-Projekt des Umlegers verhindert die Vervollständigung des Zwillings. Somit ist keine Kopplung zwischen dem physischen System, der Steuerungslogik und dem digitalen Zwilling gegeben, was eine Simulation mit realen Prozessdaten verhindert.

Hinzu kommen die beobachteten Fehler bei der Dynamisierung im MCD. Durch die visuellen Mängel können keine brauchbaren Ergebnisse aus der Simulation entnommen werden.

Risiken für Weiterentwicklung des digitalen Zwillings

Die bereits beschriebenen infrastrukturellen Schwachstellen – besonders die mangelhafte Softwarebreitstellung und das Fehlen eines definierten Arbeitsumfelds, wirken sich negativ auf die Projektbearbeitung aus. Des Weiteren sind gepflegte CAD-Daten und dokumentierte Änderungen unabdingbar, um Lücken im Projektverlauf zu vermeiden.

Sollten diese Schwachstellen nicht bearbeitet werden, so sind Redundanzen, erhöhter Arbeitsaufwand für nachfolgende Projektgruppen und eine Verzögerung der Weiterentwicklung des digitalen Zwillings die Folge.

Kritikalität der Schwachstellen

Für eine systematische Bewertung der Schwachstellen erfolgt im Folgenden eine Einordnung anhand zweier Kriterien. Zum einen wird der Einfluss auf die Kernfunktionen des digitalen Zwillings, also die technische Kritikalität und zum anderen der Einfluss auf die Projektarbeit sowie die zukünftige Nutzbarkeit, also die organisatorische Kritikalität, begutachtet.

Schwachstellen	Technische Kritikalität	Organisatorische Kritikalität
Fehlende IT-Infrastruktur	Hoch	Hoch
Fehlende CAD-Daten	Hoch	Mittel
Fehlendes TIA-Projekt	Mittel	Mittel
Fehlerhafte Dynamisierung	Niedrig	Mittel

Tabelle 3.1: Bewertung der Schwachstellen nach technischer und organisatorischer Kritikalität

Die fehlende IT-Infrastruktur stellt die größte Schwachstelle dar, da sie sowohl die technische Bearbeitung als auch den organisatorischen Faktor der Projektarbeit behindert. Ohne eine funktionierende und einheitliche Softwareumgebung können weder die Steuerungsintegration noch die Simulation durchgeführt werden. Zusätzlich entsteht ein erheblicher Mehraufwand, durch mehrfach wiederholte Installationsprozesse. Letztere ist eine besonders starke Schwachstelle bei einer zeitlich limitierte Studienarbeit wie dieser.

Die fehlenden CAD-Daten verhindern vor allem die technische Weiterentwicklung des digitalen Zwillings. Aufgrund von fehlenden oder nicht korrekt modellierten Bauteilen bleibt das System nur eingeschränkt simulierbar. Organisatorisch gesehen ist die Schwachstelle etwas weniger kritisch einzuschätzen, da die Daten teilweise rekonstruierbar sind. Dennoch sollte für zukünftige Projekte auch ein Fokus auf Datenverwaltung gelegt werden.

Das fehlende TIA-Projekt des Umlegers wirkt sich sowohl auf die technische als auch auf die organisatorische Kritikalität mittelmäßig aus. Dies liegt vor allem daran, dass das Problem im Vergleich zu strukturellen Problemen isoliert, gelöst werden kann.

Die fehlerhafte Dynamisierung ist zum jetzigen Stand des digitalen Zwillings eher als Problem mit geringer Relevanz zu betrachten. Solange die IT-Basis und die grundlegende Modellkonsistenz nicht vollständig bearbeitet sind, ist eine detaillierte Simulation nicht zielführend. Trotzdem sollten die Probleme und deren Ursachen dokumentiert werden, um zu gegebenem Zeitpunkt wieder daran arbeiten zu können.

Durch die Einordnung können in folgendem Kapitel Maßnahmen abgeleitet werden, welche für die kommende Projektgruppe als Handlungsempfehlung dienen können.

3.5 Maßnahmen zur Behebung der Schwachstellen

Für eine nachhaltige Verbesserung und Weiterentwicklung des digitalen Zwillings im PTZ ist es notwendig, die identifizierten Schwachstellen zu beheben. Hierfür wird die zuvor durchgeführte Kritikalitätsbewertung betrachtet und entsprechende Maßnahmen abgeleitet.

Verbesserung der IT-Infrastruktur

Die Bereitstellung einer stabilen IT-Infrastruktur bildet die Grundlage für alle weiteren Arbeiten am digitalen Zwilling. Hierfür sollte ein dauerhaft eingerichteter Arbeitsplatz für den digitalen Zwilling geschaffen werden, an welchem alle relevanten Softwarekomponenten, wie Siemens NX (inkl. MCD), TIA Portal und PLCSIM Advanced vollständig installiert und getestet sind.

Ein weiterer Ansatz wäre die Aufnahme der benötigten Programme inklusive zugehöriger Lizenzen und Zugriffsrechten in das bereits bestehende virtuelle Maschine-Image. Dies ermöglicht eine zentral gepflegte Umgebung für den digitalen Zwilling.

Zudem sollte eine klare Verantwortlichkeit für die Verwaltung der Arbeitsumgebung z.B. durch einen im PTZ vorhandenen Laboringenieur definiert werden.

Nachmodellierung und Versionierung der CAD-Daten

Für alle physischen Änderungen an der Produktionsanlage sollten zeitnah aktualisierte CAD-Modelle erstellt werden. Des Weiteren sollten diese standardisiert dokumentiert werden. Auf eine ausschließliche Speicherung auf privaten Rechnern, oder undurchsichtigen Ordnerstrukturen sollte verzichtet werden. Stattdessen sollten die Dateien auf einer Plattform mit einheitlicher Datenstruktur, welche für jeden zugänglich sind gespeichert werden. Ein Beispiel hierfür wäre die bereits vorhandene Plattform bwSync&Share.

Außerdem sollten alle Informationen zu einer Änderung in einem Änderungsdokument festgehalten werden. Hierbei wäre ein Aufbau der Dateien mit den folgenden Punkten sinnvoll:

- Wer hat die letzte Änderung vorgenommen
- Wann wurde die letzte Änderung durchgeführt
- Was wurde konkret verändert

Behebung der Dynamisierungsfehler im MCD

Auch wenn die Behebung der Dynamisierungsprobleme im Vergleich zu den vorherigen Punkten eine niedrigere Priorität hat, sollte sie dennoch beachtet werden. Hierbei sind folgende Eigenschaften der im Modell vorhandenen Bauteile zu überprüfen:

- Die physikalischen Eigenschaften der vorhandenen Bauteile (z.B. Massen und Dämpfungen)
- Die Kollisionseinstellungen der Bauteile
- Fehlercodes und Logdateien beim Start der Simulation
- Im späteren Verlauf: Die korrekte Signalzuweisungen zwischen dem TIA Portal und MCD.

Langfristig könnte eine Anleitung zur Modellierung von dynamischen Baugruppen erstellt werden, in welcher typische Fehler benannt und praktische Modellierungsbeispiele beschrieben werden.

3.6 Zusammenfassung der Schwachstellenanalyse

Die durchgeführte Schwachstellenanalyse des digitalen Zwillings der Produktionsanlage im PTZ hat gezeigt, dass es sowohl im organisatorischen als auch im technischen Bereich mehrere grundlegende und tiefere Schwachstellen gibt. Die größte Schwäche hierbei ist, dass es sich nicht um einmalige Fehler, sondern um systemische Ursachen wie beispielsweise der fehlenden Prozessverantwortung oder einer unklaren Zuständigkeit bei der IT-Infrastruktur handelt.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen bilden einen guten Leitfaden, für weitere Projektarbeiten am digitalen Zwilling und sollten gemäß ihrer Wichtigkeit folgend bearbeitet werden.

Die Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Infrastruktur lassen sich mit entsprechender Unterstützung durch leitende Personen schnell und langfristig umsetzten. Die Einrichtung eines dauerhaften Arbeitsplatzes und einer standardisierten virtuellen Maschine sind mit wenig Aufwand verbunden. Der Mehrwert und zeitliche Vorteil durch diese Anpassungen sind jedoch enorm.

Bei der Ergänzung fehlender CAD-Daten ist der Aufwand höher. Durch strukturiertes Arbeiten und Nutzen von zentralen Plattformen wie beispielsweise bwSync&Share kann jedoch die Effizienz des Projektes gesteigert werden. Hierbei sollte vor allem auf die langfristige Pflege der Daten geachtet werden.

Bei der Implementierung der TIA-Projekte für vorhandene und neue Baugruppen sind detaillierte Kenntnisse der Programme und des realen Modells von großer Bedeutung. Hier spielt die Zusammenarbeit mit den Betreuern und der Zugang zu vollständigen und gepflegten Dokumentationen eine wichtige Rolle.

Abschließend sollte die Fehlerbehebung bei der Dynamisierung durchgeführt werden. Dies ist für die korrekte Simulation der realen Produktionsanlage unabdingbar. Der volle Nutzen der Dynamisierung kann jedoch erst realisiert werden, wenn alle übrigen Modellbestandteile konsistent aufgebaut sind.

Zusammenfassen lässt sich festhalten, dass die infrastrukturellen Probleme und das Fehlen einer zuverlässigen Datenverwaltung die wesentlichen Ursachen für die Probleme am digitalen Zwilling darstellen. Nach Behebung der organisatorischen Schwachstellen kann eine Bearbeitung der technischen Schwachstellen, wie beispielsweise der Fehlerbehebung der Dynamisierung, vorgenommen werden. Darüber hinaus zeigt die Schwachstellenanalyse, dass ohne kontinuierliche Pflege des Modells und der Daten die Funktionalität des digitalen Zwillings nicht gegeben werden kann und seine Aufgabe als Prozessabbild nicht erfüllt wird.

Mit den im Kapitel „Maßnahmen zur Behebung der Schwachstellen“ vorgeschlagenen Maßnahmen liegt nun eine Handlungsempfehlung vor, die, sofern sie umgesetzte wird, dazu beitragen kann, die identifizierten Schwachstellen zu beheben und den digitalen Zwilling weiterzuentwickeln.

4 Wissensmanagement

Im Rahmen der Projektarbeit spielt ein strukturiertes Wissensmanagement eine zentrale Rolle, um Informationen aus verschiedenen Studienarbeiten im PTZ langfristig zu sichern und für nachfolgende Projektgruppen zugänglich zu machen. Zu diesem Zweck wurde im Zuge einer separaten Projektarbeit durch Konstantin Kosel (TMP22, Gruppe 9) eine webbasierte Plattform entwickelt, die als zentrale Wissensdatenbank fungiert. Die Website ist unter folgendem Link [11] zu erreichen.

Das Ziel dieser Plattform ist es, relevante Inhalte aus verschiedenen Themenbereichen systematisch zu bündeln und nachvollziehbar zu dokumentieren, damit zukünftige Projektgruppen sich im Vorfeld informieren können was auf sie zu kommt, einen einfachen Start in das Projekt haben und erste Grundlegende Informationen über das Projekt erhalten. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Gruppen auf einen Blick alles Relevante einsehen können und nicht lange in den entsprechenden Studienarbeiten suchen müssen.

Bereits im Vorfeld wurden durch die Wissensmanagementgruppe grundlegende konzeptionelle Arbeiten geleistet, darunter die Ausarbeitung eines Berechtigungskonzepts, die Entscheidung über die technische Umsetzung (Wiki oder SharePoint), der Aufbau der Website sowie die Bewertung und Auswahl geeigneter Dokumentationsinhalte.

Im Zuge der aktuellen Projektarbeit wurde unserer Gruppe ein eigener Bereich innerhalb dieser Plattform zur Verfügung gestellt. Nach erfolgter Registrierung und Anmeldung ist es seit Anfang Mai 2025 möglich, die im Rahmen der Studienarbeiten T3_3100 und T3_3200 erarbeiteten Erkenntnisse, Strukturen und Ergebnisse (oder alles was darüber hinaus geht) gezielt in das zentrale System einzupflegen.

Der nachfolgende Unterabschnitt 4.1 beschreibt zunächst die Vorgehensweise bei der Einbindung unseres Projektwissens in die Plattform, sowie nachfolgend unter Unterabschnitt 4.2 die für uns relevanten Beiträge zur nachhaltigen Dokumentation und Weitergabe von Fachwissen im PTZ. [12]

Hinzuzufügen ist, das für umfangreiche technische Daten wie die ganzen CAD-Modelle, Baugruppen oder Simulationsprojekte hingegen der Cloud-Dienst bwSync&Share zum Einsatz kommt. Dieser wird hochschulübergreifend betrieben und dient zur sicheren, synchronisierten Ablage und dem Austausch größerer Dateien innerhalb von Projektgruppen. Er erfüllt dabei die Rolle einer zentralen Dateiverwaltung für den digitalen Zwilling [13]. Testweise werden der Wissenmanagement Plattform die aktuellsten CAD-Dateien hinzugefügt damit der Cloud-Dienst in Zukunft von der Wissenmanagement Plattform abgelöst werden kann.

4.1 Einfügen und Bearbeiten relevanter Informationen

Grundsätzlich ist die Bedienung der Website recht selbsterklärend. Das eingepflegte Wissen kann unter den entsprechenden Bereichen der Gruppen eingesehen werden. Zusätzlich kann es auf Wunsch über das Glossar (in alphabetischer Reihenfolge) aufgerufen werden. Anhand der unten gezeigten Abbildung 4.1 ist zu erkennen wie das Einfügen und Bearbeiten von relvanten Informationen von statten geht. Zur strukturierten Ablage und Dokumentation von Fachwissen innerhalb der Wissensplattform wurde für unsere Projektgruppe ein eigener Bereich mit dem Titel „Dokumentensammlung der Gruppe 5 – Digitaler Zwilling“ angelegt. Die Plattform ermöglicht das Erstellen, Bearbeiten und Versionieren von Einträgen. Jeder neue Beitrag kann mit einer Revisionsinformation versehen werden, in der die vorgenommenen Änderungen dokumentiert werden – in diesem Fall z.B. mit der Nachricht „Dokumentensammlung erstellt“.

Die Wissensplattform ist dabei nicht als Dateiablage, sondern als strukturierte Wissensbasis konzipiert. Entsprechend werden Inhalte in Textform erfasst und kategorisiert – hier z.B. unter der Überschrift 3.1 Voraussetzungen. In diesem Abschnitt wird erläutert, welche Softwarevoraussetzungen für die Erstellung eines digitalen Zwillings notwendig sind.

Zur Ergänzung der Inhalte ist zusätzlich ein Datei-Upload vorgesehen. Dabei können zugehörige Dokumente (z.B. Portable Document Format (PDF)-Dateien mit weiterführenden Informationen) hochgeladen werden. In dem gezeigten Beispiel wurde die Datei „Voraussetzungen.pdf“ hochgeladen und mit einer Linktext-Beschriftung versehen. Diese Datei steht dann über die

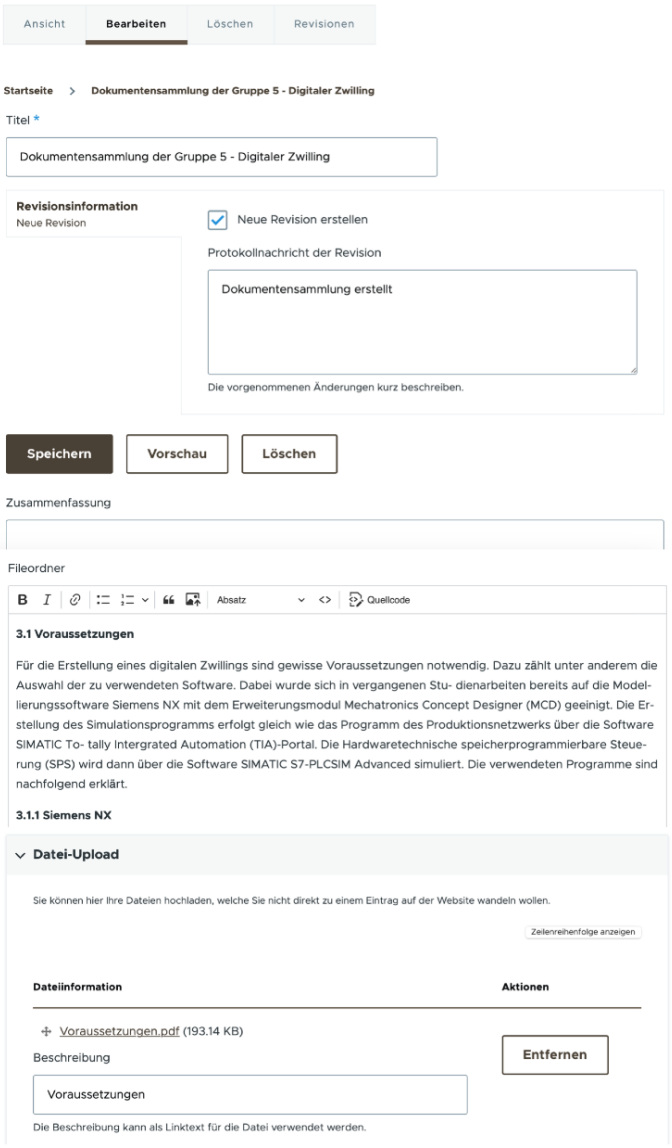


Abbildung 4.1: Einstellen von Dokumenten in der Wissensmanagement Website [2]

Plattform als ergänzendes Referenzmaterial zur Verfügung, ohne dass sie in Textform vollständig integriert werden muss. Die Plattform unterstützt damit sowohl eine strukturierte inhaltliche Darstellung als auch eine ergänzende, dokumentengestützte Ablage – mit dem Ziel, Wissen übersichtlich, nachvollziehbar und für andere Projektgruppen wiederverwendbar bereitzustellen.

4.2 Was wurde der Wissensdatenbank hinzugefügt

Die Inhalte wurden bewusst kompakt und themenorientiert aufbereitet, um den Nutzenden der Plattform einen schnellen und zielgerichteten Zugriff auf die jeweils relevanten Informationen zu ermöglichen. Dabei lag der Fokus auf der Auswahl fachlich und technisch relevanter Inhalte, die einen unmittelbaren Mehrwert für die Weiterentwicklung des digitalen Zwillings bieten. Um Redundanzen zu vermeiden und die Lesbarkeit zu verbessern, wurde bewusst auf die vollständige Integration ganzer Studienarbeiten verzichtet.

Stattdessen kommt die Datei-Upload-Funktion der Plattform zum Einsatz, über die ergänzendes Material – beispielsweise vollständige Dokumentationen, technische Anhänge, Quelltexte oder CAD-Dateien – separat bereitgestellt werden können. Durch die Trennung zwischen redaktionell aufbereiteter Wissensdarstellung im Fließtext und der parallel abgelegten Referenzdokumentation bleibt der Lesefluss erhalten und es wird gleichzeitig eine vollständige Nachverfolgbarkeit gewährleistet. Besonders bei umfangreichen Themen wie der Simulationslogik, der Signalverarbeitung oder der Versionsverwaltung von CAD-Dateien ermöglicht dieses Vorgehen eine klare Strukturierung und Vermeidung von Informationsüberladung.

Die nachfolgenden inhaltlichen Schwerpunkte wurden in den Wissensbereich der Gruppe aufgenommen und dokumentiert:

Datei-Upload:

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie relevante Dateien strukturiert auf der Wissensmanagement-Plattform hochgeladen werden sollen. Dabei wird festgelegt, dass die aktuellste Studienarbeit oberhalb der übrigen Dokumente platziert wird. Zusätzlich ist jeder Datei ein beschreibender Linktext im vorgegebenen Format hinzuzufügen, um eine klare und nachvollziehbare Referenz zu gewährleisten.

Voraussetzungen für den digitalen Zwilling:

Ein zentraler Bestandteil der Plattform ist die Erläuterung der eingesetzten Softwarelandschaft.

Dabei wird zunächst auf die Funktion und Rolle von Siemens NX eingegangen, das als CAD-Basis zur Konstruktion von 3D-Baugruppen dient. Ergänzt wird dieses durch den Mechatronics Concept Designer (MCD), ein Erweiterungsmodul, das die physikalische Simulation von Modellen innerhalb derselben Umgebung ermöglicht. Für die Umsetzung der Steuerungslogik kommt das SIMATIC TIA Portal zum Einsatz, mit dem die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) erstellt und verwaltet wird. Schließlich wird mit PLCSIM Advanced ein Tool vorgestellt, mit dem diese Steuerung virtuell ausgeführt und mit dem digitalen Zwilling gekoppelt werden kann. Jede dieser Komponenten wurde nicht nur benannt, sondern hinsichtlich ihrer Anwendung im konkreten Projektkontext erläutert. Damit entsteht ein praxisnaher Überblick, der für neue Projektgruppen eine schnelle Einarbeitung ermöglicht.

Versionsverwaltung der CAD-Modelle:

Ein weiterer inhaltlicher Schwerpunkt ist die Einführung eines strukturierten Versionsmanagements für die CAD-Modelle. Die Dateien des digitalen Zwillings (z. B. `.prt`, `.stp`) werden in einem festgelegten Verzeichnis – konkret dem Ordner „50_Digitaler_Zwilling“ – im Cloud-Dienst `bwSync&Share` [14] abgelegt. Die Dokumentation auf der Plattform beschreibt die bestehende Ordnerstruktur dieser Dateiablage detailliert. Verlinkungen zu den jeweiligen Jahrgängen ermöglichen die transparente Rückverfolgung früherer Arbeitsstände. Leider konnte zum Abschluss der Projektarbeit keine CAD-Dateien vom aktuellen Projekt hinzugefügt werden, da derzeit serverseitig eine maximale Obergrenze von 32MB eingerichtet ist [12].

Zusätzlich zur Ordnerstruktur wurde wurde eine einfache, manuell gepflegte Versionsverwaltung für die CAD-Modelle des digitalen Zwillings implementiert. Zwar existieren in der Softwareentwicklung zahlreiche etablierte Versionskontrollsysteme wie z.B. Git oder Subversion, welche es ermöglichen, dass Funktionen wie parallele Bearbeitung, Rückverfolgbarkeit von Änderungen und Wiederherstellung älterer Stände verfügbar werden, jedoch war die Anwendung eines solchen Systems für das CAD-basierte Modellmanagement im vorliegenden Kontext nur eingeschränkt praktikabel.

Da der genutzte Speicherort für die Modellversionen, der Cloud-Dienst `bwSync&Share`, keine integrierte Versionierung im Sinne einer verteilten oder zentralen Versionsverwaltung bereitstellt, wurde eine lokale, dateibasierte Struktur gewählt. Diese orientiert sich an der Logik einfacher lokaler Versionssysteme: Änderungen an CAD-Daten werden durch datumsbasierte Ordner wie `240513_DZ` (für den 13. Mai 2024) gekennzeichnet und manuell dokumentiert.[15]

Zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit soll zusätzlich eine tabellarische Änderungsübersicht gepflegt werden, in der jede neue Version mit Datum, Bearbeitenden und einer kurzen Beschreibung versehen ist. Wichtigkeitshalber ist hierbei hinzuzufügen das nur „freigegebene“ Inhalte, also Dateien die auch funktionstüchtig sind in der Verwaltung mit aufgenommen werden.

Die Trennung in konstruktive Arbeiten am Modell selbst (CAD) mit der Erstellung dynamischer Eigenschaften (MCD) und der dynamisierung mit MCD und SPS ermöglicht zudem parallele Arbeitsprozesse ohne gegenseitige Blockade. Das Vorgehen erhöht die Effizienz im Projektverlauf und reduziert das Risiko von Datenverlusten durch unkoordinierte Modelländerungen.

Die Versionsverwaltung ist anschaulich unter der Tabelle 4.1 zu sehen, welche die wesentliche Anforderungen einer einfachen Versionskontrolle erfüllt:

- Rückverfolgbarkeit der Entwicklungsschritte
- Identifikation verantwortlicher Personen
- Erhalt älterer Stände zur Wiederherstellung
- Vermeidung von Datenverlust durch versehentliche Überschreibungen
- Unterstützung paralleler Bearbeitung durch Trennung von Gesamtbaugruppe und Einzelstationen

Zwar kann eine manuelle Versionierung nicht den vollen Funktionsumfang moderner Versionskontrollsysteme wie Git bieten, doch stellt sie im vorliegenden Fall eine praktikable und transparente Lösung da, die speziell auf die Anforderungen der CAD-Modellpflege zugeschnitten ist.

Name	Kommentar	Wer?	Datum	Freigabe
CAD-Dateien und MCD				
240601_DZ	Unbekannt	Winkler, Brückner	01.06.2024	Ja
240610_DZ	Unbekannt	Winkler, Brückner	10.06.2024	Ja
240616_DZ	Unbekannt	Winkler, Brückner	16.06.2024	Ja
250528_DZ	Fehlerbehebungen	Hermann, Veser	28.05.2025	Ja
CAD-Dateien, MCD und SPS				
240703_DZ	Unbekannt	Kehrer	03.07.2024	Ja

Tabelle 4.1: Versionsverwaltung der Änderungen am digitalen Zwilling

Erstellung eines dynamischen 3D-Modells:

Auf der Plattform wurde detailliert dokumentiert, welche dynamischen Eigenschaften einem CAD-Modell in Siemens NX MCD zugewiesen werden müssen, um ein funktionsfähiges, simulationsfähiges Modell zu erhalten. Hierzu zählen u. a. Starrkörperdefinitionen, Kollisionskörper, Gelenke (fest, schiebend, drehbar), Transportflächen, Greifer und Sensorik.

Für jede Eigenschaft wurden Funktionsweise, Benennungskonventionen (z.B. „RB_“, „CB_“, „FJ_“) sowie typische Einsatzbeispiele auf der Anlage beschrieben. Ziel hierbei ist es, dass nachfolgende Gruppen in der Lage sind, neue Komponenten korrekt zu dynamisieren oder bestehende Modelle systematisch zu erweitern ohne lange nach den Eigenschaften zu suchen. Ein blick auf die Wissenssammlung reicht. Die Inhalte wurden dabei durch praxisnahe Screenshots, Modellbeispiele und Tipps zur Fehlervermeidung ergänzt.

Aufbau der Simulation in NX MCD:

Ein weiterer Abschnitt der Plattform behandelt die vollständige Umsetzung eines Montageprozesses im Sequenzeditor von NX MCD. Anhand der Station 1 und des UR5e-Roboters wird der Ablauf Schritt für Schritt dokumentiert – von der Initialisierung einzelner Bewegungen über Greifprozesse bis hin zu bedingungsabhängigen Verzweigungen und Taktverhalten.

Das gesamte Simulationsverhalten wird durch den gezielten Einsatz von Operationen, Be-

dingungen, Ereignissen und Zeitverzögerungen gesteuert. Auch hier sind Empfehlungen zur Strukturierung der Abläufe, zur Wiederverwendbarkeit einzelner Ablaufschemata und zur Performanceoptimierung enthalten.

Kommunikation zwischen MCD und virtueller SPS:

Ein besonders komplexer Themenbereich ist die Verknüpfung des digitalen Zwillings mit einer virtuellen SPS über PLCSIM Advanced. Die Plattform erklärt dabei ausführlich den vollständigen Signalfluss – beginnend mit dem Export von PLC-Variablen aus dem TIA Portal, über die Erstellung einer Symboltabelle in MCD, bis hin zur Konfiguration eines Signaladapters und der automatisierten Signalzuordnung zwischen beiden Systemen.

Anhand eines realen Beispiels, nämlich der Steuerung eines Umlegers, wird gezeigt, wie interne Bewegungsparameter mit externen SPS-Signalen gekoppelt werden. Die verwendeten Signale, Parameternamen und Formeln sind offen dokumentiert und dienen als Vorlage für eigene Implementierungen. Damit können nachfolgende Gruppen die Schnittstelle bei Bedarf erweitern oder in andere Prozesse integrieren.

Diese Inhalte wurden so aufbereitet, dass sie modular erweiterbar, übersichtlich strukturiert und technisch belastbar sind. Die Plattform lebt vom aktiven Mitwirken der Projektteams, die dazu angehalten sind, neue Erkenntnisse nicht nur projektintern zu dokumentieren, sondern auch systematisch in die Wissensplattform einzupflegen. Nur durch diese Form der offenen, gepflegten Dokumentation lässt sich langfristig ein robuster, studienjahrübergreifender Wissensspeicher schaffen, der Redundanzen vermeidet, Einarbeitungszeiten verkürzt und die Gesamtqualität der Projektergebnisse kontinuierlich steigert.

4.3 Vorgehensweise bei der Umsetzung

Die Tabelle 4.2 zeigt die anschaulich die durchgeführten Arbeitsschritte die nach und nach ausgeführt wurden, um das Wissensmanagement mit den notwendigen Daten zu füllen.

Maßnahme	Beschreibung
Festlegung relevanter Inhalte	Vor der Befüllung der Plattform wurde entschieden, welche Informationen für zukünftige Gruppen besonders relevant und dokumentationswürdig sind.
Erstellung einer Gliederung	Es wurde eine strukturierte Gliederung entwickelt, um die Inhalte thematisch zu ordnen.
Sichtung vorhandener Inhalte	Die Inhalte aus den vorherigen Studienarbeiten T3_3100 und T3_3200 wurden gesammelt, geprüft und aufbereitet.
Redaktionelle Aufbereitung	Die gesichteten Inhalte wurden in verständlicher, komprimierter Form für die Plattform formuliert, z. B. mit Screenshots und Beispielen.
Einpflegung	Die aufbereiteten Texte und begleitenden Dokumente wurden in den entsprechenden Plattformbereich hochgeladen und kategorisiert.
Revisionskennzeichnung	Jeder Eintrag wurde mit Revissionsinformationen versehen, um Änderungen transparent zu machen und eine Nachverfolgbarkeit auf der Plattform sicherzustellen.

Tabelle 4.2: Vorgehensweise bei der Umsetzung

5 Fazit und Ausblick

In der zweiten Projektphase konnte auf die Grundlage, welche in der T3_3100 gelegt wurde, erfolgreich aufgebaut werden und der digitale Zwilling in der Zukunftsfabrik weiterentwickelt werden. Die drei Hauptaufgaben der Studienarbeit bestanden hierbei bei dem abgleich des realen Systems mit dem digitalen Zwilling, in der Schwachstellenanalyse und dem Aufbau eines Wissensmanagements für zukünftige Projektgruppen.

Der Abgleich mit dem realen System war notwendig, um unterschiede an der physischen Anlage und dem virtuellem Modell zu identifizieren. Dabei wurden bauliche Änderungen an der Produktionslinie systematisch erfasst und mit dem digitalen Zwilling verglichen. Diese Analyse zeigte deutlich, dass zahlreiche Anpassungen bislang nicht in das CAD-Modell übernommen wurden. Die erfassten Abweichungen dienen daher als Ausgangspunkt für künftige Modellanpassungen und die technische Pflege des Systems.

Durch die Schwachstellenanalyse wurde es möglich, technische und organisatorische Defizite, wie beispielsweise fehlende CAD-Daten oder eine mangelnde IT-Infrastruktur zu identifizieren. Darauf aufbauend konnten geeignete Maßnahmen, die zur Verbesserung des aktuellen Modells beitragen, abgeleitet werden. Gleichzeitig wurde durch die Implementierung der Wissensdatenbank ein wichtiger Schritt für zukünftige Studienarbeiten gemacht, da hierdurch Wissen und Daten langfristig und zentral gespeichert sind. Hierdurch bleiben Arbeitsergebnisse nicht isoliert, oder im privaten, sondern sind teamübergreifend zugänglich.

Beide Studienarbeiten zusammen bilden eine gute Grundlage für nachfolgende Projektgruppen, die den digitalen Zwilling weiterentwickeln und einsetzen möchten. Durch das nun vorhandene Wissensmanagement, welches organisierte Datenstrukturen und sämtliche Dokumentationen enthält, kann die Einarbeitungszeit zukünftiger Projektteams verkürzt werden. Anstatt zeitintensiver Recherchen in alten Projektarbeiten und Fehleranalysen am digitalen Zwilling können nachfolgende Gruppen direkt mit der Weiterentwicklung des Zwillings beginnen.

Langfristig kann der digitale Zwilling, bei durchgängiger Pflege der Daten und Systeme zu

einem echtzeitfähigen Analysetool für die Zukunftsfabrik werden. Voraussetzung hierfür bleibt eine kontinuierliche Pflege des Systems, der Weitergabe von Wissen und einer klaren Verteilung von Verantwortung.

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] K. Kosel, „Dokumentensammlung der Gruppe 5- Digitaler Zwilling," 2025, [Online]. Verfügbar unter:https://p684615.mittwaldserver.info/node/16. Einsichtnahme: 28.05.2025.

[3] M. Grieves und J. Vickers, *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems*, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, und A. Alves, Hrsgg. Cham: Springer International Publishing, 2017, [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4. Einsichtnahme: 03.06.2025.

[4] F.-I. für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), „Industrie 4.0: Virtueller Zwilling steuert die Produktion," 2017, [Online]. Verfügbar unter: https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2017/februar/industrie-4-0-virtueller-zwilling-steuert-die-produktion.html. Einsichtnahme: 03.06.2025.

[5] O. B. Vanessa Winkler, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation," 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://p684615.mittwaldserver.info/sites/default/files/2025-05/DigitalerZwilling_T3_3100_2024_Br%C3%BCcknerWinklerTMK21.pdf. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[6] L. Kehrer, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation Teil 1," 2024, [Online]. Verfügbar un-

ter:https://p684615.mittwaldserver.info/sites/default/files/2025-05/DigitalerZwilling_T3_3100_2024_KehrerTEA21.pdf. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[7] ——, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation Teil 2," 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://p684615.mittwaldserver.info/sites/default/files/2025-05/DigitalerZwilling_T3_3200_2024_KehrerTEA21.pdf. Einsichtnahme: 14.11.2024.

[8] P. V. Simon Hermann, „Digitaler Zwilling: Verbesserung und Weiterentwicklung der Steuerung, Visualisierung und Simulation STUDIENARBEIT I T3_3100," 2024, [Online]. Verfügbar unter:https://p684615.mittwaldserver.info/sites/default/files/2025-05/DigitalerZwilling_T3_3100_2025_HermannVeserTEA22.pdf. Einsichtnahme: 17.05.2025.

[9] K.-H. Grote, H. Dubbel, und J. Feldhusen, Hrsgg., *Dubbel : Taschenbuch für den Maschinenbau, mit ...Tabellen*, 23. Aufl. Berlin: Springer, 2011, [Online]. Verfügbar unter: http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=3838524&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm. Einsichtnahme: 02.06.2025.

[10] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, und W. Sihn, „Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification," *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51, Nr. 11, S. 1016–1022, 2018, 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318316021

[11] K. Kosel, „Datensammlung der Gruppe 5 - Digitaler Zwilling," Juni 2025, [Online]. Verfügbar unter: https://p684615.mittwaldserver.info/node/16. Einsichtnahme: 03.06.2025.

[12] ——, DHBW Ravensburg TMP22 Studienarbeit PTZ, Persönliche Kommunikation, April 2025.

[13] K. I. für Technologie, „Was ist bwSync&Share?" 2024, [Online]. Verfügbar unter: https://help.bwsyncandshare.kit.edu/140.php. Einsichtnahme: 17.05.2025.

[14] ——, „05 Digitaler Zwilling," 2024/2025, [Online]. Verfügbar unter: https://bwsyncandshare.kit.edu/s/3tPTKE9D77XB52Q?path=%2F05%20Digitaler%20Zwilling. Einsichtnahme: 13.01.2025.

[15] T. Eichstädt und S. Spieker, *Versionsverwaltung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2024, [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-41838-0_30. Einsichtnahme: 05.06.2025.

A Anhang

Nutzung von KI-basierten Werkzeugen

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
ChatGPT	Finden von alternativen Satzbauten durch Eingabe von Texten (gesamt). Erstellen von Tabellen für LaTeX.
Deepl Write	Nutzung für die korrekte Rechtschreibung und Zeichensetzung. Verbesserung der Formulierung von Abschnitten (gesamt).
Deepl	Übersetzung von Textpassagen zwischen Deutsch und Englisch (Abstract).

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