DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg
Ravensburg
Campus Friedrichshafen

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

Studienarbeit T3100

des Studienganges Elektrotechnik – Automation
an der dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg
Campus Friedrichshafen

von

Lukas Kehrer

Abgabedatum:	15. Januar 2024
Bearbeitungszeitraum:	04.10.2023 - 10.01.2024
Matrikelnummer, Kurs:	5121766, TEA21
Gutachter der Dualen Hochschule:	Prof. Dr. Thorsten Kever

I. Sperrvermerk

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

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

Friedrichshafen, den 10.01.2024



.....

Lukas Kehrer

II. Eigenständigkeitserklärung

Eigenständigkeitserklärung gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

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

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

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

Friedrichshafen, den 10.01.2024



.....

Lukas Kehrer

III. Kurzfassung

Diese Studienarbeit befasst sich mit der Erstellung eines digitalen Zwillings eines realen Produktionsnetzwerkes, genannt *Zukunftsfabrik Bodensee*. Als Ausgangslage steht bereits ein grundlegendes digitales Modell aus einer vorangegangenen Studienarbeit zur Verfügung. Dieses wurde jedoch aufgrund von drastischen Mängeln verworfen und daher ein gesamter Neuaufbau des Modells beschlossen. Der Schwerpunkt dieser Studienarbeit liegt dabei auf der Simulation. Aufgrund der Komplexität dieser Aufgabe wurde diese in zwei inhaltliche und somit auch zwei Teile der Studienarbeit getrennt. Dieser hier vorliegende erste Teil inkludiert die theoretischen Grundlagen sowie die Festlegung der gesamten Methodik. Außerdem wurde im Rahmen dieser Studienarbeit das nötige Fachwissen erlernt, um das statische, digitale Modell dynamisieren zu können, damit im weiteren Verlauf eine Simulation möglich ist. Das Fachwissen wurde am alten Modell angewendet, um ein vollständiges, dynamisches Modell zu erhalten, was später auch auf das neue Modell übertragbar ist.

IV. Abstract

This thesis deals with the creation of a digital twin of a real production network, called *Zukunftsfabrik Bodensee*. A basic digital model from a previous thesis is already available as a starting point. However, this was discarded due to drastic deficiencies, and therefore a complete rebuild of the model was decided. The focus of this thesis is on simulation. Due to the complexity of this task, it was divided into two content-related and thus also two parts of the thesis. This first part presented here includes the theoretical foundations as well as the definition of the entire methodology. In addition, the necessary technical knowledge was learned in the course of this thesis in order to be able to dynamize the static, digital model, so that a simulation is possible in the further course. The technical knowledge was applied to the old model to obtain a complete, dynamic model, which can later be transferred to the new model.

V. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 2.1: Konzept der Zukunftsfabrik [2] 2
Abbildung 3.1: Schema eines Digitalen Zwillings [8] 5
Abbildung 3.2: Bestehendes CAD-Modell Produktionslinie 6
Abbildung 3.3: Schemadarstellung Produktionslinie 7
Abbildung 6.1: Definition eines Starrkörpers am Beispiel des Werkstückträgers 14
Abbildung 6.2: Förderband als Beispiel von Kollisionskörper 15
Abbildung 6.3: Festlegung der Förderbänder als Transportfläche 16
Abbildung 6.4: Festes Gelenk am Beispiel der Führung des Umlegers 17
Abbildung 6.5: Schubgelenk am Beispiel des Umleger-Schlittens 17
Abbildung 6.6: Drehgelenk am Beispiel eines UR5e-Roboters 18
Abbildung 6.7: Beispiel für Positionsregler am UR5e 20
Abbildung 6.8: Funktion "Greifer" am Beispiel des UR5e-Roboters 21
Abbildung 6.9: Beispiel für ein Kollisionssensor 22

VI. Abkürzungs- und Fremdbegriffsverzeichnis

Abkürzung	**Erläuterung**
CAD	Rechnerunterstütztes Konstruieren
DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
IWT	Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer
MCD	Mechatronics Concept Designer
PTZ	Produktionstechnisches Zentrum
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
ZDP	Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

VII. Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort 1
2 Vorstellung Zukunftsfabrik 2
3 Digitaler Zwilling 5
3.1 Allgemein 5
3.2 Aktueller Stand 6
4 Methodik 9
4.1 Verwendete Programme 9
4.2 Schnittstellen 10
5 Ziel 12
6 Umsetzung 13
6.1 Erstellung des dynamischen 3D-Modells 13
7 Fazit und Ausblick 23
Literaturverzeichnis 24

1 Vorwort

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

Im Rahmen dieser Arbeit gilt es eine digitale Repräsentation einer physischen Produktionslinie zu erstellen. Dieser sogenannte Digitale Zwilling soll diesem Produktionssystem maßgetreu entsprechen, sowie dessen reale Daten in Echtzeit empfangen und verarbeiten können. Aufgrund des enormen Umfangs dieser Aufgabe, wird diese in zwei Teile gegliedert. Hierbei enthält dieser erste Teil die theoretischen Grundlagen zur Erstellung des Digitalen Zwillings, mit besonderem Fokus auf dessen Simulation.

2 Vorstellung Zukunftsfabrik

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

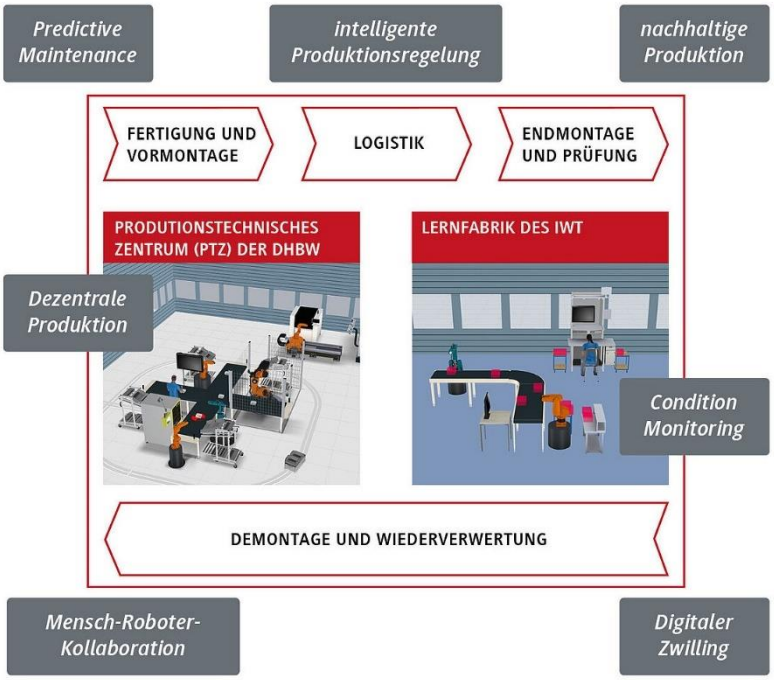


Abbildung 2.1: Konzept der Zukunftsfabrik [2]

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

zurückgeführt, demontiert und Komponenten in gutem Zustand erneut in den Produktionsprozess eingebracht.

Die Gesamtheit des Produktionsnetzwerkes dient der Herstellung und parallel auch der Rückführung eines variantenvielfältigen Produktes. Darin sind speziell im Folgenden erläuterte Technologiethemen integriert, welche als praxisorientierte Forschung dienen.

Die Zukunftsfabrik verfolgt den Gedanken von Produktionsplattformen, welche als zentrale Knotenpunkte fungieren und mehrere Produktionsprozesse beziehungsweise -einheiten miteinander verbinden. So eine Plattform stellt beispielsweise der in dieser Arbeit zu errichtende Digitale Zwilling dar, das virtuelle Abbild der realen Produktionslinie.

Im Kontext des Condition Monitoring wird der Digitale Zwilling zur kontinuierlichen Überwachung und Bewertung des Systems für die Erfassung dessen aktuellen Zustandes, seiner Leistungsfähigkeit und potenzieller Abweichung von normalen Betriebsbedingungen genutzt. Hierfür werden kontinuierlich Daten von Sensoren und weiteren Quellen gesammelt und in Echtzeit mit dem digitalen Zwilling synchronisiert. [3] Damit einhergehend ist auch der Ansatz des Predictive Maintenance. Dies beschreibt die proaktive Wartung von Maschinen durch die Verwendung von Mess- und Produktionsdaten. Durch eine geschickte Analyse derer kann die Qualität der Anlagen erhöht und der Produktionsprozess effektiver werden. Durch Predictive Maintenance lassen sich Störungen und daraus schlussfolgernde Produktionsverzögerungen oder gar Ausfälle bereits vor Eintritt reduzieren oder idealerweise sogar vermeiden. [4] Sowie das Condition Monitoring als auch Predictive Maintenance tragen durch die Erfassung und Auswertung von Echtzeitdaten des Systems zu einer intelligenten Produktplanung bei.

Darüber hinaus wird durch die unterschiedliche Standortwahl von Vormontage und Endprüfung eine dezentrale Produktion realisiert, welche durch Logistik aneinander angebunden sind.

Ein weiteres hier umgesetztes Technologiethema ist die Mensch-Roboter-Kollaboration. Diese beschreibt die Zusammenarbeit von menschlichen Mitarbeitern, welche, wie am Vormontageband der Zukunftsfabrik umgesetzt, Hand in Hand mit Robotern arbeiten.

Durch die Rückführung, Demontage und Wiederverwendung der Produkte innerhalb dieses Produktionsnetzwerkes wird zudem eine Kreislaufwirtschaft umgesetzt. [2] Das

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

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

3 Digitaler Zwilling

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

3.1 Allgemein

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

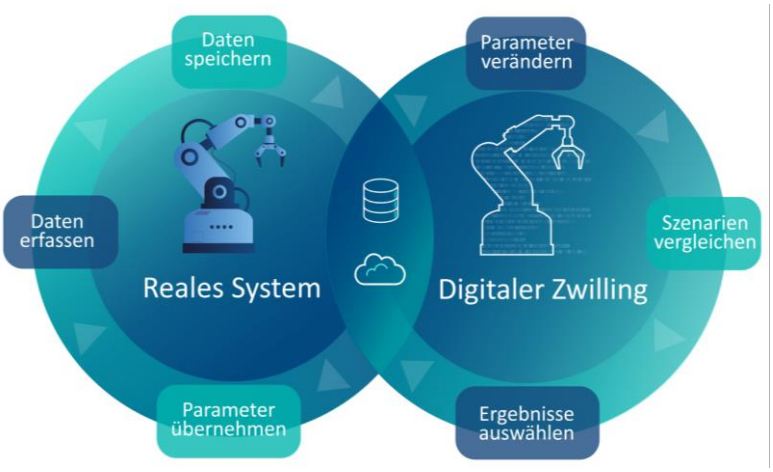


Abbildung 3.1: Schema eines Digitalen Zwillings [8]

Abbildung 3.1 zeigt schematisch die Verknüpfung des digitalen Zwillings mit dessen realem System auf. Diese stellt einen kontinuierlichen Informationsaustausch zwischen den beiden Parteien dar. Aus dem Verhalten des physischen Originals werden Daten erfasst, gespeichert und in Echtzeit an den Digitalen Zwilling weitergeleitet. In diesem lassen sich wiederum verschiedene Parameter anpassen und so das Verhalten des Digitalen Zwillings abändern. Es entstehen unterschiedlich kreierte Szenarien, welche miteinander verglichen werden können. Daraus gilt es anschließend günstige Ergebnisse auszuwählen. Deren Parameter werden dann

wiederum in das reale System übernommen. Läuft das System dann mit diesen Werten, setzt sich der Prozess wieder zyklisch mit der Datenerfassung und -speicherung fort.

Die Verwendung eines digitalen Zwillings bietet zudem eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Qualitätssicherung in der Produktion. Potenzielle Schwachstellen oder Engpässe können bereits durch eine Simulation von Prozessen und Abläufen erkannt werden, bevor sie in der Realität auftauchen. Dies ermöglicht eine Fehlerbehebung und Optimierung von Produktionsabläufen, bevor der Fehler beziehungsweise dessen Auswirkungen überhaupt auftreten. Zusätzlich kann Qualitätssicherung im Rahmen einer Echtzeiterfassung betrieben werden. Durch die kontinuierliche Erfassung und Analyse von Daten in Echtzeit, ist es möglich Abweichungen von Qualitätsstandards oder Leistungsindikatoren frühzeitig zu erkennen. Daraufhin kann sofort mittels einer Implementierung von Korrekturmaßnahmen reagiert werden und die Produktqualität weiterhin erhalten bleiben. [3]

3.2 Aktueller Stand

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

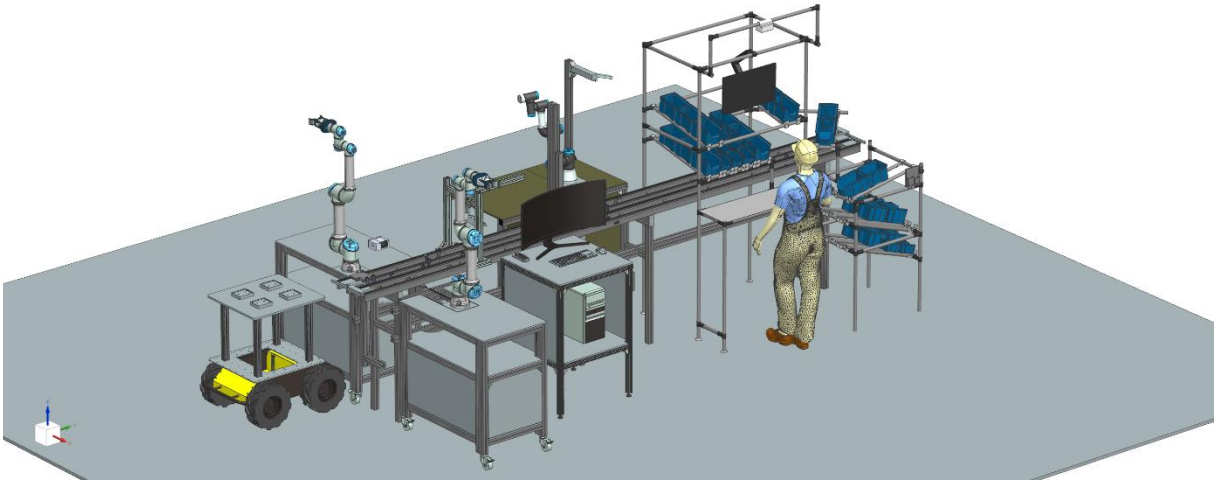


Abbildung 3.2: Bestehendes CAD-Modell Produktionslinie

Man erkennt in der Bildmitte das zentrale, lineare Bandsystem, um wessen Rand sich die einzelnen Prozessschritte reihen. Letztere sind in folgendem Schema veranschaulicht. Am linken unteren Bandende erkennt man in gelb eingefärbt den Transportroboter, welcher die Teile zu Station 1 anliefert und von Station 5 abtransportiert.

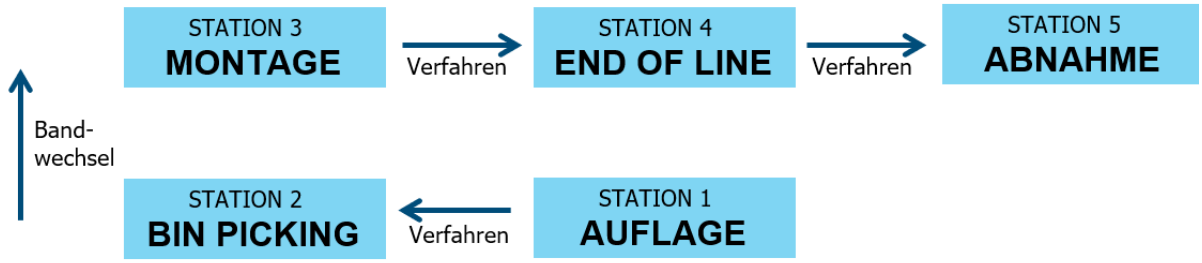


Abbildung 3.3: Schemadarstellung Produktionslinie

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

Bei der Analyse des aktuellen CAD-Modells wurden drastische Missstände festgestellt. Es wurde kein einheitliches Benennungssystem der Komponenten und Unterbaugruppen definiert. Dadurch ist keine eindeutige Zuweisung der einzelnen Komponenten möglich. Ebenso ist dadurch keine Herkunftszuweisung des Teils, in

Bezug auf dessen Eigenschaften als Kaufteil, mit einer Herstellernummer oder Eigenkonstruktion möglich. Der größere Missstand ergibt sich jedoch daraus, dass die Baugruppen lediglich aus importierten Flächendateien bestehen, welche keine änderbaren Parameter beinhalten. An deren originalen, parametrisierten Dateien ist aufgrund von mangelnder Dokumentation der Vorgängergruppe nicht mehr zu gelangen. Zudem besitzen zahlreiche bereits vorhandene, nicht anpassbare Modelle, falsche Maße. Aufgrund der Gesamtheit dieser Mängel wurde in Absprache mit allen relevanten Parteien beschlossen, eine von Grund auf neue und allgemein gültige Methodik zu erstellen und darauf basierend ein neues, änderungsfreundliches Modell mit dazugehörigen Dateien zur Dokumentation aufzubauen.

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

4 Methodik

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

4.1 Verwendete Programme

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

Siemens NX Mechatronics Concept Designer (MCD):

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

Simulation direkt getestet werden, um Schwachstellen im erstellten Design zu identifizieren, bevor die tatsächliche Produktion des Modells beginnt.

SIMATIC S7-PLCSIM Advanced:

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

4.2 Schnittstellen

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

Kommunikation zwischen den verschiedenen Parteien:

Es wurde festgelegt, dass das jeweilige Team bei konstruktiven Änderungen umgehend das Team des digitalen Zwillings über das Kommunikationstool Slack

informiert und ihnen die neuen CAD-Daten, bei Kaufteilen das Datenblatt, sowie eine kurze Textbeschreibung über die Hintergründe der Änderung zukommen lässt.

Schnittstelle zwischen dem CAD-Modell und dem Simulationstool:

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

Schnittstelle zwischen dem digitalen Zwilling und der SPS:

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

5 Ziel

Das Hauptziel ist die Entwicklung eines digitalen Zwillings, um Simulationen, am sich immer weiterentwickelnden Produktionsnetzwerk, durchführen zu können. Dabei fokussiert sich diese Studienarbeit auf die Umsetzung der Simulation. Hierfür lässt sich dieses Ziel grob in drei Etappen gliedern.

Simulation des gegebenen Produktionsnetzwerks:

Im ersten Schritt sollen mit dem digitalen Zwilling die Abläufe simuliert werden können, wie sie bereits an der realen Anlage bestehen. Hierfür muss das statische 3D-Modell des digitalen Zwillings zunächst dynamisiert werden, um die Bewegungsabläufe der realen Anlage abbilden zu können. Anschließend muss eine Schnittstelle definiert werden, über welche eine Kommunikation des digitalen Zwillings mit einer virtuellen SPS ermöglicht wird, damit Signale ausgetauscht und somit der komplette Prozessablauf des Produktionsnetzwerks simuliert werden kann.

Simulation von Erweiterungen / Umbauten:

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

Schnittstelle zu realer SPS:

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

6 Umsetzung

Aufgrund der Komplexität der verwendeten Programme und dem damit verbundenen Einarbeitungsaufwand, wird der Inhalt dieses Kapitels auf zwei Studienarbeiten aufgeteilt. Im ersten Teil der Umsetzung wird auf die Einarbeitungsphase eingegangen, welche nötig war, um das erforderliche Fachwissen zu erlangen, damit die in Kapitel 5 erwähnten Ziele umgesetzt werden können. Der zweite Teil der Umsetzung folgt schließlich mit der nächsten Studienarbeit.

6.1 Erstellung des dynamischen 3D-Modells

Um zunächst ein umfassendes Verständnis zu bekommen, wie ein digitaler Zwilling mithilfe der Software NX MCD dynamisiert werden kann, wurde im Rahmen dieser Studienarbeit ein Lernmodul von Siemens durchgearbeitet, welches die dafür nötigen Methoden in mehreren Modulen beschreibt. Dies war zudem notwendig, da der digitale Zwilling von Grund auf neu erstellt werden muss und somit auch die Dynamisierung dessen. Dieses Fachwissen wurde dann direkt am vorhandenen, alten CAD-Modell des Produktionsnetzwerks angewendet. Es wird im Folgenden auf alle dynamischen Eigenschaften eingegangen, welche angewendet wurden, um ein vollständig dynamisiertes 3D-Modell zu erstellen.

<u>Starrkörper:</u>

Die Funktion Starrkörper dient dazu, ein statisches Modell als beweglichen Körper zu definieren. Diesem wird zudem eine Masse zugeordnet, wodurch der Körper auf äußere Kräfte, wie beispielsweise der Schwerkraft, während einer Simulation reagieren kann. Ohne die Zuweisung eines Starrkörpers bleibt ein Objekt vollständig unbeweglich. Das heißt alle Objekte, welche während der Simulation beweglich sein sollen und auch auf Kräfte reagieren sollen, müssen als Starrkörper definiert werden. In Abbildung 6.1 ist als Beispiel zu sehen, wie der Werkstückträgers als Starrkörper definiert wurde. Als Namen für alle Starrköper wird hierbei das Kürzel „RB“ vorangesetzt, welches für „Rigid Body“, die englische Bezeichnung für Starrkörper steht, um direkt am Namen erkennen zu können, um welche dynamische Eigenschaft es sich handelt.

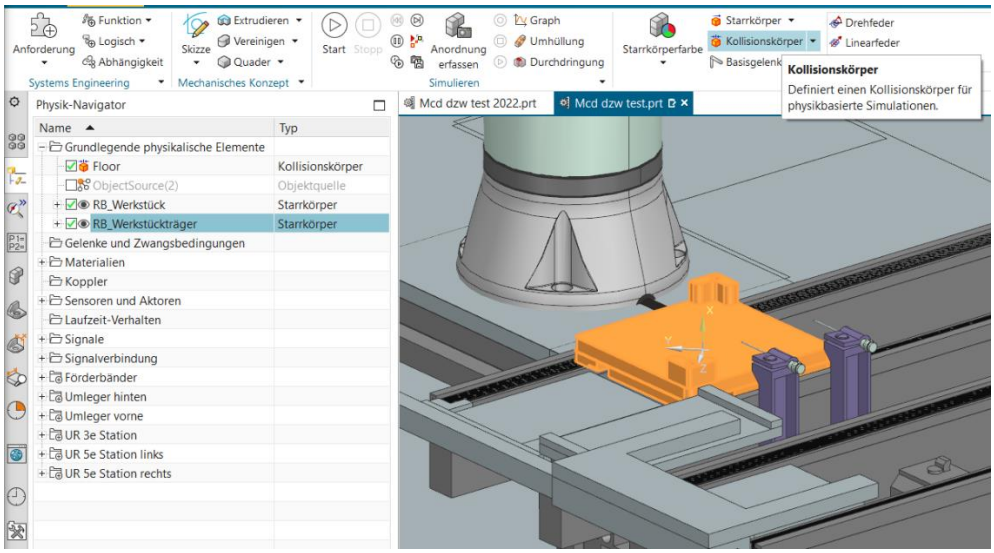


Abbildung 6.1: Definition eines Starrkörpers am Beispiel des Werkstückträgers

Würde man nun die Simulation starten, so würde der Werkstückträger, aufgrund der nun erhaltenen Masse und der dadurch wirkenden Schwerkraft, direkt nach unten durch das Förderband fallen. Natürlich möchte man dies verhindern, was durch die nächste Eigenschaft ermöglicht wird.

Kollisionskörper:

Soll der Werkstückträger auf dem Förderband aufliegen und nicht durch dieses durchfallen, so muss der Werkstückträger und das Förderband als Kollisionskörper definiert werden. Dadurch erhalten die beiden Objekte die Möglichkeit, jeweils miteinander zu kollidieren und der Werkstückträger bleibt auf dem Förderband liegen und fällt nicht mehr hindurch. Dabei muss das Förderband nicht zwingend vorher als Starrkörper definiert werden, da es für simulationszwecke nicht unbedingt eine Masse aufweisen muss. Durch das Weglassen von unnötigen physikalischen Eigenschaften bleibt die Simulation zudem performanter. Es lässt sich außerdem beim Definieren eines Kollisionskörpers ein gewünschtes Material einstellen, wodurch sich auch spezifische Reibungswerte definieren lassen. Als Beispiel ist in Abbildung 6.2 dargestellt, wie das Förderband als Kollisionskörper definiert wurde. Zusätzlich wurden in diesem Beispiel auch die Förderband-Führungen als Kollisionskörper definiert, damit der Werkstückträger auch mit diesen kollidiert und nicht links oder rechts vom Band herunterfällt. Auch hier wird dem Namen wieder ein Kürzel vorangestellt, diesmal ein „CB“, was für „Collision Body“, die englische Bezeichnung für Kollisionskörper steht.

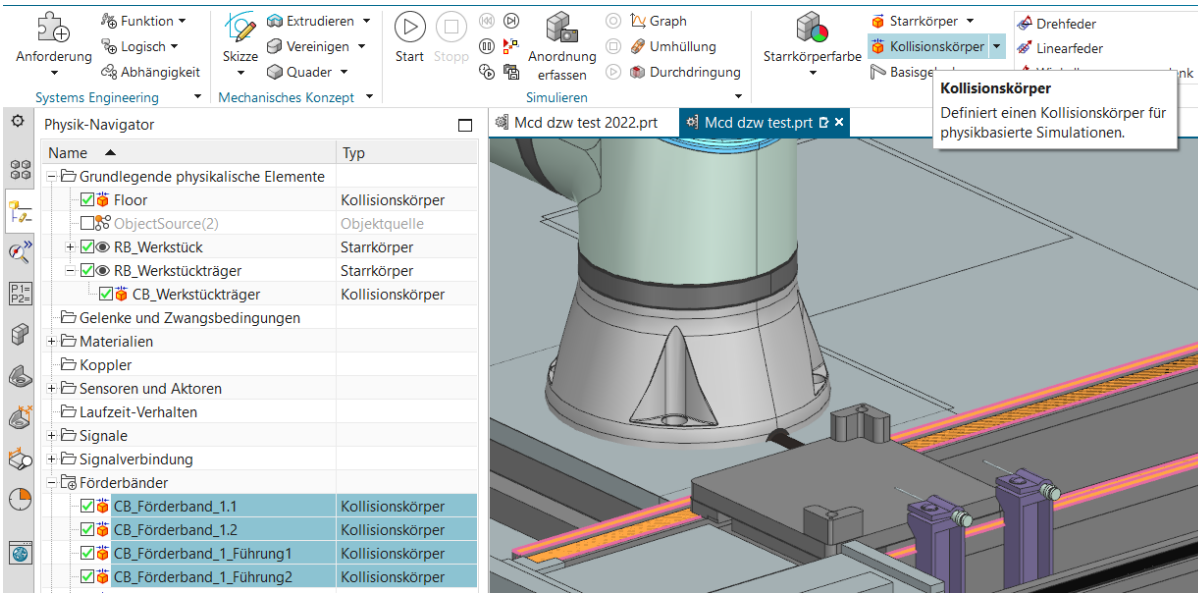


Abbildung 6.2: Förderband als Beispiel von Kollisionskörper

Transportfläche:

Eine Transportfläche ermöglicht die Umwandlung jeder ebenen Fläche in ein Transportband. Objekte mit Kollisionsflächen können darauf in eine bestimmte Richtung befördert werden. Die Bewegung kann dabei nicht nur linear, sondern auch zirkular sein. Damit eignet sich diese Funktion bestens, um die Kollisionsflächen der Förderbänder als Transportfläche zu definieren. Bei der Definition müssen dabei verschiedene Auswahlkriterien beachtet werden (siehe Abbildung 6.3). Für das Förderband wird hierbei ein geradliniger Bewegungstyp festgelegt. Zudem muss auch die Richtung der Bewegung definiert werden, was über einen Vektor angegeben wird. Außerdem könnte man hier noch eine statische Geschwindigkeit festlegen, mit welcher das Förderband während der Simulation betrieben werden soll. Später lässt sich auf diese Funktion während der Simulation zugreifen, um das Förderband bei bestimmten Bedingungen zu starten/stoppen oder die Geschwindigkeit anzupassen.

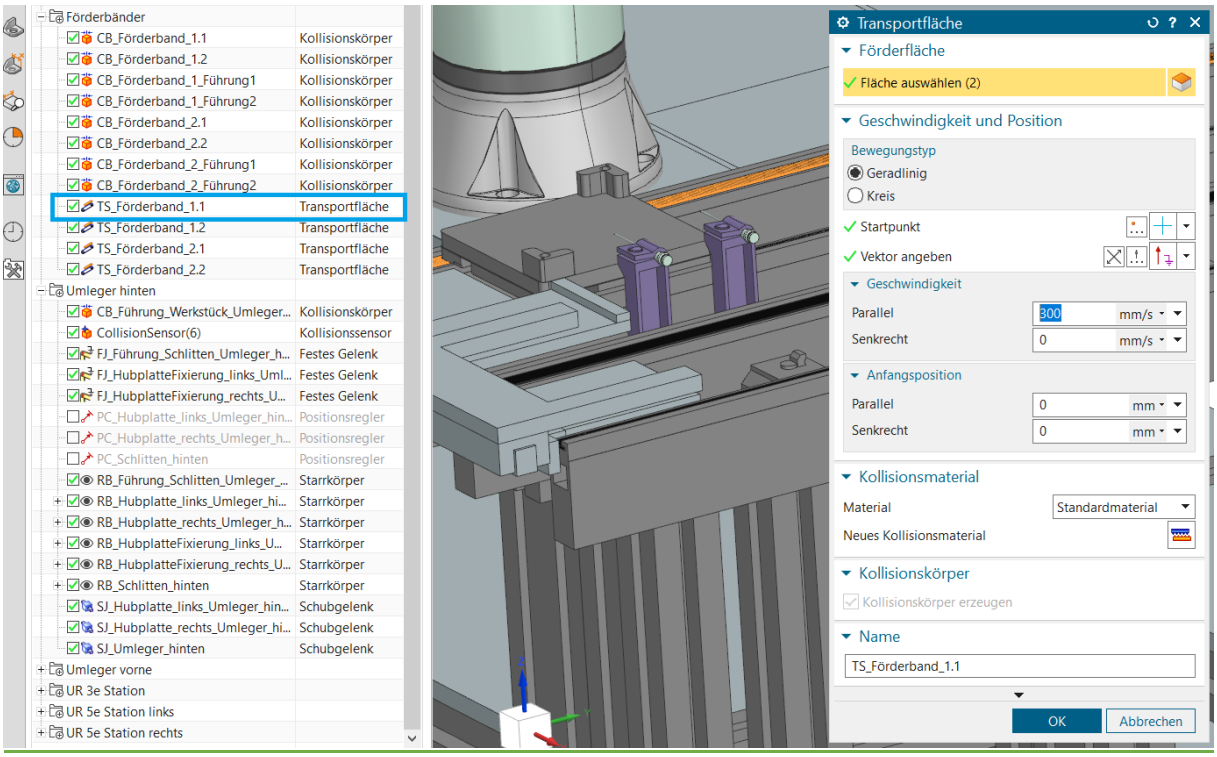


Abbildung 6.3: Festlegung der Förderbänder als Transportfläche

Das Kürzel „TS“ im Namen steht hierbei für „Transport Surface“, die englische Bezeichnung für Transportfläche.

Festes Gelenk:

Hat man einen Starrkörper definiert, welcher nicht beweglich sowie eine feste Position im Raum nicht verlassen soll, so lässt sich dies mit der Funktion „Festes Gelenk“ umsetzen. Einem Starrkörper, der als festes Gelenk definiert wurde, wird dadurch jede Bewegung unterbunden. Dies bietet sich zum Beispiel für die Führung des Schlittens der Werkstückträger-Umleger an, welche sich jeweils vorne und hinten am Förderband befinden (Abbildung 6.4). Da die Führung zusätzlich zum Starrkörper nun auch als festes Gelenk definiert wurde, fällt dieses Element während der Simulation nun nicht mehr nach unten und verharrt auch in einer festen Position. Das Kürzel „FJ“ im Namen steht für „Fixed Joint“ (engl. für Festes Gelenk). Außerdem wurden noch die Fixierungen der Hubplatten als festes Gelenk definiert.

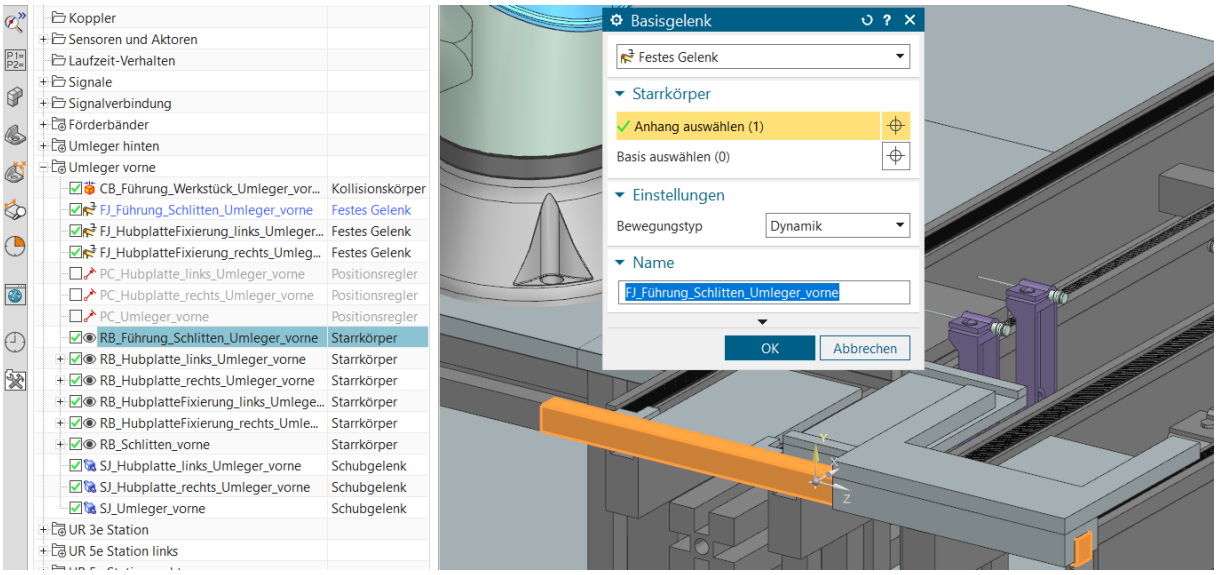


Abbildung 6.4: Festes Gelenk am Beispiel der Führung des Umlegers

Schubgelenk:

Bleiben wir als Beispiel beim Umleger, so muss noch eine Eigenschaft hinzugefügt werden, damit der Schlitten auf der Führung verfahren kann. Selbes gilt für die Hubplatten. Hierfür kommt die Funktion „Schubgelenk“ zum Einsatz. Dabei wird ein Starrkörper definiert, welcher sich bezogen auf einen anderen Starrkörper, in Richtung eines definierbaren Vektors verschieben lässt. Als Beispiel wird dies für den Schlitten des Umlegers, in Abbildung 6.5 näher betrachtet.

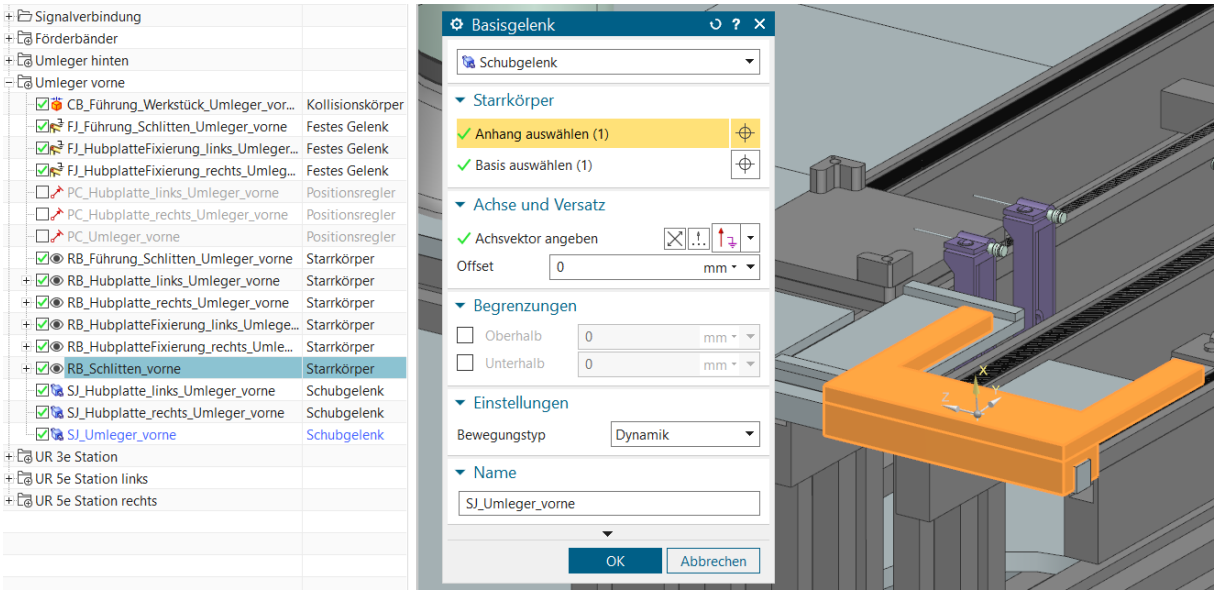


Abbildung 6.5: Schubgelenk am Beispiel des Umleger-Schlittens

Der Schlitten wird dabei als der bewegliche Starrkörper definiert, wohingegen die Führung als Basis fungiert, auf welcher sich die Bewegung des Schlittens bezieht. Der Vektor zeigt dabei parallel in Richtung der Führung. Das Kürzel „SJ“ im Namen steht

für „Sliding Joint“ (engl. für Schubgelenk). Ebenso werden die Hubplatten, bezogen auf deren Fixierung, als Schubgelenke definiert.

Drehgelenk:

Als nächstes werden die Eigenschaften betrachtet, welche notwendig sind, um die im Produktionsnetzwerk eingesetzten UR5e -und den UR3e-Roboter zu dynamisieren. Zunächst werden alle Glieder des Roboters als Starrkörper definiert. Um die Achsen des Roboters beweglich zu machen, wird den Gliedern dann die Funktion „Drehgelenk“ zugewiesen. Da die UR-Roboter jeweils sechs Achsen besitzen, müssen hierbei 6 Drehgelenke definiert werden. In Abbildung 6.6 sind die definierten Drehgelenke anhand eines orangenen Pfeils erkennbar. Hierbei musste bei der Definition, jedes Drehgelenks, jeweils ein Starrkörper als Basis angegeben werden und ein Starrkörper, welcher sich drehbar zu dieser Basis beziehen soll. Die Achse, um welche gedreht werden soll, wird dann als Vektor angegeben und steht dabei senkrecht zur Fläche, die die beiden Starrkörper (Glieder) miteinander verbindet.

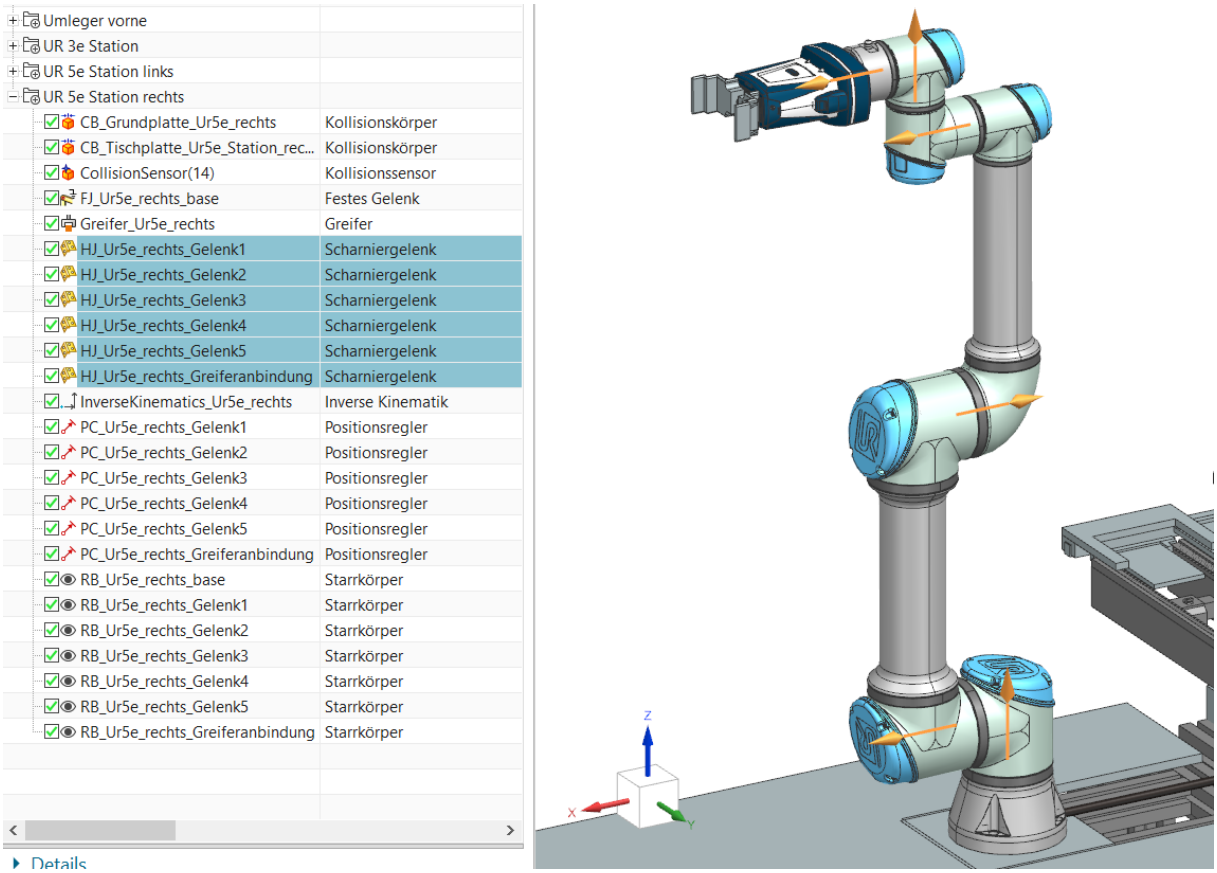


Abbildung 6.6: Drehgelenk am Beispiel eines UR5e-Roboters

Das Kürzel „HJ“ im Namen steht für „Hinged Joint“. Damit der Roboter in der Simulation nicht einfach nach unten fällt, wurde die Basis noch als festes Gelenk

definiert. Startet man nun die Simulation, so fällt der Roboter nicht mehr nach unten, jedoch bewegen sich die einzelnen Glieder unkontrolliert, da für diese noch keine Position festgelegt wurde. Die nächste Funktion widmet sich diesem Problem.

Positionsregler:

Verknüpft man ein bewegliches Objekt mit der Eigenschaft des Positionsreglers, so lässt sich dieses koordiniert verfahren. Dabei lässt sich sowohl eine gewünschte Position als auch eine Verfahrgeschwindigkeit vorgeben. Ebenso ist es möglich, die dabei auftretende Beschleunigung und Kräfte zu begrenzen. Im Falle des UR-Roboters lässt sich so die Position jedes Gelenks als Drehwinkel in Grad oder Bogenmaß angeben. Damit sich der Roboter während der Simulation nicht mehr willkürlich bewegt, wird hierbei zunächst als Position die Grundstellung festgelegt. Später kann dann über eine in MCD integrierte Funktion auf die Werte des Positionsreglers zugegriffen werden, um den Roboter währen der Simulation zu verfahren. Außerdem soll später mithilfe einer Signalverknüpfung die Möglichkeit bestehen, auf die Positionsregler über eine Schnittstelle via virtueller oder realer SPS zuzugreifen, um die mit den Positionsregler verknüpften Objekte zu steuern. Dies wird dann in der zweiten Studienarbeit näher betrachtet. Abbildung 6.7 zeigt, wie den einzelnen Gelenken des UR5e-Roboters ein Positionsregler zugewiesen wurde.

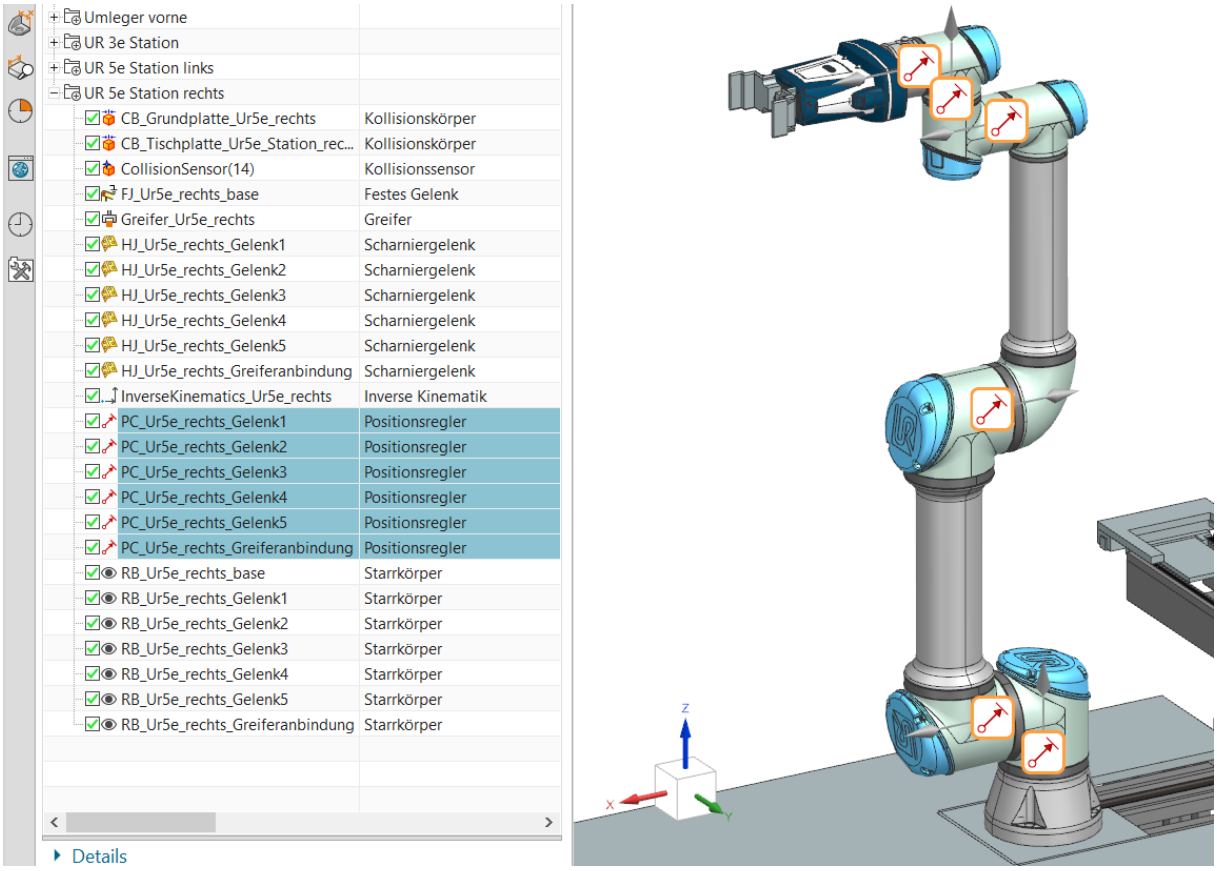


Abbildung 6.7: Beispiel für Positionsregler am UR5e

Das Kürzel „PC“ im Namen steht hierbei für „Position Control“. Außer den Robotergelenken wurde auch den beiden Werkstückträger-Umlegern Positionsregler zugewiesen. Zum einen, um den Umleger-Schlitten verfahren zu können sowie zum Verfahren der Hubplatten. Es bleibt noch ein Objekt des Roboters, welchem noch keine dynamische Eigenschaft zugewiesen wurde: dem Greifer.

Greifer:

Man könnte die Greiferbacken des Greifers jeweils als Schubgelenke definieren und müsste ihnen dann noch jeweils Positionsregler zuweisen, um diese Verfahren zu können. Mithilfe der Funktion „Greifer“ wird einem diese aufwendige Definition erspart und man kann den Greifer direkt als einen solchen definieren. Zur Veranschaulichung wird die Definition am Beispiel des UR5e-Greifers betrachtet (siehe Abbildung 6.8).

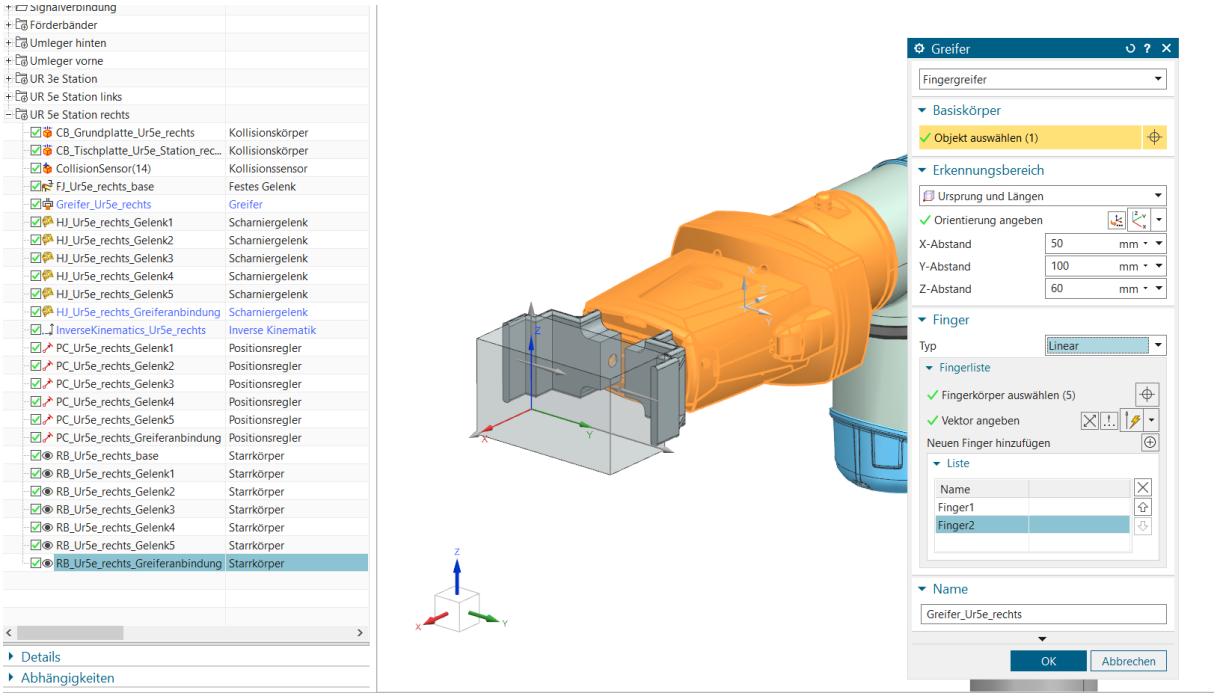


Abbildung 6.8: Funktion "Greifer" am Beispiel des UR5e-Roboters

Zunächst wählt man einen Starrköper aus, der als Basis für den Greifer verwendet werden soll (orange). Anschließend werden die Finger des Greifers angegeben, welche ebenfalls zuvor als Starrkörper definiert wurden. Als letztes gibt man noch einen Erfassungsbereich an, in welchem sich das zu greifende und zu bewegende Objekt befinden wird (grauer Kasten). Auch auf diese Funktion kann später wieder während der Simulation zugegriffen werden, um den Greifer zu steuern.

Kollisionssensor:

Nun fehlt nur noch eine Eigenschaft, um die Abläufe des digitalen Zwillings koordinieren zu können. Im Moment lassen sich die diversen Modelle des digitalen Zwillings bereits steuern, es fehlen aber noch Rückmeldungen in Form von Sensoren, wie sie auch in der realen Anlage vorhanden sind, um auf bestimmte Sachverhalte reagieren zu können. In MCD kann man hierfür Komponenten als Kollisionssensor definieren. Dies ermöglicht der Komponente das Erkennen einer Kollision mit einem Kollisionskörper. Dadurch lassen sich sämtliche Sensoren simulieren, wie beispielsweise Lichtschranken, Kontaktsensoren oder induktive Sensoren. Als Beispiel ist in Abbildung 6.9 ein Objekt dargestellt, welches als Kollisionssensor definiert wurde. Dabei handelt es sich um ein Objekt in Form eines Zylinders, welches sich am Anfang des Förderbands befindet. Dieser Kollisionssensor hat die Aufgabe, eine Kollision mit dem Werkstückträger zu erkennen, damit das Förderband gestoppt

werden kann, um im weiteren Verlauf das Werkstück vom UR5e-Roboter darauf platzieren zu können. Das Kürzel „CS“ im Namen steht hierbei für „Collision Sensor“.

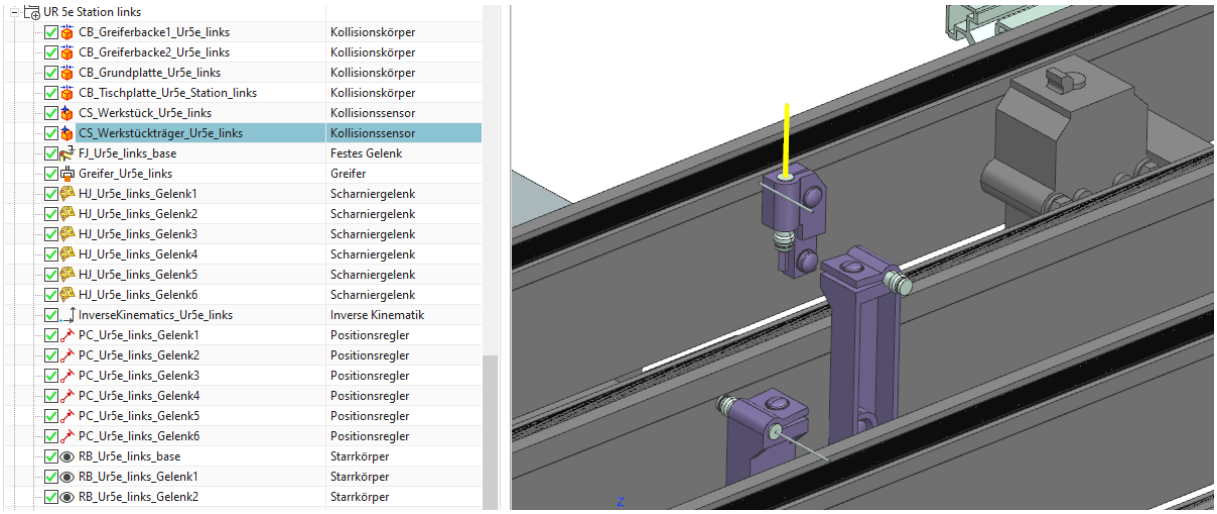


Abbildung 6.9: Beispiel für ein Kollisionssensor

7 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde nun das statische CAD-Modell des alten digitalen Zwillings mit allen nötigen, dynamischen Eigenschaften versehen, um die Abläufe und Bewegungen des realen Produktionsnetzwerks abbilden zu können.

Im weiteren Verlauf der Studienarbeit wird diese Dynamisierung auf das neue CAD-Modell übertragen. Außerdem wird eine Schnittstelle erarbeitet, die es ermöglicht, Signale zwischen der virtuellen oder realen SPS auszutauschen, um Prozessabläufe simulieren zu können. Es sollen so außerdem Umbauten bzw. Erweiterungen des Produktionsnetzwerks vorab virtuell am digitalen Zwilling getestet werden können, bevor sie an der realen Anlage umgesetzt werden.

Literaturverzeichnis

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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