Anforderungsanalyse zur Implementierung eines MES in der Zukunftsfabrik Bodensee

STUDIENARBEIT I (T3100)

Von
Philipp Schuler (3494594) und Felix Herberger (4780337)

Unterstützt von
Edvin Hamzic

vorgelegt am 20. Dezember 2024

Fakultät:	Technik
Studiengang:	Elektrotechnik/Automation
Studienjahrgang:	2022
Studienhalbjahr:	5. Semester
Hochschule:	DHBW Ravensburg

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

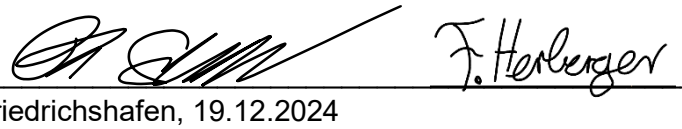
INHALTSVERZEICHNIS I
ERKLÄRUNG DER EIGENLEISTUNGEN III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS V
ZUSAMMENFASSUNG VI
ABSTRACT VII
1. EINLEITUNG 1
1.1. HINTERGRUND UND MOTIVATION 1
1.2. PROBLEMSTELLUNG 2
1.3. ZIELSETZUNG DER ARBEIT 2
1.4. AUFBAU DER ARBEIT 3
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN 4
2.1. EINFÜHRUNG IN MES 4
2.2. ABGRENZUNG ZU ERP-SYSTEM 5
2.3. PROZESSMODELLIERUNG MIT BPMN 7
3. IST-ANALYSE DER PRODUKTIONSPROZESSE 8
3.1. WORKSHOP 8
3.2. ÜBERBLICK DER PRODUKTIONSSTANDORTE 9
3.3. BESCHREIBUNG DES AKTUELLEN PRODUKTIONSPROZESSES 11
3.3.1. BELT FEEDING 13
3.3.2. BIN PICKING 15
3.3.3. ASSEMBLING 17
3.3.4. END OF LINE TESTING 19
3.3.5. ROB. LOADING 21
3.4. VISUALISIERUNG DES IST-ZUSTANDS 23

4. ANFORDERUNGSANALYSE 24
4.1. FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN AN DAS MES 24
4.2. TECHNISCHE ANFORDERUNGEN 25
4.3. ORGANISATORISCHE ANFORDERUNGEN 26
5. AUSBLICK AUF DIE IMPLEMENTIERUNG 27
5.1. KURZÜBERSICHT DER NÄCHSTEN SCHRITTE 27
5.2. ZUKUNFTSPOTENZIALE 28
6. FAZIT 29
6.1. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE 29
6.2. WICHTIGSTE ERKENNTNISSE AUS DEM WORKSHOP 29
6.3. AUSBLICK AUF NÄCHSTE PHASE (T3200) 30
LITERATURVERZEICHNIS VII

Erklärung der Eigenleistungen

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

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Hausarbeit mit dem Thema: „Anforderungsanalyse zur Implementierung eines MES in der Zukunftsfabrik Bodensee“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben.



Friedrichshafen, 19.12.2024

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Digitization Pyramid 5
Abbildung 2: Produkt..... 11
Abbildung 3: Wertschöpfungskette 12
Abbildung 4: Belt Feeding..... 13
Abbildung 5: BPMN Belt Feeding..... 14
Abbildung 6: Bin Picking 15
Abbildung 7: BPMN Bin Picking..... 16
Abbildung 8: Assembling..... 17
Abbildung 9: BPMN Assembling 18
Abbildung 10: End of Line Testing..... 19
Abbildung 11: BPMN End of Line Testing..... 20
Abbildung 12: Rob Loading..... 21
Abbildung 13: BPMN Rob Loading 22
Abbildung 14: Gesamtablauf BPMN 23
Abbildung 15: Nächste Schritte..... 27

Abkürzungsverzeichnis

BPMN

Business Process Model and Notation 6, 13, 15, 17, 19

DHBW

Duale Hochschule Baden-Württemberg ..... I, 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 23, 24

ERP

Enterprise-Resource-Planning 4, 5

IWT

Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 23, 24

MES

Manufacturing Execution System 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 23, 24, 25, 26, 27

SPS

Speicherprogrammierbare Steuerung 15, 16, 17, 19, 21, 24

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Anforderungen und die Vorbereitung der Implementierung eines Manufacturing Execution Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee. Diese besteht aus den Standorten der DHBW und des IWT und dient als Modellfabrik zur Abbildung realer Produktionsprozesse im Kontext moderner Fertigungstechnologien.

Im ersten Schritt wird der aktuelle Zustand der Produktionsprozesse analysiert. Dabei werden bestehende Herausforderungen identifiziert. Auf Basis dieser Analyse werden die funktionalen, technischen und organisatorischen Anforderungen an das MES formuliert. Diese dienen als Grundlage für die Einführung des Systems.

Neben der Ist-Analyse wird auf die theoretischen Grundlagen eingegangen. Dabei werden die wesentlichen Eigenschaften eines MES erläutert und dessen Abgrenzung Enterprise Resource Planning Systemen dargestellt. Zudem werden Business Process Model and Notation-Diagramme verwendet, um die bestehenden und zukünftigen Produktionsprozesse strukturiert darzustellen.

Abschließend werden die nächsten Schritte für die Implementierung des MES beschrieben. Hierzu zählen die Definition der Zielarchitektur und die Einrichtung der technischen Infrastruktur. Ergänzend wird ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen, wie die Integration eines Webshops oder die Nutzung eines Data Lakes, gegeben, die eine weitergehende Optimierung der Produktionsprozesse ermöglichen sollen.

Abstract

This study examines the requirements and preparation for the implementation of a Manufacturing Execution System in the Zukunftsfrabrik Bodensee. The Zukunftsfabrik consists of DHBW and IWT locations and serves as a model factory to represent real production processes in the context of modern manufacturing technologies.

The first step is to analyze the current state of production processes. Challenges such as the lack of continuous data collection and limited transparency of production workflows are identified. Based on this analysis, the functional, technical, and organizational requirements for the MES are defined. These serve as the foundation for the system's implementation.

In addition to the current state analysis, the theoretical foundations are discussed. Key characteristics of an MES are explained, and its distinction from Enterprise Resource Planning systems is presented. Process modeling using Business Process Model and Notationto is used to structurally depict the existing and future production processes.

Finally, the next steps for MES implementation are outlined, including defining the target architecture and setting up the technical infrastructure. Additionally, an outlook on potential developments, such as the integration of a webshop or the use of a data lake, is provided to enable further optimization of production processes.

1. Einleitung

1.1. Hintergrund und Motivation

Die Zukunftsfabrik Bodensee, bestehend aus der DHBW Ravensburg und dem Institut für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer (nachfolgend auch IWT genannt), dient als Modellfabrik zur Abbildung realer Produktionsprozesse im digitalen Wandel. In dieser Modellumgebung werden Gehäuse für Raspberry Pi in mehreren Produktionsschritten gefertigt. Der Produktionsprozess gliedert sich in zwei Produktionsschritte, die an unterschiedlichen Standorten stattfinden. Im ersten Schritt erfolgt an der DHBW die Montage des Gehäuses. Anschließend wird im IWT die Endmontage durchgeführt, bei der die Raspberry Pi eingesetzt, die Gehäuse verschraubt und die fertigen Produkte abschließend geprüft werden. Durch die Vernetzung dieser beiden Standorte entsteht eine Wertschöpfungskette.

Das Ziel dieser Modellfabrik besteht darin, eine praxisnahe Umgebung zu schaffen, die es ermöglicht, moderne Fertigungstechnologien zu erproben und zu demonstrieren. Sie dient als Lernplattform für Studierende, die hier die Gelegenheit erhalten, theoretisches Wissen durch praktische Anwendungen zu ergänzen. Gleichzeitig bietet sie externen Besuchern und Unternehmen die Möglichkeit, innovative Produktionsprozesse und digitale Technologien in einer realen Umgebung kennenzulernen. Dabei liegt der eigentliche Mehrwert nicht in der Produktion der Raspberry-Pi-Gehäuse selbst, sondern in der Generierung und Auswertung von Daten, die während der Fertigungsprozesse entstehen.

Um diese Daten zu erhalten, soll ein Manufacturing Execution System installiert werden. Dieses System wird die Grundlage für eine kontinuierliche Datenerfassung schaffen und dazu beitragen, die Produktionsabläufe transparenter zu gestalten. Die gesammelten Daten sollen sowohl für die Optimierung der Fertigungsprozesse als auch für die Nutzung in Forschung und Lehre zur Verfügung stehen.

1.2. Problemstellung

Bisher existiert in der Zukunftsfabrik Bodensee kein Manufacturing Execution System, wodurch die kontinuierliche Erfassung und Auswertung von Produktionsdaten nicht möglich ist. Darüber hinaus sind geplante Erweiterungen, wie die Integration eines Webshops, ohne ein funktionierendes MES nicht realisierbar.

theoretisch schon realisierbar

Ein weiteres Problem ist, dass Bestände aktuell nicht überprüft werden können, was die Planung und Steuerung der Produktion einschränkt. Zudem soll für jedes Bauteil dokumentiert werden, wie oft es montiert und demontiert wurde. Diese Informationen sind jedoch ohne eine zentrale Datenerfassung nicht zugänglich. Die Herausforderung liegt daher darin, ein MES zu implementieren, das die Anforderungen beider Standorte erfasst und eine Integration der Produktionsprozesse ermöglicht. Hierbei müssen sowohl die spezifischen Anforderungen der DHBW als auch des IWT berücksichtigt werden, um eine nahtlose Kommunikation und effiziente Datenerfassung zu gewährleisten.

1.3. Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Wertschöpfungskette und die Prozesskette der Zukunftsfabrik Bodensee zu definieren und die spezifischen Anforderungen für die Implementierung eines Manufacturing Execution Systems zu spezifizieren. Um diese Ziele zu erreichen, wurde ein Workshop mit zwei Forcam-Mitarbeitern abgehalten, der sich intensiv mit den relevanten Prozessen und Anforderungen beschäftigte. In diesem Workshop wurden die bestehenden Produktionsprozesse an den beiden Standorten der DHBW und des IWT detailliert analysiert und die notwendigen Anforderungen an das MES erarbeitet, um so eine klare Grundlage für die Einführung des MES zu schaffen.

Ein wichtiger Bestandteil der Arbeit ist es, die Ergebnisse dieses Workshops festzuhalten und die definierten Anforderungen für die Integration des MES in der Zukunftsfabrik Bodensee zu dokumentieren. Darüber hinaus sollen die nächsten Schritte für die Implementierung des MES skizziert werden. Dies bildet die Basis für eine systematische und zielgerichtete Einführung des MES.

1.4. Aufbau der Arbeit

Das erste Kapitel führt in das Thema ein und behandelt den Hintergrund sowie die Motivation der Arbeit. Zudem werden die Problemstellung und die Zielsetzung definiert. Abschließend wird der Aufbau der Arbeit erläutert.
Das zweite Kapitel befasst sich mit den theoretischen Grundlagen und vermittelt das notwendige Fachwissen. Dabei werden zentrale Konzepte wie das Manufacturing Execution System eingeführt und die Abgrenzung zu Enterprise Resource Planning erläutert.
Im dritten Kapitel erfolgt die Ist-Analyse der Produktionsprozesse. Dabei werden die aktuellen Produktionsbedingungen an den beiden Standorten der Zukunftsfabrik Bodensee, die im Rahmen eines Workshops analysiert wurden, dargestellt. Die Ergebnisse dieser Analyse bilden die Grundlage für die Ableitung der Anforderungen. Diese werden im vierten Kapitel aufgeführt. Dabei werden die funktionalen, technischen und organisatorischen Anforderungen an das zu implementierende MES beschrieben. Diese Anforderungen dienen als Basis für die spätere Umsetzung.
Im fünften Kapitel wird ein Ausblick auf die Implementierung gegeben. Es werden die nächsten Schritte erläutert und mögliche Weiterentwicklungen sowie deren Bedeutung für die Zukunftsfabrik dargestellt.
Das sechste Kapitel fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und reflektiert die zentralen Erkenntnisse. Zusätzlich wird ein Ausblick auf weiterführende Entwicklungen im Rahmen des Projekts gegeben, um die Bedeutung der Arbeit einzuordnen.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Einführung in MES

Ein Manufacturing Execution System ist ein computergestütztes System, das als zentrale Schnittstelle zwischen der Produktionsplanung und der tatsächlichen Fertigung fungiert[1]. Es ermöglicht die Echtzeitüberwachung und -steuerung aller Produktionsprozesse direkt am Shopfloor. Die Hauptaufgabe eines MES besteht darin, Produktionsprozesse transparent und effizient zu gestalten, indem es Daten aus verschiedenen Quellen sammelt, verarbeitet und für Entscheidungen in Echtzeit bereitstellt.[2]

Die wesentlichen Funktionen eines MES umfassen:

- Detaillierte Produktionsplanung und -steuerung auf Shopfloor-Ebene
- Erfassung und Visualisierung von Maschinendaten und Produktionskennzahlen
- Qualitätsmanagement und Prozessüberwachung
- Ressourcenmanagement und Materialverfolgung
- Auftragsmanagement und Feinplanung
- Dokumentation und Rückverfolgbarkeit der Produktion

In der Zukunftsfabrik Bodensee wird das MES FLEX von FORCAM implementiert, das speziell auf die Anforderungen moderner Produktionsumgebungen ausgerichtet ist und die direkte Anbindung an die Siemens S7-Steuerungen der Anlagen sowie die MQTT-Kommunikation für das Werkerassistenzsystem ermöglicht.[3]

[1] Vgl. Felix Seibl, 2017

[2] Vgl. Nikolaus, 2018

[3] Vgl. Symestic, 2024

2.2. Abgrenzung zu ERP-System

Die FORCAM „Digitization Pyramid“ veranschaulicht die verschiedenen Ebenen der digitalen Systemarchitektur und verdeutlicht die klare Abgrenzung zwischen ERP- und MES-Systemen. Während ERP-Systeme auf die langfristige Unternehmensplanung und -steuerung ausgerichtet sind, fokussieren sich MES-Systeme auf die operative Steuerung und Überwachung der Produktion in Echtzeit. [4]

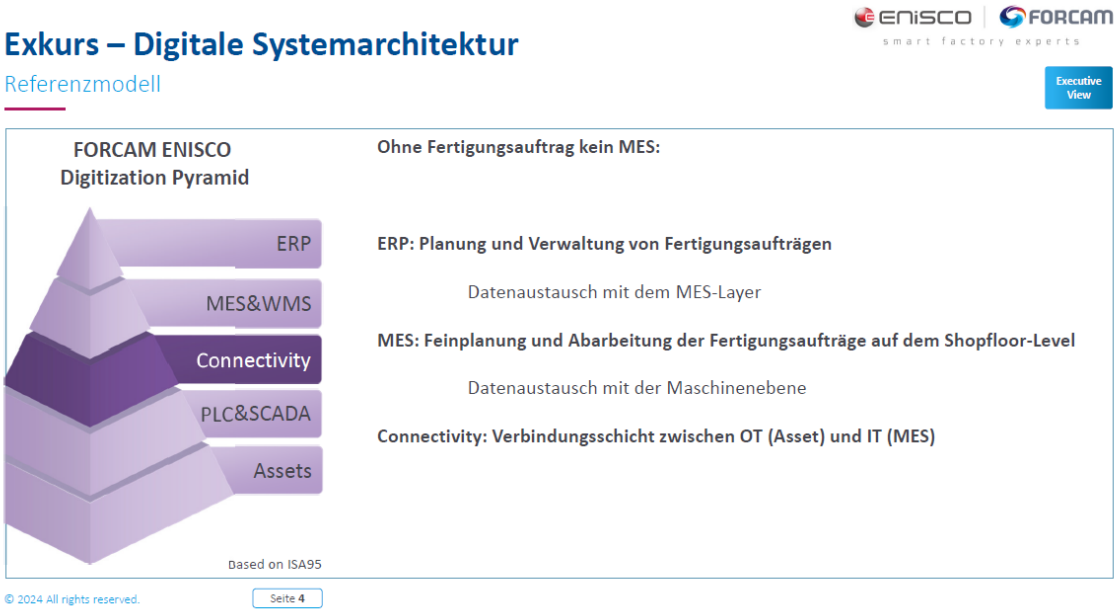


Abbildung 1: Digitization Pyramid

Die Pyramide (Abbildung 1) zeigt von unten nach oben folgenden Ebenen:

- Assets (die physischen Produktionsanlagen und Maschinen)
- PLC & SCADA (die Steuerungsebene mit den Siemens S7-Systemen)
- Connectivity (die Verbindungsschicht zwischen OT und IT, realisiert durch EDGE CONNECT)
- MES & WMS (die operative Fertigungssteuerung durch FORCAM MES FLEX)
- ERP (die strategische Planungsebene)

In der aktuellen Implementierungsphase liegt der Fokus auf der Integration des MES-Systems mit den Produktionsanlagen. Die Anbindung erfolgt über EDGE CONNECT

[4] Vgl. erp.de, 2024

direkt an die Siemens S7-Steuerungen und das MQTT-basierte Werkerassistenzsystem, wobei Fertigungsaufträge zunächst direkt im MES angelegt und verwaltet werden. Die zukünftige ERP-Anbindung wird den automatischen Austausch von Auftrags- und Produktionsdaten, die Bestandsführung und Materialwirtschaft im ERP-System sowie die Integration von Bestellprozessen ermöglichen.

2.3. Prozessmodellierung mit BPMN

Business Process Model and Notation ist eine standardisierte Methode zur Visualisierung und Analyse von Geschäftsprozessen.[5] In unserem MES Workshop wurden BPMN-Diagramme eingesetzt, um die komplexen Produktionsprozesse klar und strukturiert darzustellen. Ein BPMN-Diagramm besteht aus verschiedenen Elementen wie Ereignissen, Aktivitäten und Gateways, die durch Sequenzflüsse verbunden sind. Ereignisse markieren den Start und das Ende eines Prozesses oder wichtige Zwischenereignisse. Aktivitäten repräsentieren auszuführende Aufgaben im Prozess. Gateways ermöglichen die Darstellung von Verzweigungen und Zusammenführungen im Prozessablauf. Quelle?

Die Verwendung von BPMN bietet mehrere Vorteile für das Projekt:

- Klare Visualisierung der Prozessabläufe in beiden Standorten (DHBW und IWT)
- Identifikation von Schnittstellen zwischen verschiedenen Prozessschritten
- Erleichterung der Kommunikation zwischen technischen und nicht-technischen Stakeholdern
- Unterstützung bei der Identifikation von Optimierungspotenzialen

Im Rahmen der MES-Implementierung werden BPMN-Diagramme genutzt, um sowohl die bestehenden als auch die zukünftigen Prozesse zu modellieren. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich und erleichtert die Planung der notwendigen Anpassungen. Die Prozessmodellierung erfolgt dabei systematisch für jeden Produktionsschritt, von Belt Feeding über Bin Picking bis hin zum Rob. Loading, wodurch eine vollständige Dokumentation der Produktionsabläufe gewährleistet wird.

[5] Vgl. Florian Mägerlein, 2018

3. Ist-Analyse der Produktionsprozesse

3.1. Workshop

Zur Erstellung der Ist-Analyse wurde ein Workshop mit Unterstützung von zwei Mitarbeitern der Forcam GmbH durchgeführt. Hierbei wurden die Grundlagen für die Implementierung eines Manufacturing Execution Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee erarbeitet. Ziel des Workshops war es, die Produktionsprozesse an den beiden Standorten der DHBW und des IWT zu analysieren, die systemtechnischen Anforderungen für das MES zu definieren und ein Zielstatement für die Einführung des Systems zu formulieren. Diese Ergebnisse sollten abschließend auf einem A0-Chart festgehalten werden.

Der Workshop begann mit einer Einführung durch die Forcam-Mitarbeiter. Dabei wurden die grundlegenden Konzepte eines MES, dessen Relevanz für die Produktionssteuerung und die spezifischen Anforderungen der Zukunftsfabrik Bodensee erläutert. Als Ergebnis dieser Einführung wurde das Zielstatement formuliert: Für die beiden Demofabriken der DHBW und des IWT soll ein gemeinsamer Material- und Auftragsfluss für ein definiertes Produkt skizziert und die systemtechnischen Anforderungen für eine MES FLEX Einführung definiert werden. Gleichzeitig soll das MES als Demo- und Lernumgebung für Studierende und externe Besucher dienen.

Nach der Einführung erfolgte ein sogenannter Gemba Walk, bei dem beide Produktionsstätten besucht wurden. Ziel war es, die bestehenden Prozesse vor Ort zu sehen und ein besseres Verständnis für die Anlagen, die Produktionsschritte und die spezifischen Herausforderungen der beiden Standorte zu gewinnen. Während des Gemba Walks wurden Fotos und Notizen gemacht, die die Grundlage für die nachfolgende Analyse der Wertschöpfungskette bildeten. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Dokumentation der existierenden Prozessschritte.

Im Anschluss an den Gemba Walk wurde die Wertschöpfungskette der Zukunftsfabrik Bodensee analysiert und in einem ersten Entwurf zusammengefasst. Diese Wertschöpfungskette bildet die Abfolge aller relevanten Produktionsschritte ab, die zur Herstellung des Raspberry Pi-Gehäuses notwendig sind. Dabei wurden unterschiedliche Varianten von Wertschöpfungsketten betrachtet, darunter Order to

Stock, Order to Cash und Kreislaufwirtschaft. Es wurde festgestellt, dass die grundlegende Wertschöpfungskette flexibel an die jeweiligen Varianten angepasst werden kann, indem bestimmte Schritte je nach Prozessanforderung übersprungen werden.

Auf Basis der Wertschöpfungskette wurden anschließend Prozessbausteine für jeden einzelnen Produktionsschritt definiert. Diese Bausteine enthalten eine detaillierte Beschreibung der jeweiligen Prozesse, einschließlich ihrer wichtigsten Schritte, ihrer Funktion innerhalb der Gesamtproduktion und ihrer potenziellen Anforderungen an das MES. So wurde für jeden der Prozessbausteine ein standardisierter Steckbrief angefertigt.

Als letzter Schritt des Workshops wurden für jeden definierten Prozess Business Process Model and Notation Diagramme erstellt. Diese Diagramme visualisieren die Abläufe innerhalb der einzelnen Prozessschritte und ermöglichen eine klare und strukturierte Darstellung der logischen Abfolge

Der Workshop stellte legte somit den Grundstein für die Umsetzung des MES, indem er die wesentlichen Anforderungen und Prozesse der Zukunftsfabrik Bodensee systematisch erfasste und dokumentierte. Die erarbeiteten Ergebnisse bilden die Basis für die nachfolgenden Schritte der MES-Implementierung.

.

3.2. Überblick der Produktionsstandorte

Die Zukunftsfabrik Bodensee verfügt über zwei räumlich getrennte Produktionsstandorte - die DHBW und das IWT, die etwa 300 Meter voneinander entfernt liegen.

Beide Standorte sind als eigenständige Produktionsstätten konzipiert, die sowohl unabhängig voneinander als auch in einer integrierten Wertschöpfungskette operieren können.

An der DHBW befindet sich eine teilautomatisierte Fertigungsstraße, die durch eine Siemens S7 310-H Steuerung kontrolliert wird. Der zweite Standort am IWT ist auch eine teilautomatisierte Fertigungsstraße, die über eine Siemens S7 1200 Steuerung verfügt und zusätzlich ein MQTT-basiertes Werkerassistenzsystem.

Die Verbindung zwischen beiden Standorten soll zukünftig durch einen Husky-Roboter realisiert werden, der den Materialtransport autonom durchführt. Beide

Produktionsstätten sind für die Montage und Demontage des Raspberry Pi-Gehäuses ausgelegt, wobei bestimmte Prozessschritte spezifisch der DHBW und andere dem IWT zugeordnet sind. Um eine effiziente Koordination und Steuerung zu gewährleisten, wird ein gemeinsames Manufacturing Execution System implementiert, dass beide Standorte verwaltet und überwacht. Im Fokus der weiteren Betrachtung stehen die spezifischen Prozessschritte an der DHBW.

Die Besonderheit dieser Struktur liegt in ihrer Flexibilität: Jeder Standort soll sowohl autark Montage- und Demontageprozesse durchführen können als auch in einer koordinierten Produktionskette mit dem jeweils anderen Standort zusammenarbeiten. Diese duale Fähigkeit ermöglicht nicht nur eine effiziente Produktion, sondern bietet auch optimale Bedingungen für Forschung und Lehre im Kontext moderner Fertigungssysteme.

3.3. Beschreibung des aktuellen Produktionsprozesses

Die Zukunftsfabrik Bodensee produziert ein spezielles Gehäuse für Raspberry Pi-Systeme, wobei die Produktion auf zwei Standorte verteilt ist. An der DHBW wird die Baugruppe Gehäuse als Grundkomponente gefertigt, während am IWT die Endmontage zum fertigen Raspberry-Gehäuse erfolgt.

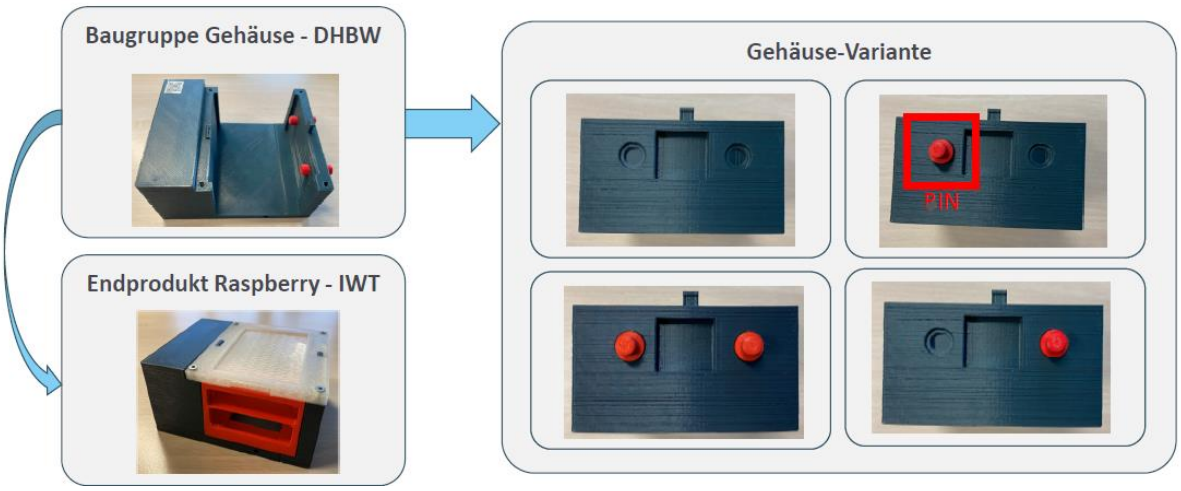


Abbildung 2: Produkt

Wie in Abbildung 2 zu sehen

Wie in zu Abbildung 2 sehen umfasst das Produktportfolio vier verschiedene Varianten des Gehäuses, die sich durch die spezifische Anordnung von PIN-Elementen unterscheiden. Die Varianten setzen sich wie folgt zusammen: eine Version ohne PINs, eine Version mit zwei PINs, sowie zwei Versionen mit jeweils einem PIN entweder auf der linken oder rechten Seite.

Der Fertigungsprozess beginnt an der DHBW mit der Herstellung der Grundkomponente, die aus einem grauen Gehäuseteil besteht. Dieses Bauteil bildet die Basis für alle vier Produktvarianten und durchläuft verschiedene Fertigungsschritte, von der Zuführung über die PIN-Bestückung bis zur Qualitätskontrolle.

aus zwei Gehäuseteilen

Nach Fertigstellung der Baugruppe Gehäuse an der DHBW wird diese zum IWT transportiert, wo die Endmontage stattfindet. Hier wird das Grundgehäuse mit zusätzlichen Komponenten wie dem Raspberry Pi und einem Deckel komplettiert, was zum fertigen Endprodukt führt.

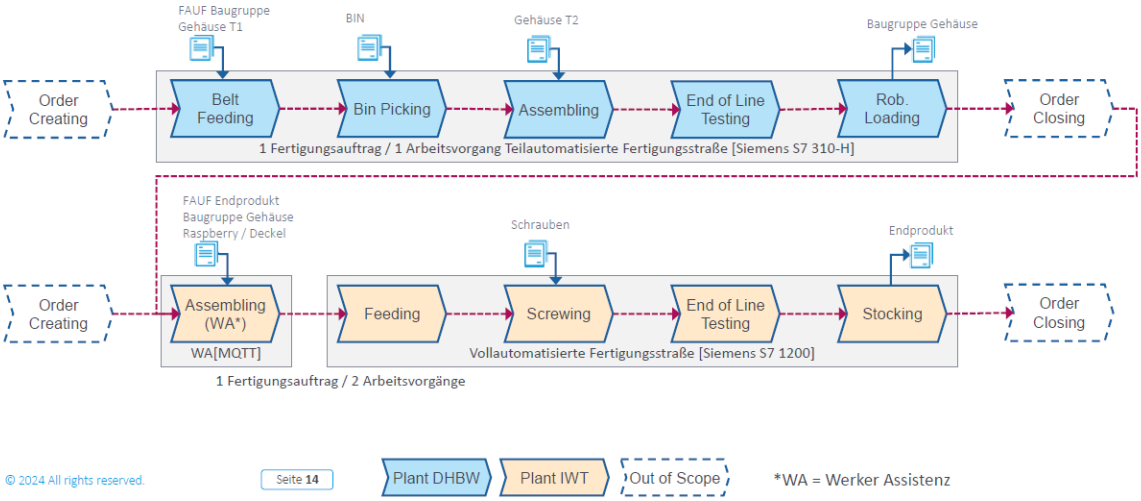


Abbildung 3: Wertschöpfungskette

Diese modulare Produktionsstruktur ermöglicht eine flexible Fertigung der verschiedenen Gehäusevarianten und gewährleistet durch die Verteilung auf zwei Standorte eine optimale Nutzung der vorhandenen Fertigungskapazitäten. In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Prozessschritte am Standort DHBW beschrieben, um einen Einblick in den gesamten Fertigungsablauf zu geben.

3.3.1. Belt Feeding

Der erste Prozessschritt "Belt Feeding" umfasst das automatisierte Beladen des Förderbands mit den erforderlichen Komponenten. Dabei wird zunächst der Werkstückträger präzise auf dem Förderband positioniert. Im Anschluss wird das Gehäuse T1 als Grundkomponente auf dem Werkstückträger platziert. Ein wichtiger Bestandteil dieses Prozesses ist die Erfassung des QR-Codes des Gehäuses T1, wodurch eine eindeutige Identifikation und Rückverfolgbarkeit des Werkstücks gewährleistet wird. Verweis auf Abbildung?

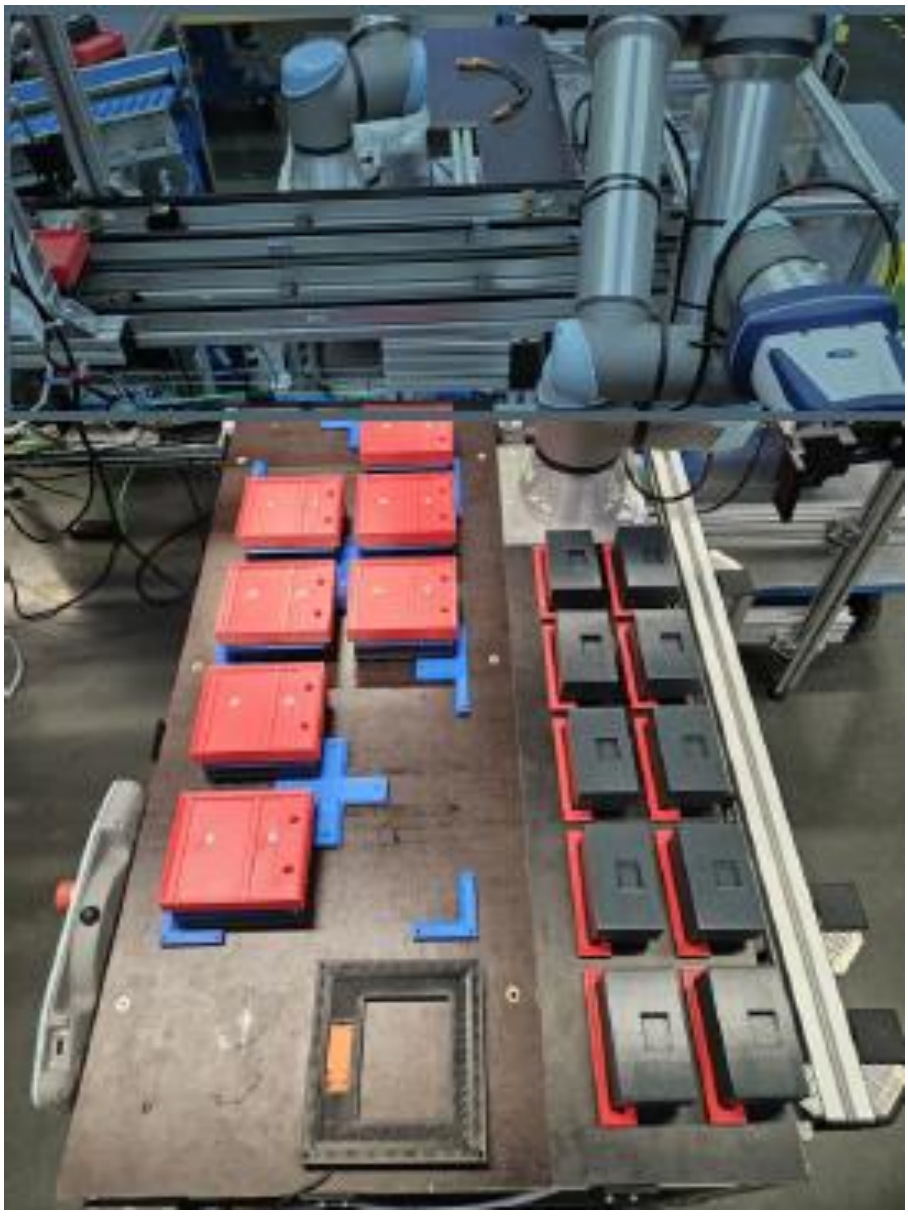


Abbildung 4: Belt Feeding

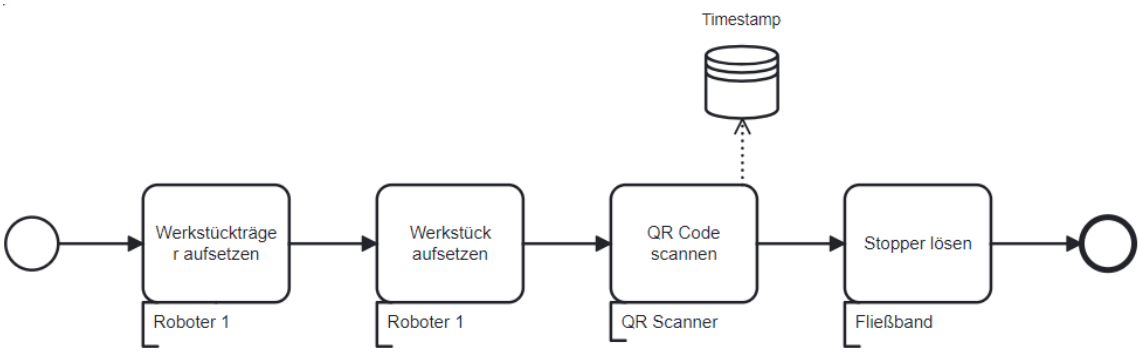


Abbildung 5: BPMN Belt Feeding

Verweis auf Abbildung?

Der Prozess „Belt Feeding“ beginnt mit einem Startereignis und wird durch Roboter 1 ausgeführt, der zunächst den Werkstückträger auf das Förderband aufsetzt. Im nächsten Schritt platziert derselbe Roboter das Werkstück auf dem Werkstückträger. Anschließend erfasst ein QR-Scanner den Code des Werkstücks, wobei die Daten zusammen mit einem Zeitstempel gespeichert werden. Der Prozess endet mit dem Lösen des Stoppers am Fließband, wodurch der Werkstückträger mit dem aufgesetzten und gescannten Werkstück weitertransportiert werden kann.

3.3.2. Bin Picking

Der Prozessschritt "Bin Picking" umfasst das automatisierte Positionieren der PINs auf dem Werkstückträger, wobei je nach Produktvariante keine, ein oder zwei PINs platziert werden. Nach dem Anfahren des Werkstückträgers mit dem bereits aufgesetzten Werkstück erfolgt eine optische Erfassung der Position. Roboter 2 führt dann die präzise Platzierung der PINs durch. Die Qualität der Pins wird durch einen Keyence Scanner überprüft, der die Messdaten zur weiteren Analyse an einen Data Lake übermittelt. Dieser Prozessschritt ist entscheidend für die Variantenbildung des Raspberry-Gehäuses. Verweis auf Abbildung?

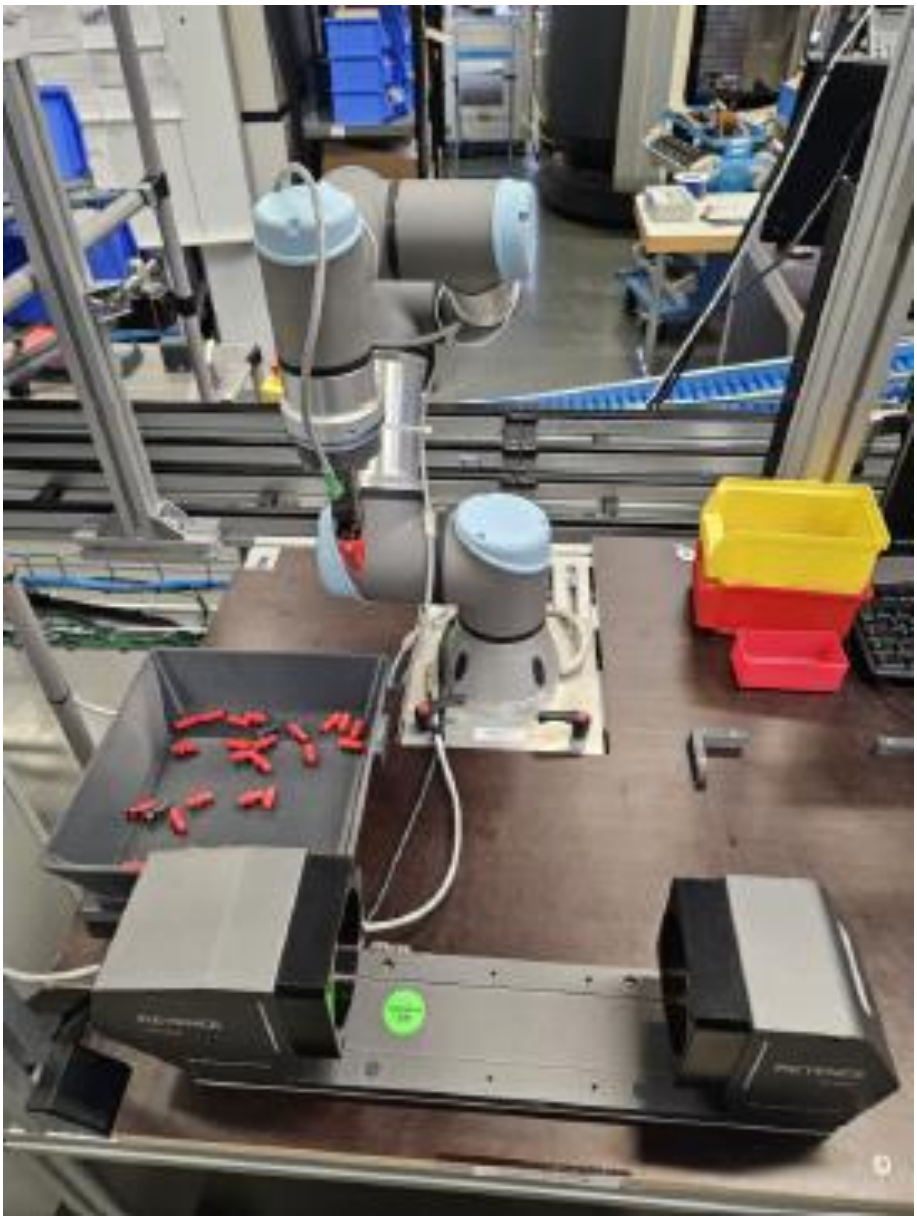


Abbildung 6: Bin Picking

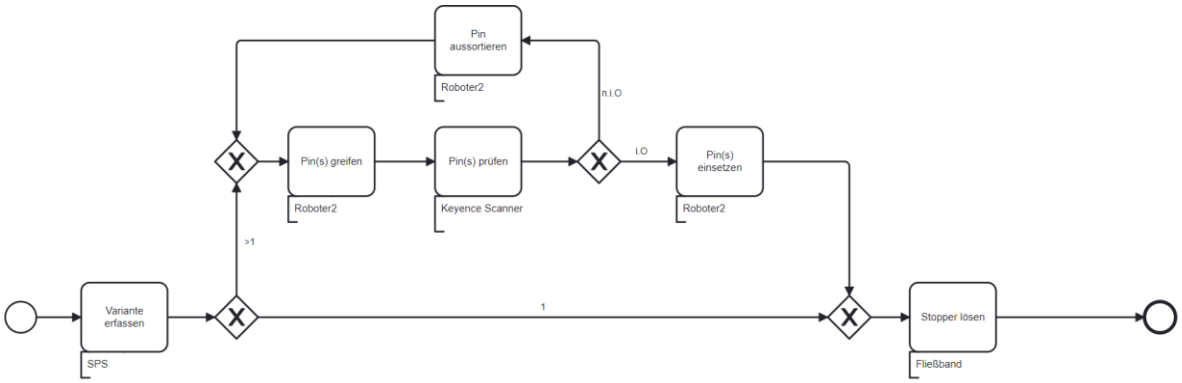


Abbildung 7: BPMN Bin Picking

Verweis auf Abbildung?

Der Prozess des Bin Picking beginnt mit der Erfassung der gewünschten Produktvariante durch die SPS. Abhängig von der Variante folgt eine Verzweigung im Prozessablauf:

Bei Variante "1" wird der Prozess direkt zum Stopper lösen weitergeleitet, da keine Pins erforderlich sind.

Bei den anderen Varianten prüft Roboter 2 die Pins zunächst mit dem Keyence Scanner und setzt sie anschließend auf den Bauteilträger.

Der Prozess endet in beiden Fällen mit dem Lösen des Stoppers am Fließband, wodurch der Werkstückträger weitertransportiert werden kann.

3.3.3. Assembling

Der Prozessschritt "Assembling" stellt einen manuellen Montageprozess dar, bei dem ein Werker die Bauteile entsprechend der gewählten Produktvariante zusammensetzt. Die SPS erfasst dabei zunächst die gewünschte Variante (1 bis 4) des Raspberry-Gehäuses. Der Werker erhält die entsprechenden Informationen über die benötigten Komponenten und führt die Montage gemäß den Vorgaben durch. Dieser Prozessschritt ist entscheidend für die Qualität des Endprodukts und erfordert besondere Sorgfalt bei der Ausführung.

Verweis auf Abbildung?



Abbildung 8: Assembling

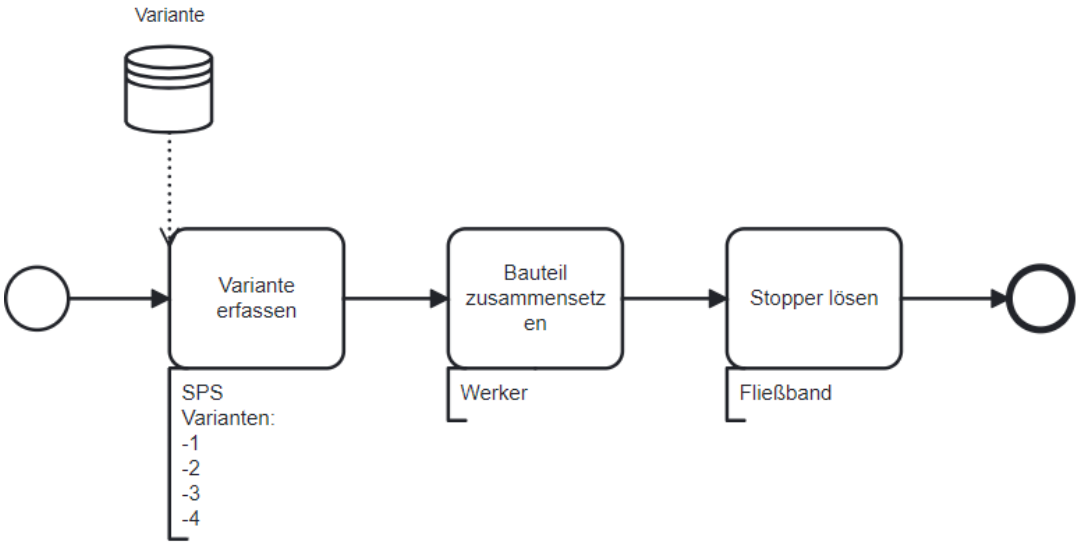


Abbildung 9: BPMN Assembling

Verweis auf Abbildung?

Der Assembly-Prozess beginnt mit der Erfassung der Variante durch die SPS, wobei zwischen vier verschiedenen Varianten (1 bis 4) unterschieden wird. Diese Information wird aus einer Variantendatenbank abgerufen. Im nächsten Schritt erfolgt der manuelle Zusammenbau der Komponenten durch einen Werker mit Hilfe eines Werkasssistenz-Systems. Nach erfolgreicher Montage wird der Stopper am Fließband gelöst, wodurch das zusammengesetzte Bauteil zum nächsten Prozessschritt weitertransportiert werden kann.

Der gesamte Prozess wird durch die Kombination von automatisierter Variantenerfassung und manueller Montagearbeit charakterisiert.

3.3.4. End of Line Testing

Der Prozessschritt "End of Line Testing" stellt die finale Qualitätskontrolle der montierten Baugruppe dar. Hierbei wird mittels einer Venglore Wenglor Kamera eine definierte umfassende optische Prüfung des Bauteils durchgeführt. Die Kamera überprüft dabei verschiedene Qualitätsmerkmale wie die korrekte Positionierung der PINs und die fehlerfreie Montage der Komponenten. Die Prüfergebnisse werden automatisch erfasst und in einer Datenbank gespeichert, wodurch eine lückenlose Dokumentation der Qualitätskontrolle gewährleistet wird. Verweis auf Abbildung?



Abbildung 10: End of Line Testing

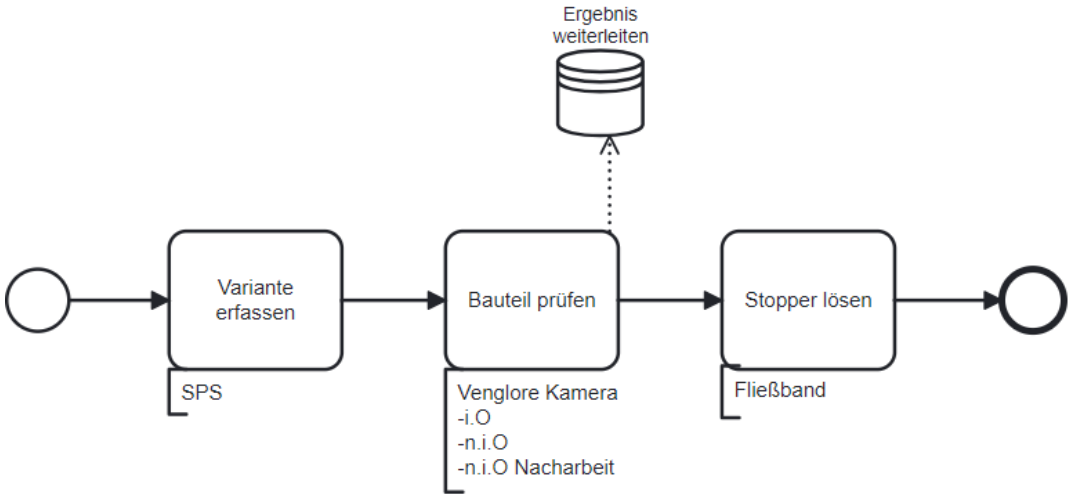


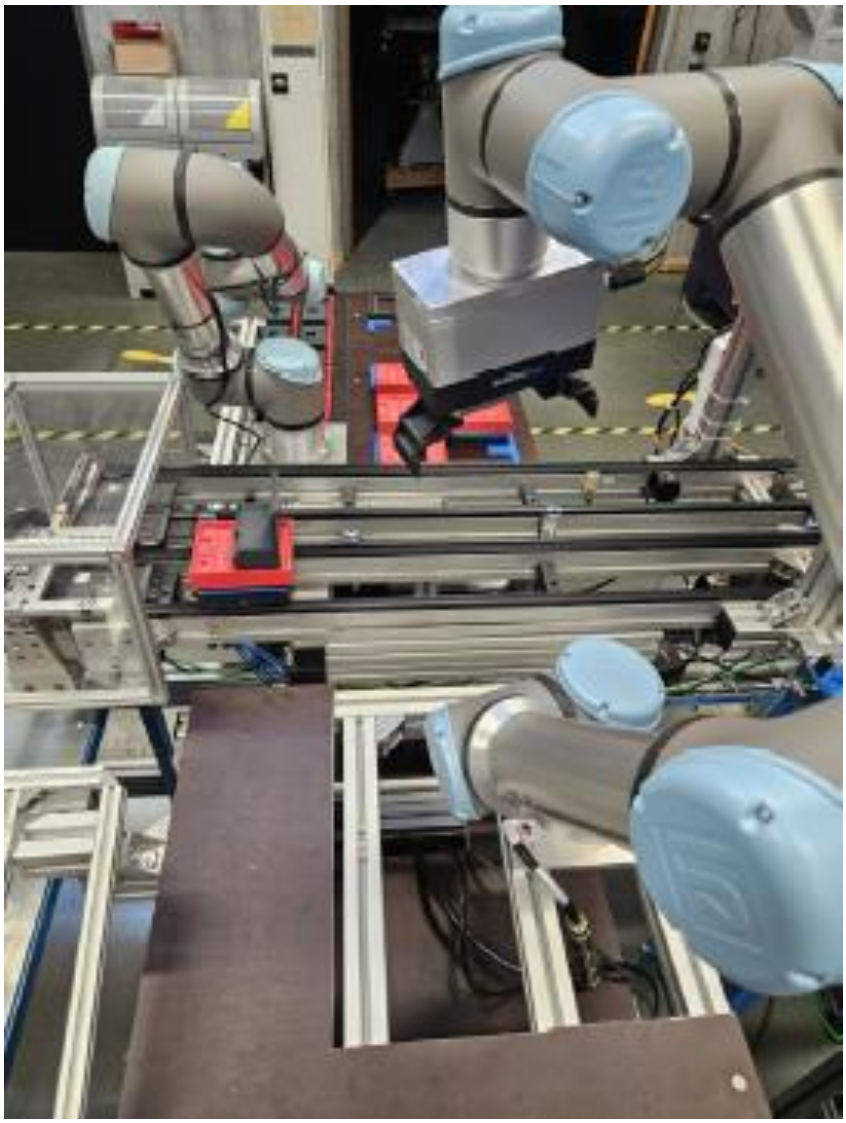
Abbildung 11: BPMN End of Line Testing

Der End of Line Testing Prozess beginnt mit der Erfassung der Produktvariante durch die SPS. Im nächsten Schritt erfolgt die Bauteilprüfung durch die Venglore Kamera, die drei verschiedene Prüfszenarien durchführen kann: eine Standardprüfung (i.O), eine erweiterte Prüfung (n.i.O) oder eine Nacharbeitsprüfung (n.i.O Nacharbeit). Die Prüfergebnisse werden automatisch in einer Datenbank gespeichert und weitergeleitet. Nach Abschluss der Prüfung wird der Stopper am Fließband gelöst, wodurch das geprüfte Bauteil den Prozess verlässt. Der gesamte Prüfvorgang ist vollautomatisiert und gewährleistet eine standardisierte Qualitätskontrolle.

Wenglor

3.3.5. Rob. Loading

Der Prozessschritt "Rob. Loading" stellt den finalen Schritt in der Produktionskette an der DHBW dar. Basierend auf den Prüfergebnissen des End of Line Testing wird hier entschieden, wie mit dem Bauteil weiter verfahren wird. Bei einem positiven Prüfergebnis (i.O) wird das Bauteil durch Roboter 1 auf den Husky verladen. Bei nicht bestandener Prüfung (n.i.O) wird das Teil entweder zur Nacharbeit weitergeleitet oder bei nicht reparierbaren Mängeln durch Roboter 3 der Demontagerampe zugeführt.



Verweis auf Abbildung?

Abbildung 12: Rob Loading

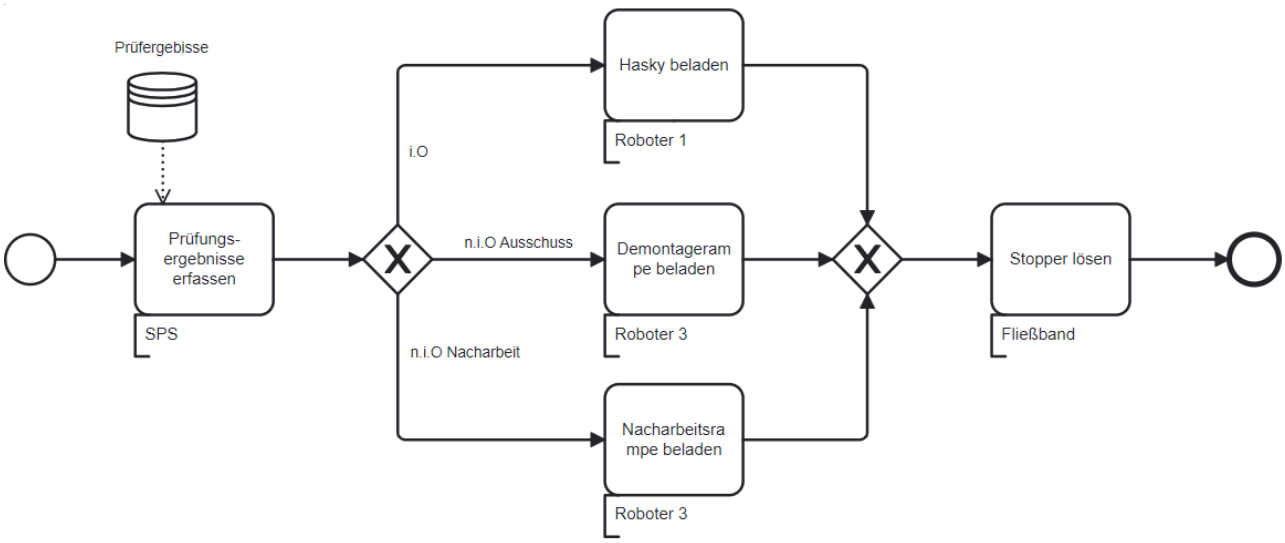


Abbildung 13: BPMN Rob Loading

Verweis auf Abbildung?

Der „Rob. Loading“ Prozess beginnt mit der Erfassung der Prüfergebnisse aus der Datenbank durch die SPS. Abhängig vom Prüfergebnis verzweigt sich der Prozess in drei mögliche Pfade: Bei einem positiven Ergebnis (i.O) wird das Bauteil durch Roboter 1 auf den Husky geladen. Bei nicht bestandener Prüfung mit Nacharbeitspotential (n.i.O Nacharbeit) wird das Teil durch Roboter 3 zur Nacharbeitsrampe transportiert. Bei nicht reparierbaren Mängeln (n.i.O Ausschuss) wird das Bauteil durch Roboter 3 der Demontagerampe zugeführt. Der Prozess endet jeweils mit dem Lösen des Stoppers am Fließband.

3.4. Visualisierung des Ist-Zustands

Verweis auf Abbildung?

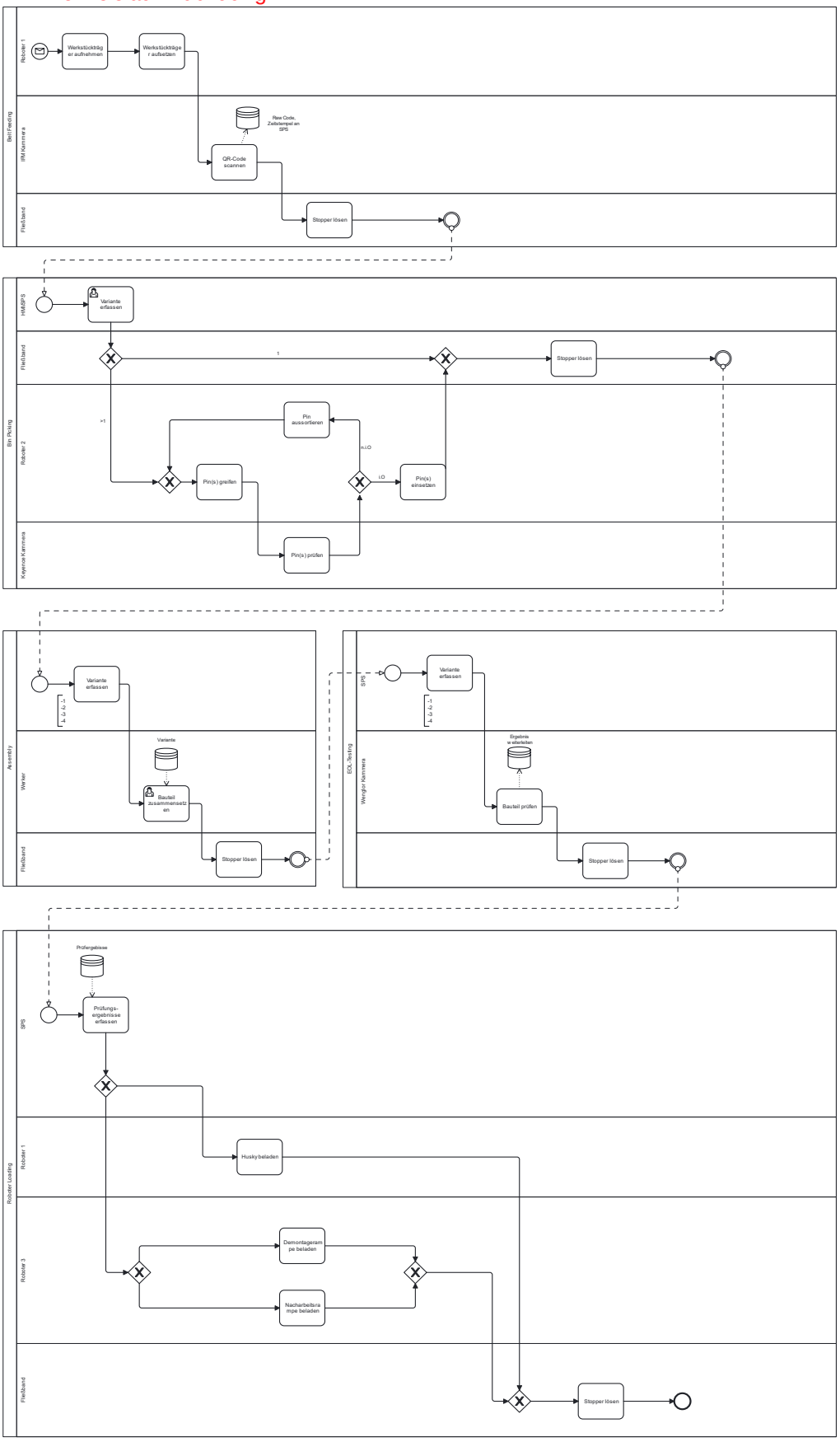


Abbildung 14: Gesamtablauf BPMN

4. Anforderungsanalyse

4.1. Funktionale Anforderungen an das MES

Das Manufacturing Execution System für die Zukunftsfabrik Bodensee muss eine Reihe funktionaler Anforderungen erfüllen, um die Produktionsprozesse an beiden Standorten effizient zu steuern und die gewünschten Daten zu erheben. Eine zentrale Anforderung ist die Abwicklung der Fertigungsaufträge über das MES, um den Material- und Auftragsfluss zwischen der DHBW und dem IWT zu koordinieren. Dies umfasst die Verwaltung und Überwachung von Produktionsaufträgen sowie deren statusbezogene Rückmeldungen in Echtzeit.

Zusätzlich muss das MES mehrere Produktvarianten unterstützen, um die unterschiedlichen Fertigungsschritte der Gehäusebaugruppen an der DHBW und des Endprodukts Raspberry Pi im IWT abzubilden. Es muss flexibel genug sein, um die Fertigung sowohl für die verschiedenen Varianten der Gehäuse als auch für die Endmontage der Raspberry Pi zu verwalten.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Implementierung eines Demontage-Prozesses innerhalb des Systems, um die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft zu integrieren. Dieser Prozess soll es ermöglichen, Bauteile nach der Nutzung in der Produktion zurückzuführen, wodurch eine nachhaltigere Nutzung der Ressourcen gewährleistet wird.

Das MES muss sowohl die Trennung der Fertigungsaufträge zwischen den beiden Standorten als auch deren gemeinsame Verwaltung ermöglichen. Einerseits muss das System die Fertigungsaufträge zwischen der DHBW und dem IWT unterscheiden, um eine Montage mit direkt darauffolgender Demontage an einem der beiden Standorte zu ermöglichen. Andererseits muss es auch die Verwaltung von Fertigungsaufträgen ermöglichen, die beide Standorte umfassen. So können durch einen einzigen Fertigungsauftrag sowohl die Montage an der DHBW als auch die anschließende Endmontage im IWT abgebildet werden, ohne dass separate Aufträge erforderlich sind. Dies gilt auch für die Demontage.

4.2. Technische Anforderungen

Für die Implementierung des Manufacturing Execution Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee müssen mehrere technische Anforderungen berücksichtigt werden. Ein zentraler Punkt ist die Anbindung der bestehenden Produktionsanlagen. Hierzu muss eine Schnittstelle zu den Siemens S7-Steuerungen implementiert werden. Diese Steuerungen müssen über EDGE CONNECT an das MES angebunden werden, um eine direkte Kommunikation zwischen den Maschinen und dem MES zu ermöglichen. EDGE CONNECT dient dabei als Bindeglied zwischen der Produktionssteuerung und der IT-Infrastruktur. Dadurch können Daten von der SPS an das MES übertragen werden.

Eine weitere technische Anforderung ist die Integration des MQTT-basierten Werkerassistenzsystems, das die Kommunikation zwischen den Maschinen und den Produktionsmitarbeitern unterstützt. Dies ermöglicht eine interaktive Unterstützung der Mitarbeiter durch das System und stellt sicher, dass alle relevanten Produktionsdaten in Echtzeit erfasst werden. Das MES muss in der Lage sein, diese Daten zu verarbeiten und die Fertigungsprozesse kontinuierlich zu überwachen.

Für die Verarbeitung und Speicherung der erfassten Daten wird ein Data Lake eingerichtet. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass der Data Lake keine Anforderung an das MES darstellt, da das MES selbst keine Daten speichert. Stattdessen hat das MES die Aufgabe, die erfassten Daten an den Data Lake zu senden, wo sie zentral gespeichert und für langfristige Analysen bereitgestellt werden können. Der Data Lake dient somit als externe Speicherlösung für die gesammelten Produktionsdaten, die nicht direkt im MES vorgehalten werden sollten.

Des Weiteren muss das System die Zentralisierung der Konfiguration für beide Standorte ermöglichen. Eine einheitliche EDGE-Konfiguration für beide Standorte der DHBW und des IWT ist erforderlich, um die Integration und den Betrieb des MES zu koordinieren und eine Steuerung der Produktionsprozesse zu gewährleisten.

Zusätzlich muss das MES Echtzeitdaten erfassen und verarbeiten können, um auf Produktionsabweichungen schnell reagieren zu können. Es muss sicherstellen, dass die Datensicherheit und Datenintegrität während der Übertragung und Speicherung der Produktionsdaten gewährleistet sind, um die Qualität und Verlässlichkeit der erfassten Informationen zu sichern.

4.3. Organisatorische Anforderungen

Ebenso müssen organisatorische Anforderungen durch das Manufacturing Execution System erfüllt werden. Dabei ist die Zwei-Werkstruktur der Fabrik eine Herausforderung. Das MES muss in der Lage sein, diese Standorte separat zu verwalten, aber gleichzeitig auch eine Koordination der beiden Bereiche ermöglichen. So kann jedes Werk seine spezifischen Aufgaben sowohl separat als auch gemeinsam abwickeln. Es muss der Übertrag von Aufträgen und Daten zwischen den Standorten ermöglicht werden.

Eine weitere organisatorische Anforderung ist die Abbildung von Montage- und Demontageprozessen im MES. Das System muss in der Lage sein, diese beiden Prozesse in getrennten Aufträgen abzubilden, um eine klare Unterscheidung zwischen der Fertigung und der Rückführung von Bauteilen in den Produktionsprozess zu gewährleisten. Dies ist insbesondere für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft wichtig. So wird sichergestellt, dass Bauteile, die demontiert wurden, ordnungsgemäß dokumentiert und für eine Wiederverwendung verfügbar gemacht werden.

Das MES muss in der Lage sein, eine benutzerfreundliche Bedienoberfläche bereitzustellen, die es den Mitarbeitenden oder Studierenden ermöglicht, die Funktionen des Systems intuitiv zu nutzen. Da die Studierenden jährlich wechseln und sich somit jedes Jahr neu mit der Anlage und Funktion vertraut machen müssen, sollte die Bedienoberfläche so gestaltet werden, dass dieser Vorgang so einfach wie möglich ist.

Eine weitere organisatorische Anforderung betrifft die Rückverfolgbarkeit der Fertigungsprozesse. Das MES muss sicherstellen, dass jeder Schritt innerhalb der Produktions- und Demontageprozesse dokumentiert wird. Dies umfasst sowohl die Aufzeichnung des Materialflusses als auch die Erfassung von Produktionsdaten wie Fehlerprotokollen oder Qualitätsmerkmalen.

5. Ausblick auf die Implementierung

5.1. Kurzübersicht der nächsten Schritte

Im Workshop wurde ein Zeitplan für die nächsten Schritte der Implementierung des MES aufgestellt. Nach dem bereits erfolgreich durchgeführten IPP-Workshop zur Erfassung der Prozessanforderungen am 03./04.12.2024 stehen nun die weiteren Implementierungsschritte fest. Verweis auf Abbildungen?

Topic	Beschreibung	Termin	Status
Analyse	IPP-Workshop → Erfassung Prozessanforderungen	03/04.12.2024	
Zielarchitektur	Definition Zielarchitektur [Anforderungen: Hardware & Netzwerk]	Jan 2025	Offen
Hardware	Beschaffung und Aufbau der Hardware		Offen
Netzwerk	Aufbau der Netzwerkinfrastruktur		Offen
Installation	Installation MES und EDGE		Offen
Konfiguration	Konfiguration [Use Case OEE + Auftragsversorgung]		Offen
Training	MES FLEX: FORCE Complete & Basic Admin Training EDGE CONNECT: How to connect machines		Offen
Übergabe	Übergabe in den Produktivbetrieb		Offen
Perspektive 26	AC4DC als Connectivity, weitere MES Use Cases	Tbd.	Tbd.

Abbildung 15: Nächste Schritte

Im Januar 2025 erfolgt zunächst die Definition der Zielarchitektur, die die Anforderungen an Hardware und Netzwerk spezifiziert. Anschließend folgen die Beschaffung und der Aufbau der erforderlichen Hardware sowie die Installation der Netzwerkinfrastruktur.

Die studentische Projektphase beginnt mit der Installation von MES und EDGE sowie deren Konfiguration, wobei der Fokus auf dem Use Case OEE und der Auftragsversorgung liegt. Parallel dazu werden umfassende Schulungen durchgeführt, die sowohl das MES FLEX FORCE Complete & Basic Admin Training als auch das EDGE CONNECT Training zur Maschinenanbindung umfassen. Die Fertigungserprobung ist für das dritte Quartal 2025 geplant, gefolgt von einem DEMO Production Excellence Day im vierten Quartal 2025.

... einer Vorstellung ....

5.2. Zukunftspotenziale

Die Zukunftspotenziale der Zukunftsfabrik Bodensee sind klar definiert und bauen auf der erfolgreichen Implementierung des MES-Systems auf.

Nach dem DEMO Production Excellence Day im vierten Quartal 2025 ist als wesentliche Weiterentwicklung die Integration von AC4DC als Connectivity-Lösung geplant. Diese technologische Erweiterung wird durch die Entwicklung und Implementierung weiterer MES Use Cases ergänzt, die über die initiale OEE-Implementierung hinausgehen. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Integration eines Data Lakes, der erweiterte Datenanalysen ermöglichen soll. Zusätzlich ist die systematische Erfassung und Auswertung von Energie- und Prozessdaten vorgesehen, wodurch eine noch effizientere Steuerung und Optimierung der Produktionsprozesse erreicht werden soll. Diese Zukunftsperspektiven sind als "Wunsch-Vorgehen" in der Projektplanung verankert und werden nach erfolgreichem Abschluss der initialen MES-Implementierung angegangen. Durch diesen strukturierten Ansatz zur kontinuierlichen Weiterentwicklung wird sichergestellt, dass die Zukunftsfabrik Bodensee auch langfristig von den Vorteilen einer modernen, datengetriebenen Produktionsumgebung profitieren kann.

6. Fazit

6.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Anforderungsanalyse für das MES in der Zukunftsfabrik Bodensee hat eine Reihe wichtiger Erkenntnisse hervorgebracht. Es wurden klare funktionale, technische und organisatorische Anforderungen definiert, die für eine erfolgreiche Implementierung des Systems unerlässlich sind.

Zu den zentralen funktionalen Anforderungen gehört die Fähigkeit des MES, Fertigungsaufträge über beide Standorte hinweg zu verwalten und zu koordinieren. Dabei muss das System flexibel genug sein, um verschiedene Produktvarianten zu unterstützen und sowohl Montage- als auch Demontageprozesse abzubilden. Dies ist besonders wichtig für die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft innerhalb der Zukunftsfabrik.

6.2. Wichtigste Erkenntnisse aus dem Workshop

Der durchgeführte Workshop hat sich als äußerst wertvoll für das Projekt erwiesen. Er lieferte detaillierte Einblicke in die Produktionsprozesse beider Standorte und ermöglichte eine konkrete Ausarbeitung der spezifischen Anforderungen an das MES-System. Ein besonders wichtiges Ergebnis des Workshops war die Erstellung detaillierter Prozessbausteine für beide Standorte. Diese Bausteine bilden nun eine solide Grundlage für die bevorstehende MES-Implementierung. Sie ermöglichen ein tiefes Verständnis der Abläufe und Schnittstellen innerhalb der Produktion und werden maßgeblich dazu beitragen, das MES optimal auf die Bedürfnisse der Zukunftsfabrik Bodensee zuzuschneiden.

6.3. Ausblick auf nächste Phase (T3200)

In der nächsten Projektphase (T3200) wird die Implementierung des MES das Hauptziel sein. Ziel ist es, dass die Hardware- und Netzwerkinfrastruktur bis zum Start bereitgestellt wird. Anschließend sollen die in dieser Arbeit definierten Anforderungen schrittweise in die Praxis umgesetzt werden. Die zuvor definierten Prozessbausteine werden dabei im MES abgebildet und mit den Produktionsanlagen verbunden, um eine nahtlose Kommunikation und Datenverarbeitung sicherzustellen.

Darauf aufbauend wird in einem nächsten Schritt die Integration eines Webshops erfolgen. Dieser wird auf der bereits implementierten MES-Infrastruktur aufbauen und Bestellungen direkt in den Produktionsprozess einbinden. Dadurch wird der Material- und Auftragsfluss weiter optimiert, und die Produktion gewinnt an Flexibilität, indem kundenspezifische Anforderungen effizient berücksichtigt werden.

Zusätzlich bleibt die Integration eines ERP-Systems ein potenzieller Entwicklungsschritt. Ein integriertes ERP-System würde die Produktionsplanung und Ressourcenverwaltung weiter vereinfachen und den Datenaustausch zwischen dem MES und den übergeordneten Planungsebenen ermöglichen. Die konkrete Machbarkeit und Planung dieses Vorhabens wird jedoch im Verlauf der nächsten Projektphase T3200 evaluiert.

Literaturverzeichnis

erp.de. (25. 10 2024). Von Was ist ERP?: https://www.erp.de/was-ist-erp abgerufen

Felix Seibl, C. T. (2017). *Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement.* Frankfurt am Main: 2017.

Florian Mägerlein, M. B. (2018). *Modellierung von Informationsflüssen für eine digitalisierte Werts chöpfung.* Stuttgart: FRAUNHOFER-ARBEITSGRUPPE FÜR SUPPLY CHAIN SERVICES SCS.

Nikolaus, A. (2018). *Implementierung und Optimierung eines Manufacturing Execution Systems für Montagebänder.* Hannover : Gottfried Wilhelm Leibniz Universität .

Symestic. (24. 10 2024). Von Was ist ein MES (Manufacturing Execution System)?: https://www.symestic.com/de-de/blog/mes-manufacturing-execution-system abgerufen