ZDP
ZENTRUM FÜR DIGITALISIERUNG
IN PRODUKTION UND PRODUKTENTWICKLUNG

DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg

Einführung eines ERP-Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee

Studienarbeit T3_3101

des Studiengangs
Maschinenbau – Produktionstechnik | Produktion und Management
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg
Campus Friedrichshafen,

vorgelegt von

Arne Dörr & Niklas Weltner

12.07.2024

Bearbeitungszeitraum	**von Oktober 2023 bis Juli 2024**
Matrikelnummer, Kurs	**5377746, 5908863 | TMP21**
Ausbildungsfirma	**Rolls-Royce Solutions GmbH** **Liebherr-Hausgeräte Ochsenhausen GmbH**
Gutachter der Dualen Hochschule	**Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller**

Erklärung

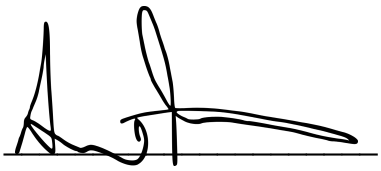
gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Projektarbeit mit dem Thema:

Einführung eines ERP-Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee

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

Ochsenhausen, den 12.07.2024





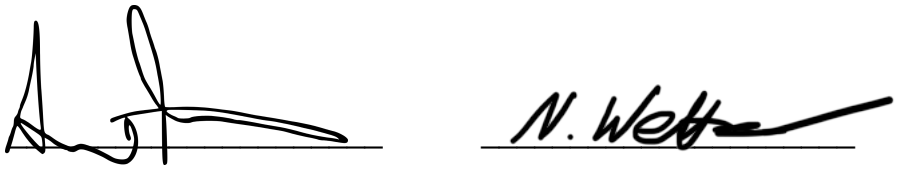
Arne Dörr Niklas Weltner

Sperrvermerk

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

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

Ochsenhausen, den 12.07.2024



Arne Dörr Niklas Weltner

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Konfiguration und Entwicklung eines Enterprise Resource Planning (ERP) Systems an der Zukunftsfabrik Bodensee, einer Einrichtung des Zentrums für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung (ZDP) der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg.

Die Einführung eines ERP-Systems für die Produktionsstätte ist notwendig, um die Mateialwirtschaft im Werk verwalten zu können. Dabei wurde auf das sogenannte Production Planning Modul (PP-Modul) im System S4/HANA von SAP zurückgegriffen. Das ERP-System wurde im Rahmen dieser Arbeit auf Ebene der Stammdaten angelegt, um die Produktionsprozesse in der Zukunftsfabrik möglichst gut abbilden zu können. Ferner wurde eine Benutzeroberfläche für die Bedienung des Systems unmittelbar an der Anlage erstellt, sodass diese künftig für Forschungs- und Lehrzwecke von allen Beteiligten bedient werden kann.

Im Zusammenhang der vom ZDP vernetzten Produktion wird zudem die Integration eines Manufacturing Execution System (MES) angestrebt. Die Implementierung einer derartigen Lösung in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Forcam GmbH wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht.

Darüber hinaus beschäftigt sich diese Arbeit mit der Erstellung eines Konzepts zur Nutzung von SAP in der Lehre an der DHBW Ravensburg.

Abstract

This research report covers the configuration and development of an Enterprise Resource Planning (ERP) system at Zukunftsfabrik Bodensee, a facility of the Center for Digitalization in Production and Product Development (ZDP) of the Baden-Württemberg Ravensburg Cooperative State University.
The introduction of an ERP system for the production facility is necessary in order to be able to manage materials management in the factory. The so-called Production Planning Module (PP-module) in the S4/HANA system from SAP was used for this purpose. As part of this work, the ERP system was created at the master data level in order to be able to map the production processes in the future factory as well as possible. Furthermore, a user interface for operating the system was created directly on the system so that it can be used by everyone involved in the future for research and teaching purposes.
Regarding the concept of connected production by the ZDP, the integration of a Manufacturing Execution System (MES) is also sought. The implementation of such a solution in collaboration with the company Forcam GmbH is being investigated as part of this work.
In addition, this work deals with the creation of a concept for using SAP in teaching at the DHBW Ravensburg.

Vorwort

Zu Beginn dieser Projektarbeit möchten wir uns vor allem bei unserem Betreuer Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller für die methodische, sowie Herrn Dennis Grabiec für die fachliche Unterstützung bei dieser Studienarbeit bedanken.

Ochsenhausen, den 12.07.2024



Arne Dörr Niklas Weltner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **7**
Abbildungsverzeichnis I
Abkürzungsverzeichnis II
1 Einleitung **1**
2 Gegenstand und Ziel der Arbeit **2**
2.1 Ausgangssituation und Ziel der Arbeit 2
2.2 Vorgehensweise in der Arbeit 3
3 SAP4/HANA **5**
3.1 Definition SAP S/4 HANA 5
3.2 Vorteile von SAP S/4 HANA 7
3.3 Anforderungen im Anwendungsfall LFDHBW/LFF 9
3.4 SAP in der Lehre 11
4 Aufbau des Systems **14**
4.1 Prozessstation LFDHBW 14
4.2 Prozessstation LFF 16
4.3 Stückliste 17
4.4 Werk – Konzept des virtuellen gemeinsamen Werks 18
4.5 Arbeitsplatz 19
4.6 Arbeitsplan 20
4.7 Fertigungsversionen 22
4.8 Fertigungsprozess SAP-seitig 23
4.9 Benutzeroberfläche 30
5 Integration eines Manufacturing Execution System **32**
5.1 Anbindung von Feldgeräten 34
5.2 North- und Southbound Anbindung 36
5.3 Datenaustausch zwischen Edge-Connect und übergeordneten Systemen 44
5.4 Anbindung von MES und ERP 45
6 Fazit und Ausblick **47**
7 Literaturverzeichnis **2**
Kenntlichmachung der Nutzung von KI-basierten Werkzeugen **3**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Eine Stückliste wird über die Materialnummer, das Werk und die Verwendung, d.h. Art der Stückliste definiert 18
Abbildung 2 Aufruf eines Arbeitsplatzes via Nummern für Werk und Arbeitsplatz 19
Abbildung 3 Auswahl an Arbeitsplatzarten 20
Abbildung 4 Ansicht der Grunddaten des Handarbeitsplatzes MON-001 20
Abbildung 5 Beispiel für einen Arbeitsplan inkl. Vorgängen anhand der Produktvariante 1 21
Abbildung 6 Anlegen eines Fertigungsauftrages im Werkerbereich 1 über Materialnummer und Werkskennung 24
Abbildung 7 Kachel zur Erfassung der Rückmeldung zu einem laufenden oder abgeschlossenen Auftrag 25
Abbildung 8 Kachel zur Verwaltung von Beständen durch Aufrufen der Materialnummer und des Werks 25
Abbildung 9 Ansicht der drei Bestandsarten im Bereich „Bestand verwalten“ am Beispiel des Materials RB2400001 26
Abbildung 10 Durch Eintragen der Anzahl der tatsächlich produzierten Gutteile wird ein Bestand verbucht 26
Abbildung 11 Kachel zur Visualisierung der zuvor verbuchten Bestände sowie Barcode zur Erfassung der Produktvariante 27
Abbildung 12 Balkendiagramm zur Visualisierung der Bestandsmengen von Produktvariante 1 in verschiedenen Lagern 28
Abbildung 13 Liniendiagramm zur Visualisierung der Bestandsmengen von Produktvariante 1 in verschiedenen Lagern 28
Abbildung 14 Beispielhafte Übersicht aller Bestände der Produktvariante 1 im Lager Finished Goods (FG00) 30
Abbildung 15 Gegenüberstellung der klassischen Automatisierungspyramide und einem neuen Konzept für die MES Ingeration 33
Abbildung 16 Visualisierung des Datenaustauschs zwischen OPC UA Server und Client (Siemens Industry, 2017) 34
Abbildung 17 Schematische Darstellung der Rolle eines OPCUA-Servers in der Maschinenanbindung . 35
Abbildung 18 Beziehung der Bestandteile von Forcam Edge-Connect zur Anbindung von Feldgeräten .. 36
Abbildung 19 Übersicht am Ende der Anbindung einer Produktionsmaschine 40

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
bzgl.	bezüglich
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
ERP(-System)	Enterprise Resource Planning (System)
MES	Manufacturing Execution System
MQTT	(Message Queuing Telemetry Transport
REST	Representational Stat Transfer

1 Einleitung

In der heutigen wettbewerbsintensiven und dynamischen Wirtschaftsumgebung ist die effiziente Planung und Steuerung von Produktionsnetzwerken von entscheidender Bedeutung. Ein modernes ERP-System (Enterprise Resource Planning) wie SAP S/4HANA bietet die Möglichkeit, Produktionsprozesse und Informationsflüsse zu integrieren und zu harmonisieren, was für die Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) und das IWT von besonderer Relevanz ist.

Die vorliegende Studienarbeit hat zum Ziel, die Implementierung von SAP S/4HANA im Produktionsnetzwerk der DHBW und des IWT zu untersuchen. Der erste Schritt ist die umfassende Erfassung und Dokumentation der bestehenden Prozesse in beiden Institutionen. Diese Analyse bildet die Grundlage für die weiteren Schritte.

In einem Workshop mit relevanten Stakeholdern werden die Anforderungen und Varianten für die Systemimplementierung festgelegt. Dies stellt sicher, dass alle Bedürfnisse und Erwartungen berücksichtigt werden. In der Folge wird der Aufbau der Stammdaten in SAP S/4HANA vorgenommen, wobei Materialien, Stücklisten, Arbeitsplätze, Werksdaten, Arbeitspläne und verschiedene Fertigungsversionen angelegt werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Anbindung des Manufacturing Execution Systems (MES) an SAP S/4HANA, um eine durchgängige Kommunikation zwischen der Produktionssteuerung und den ausführenden Produktionseinheiten zu gewährleisten.

Nach der Einrichtung der Stammdaten sowie der Integration des MES erfolgt die Implementierung und der Testlauf des Systems in der Zukunftsfabrik. Im Rahmen dessen erfolgt eine Evaluierung des ERP-Systems unter realen Bedingungen, um potenzielle Probleme zu identifizieren und zu beheben, bevor das System vollständig in den Produktionsbetrieb überführt wird.

Die strukturierte Vorgehensweise zielt darauf ab, die Einführung von SAP S/4HANA im Produktionsnetzwerk der DHBW und des IWT erfolgreich und ohne Komplikationen zu gestalten. Die Bachelorarbeit entwickelt somit einen detaillierten Plan und eine Roadmap für die Implementierung, wobei auf Best Practices und wissenschaftliche Erkenntnisse zurückgegriffen wird, um den Erfolg der Systemeinführung sicherzustellen.

2 Gegenstand und Ziel der Arbeit

2.1 Ausgangssituation und Ziel der Arbeit

Für eine reibungslose Planung und Steuerung des Produktionsnetzwerkes ist der Einsatz eines leistungsfähigen ERP-Systems (Enterprise Resource Planning) unerlässlich. Ein solches System ermöglicht nicht nur ein effizientes Ressourcenmanagement, sondern auch eine nahtlose Kommunikation innerhalb des Produktionsnetzwerks. In der heutigen schnelllebigen und wettbewerbsintensiven Wirtschaft müssen Produktionsnetzwerke flexibel und agil auf Veränderungen reagieren können. Dies erfordert eine Integration von Produktionsprozessen und Informationsflüssen, die durch ein ERP-System unterstützt wird.

Heutige Produktionsnetzwerke stehen vor der Herausforderung, unterschiedliche Systeme und Datenquellen zu harmonisieren und zu integrieren. Dies führt zu Ineffizienzen, Verzögerungen und Fehlern in der Produktionsplanung und -steuerung. Ein modernes ERP-System wie SAP S/4HANA kann diesen Herausforderungen begegnen, indem es eine zentrale Plattform für die Verwaltung aller relevanten Unternehmensdaten bietet und gleichzeitig die Kommunikation und Zusammenarbeit innerhalb des Netzwerks fördert.

Die vorliegende Studienarbeit verfolgt das Ziel, die Einführung eines ERP-Systems im Produktionsnetzwerk zu thematisieren. Dadurch soll eine Optimierung der Effizienz und Effektivität der Produktionsprozesse erreicht werden. Im Rahmen dieser Studienarbeit wird ein Fokus auf die Implementierung von SAP S/4HANA gelegt, welches zu den führenden ERP-Systemen auf dem Markt zählt. Die spezifischen Ziele dieser Arbeit umfassen die Definition der für das Produktionsnetzwerk erforderlichen SAP S/4HANA-Module. In diesem Kontext ist die Identifikation und Auswahl relevanter Module von essentieller Bedeutung. Dazu zählen insbesondere die Produktionsplanung, die Materialwirtschaft, das Qualitätsmanagement sowie das Finanzwesen. Die Analyse der bestehenden Geschäftsprozesse und deren Anforderungen gewährleistet, dass die ausgewählten Module alle erforderlichen Funktionalitäten abdecken.

Ein weiteres Ziel ist die Beschaffung des Systems. Dies beinhaltet die Evaluierung verschiedener Anbieter und Dienstleister für die Implementierung von SAP S/4HANA, die Durchführung eines Beschaffungsprozesses, der die Auswahl des besten

Angebots hinsichtlich Preis, Leistung und Support sicherstellt, sowie die Sicherstellung der notwendigen Infrastruktur und Ressourcen für die Implementierung des Systems.
Ein weiterer zentraler Aspekt ist die nachhaltige Aufbereitung der Daten. Im Rahmen des Projekts wird eine Strategie zur Datenmigration von bestehenden Systemen zu SAP S/4HANA entwickelt, um eine hohe Datenqualität und Konsistenz zu gewährleisten und eine reibungslose Systemintegration zu ermöglichen. Des Weiteren werden Mechanismen implementiert, die eine einfache Handhabung und Aktualisierung der Daten gewährleisten, um zukünftige Veränderungen und Erweiterungen zu erleichtern.
Schließlich umfasst die Einführung des Systems im Produktionsnetzwerk die Planung und Durchführung eines Implementierungsprojekts, welches alle Phasen von der Planung über die Konfiguration bis hin zur Schulung und Inbetriebnahme umfasst. Im Rahmen der Systemeinführung werden alle relevanten Stakeholder einbezogen und umfassende Kommunikation sowie Schulungen gewährleistet, um eine hohe Akzeptanz und Nutzung des neuen Systems zu erreichen. Die Systemeinführung wird durch ein kontinuierliches Monitoring und eine Evaluation begleitet, um laufende Verbesserungen und Anpassungen sicherzustellen.

2.2 Vorgehensweise in der Arbeit

Die Vorgehensweise in dieser Studienarbeit wird in mehreren systematischen Schritten durchgeführt, um die Einführung des ERP-Systems SAP S/4HANA im Produktionsnetzwerk erfolgreich zu gestalten. Der Ablauf gliedert sich in mehrere Phasen. Zu Beginn der Arbeit werden die bestehenden Prozesse sowohl in der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) als auch im IWT umfassend erfasst und dokumentiert. Dies beinhaltet die Analyse der aktuellen Arbeitsabläufe, Informationsflüsse und der bestehenden Systemlandschaft, um eine fundierte Basis für die weiteren Schritte zu schaffen.
Anschließend werden in einem Workshop mit den relevanten Stakeholdern verschiedene Varianten und Anforderungen für die Implementierung des ERP-Systems festgelegt. Dieser Workshop dient dazu, die Bedürfnisse und Erwartungen der Beteiligten zu verstehen und sicherzustellen, dass alle relevanten Perspektiven berücksichtigt werden. Die Ergebnisse des Workshops bilden die Grundlage für die weitere Planung und Konfiguration des Systems.

Im nächsten Schritt erfolgt der Aufbau der Stammdaten in SAP S/4HANA. Dies umfasst das Anlegen der Materialien, der Stückliste, der Arbeitsplätze, des Werks an sich, des Arbeitsplans sowie der verschiedenen Fertigungsversionen. Besonderes Augenmerk gilt der Qualität und Konsistenz der Stammdaten, da diese für die Funktionalität und Effizienz des Systems von entscheidender Bedeutung sind.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Implementierung ist die Anbindung des Manufacturing Execution Systems (MES). Die Integration des MES mit SAP S/4HANA gewährleistet eine reibungslose Kommunikation zwischen der Produktionssteuerung und den ausführenden Produktionseinheiten. Dies resultiert in einer gesteigerten Transparenz und Kontrolle über die Produktionsprozesse sowie einer Optimierung der Fertigungsabläufe.

Nach der Einrichtung der Stammdaten sowie der MES-Anbindung erfolgt die Implementierung und der Testlauf des Systems in der Zukunftsfabrik. In dieser Phase erfolgt die Evaluierung des ERP-Systems unter realen Bedingungen, um die Funktionalität aller Komponenten zu verifizieren und die Erfüllung der definierten Anforderungen zu gewährleisten. Der Testlauf dient der Identifikation und Behebung potenzieller Probleme, bevor das System vollständig in den Produktionsbetrieb überführt wird.

Die Vorgehensweise in dieser Studienarbeit ist durch eine systematische Erfassung der bestehenden Prozesse, die Festlegung von Anforderungen in einem Workshop, den Aufbau der Stammdaten, die Integration des MES und die Durchführung eines umfassenden Testlaufs strukturiert. Der hier beschriebene methodische Ansatz zielt darauf ab, die Einführung von SAP S/4HANA im Produktionsnetzwerk reibungslos und erfolgreich zu gestalten.

3 SAP4/HANA

3.1 Definition SAP S/4 HANA

Das Unternehmen SAP ist einer der führenden Softwareentwickler zur Abwicklung von Geschäftsprozessen von Buchführung, Controlling, Vertrieb, Einkauf, Produktion, Lagerhaltung, Transport und Personalwesen. SAP ermöglicht Unternehmen Prozesse zu optimieren, Echtzeitdaten zu nutzen, Trends von Kunden zu prognostizieren als auch Geschäftsfelder zu verknüpfen.

SAP S/4 HANA stellt die vierte Produktgeneration des Kernprodukts SAP ERP Central Component dar. HANA steht hierbei für High Performance Analytic Appliance und beschreibt eine In-Memory-Datenbank, die große Leistungssteigerungen und letztlich völlig neue Möglichkeiten für die Echtzeitdatenverarbeitung sowie Analyse bietet. Der Hauptunterschied von SAP HANA zu herkömmlichen ERP-Systemen, liegt in der Datenbank. SAP setzt hierbei auf eine Spaltenorientierte Datenhaltung, um so ein deutlich reduzierteres Datenvolumen zu generieren und folglich die Performance enorm zu steigern. (Grasedyck, Lippke, Oelfin et. al, 2022)

Im System wird zwischen verschiedenen Organisationseinheiten differenziert. Dabei wird zunächst für das Unternehmen ein Mandant angelegt, entsprechend einer Unternehmensnummer. Ein Unternehmen gliedert sich entweder in die Firma an sich oder in einer Tochtergesellschaft, hierbei wird vom sog. Buchungskreis gesprochen. Elementar um auf die richtige Firma zuzugreifen ist das Werk. Gerade größere Konzerne besitzen oftmals mehrere Werke an denen unterschiedliche Produkte produziert werden. Bei der Tochtergesellschaft wird in der SAP Terminologie weiter differenziert in die Verkaufsorganisation, genauer in die Abteilung, Sparte und den Geschäftsbereich.

In der Verwendung werden zwischen Stamm- und Transaktionsdaten, sog. Bewegungsdaten, unterschieden. Stammdaten sind langfristige Daten von Kunden, Materialien oder Konditionen. Diese werden einmal angelegt und nur bei Bedarf geändert. Oftmals repräsentieren Stammdaten, Datensätze. Dahingegen sind Transaktionsdaten vorgangsbezogen und werden kurzzeitig Stammdaten zugeordnet. Stammdaten können Bewegungsdaten zugeordnet werden und beinhalten folglich die Organisationseben als auch Situationsbedingte Daten. Ein Beispiel für ein Zusammenspiel aus Stamm- und Transaktionsdaten ist ein Kundenauftrag. Dabei

beinhalten die Stammdaten sowohl Informationen zum Kunden als auch zum Material. Situationsbedingte Daten sind hierbei Datum, Zeit, Menge und die Personen, welche als Transaktionsdaten zu verstehen sind.

Generell gibt es zwei Lizenzarten für das SAP S/4 HANA. Zum einen können die Daten in einer privaten Cloud bereitgestellt werden und die Wartung von SAP durchgeführt werden. Diese Art der Lizenz wird als Subscription Licensing bezeichnet. Das System wird von SAP zur Verfügung gestellt und automatisch mit Upgrades jedes Quartal versorgt. Die Besonderheit dieser Lizenzierungsart liegt in der In-App Erweiterbarkeit, so können ohne große Aufwände weitere Funktionalitäten freigeschalten werden.

Als zweite Lizenzierungsart gibt es das Traditional Licensing, bei welchem der Kunde die Kontrolle über die Bereitstellung und Wartung des Systems besitzt. Folglich befindet sich auch die Hardware am Firmenstandort des Kunden. Nachteilig zum Subscription Licensing sind geringere Release Zyklen, welche dort automatisch durchgeführt werden. Vorteilig hingegen ist eine höhere Flexibilität individuelle Anforderungen umzusetzen. (SAP UCC Magdeburg, 2023)

SAP ist in mehrere Arbeitsbereiche eingeteilt. Dabei wird zwischen dem Arbeitsplan, die Fertigungsversion sowie die Fertigungsstückliste. Um einen Arbeitsplan erstellen zu können ist es notwendig alle Materialien angelegt zu haben, um basierend auf diesen Daten die Stückliste aufbauen zu können. Die Stückliste wird im Anschluss daran die Fertigungsversion darauf aufzulösen. In der Fertigungsversion sind relevante Daten wie Stückliste, Arbeitsplan und Fertigungsversion. Zum besseren Verständnis wurden das PTZ und IWT als ein Werksstandort mit der Bezeichnung Lernfabrik Friedrichshafen angelegt. Differenziert werden die beiden Hallen mit Fertigungslinien. Sämtliche Produkte, die im PTZ gefertigt werden, werden als Halbfertigerzeugnis bezeichnet. Die finale Zusammensetzung zum Produkt erfolgt im IWT. Dabei werden die restlichen relevanten Bauteile montiert mithilfe des Handmontageplatzes, dem Transportroboter Omron, der Schraubstation, der Prüfungsstation sowie eine automatisches Regallager. Dabei werden i.O Teile und n.i.O Teile eingelagert und gesondert gekennzeichnet. Soft Skills können dabei als Erfolgs Faktoren helfen.

3.2 Vorteile von SAP S/4 HANA

SAP S/4 HANA, die vierte Generation der SAP Business Suite, bietet Unternehmen wie der Zukunftsfabrik Bodensee, zahlreiche Vorteile. Diese Vorteile lassen sich in mehrere Kategorien wie der technologischen Innovation, betriebliche Effizienz, Benutzererfahrung und Zukunftssicherheit der Investitionen einteilen.

Eine technologische Innovation von SAP S/4 HANA ist die zugrunde liegende In-Memory-Datenbanktechnologie. Diese Datenbank ermöglicht eine deutlich schnellere Datenverarbeitung im Vergleich zu herkömmlichen, festplattenbasierten Datenbanken. Diese Geschwindigkeitsvorteile resultieren aus der Fähigkeit, große Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten und zu analysieren. Dadurch können Unternehmen komplexe Analysen und Berichte in Sekundenschnelle erstellen, was zu schnelleren und fundierteren Entscheidungen führt. Darüber hinaus bietet SAP S/4 HANA eine vereinfachte Datenstruktur, die redundate Daten eliminiert und eine effizientere Datenverwaltung ermöglicht. Dabei wird zum einen der Speicherbedarf reduziert, als auch die Komplexität und die Kosten der Datenpflege minimiert.

Dieses System integriert verschiedene Geschäftsprozesse au einer einzigen Plattform mit einer Benutzeroberfläche. Dazu gehören Finanzwesen, Logistik, Vertrieb, Einkauf, Produktion und vieles mehr. Durch diese Integration werden Silos von Betrieben aufgebrochen. Daten können demnach direkt zwischen den einzelnen Abteilungen fließen. Folglich resultiert eine erhebliche Steigerung der betrieblichen Effizienz, da die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf konsistente und aktuelle Informationen zugreifen können. Eine weitere Funktion, die zur betrieblichen Effizienz beiträgt, ist die Unterstützung von intelligenter Automatisierung und maschinellem Lernen. SAP S/4 HANA kann Routineaufgaben automatisieren und Muster in Daten erkennen, um proaktive Handlungsempfehlungen zu geben. Damit wird die Arbeitsbelastung der Mitarbeiter reduziert und das Risiko menschlicher Fehler gemindert.

Die Benutzererfahrung wurde im neuen System erheblich verbessert. Mit der Einführung der Fiori-Oberfläche wird dem Benutzer eine intuitive und benutzerfreundliche Erfahrung, die auf modernen Designprinzipien basiert geboten. Fiori ermöglicht eine persönliche, rollenbasierte Benutzeroberfläche, die auf verschiedenen Geräten wie Desktop, Tabler und Smartphones zugänglich ist. Damit wird der Zugriff auf SAP-Funktionen erheblich erleichtert und die Produktivität der

Anwender verbessert. Zudem können Benutzer Ihre eigenen Dashboards und Berichte erstellen, ohne Zuhilfenahme der IT-Abteilung. Dies fördert die Autonomie der Mitarbeiter und fördert eine schnellere Anpassung an sich ändernde Geschäftsanforderungen.

SAP S/4HANA ist eine zukunftssichere Investition. Angesichts der sich schnell verändernden Geschäfts- und Technologielandschaft bietet dieses System kontinuierliche Innovationen und regelmäßige Updates, die sicherstellen, dass Unternehmen immer auf dem neuesten Stand der Technik sind. Die Plattform ist auf Skalierbarkeit ausgelegt, so dass Unternehmen mit SAP S/4HANA wachsen können, ohne ihre ERP-Infrastruktur zu veralten. Zudem können mit diesem System die Anforderungen der digitalen Transformation zugeschnitten werden. Unternehmen, die digitale Geschäftsmodelle auf- oder ausbauen wollen, profitieren von der Flexibilität und den umfangreichen Möglichkeiten dieser Plattform. Dazu gehören die Integration mit Cloud-Services und die Unterstützung von Internet-of-Things-Anwendungen, kurz IoT. (Figueiredo, 2022)

3.3 Anforderungen im Anwendungsfall LFDHBW/LFF

Die Anforderungen für die Erstellung eines ERP-System für die Zukunftsfabrik Bodensee ergeben sich aus der Notwendigkeit einer digitalen Materialverwaltung. In der Zukunftsfabrik Bodensee werden Gehäuse für Mikrocontroller hergestellt. Diese sogenannten Raspberry-Boxen stellen die Produkte dar, deren Herstellung durch das ERP-System auf Basis von SAP S4/HANA digital verwaltet werden soll. Durch die Kombination verschiedener Einzelkomponenten werden insgesamt 5 Produktvarianten hergestellt. Die Komponenten der Varianten sind untenstehend tabellarisch aufgeführt:

Variante	Mat.-Nr.	Position	Materialnummer	Bezeichnung	Anzahl
Variante 1	RB2400001				
		10	GKG100001_11	Grundkörper Gehäuse_1_1	1
		20	GKS100002_11	Grundkörper Seitenteil_1_1	1
		30	RFID100003_1	RFID Deckel 1	1
		40	RFID100004	RFID Chip	1
Variante 2	RB2400002				
		10	GKG100001_11	Grundkörper Gehäuse_1_1	1
		20	GKS100002_11	Grundkörper Seitenteil_1_1	1
		30	RFID100003_1	RFID Deckel 1	1
		40	RFID100004	RFID Chip	1
		50	B100007	Bolzen (links)	1
Variante 3	RB2400003				
		10	GKG100001_11	Grundkörper Gehäuse_1_1	1
		20	GKS100002_11	Grundkörper Seitenteil_1_1	1
		30	RFID100003_1	RFID Deckel 1	1
		40	RFID100004	RFID Chip	1
		50	B100007	Bolzen (rechts)	2
Variante 4	RB2400004				
		10	GKG100001_11	Grundkörper Gehäuse_1_1	1
		20	GKS100002_11	Grundkörper Seitenteil_1_1	1
		30	RFID100003_1	RFID Deckel 1	1
		40	RFID100004	RFID Chip	1
		50	B100007	Bolzen	2
Variante 5	RB2400005				
		10	100001_11	Grundkörper Gehäuse_1_1	1
		20	100002_11	Grundkörper Seitenteil_1_1	1
		30	GF100005	Griff	1
		40	AP100006	Adapterplatte	1
		50	S200001	Schreibe ISO 7090-4	1
		60	S200002	Senkschraube ISO 10642 - M4x25	1
		70	S200003	Hutmutter DIN 1587 - M4	1

Tabelle 1 Übersicht aller Produktvarianten und der zugehörigen Einzelkomponenten

Bisher werden ausschließlich fünf Varianten, wie aus Tabelle eins ersichtlich wird, gefertigt. In Naher Zukunft soll mit der Webshop Anbindung diese Anzahl an Varianten gesteigert werden auf mind. 24 verschiedene Varianten, womit die Komplexität und die

Notwendigkeit des Systems SAP noch bedeutsamer wird. Ziel ist es eine Retrograde Abbuchung in SAP vorliegend zu haben, sodass selbstständig neue Materialien bestellt werden.

In der LFFDHBW liegen die Anforderungen zunächst im System selber. Beginnend am Fertigungsfluss liegt ein Komplexitätsgrad an der DMC-Lesestelle, welche ihre Rückmeldung an die SPS gibt. Derzeit liegt kein MES System als Zwischenstufe vor, womit diese direkte Anbindung nicht möglich ist. Weiter im Fluss folgen Roboter und ein Handmontageplatz. Diese müssen im SAP differenziert und klar ersichtlich werden, um eine eindeutige Zuordnung möglich zu machen und ein richtiges Zeitmanagement zu hinterlegen. Durch die Linienanordnung und den Transport mittels des Roboters Husky, hat die LFFDHBW als auch die LFF lange Transportzeiten, welche im Arbeitsplan berücksichtigt werden müssen. Wie auch in der DMC-Lesestelle muss in der Prüfstation die 3D-Kamera ans System angebunden werden um eine Rückmeldung über i.O und n.i.O Teile zu bekommen. Dabei wird gleichzeitig auf Reuserbility geprüft. Eine wichtige Anforderung in diesem Zusammenhang ist die Ausschussdokumentation um eine vollständige End to End Dokumentation nachverfolgen zu können. Allgemein muss definiert werden, ob die Arbeitsstation LFFDHBW und die LFF als eigenständige Werke betrachtet werden oder gesamtheitlich in einem Werk am Fallenbrunnen zusammengefasst werden. Dadurch muss auch die Zugehörigkeit des Transportroboters Husky geklärt werden, ob dieser der Arbeitsstation LFFDHBW oder LFF zugeordnet wird.

In Zukunft sollen sämtliche Rückmeldungen der Arbeitsstationen ins SAP automatisch erfolgen als zukünftige Anforderung, jedoch wird die Fertigrückmeldung nach der Implementierung noch händisch erfolgen bis das entsprechende MES – System beschafft worden ist. Ebenfalls wichtig, ist das Beibehalten der Autarkie von Transportsystem der Arbeitsstation und dem Husky durch den Kreislaufprozess. Das SAP - System darf diese Steuerung des Kreislaufprozesses nicht negativ beeinflussen. Diese Anforderungen sind ebenfalls für die LFF gültig. Bei dieser Arbeitsstation muss zusätzlich beachtet werden, dass neben dem Husky ein zusätzlicher Transportroboter sich im Einsatz befinden, der sog. Omron. Es ist somit notwendig, dass diese im ERP-System eindeutig voneinander getrennt werden können.

Neben einer automatischen End of Line Prüfung werden in der LFF auch manuelle Sichtprüfungen am Arbeitsplatz durchgeführt. Folglich muss eine Möglichkeit bestehen vom Arbeitsplatz aus, fehlerhafte Bauteile im SAP eintragen zu können, um die Ausschuss- und Bestandsdokumentation exakt durchzuführen. Eine Schwierigkeit dieser Arbeitsstation ist das bereits vorhandene MES-System Forcam. Im Gegensatz zur DHBW, ist an dieser Arbeitsstation bereits ein Lager vorhanden. Somit ist eine Bestandsüberwachung zwingend erforderlich um zum einen eine Überproduktion zu vermeiden und zum anderen die Lagerkapazität zu nutzen.
Es muss berücksichtigt werden, dass der Handmontageplatz nicht in die Fertigungslinie eingebunden ist. Er dient als Insellösung mit Anbindung durch den Omron an die Fertigungslinie.

3.4 SAP in der Lehre

Die Integration von SAP S/4 HANA in die Lehre an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg am Campus Friedrichshafen ermöglicht Studierenden, praxisnahe Erfahrungen mit einem führenden ERP-System zu sammeln. Eine Vorlesung, die sich auf das Produktionsplanungsmodul (PP) von SAP S/4 HANA konzentriert, sollte verschiedene Lehrmethoden und interaktive Elemente beinhalten, um das Lernen effektiv und ansprechend zu gestalten. Die Entscheidung, für welche Studiengänge ein solches Lehrmodul sinnvoll ist, obliegt der jeweiligen Studiengangsleitung.

Vorlesungsaufbau und Methodik

1. **Einführung in SAP S/4 HANA und das PP Modul:**
   - Die Vorlesung beginnt mit einer theoretischen Einführung in die Grundlagen von SAP S/4 HANA und die Rolle des PP Moduls innerhalb des ERP-Systems. Hier werden Konzepte wie Materialwirtschaft, Produktionsplanung und -steuerung, sowie die Bedeutung integrierter Systeme vermittelt.

2. **Benutzeroberfläche/ GUI**
   - Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Benutzeroberfläche von SAP S/4 HANA. Dies umfasst die Navigation durch das System, das Verständnis der verschiedenen Transaktionscodes und das Anlegen eigener Benutzerprofile.

3. **Praktische Übungen:**

- Im PC-Raum arbeiten die Studierenden an praktischen Übungen. Sie lernen, wie man Stammdaten wie Materialstammsätze, Stücklisten (BOM) und Arbeitspläne anlegt und pflegt. Jede Übung wird durch Schritt-für-Schritt-Anleitungen begleitet.

4. **Simulation von Geschäftsprozessen:**

- Die Studierenden simulieren verschiedene Geschäftsprozesse, wie die Erstellung und Verwaltung von Fertigungsaufträgen, die Durchführung von Materialbedarfsplanungen (MRP-Lauf) und die Produktionsausführung. Diese Simulationen helfen, theoretisches Wissen in praktische Fähigkeiten umzuwandeln.

5. **Interaktive Case Studies:**

- Fallstudien aus der Praxis werden genutzt, um komplexe Szenarien zu erarbeiten. Beispielsweise könnte eine Fallstudie den Produktionsprozess eines Automobilzulieferers darstellen, bei dem die Studierenden die Planung und Steuerung der Fertigung übernehmen müssen.

6. **Gruppenarbeiten und Präsentationen:**

- Die Studierenden arbeiten in Gruppen an Projekten, in denen sie ein fiktives Unternehmen betreiben und die Produktionsplanung und -steuerung mittels SAP S/4 HANA durchführen. Am Ende präsentieren sie ihre Ergebnisse und diskutieren die Herausforderungen und Lösungsansätze.

7. **Integration mit anderen Modulen:**

- Ein wichtiger Aspekt der Vorlesung ist die Integration des PP Moduls mit anderen SAP Modulen wie dem Material Management (MM) und dem Sales and Distribution (SD) Modul. Die Studierenden lernen, wie die Module miteinander interagieren und Daten austauschen. Für diesen Teil ist der Erwerb weiterer Lizenzen nötig; dies hat die jeweilige Studiengangsleitung zu entscheiden.

8. **Gastvorträge und Exkursionen:**

- Experten aus der Industrie und SAP-Berater (vgl. Betreuung dieser Arbeit) werden eingeladen, um über aktuelle Trends und Best Practices in der Produktionsplanung zu sprechen. Exkursionen zu Unternehmen, die SAP S/4 HANA verwenden, bieten einen Blick hinter die Kulissen der industriellen Anwendung.

Konkrete Beispiele und Übungen

1. **Stammdatenpflege:**

- Anlegen und Pflegen von Materialstammsätzen, Erstellen von Stücklisten und Arbeitsplänen.
- Übung: Die Studierenden legen einen neuen Materialstammsatz für ein fiktives Produkt an und erstellen die dazugehörige Stückliste und Arbeitsplan.

2. **Materialbedarfsplanung (MRP-Lauf):**

- Durchführung eines MRP-Laufs und Analyse der Ergebnisse.
- Übung: Die Studierenden führen einen MRP-Lauf durch, analysieren die Bestellvorschläge und erstellen Bestellungen auf Grundlage einer Bedarfsplanung.

3. **Fertigungsaufträge**:

- Erstellen, freigeben und bearbeiten von Fertigungsaufträgen.
- Übung: Ein Fertigungsauftrag für ein Produkt wird angelegt, freigegeben und bis zur Fertigstellung durch den gesamten Produktionsprozess verfolgt.

4. **Kapazitätsplanung:**

- Planung und Optimierung der Maschinen- und Personalressourcen.
- Übung: Die Studierenden planen die Kapazitäten für eine Produktionswoche, optimieren die Auslastung der Maschinen und analysieren Engpässe.

5. **Qualitätsmanagement:**

- Integration von Qualitätsprüfungen in den Produktionsprozess.

- Übung: Ein Qualitätsprüfplan wird erstellt und in den Produktionsprozess integriert, wobei die Studierenden die Ergebnisse der Qualitätsprüfungen auswerten.

Ausblick

Durch die Kombination aus theoretischen Grundlagen und praktischen Übungen – was auch das Studienkonzept der DHBW widerspiegelt – können Studierende tiefgehende Kenntnisse und Fähigkeiten im Umgang mit dem SAP S/4 HANA PP Modul entwickeln. Dies bereitet sie optimal auf den Einsatz von ERP-Systemen in der industriellen Praxis vor und stärkt ihre Wettbewerbsfähigkeit auf dem Arbeitsmarkt. Die Einbindung von SAP S/4 HANA in die Lehre fördert zudem das Verständnis für integrierte Geschäftsprozesse und die Bedeutung der Digitalisierung in der modernen Produktion.

4 Aufbau des Systems

4.1 Prozessstation LFDHBW

Die Prozessstation in der DHBW ist in meherere Arbeitsstationen unterteilt. Gesamtheitlicht stellt diese Prozessstation eine Fließfertigung in Form einer Linie dar. Die Besonderheit dieser Station besteht darin, dass hier sowohl montiert als auch demontiert wird. Folgende Abbildung eins veranschaulicht die Prozessstation.

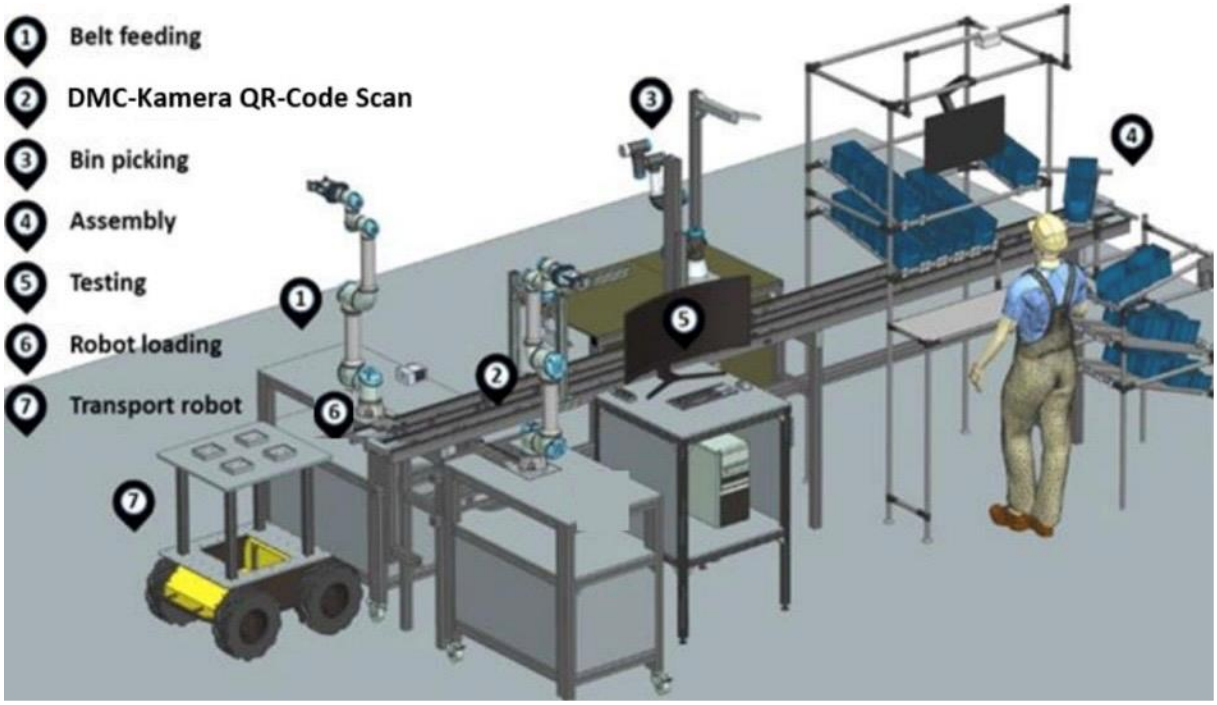


Abbildung 1 Übersicht Arbeitsstation LFFDHBW

Zu Anfang des Prozesses wird in der Station Belt Feeding, durch einen Cobot-Roboter die Halbzeuge vom Transportroboter Husky entnommen und auf einem bereits auf dem Förderband angebrachten Werkstückträger positioniert. Damit die Anlage die Info bekommt, welches Produkt gefertigt wird folgt eine DMC-Kamera mit einem QR-Code Scaner welcher an der Seite des Werkstückes bereits aufgebracht wird, bevor das Halbzeug in die Anlage gebracht wird. Anschließend wird in der Station Bin-Picking von einem Kobot zwei Bolzen im ungeordneten Zustand aus dem Kleinladungsträger entnommen und im Werkstück angebracht. Dem Roboter ist es über eine spezielle Kamera möglich die ungeordneten Bolzen zu erkennen und gezielt danach greifen zu können. In einem Handmontageplatz werden nun die restlichen Bauteile an der Rasperry Box montiert und das fertige Werkstück wieder zurück auf den Werkstückträger auf der Förderstrecke gelegt.

In Anschluss an die Handmontage wird nun eine End of Line Prüfung vollzogen. Für diese Prüfung wurde eine 3D – Kamara installiert, welche dem nachfolgenden Kobot die Information zwischen i.O teilen und n.i.O teilen. Im Falle eines n.i.O teils wird das Werkstück als Ausschuss in eine Kiste fallen gelassen. Ist das Bauteil in Ordnung wird es wieder zurück an den Husky gegeben und in die Lernfabrik (LFF) transportiert.

Eine Besonderheit dieser Arbeitsstation ist, dass die Bauteile im Kreislauf verweilen können. D.h. es ist nicht notwendig, dass der letzte Kobot die Teile entnimmt und auf den Transportwagen zurücksetzt. Vorteil dabei ist, das Band kann als Puffer verwendet, werden bis der Husky wieder an der Arbeitsstation angedockt ist. Das System ist somit autrak vom Transportmittel Husky. Folglich kann eine maximale Produktivität und Effizienz des Prozesses sichergestellt werden.

Im Falle der Demontage wird der soeben beschriebene Prozess umgekehrt und das Band in der Richtung umgedreht, sodass alle Prozessschritte rückwärts durchlaufen werden.

Derzeit besitzt das LFFDHBW noch kein Lager, somit existiert zum heutigen Stand noch keine Bestandsüberwachung. Folglich kann im ERP-System dieser Baustein nicht mit gepflegt werden, was zukünftig jedoch als Projekt für nachfolgende Studienarbeiten zu diesem Thema dienen soll. Derzeit wird die Arbeitsstation rein über eine SPS gesteuert. Dem ergänzend wird diese Ausarbeitung das ERP-System SAP S/4 HANA der SPS-Steuerung übergreifend integriert.

4.2 Prozessstation LFF

Die Prozessstation der Lernfabrik (LFF) im IWT ist in Gesamt fünf Prozessstationen unterteilt. Halbfertige Bauteile der LFDHBW werden über den Transportroboter Husky in die Produktionsstätte LFF transportiert. Diese werden manuell entnommen in der ersten Prozessstation der manuellen Montage. Durch diesen Handarbeitsplatz an dieser Stelle ist gleichzeitig eine 100% Sichtprüfung mit integriert. Fehlerhafte Bauteile können somit direkt aussortiert werden. Montiert wird hierbei das Seitenbauteil und der Deckel.

Nach der Montage werden die Bauteile auf ein neuen Transportroboter, dem sog. Omron, gelegt um weiterverarbeitet zu werden. Auch hier wird mit dem manuellen Auflegen auf den Omron eine Nachsichtprüfung nach der Montage sichergestellt. Dieser Roboter fährt anschließend zum Entnahmeroboter der folgeden Fertigungslinie. Die Bauteile werden, wie in der LFFDHBW auf Werkstückträger gesetzt, womit sie die Fertigungslinie durchlaufen können. Der bisher nur manuell aufgelegte Deckel wird in einer Schraubstation vollautomatisch verschraubt. Um die Qualität des fertigen Bauteils prüfen zu können wurde eine End of Line Prüfung wie in der LFFDHBW installiert. Diese erfolgt elektrisch und durch eine Kameraprüfung. Ist ein Bauteil ein n.i.O Bauteil so wird dieses ebenfalls wie die i.O Bauteile in das nachfolgende Lager eingelagert. Bedient wird das Lager vom Ursprungsroboter, der das Bauteil auf den Werkstückträger positioniert hat. N.i.O Bauteile bekommen im System auf den nun eingelagerten Lagerplatz einen besonderen Vermerk und gelten als Sperrbestand bis diese manuell aus dem Lager ausgefahren und beurteilt werden. Je nach Grad des Fehlers kann eine Nachbearbeitung durchgeführt werden oder als Ausschuss verwertet werden.

Dieses Lager gilt als Versandlager für den anschließenden Versand an den Kunden. Im Gegensatz zur LFFDHBW wird die LFF-Arbeitsstation nicht von einer SPS-Steuerung, sondern bereits von einem MES – System der Firma Forcam gesteuert. Hierbei werden Aufträge angelegt und verbucht. Es stellt bisher die Schnittstelle zwischen sämtlichen Arbeitsstationen dar.

Auch diese Arbeitsstation kann, wie die der DHBW, einen Demontageprozess durchlaufen. Konkret bedeutet dies, dass auslagern der Bauteile mit Positionierung auf

Werkstückträgern und anschließend den Prozess rückwärts durchlaufen bis hin zur manuellen Montage und zum Transport über den Husky zur LFFDHBW.

4.3 Stückliste

Der Begriff *Stückliste* (auch *Bill of Material*, kurz *BOM*) bezeichnet im Kontext von S4/HANA eine strukturierte Liste von Komponenten, die für die Produktion eines Fertig- oder Zwischenerzeugnisses benötigt werden. Eine Stückliste umfasst sämtliche Rohmaterialien, Teile, Zwischenprodukte, Komponenten, Baugruppen und deren Quantität. Damit ist sie für verschiedene Anwendungsbereiche eines ERP-Systems Bedeutung.

Produktionsplanung und -steuerung:
Stücklisten sind entscheidend für die Produktionsplanung, da sie detailliert angeben, welche Materialen in welcher Menge für die Herstellung eines Produkts benötigt werden. Damit ermöglichen Sie eine effiziente Materialbedarfsplanung (auch *Material Resource Planning*, kurz *MRP*).

Kostenkalkulation:
Stücklisten werden verwendet, um anhand der Kosten für die Komponenten eines Produkts die Materialkosten zu berechnen. In Verbindung mit anderen Kosteninformationen (bspw. Fertigungseinzelkosten)

Arten von Stücklisten
Im Allgemeinen wird das Konzept Stückliste in drei Arten nach Verwendungszweck unterteilt. Man unterscheidet Fertigungsstücklisten, technische Stücklisten (auch Konstruktionsstücklisten) und Vertriebsstücklisten. Bei den für die LFF und das PTZ verwendeten Stücklisten handelt es sich um Fertigungsstücklisten. Dies wird mit dem Schlüssel „StlVerw 1“ angegeben.

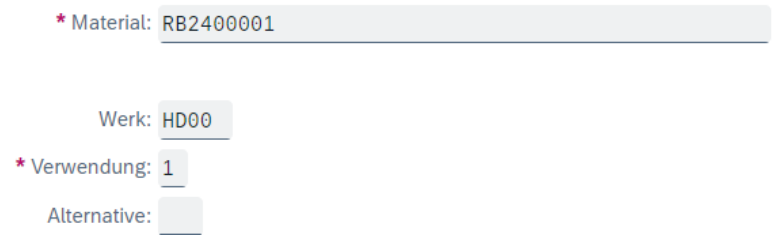


Abbildung 2 Eine Stückliste wird über die Materialnummer, das Werk und die Verwendung, d.h. Art der Stückliste definiert

Wie in Abb zwei zu erkennen, listet eine Stückliste alle Materialien auf, die für die Herstellung eines Zwischen- oder Fertigerzeugnisses benötigt werden.

Material Dokument Allgemein

Pos.	PTp	OTp	Komponente	Komponentenbezeichnung	Menge	ME	BGr	UPs	Gültig ab	Gültig bis	PosID
0010	L	M	GKG100001_11	Grundkörper Gehäuse_1_1	1	ST			04/19/2024	12/31/9999	00000001
0020	L	M	GKS100002_11	Grundkörper Seitenteil_1_1	1	ST			04/19/2024	12/31/9999	00000002
0030	L	M	RFID100003_1	RFID Deckel 1	1	ST			04/19/2024	12/31/9999	00000003
0040	L	M	RFID100004	RFID Chip	1	ST			04/19/2024	12/31/9999	00000004

Abbildung 3 Übersicht Inhalt der Stückliste

4.4 Werk – Konzept des virtuellen gemeinsamen Werks

Eine Besonderheit der Aufgabenstellung ist, dass die Produktionsstätten räumlich voneinander getrennt sind. Während ein Teil der Montage im *Produktionstechnischen Zentrum* (PTZ) stattfindet, werden weitere Montageschritte in der *Lernfabrik Fallenbrunnen* (LFF) vorgenommen. Dieser Umstand bringt einige Implikationen für die Konzeptionierung des ERP-Systems mit sich. Das verwendete ERP-System von SAP erlaubt es, Werke zu definieren, welches einen realen Ort – beispielsweise eine Produktionsstätte, Außenstelle, Niederlassung oder Filiale – digital abbildet. Werke werden über ein Kürzel definiert und aufgerufen und haben eine übergeordnete Bedeutung für viele weitere Stammdaten. Beim Anlegen von Materialien, Arbeitsplänen usw. muss i.d.R. auch das Werk angegeben werden, in welchem die physischen Materialien vorhanden sind bzw. Prozesse stattfinden.

Insofern ist die Wahl einer geeigneten Konfiguration der Einstellung “Werk” im SAP-System sehr wichtig. Beim PTZ und der LFF handelt es sich um zwei getrennte Produktionsstätten, welche jedoch in einem Produktionsverbund arbeiten. Daher wurde ein gemeinsames Werk für beide Produktionsstätten angelegt. Die realen Werke werden mithilfe von Arbeitsplätzen innerhalb desselben Werkes “Zukunftsfabrik

ZDP | PTZ & IWT" abgebildet. Der Schlüssel für das gemeinsame Werk lautet HD00. Über diese Kennung kann das Werk stets identifiziert werden.

4.5 Arbeitsplatz

Arbeitsplätze sind im PP Modul von SAP S4/HANA sogenannte Business-Objekte, die reale Orte abbilden können. Im Falle dieser Arbeit repräsentieren Arbeitsplätze Fertigungslinien sowie Handarbeitsplätze.

Die gesamte Anlage wurde in insgesamt sechs Arbeitsplätze unterteilt, die in der Realität technischen Plätzen entsprechen. Die Anlage im PTZ ist aufgeteilt in eine erste Linie (LIN-001), einen Handarbeitsplatz (MON-001) sowie eine zweite Linie. Die Anlage im IWT (LFF) unterteilt sich einen Handarbeitsplatz (MON-002) und eine dritte Linie (LIN-003). Die Schnittstelle zwischen den beiden Werken bildet der Transportroboter, welcher ebenfalls einen technischen Platz und damit Arbeitsplatz (OMRON) im ERP besitzt. Das Anlegen eines Arbeitsplatzes in S4/HANA erfordert die Definition einiger Attribute, so zum Beispiel die Arbeitsplatzart, die Kapazitätsart, die Bearbeitungsdauer sowie diverse Vorgabewerte. Anhand des Beispiels der Montagelinie LIN-001 wird hier beispielhaft besprochen, welche Einstellungen für die Zukunftsfabrik vorgenommen wurden.

Der Zugriff auf einen bereits angelegten Arbeitsplatz erfolgt über die Nennung des Werks (HD00: Zukunftsfabrik ZDP | PTZ & IWT) und der Arbeitsplatznummer (hier LIN-001).

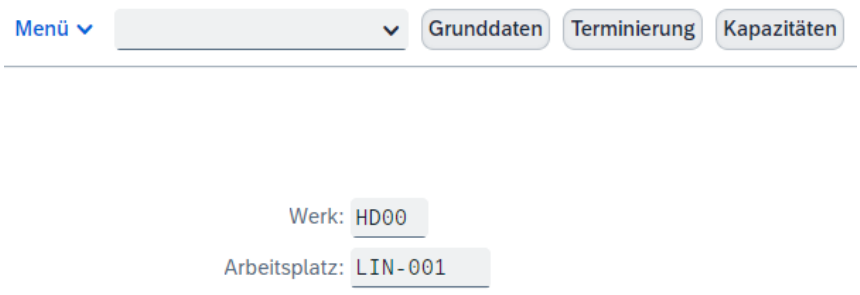
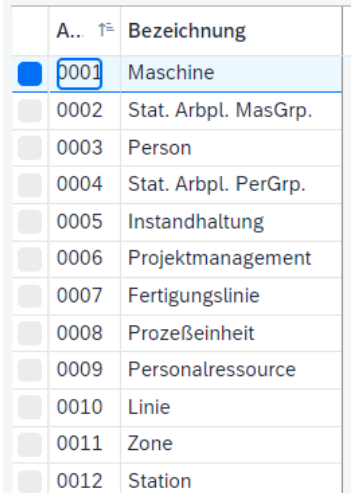


Abbildung 4 Aufruf eines Arbeitsplatzes via Nummern für Werk und Arbeitsplatz

In Abbildung fünf ist zu sehen, dass die Montagelinie die Arbeitsplatzart 0007 besitzt. Damit ist er als *Fertigungslinie* definiert. Die Handarbeitsplätze hingegen sind Arbeitsplätze der Art 0003, was einer *Person* entspricht. Die Nummern ergeben sich dabei aus den Vorgabewerten seitens S4/HANA (s. Abb. fünf). Der Transportroboter ist mit Arbeitsplatzart 0001 angelegt, da es sich um eine Maschine handelt.



A...	Bezeichnung
0001	Maschine
0002	Stat. Arbpl. MasGrp.
0003	Person
0004	Stat. Arbpl. PerGrp.
0005	Instandhaltung
0006	Projektmanagement
0007	Fertigungslinie
0008	Prozeßeinheit
0009	Personalressource
0010	Linie
0011	Zone
0012	Station

Abbildung 5 Auswahl an Arbeitsplatzarten

Die gewählten Einstellungen für Werk und Arbeitsplätze bieten einige Vorteile. So wird unter anderem erreicht, dass Bestände an Rohmaterialien, Halbzeuge und Fertigerzeugnisse zu keinem Zeitpunkt zwischen einzelnen Werken umgebucht werden müssen. Dadurch wird die Komplexität des Systems verringert.

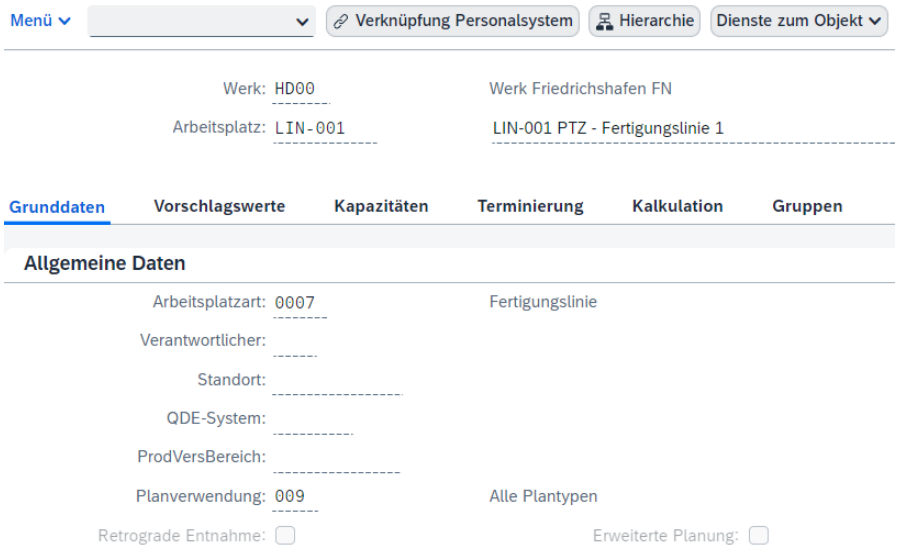


Abbildung 6 Ansicht der Grunddaten des Handarbeitsplatzes MON-001

4.6 Arbeitsplan

Ein Arbeitsplan in SAP S/4 HANA ist eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte und Prozesse, die zur Herstellung eines Produkts notwendig sind. Er enthält Informationen zu den benötigten Ressourcen, wie Maschinen und Personal, sowie zu den Zeit- und Kostenfaktoren jedes Arbeitsschritts. Arbeitspläne werden

verwendet, um die Produktionsprozesse zu planen, zu steuern und zu überwachen. Sie beinhalten spezifische Arbeitsvorgänge, die in einer bestimmten Reihenfolge ausgeführt werden müssen, um ein Endprodukt zu erzeugen. Jeder Arbeitsvorgang kann zusätzlich durch genaue Zeitvorgaben, benötigte Materialien und Qualitätsanforderungen spezifiziert werden. Auch das Produktionswerk, der zugehörige Arbeitsplatz sowie Steuerschlüssel sind wichtige Attribute. Die Arbeitspläne sind eng mit den Materialstammdaten und Stücklisten verknüpft, um eine lückenlose Integration der Produktionsprozesse zu gewährleisten. Sie ermöglichen es, die Produktionsabläufe effizient zu gestalten und Engpässe zu vermeiden. Arbeitspläne können auch für die Kostenkalkulation verwendet werden, indem sie die Arbeitszeit und den Ressourcenverbrauch dokumentieren. Zudem eignen sich Arbeitspläne auch als Arbeitsanweisungen, welche von Werkern in der Produktion verwendet werden, um manuelle Fertigungsschritte zu verstehen und umzusetzen.

Vorgangsübersicht

	Vor...	Unt...	Arbeitspl...	Werk	Ste...	Vorlagen...	Beschreibung
☐	0010		LIN-001	HD00	PP01		Montage der Komponenten PTZ
☐	0020		MON-001	HD00	PP01		Handmontage PTZ
☐	0030		LIN-002	HD00	PP01		autom. Montage der Komponenten II PTZ
☐	0040		OMRON	HD00	PP01		Transport v. PTZ n. IWT
☐	0050		MON-002	HD00	PP01		Handmontage IWT
☐	0060		LIN-003	HD00	PP01		autom. Montage IWT

Abbildung 7 Beispiel für einen Arbeitsplan inkl. Vorgängen anhand der Produktvariante 1

Bedeutung des Arbeitsplanes für eine vernetzte Produktion

Ein Arbeitsplan ist entscheidend für die moderne vernetzte Produktion, da er die Grundlage für die Integration und Automatisierung der Produktionsprozesse bildet. Er ermöglicht die Synchronisierung von Produktionsabläufen in Echtzeit, wodurch eine effiziente Ressourcennutzung sichergestellt wird. Durch die präzise Planung und Steuerung der Arbeitsschritte kann die Produktqualität verbessert und die Produktionskosten gesenkt werden. Arbeitspläne unterstützen die Flexibilität und

Anpassungsfähigkeit der Produktion, indem sie schnelle Änderungen und Anpassungen ermöglichen.

4.7 Fertigungsversionen

Die Fertigungsversion in SAP S/4 HANA ist eine spezifische Kombination aus einem Arbeitsplan und einer Stückliste, die für die Herstellung eines bestimmten Produkts verwendet wird. Sie stellt sicher, dass genau festgelegt wird, welche Materialien und welche Arbeitsschritte für die Produktion eines Produkts notwendig sind. Jede Fertigungsversion enthält Informationen darüber, welcher Arbeitsplan und welche Stückliste zu verwenden sind, sowie Details zu den Produktionsbedingungen, wie z.B. die Produktionsstätte. Durch die Definition mehrerer Fertigungsversionen für ein Produkt können verschiedene Produktionsmethoden und -szenarien abgebildet werden, wie zum Beispiel unterschiedliche Produktionslinien oder alternative Materialien. Dies ermöglicht eine flexible und anpassungsfähige Produktionsplanung, die schnell auf Veränderungen in der Nachfrage oder im Produktionsprozess reagieren kann. Fertigungsversionen helfen auch dabei, die Produktionsprozesse zu standardisieren und die Qualität zu gewährleisten, indem sie sicherstellen, dass immer die korrekten Materialien und Arbeitsschritte verwendet werden. Sie sind daher ein wichtiges Instrument für die Optimierung der Fertigungseffizienz und die Reduzierung von Produktionskosten.

Beispiele für die Verbindung der Fertigungsversion mit dem Arbeitsplan und Material

Alternativer Arbeitsplan: Ein Unternehmen kann für die Produktion eines Bauteils mehrere Fertigungsversionen definieren, die jeweils unterschiedliche Arbeitspläne nutzen. Zum Beispiel könnte eine Fertigungsversion einen Arbeitsplan für die manuelle Montage und eine andere Version einen Arbeitsplan für die automatisierte Fertigung verwenden. Diese Flexibilität ermöglicht es dem Unternehmen, schnell zwischen verschiedenen Produktionsmethoden zu wechseln, je nach Verfügbarkeit der Ressourcen oder Anforderungen des Marktes.
Materialsubstitution: Eine Fertigungsversion kann auch unterschiedliche Stücklisten beinhalten, die alternative Materialien vorsehen. Beispielsweise könnte eine

Fertigungsversion eine Stückliste für ein teureres, aber qualitativ hochwertigeres Material enthalten, während eine andere Version eine kostengünstigere Alternative nutzt. Dies erlaubt es dem Unternehmen, je nach Budget oder Kundenanforderungen, das geeignete Material auszuwählen und den Arbeitsplan entsprechend anzupassen.
Produktionsstandort: Fertigungsversionen können verschiedene Produktionsstätten berücksichtigen. Ein Produkt könnte in verschiedenen Werken hergestellt werden, die jeweils unterschiedliche Maschinen und Arbeitspläne erfordern. Durch die Definition von Fertigungsversionen kann das Unternehmen sicherstellen, dass für jedes Werk die korrekten Arbeitspläne und Materialien verwendet werden, was die Effizienz und Konsistenz der Produktion erhöht.
Diese Beispiele verdeutlichen, wie Fertigungsversionen in SAP S/4 HANA die Verbindung zwischen Arbeitsplänen und Materialien herstellen und dabei helfen, die Produktion flexibel und effizient zu gestalten.

4.8 Fertigungsprozess SAP-seitig

Die oben beschriebenen Bestandteile des ERP-Systems bilden die sogenannten Stammdaten ab. Um mit dem ERP eine Materialwirtschaft abzubilden, sind sogenannte Bewegungsdaten nötig, also Daten, die nicht starr sondern dynamisch sind. Dazu zählen bspw. Planaufträge, Fertigungsaufträge, Prüfaufträge, Änderungen etc.
Für das ERP-System der Zukunftsfabrik wurde ein Ablauf von einzelnen Schritten konzipiert, um die Materialwirtschaft zu realisieren.

Auftragserstellung

Zunächst muss der Bedarf an Fertigprodukten festgelegt werden. Derzeit richtet sich dieser sogenannten Primärbedarf nicht nach einem realen Bedarf, sondern es werden testweise Produkte angefragt, um die Funktion der Anlage zu testen. Auf die Planung für ein zukünftiges Bestellsystem wird in Kapitel 5 näher eingegangen.
Aus dem Bedarf wird ein Fertigungsauftrag erstellt. Dies geschieht über die Kachel „Fertigungsauftrag anlegen“ im Abschnitt „Werkerbereich 1“ GUI von S4/HANA.

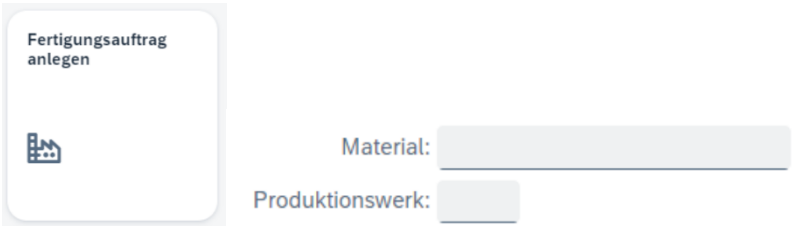


Abbildung 8 Anlegen eines Fertigungsauftrages im Werkerbereich 1 über Materialnummer und Werkskennung

Nachdem das gewünschte Material sowie das Werk definiert sind, muss zudem die Auftragsart festgelegt werden. Dafür muss der Schlüssel „PP01“ angegeben werden, was den Auftrag als Fertigungsauftrag definiert.
Anschließend kann die Gesamtmenge an zu produzierenden Produkten angegeben werden. Ferner muss ein Start- und Endtermin festgelegt werden. Die Zeit zwischen diesen Daten ist die Auftragszeit. Zuletzt wird der Auftrag freigegeben. Diese Funktion ist entscheidend, um den Auftrag zu autorisieren und die Produktion tatsächlich anzustoßen. Der Zweck dieser Funktion wird deutlich, wenn man eine Situation betrachtet, in der Aufträge zwar bereits vorbereitet werden, jedoch vor der Freigabe von einer zweiten Instanz geprüft werden müssen. In der Zwischenzeit können Fertigungsaufträge somit gespeichert werden, ohne, dass sie freigegeben sind.
Mit der Freigabe durch Klicken auf die grüne Flagge im Header des Fertigungsauftrags wird eine Auftragsnummer generiert. Über diese Nummer kann jeder Auftrag eindeutig identifiziert und eingesehen werden. Die Kenntnis der Auftragsnummer ist unabdingbar für den nächsten Schritt.

Auftragsrückmeldung

Die Auftragsausführung findet wie oben beschrieben nach der Freigabe statt. Die Anlage produziert also das Endprodukt aus den entsprechenden Vorprodukten. Nach erfolgreicher Herstellung muss der Auftrag manuell rückgemeldet werden. Dies geschieht über die Funktion „Rückmeldung zum Fertigungsauftrag erfassen“. S4/HANA unterscheidet zwischen Teilrückmeldungen, Endrückmeldungen und automatischen Endrückmeldungen. Je nach Status des Herstellungsvorgangs kann zwischen Teil- und Endrückmeldung gewählt werden.
Unter Angabe der Auftragsnummer werden nun drei Kategorien von Meldungen erfasst: Gutteile, Ausschussteile sowie Teile zur Nacharbeit.
Je nach Prozesssicherheit des Produktionsprozesses kann es zu einer gewissen

Abweichung von der vorgegebenen Gutmenge kommen. Die Anzahl der Produkte, die durch Nacharbeit wieder in die qualitative Toleranzgrenze versetzt werden können, wird unter Nacharbeitsmenge eingetragen. Teile, die auch durch Nacharbeit nicht die Qualitätsanforderungen erfüllen können, müssen der Ausschussmenge zugeschrieben werden.
Gutteile werden unter der Gutmenge erfasst.

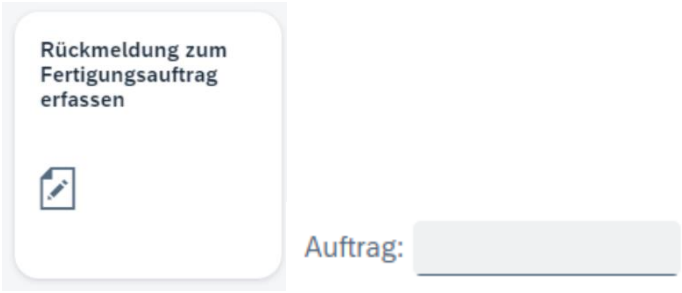


Abbildung 9 Kachel zur Erfassung der Rückmeldung zu einem laufenden oder abgeschlossenen Auftrag

Mit der erfolgreichen Rückmeldung zum Fertigungsauftrag ist die auftragsbasierte Materialwirtschaft abgeschlossen.

Bestandsverwaltung

Mit der Herstellung von Fertigprodukten wird auch die Verbuchung in den entsprechenden Lagern notwendig. Dazu gibt es in SAP S4/HANA die Funktion „Bestand verwalten“ sowie „Bestand Einzelmaterial“.



Abbildung 10 Kachel zur Verwaltung von Beständen durch Aufrufen der Materialnummer und des Werks

Zunächst wird die Funktion „Bestand verwalten“ aufgerufen, um die produzierten Einheiten den jeweiligen Beständen zuzuweisen. S4/HANA sieht dafür drei Arten von Besänden vor: den frei verwendbaren Bestand, den gesperrten Bestand sowie den Bestand in Qualitätsprüfung. Bei Beständen handelt es sich wie bereits oben erwähnt um Bewegungsdaten, die ständig editiert werden können.

Frei verwendbarer Bestand	Gesperrter Bestand	Bestand in Qualitätsprüfung
96,000 ST	1,000 ST	22,000 ST
96,000 ST	1,000 ST	22,000 ST

Abbildung 11 Ansicht der drei Bestandsarten im Bereich „Bestand verwalten“ am Beispiel des Materials RB2400001

Je nach Zustand des Fertigprodukts kann nun eine Anzahl zugeiwesen werden. Unten im Bild ist zu sehen, wie die für den frei verwendbaren Bestand geschieht:

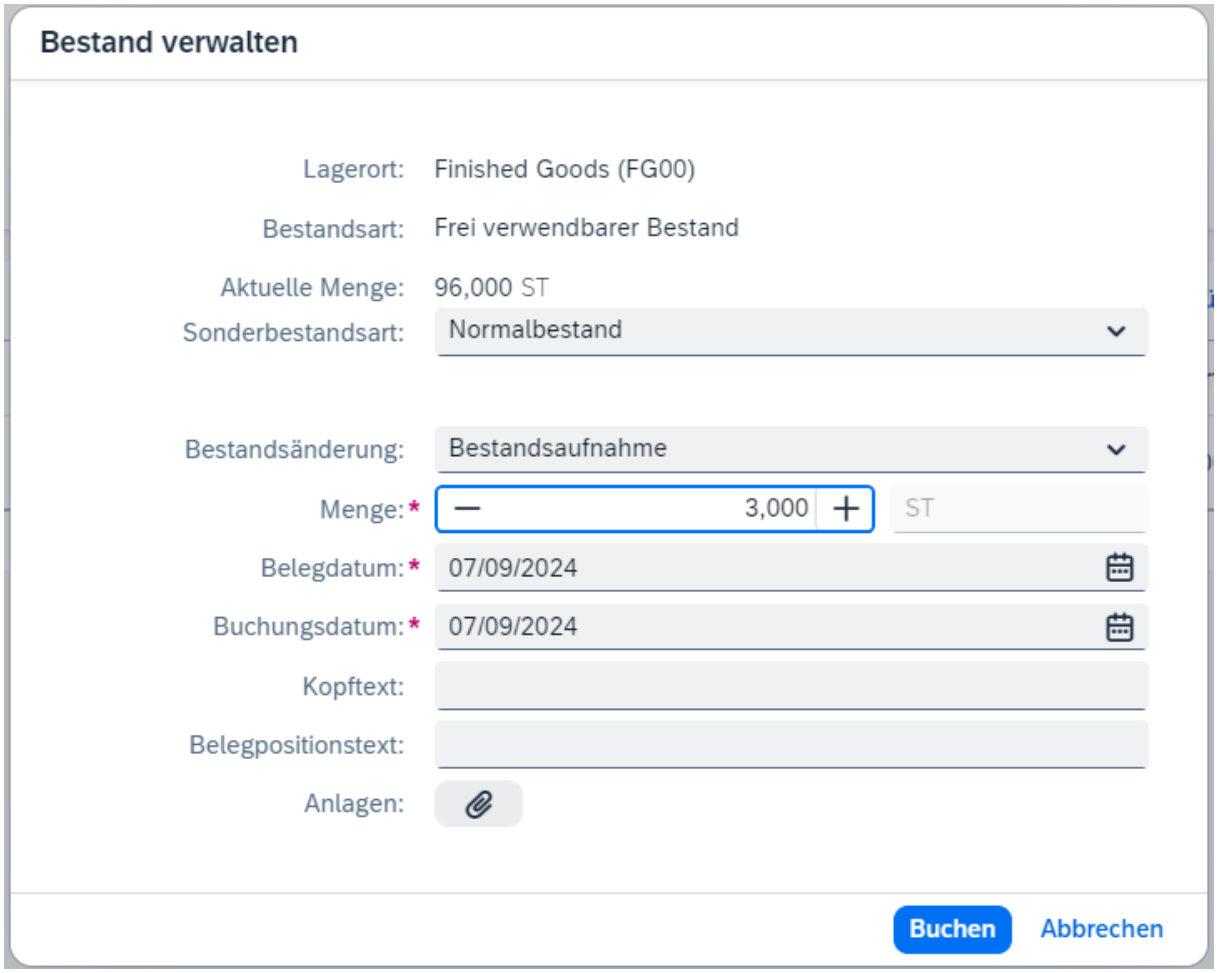


Abbildung 12 Durch Eintragen der Anzahl der tatsächlich produzierten Gutteile wird ein Bestand verbucht

Die Übersicht zeigt zudem, wie viele Teile bereits in diesem Bestand vorhanden sind. Es ist zu beachten, dass das ERP-System über virtuelle Lagerorte verfügt. Dies dient der schnellen und einfachen Verwaltung der Bestände. Die virtuellen Lager können, müssen aber keine Repräsentanz eines real existierenden Lagers darstellen. Im

Beispiel oben zu sehen ist das Lager „Finished Goods“; dementsprechend das Lager für Fertigteile. Der Vorteil der virtuellen Lager ist, dass sie nicht an die realen Bedingungen in der Zukunftsfabrik geknüpft sind und neue Lagerorte schnell zugewiesen werden können.

Zum Abschluss der Materialverwaltung wird die Funktion „Bestand Einzelmaterial“ aufgerufen.



Abbildung 13 Kachel zur Visualisierung der zuvor verbuchten Bestände sowie Barcode zur Erfassung der Produktvariante

Um die Bedienung der Funktion in der Fertigung zu erleichtern, wurde auf einen Handscanner zurückgegriffen. Damit können Materialnummern über Barcodes erfasst werden, was aufwendiges Tippen verhindert und Fehlerpotenziale reduziert. Zur Nutzung der Scanfunktion wurde zu jeder Produktvariante ein Barcode generiert und dem Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung zur Verfügung gestellt. Die Codes können durch einen Handscanner oder eine Webcam eingelesen werden, sofern der Webbrowser den Datenaustausch mit diesen Geräten zulässt.

Durch manuelle Angabe der Materialnummer oder Erfassung per Scanner gelangt der Benutzer zur Ansicht der Bestände ähnlich wie zuvor in der allgemeinen Bestandsverwaltung.

Die zusätzliche Funktionalität besteht darin, dass Bestände nun durch zwei Arten von Diagrammen visualisiert werden können: Balken- und Liniendiagramme. Die Abbildungen unten zeigen diese Ansicht jeweils für die Produktvariante 1.

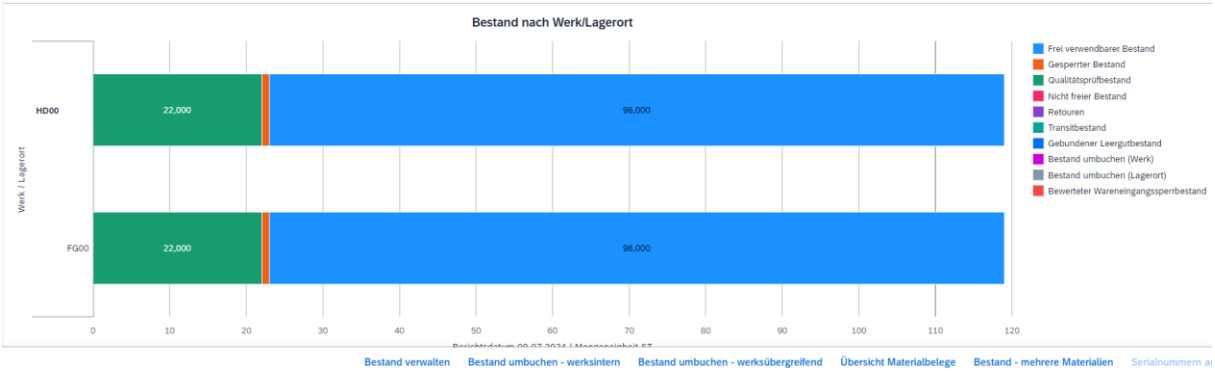


Abbildung 14 Balkendiagramm zur Visualisierung der Bestandsmengen von Produktvariante 1 in verschiedenen Lagern

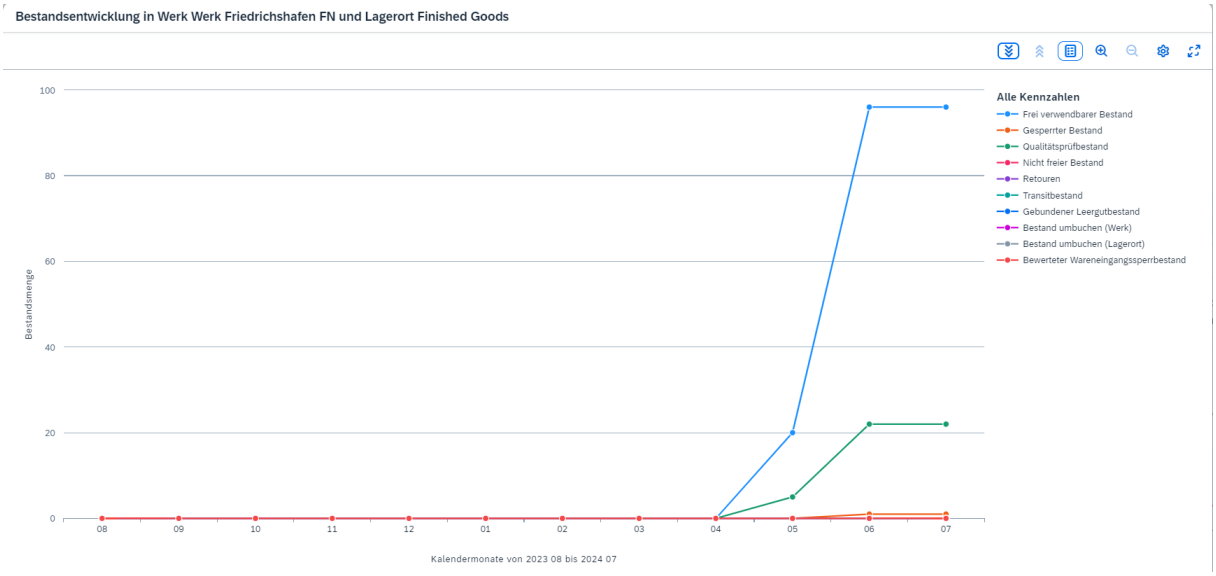


Abbildung 15 Liniendiagramm zur Visualisierung der Bestandsmengen von Produktvariante 1 in verschiedenen Lagern

Der hier beschriebene Aufbau orientiert sich wie bereits erwähnt am sogenannten ERP-Lauf. Der generelle Ablauf desselben soll im Folgenden kurz beschrieben werden:

Ein Material Requirement Planning (MRP) Lauf ist ein zentraler Prozess in der Produktionsplanung und -steuerung innerhalb von ERP-Systemen wie SAP S/4 HANA. Der MRP-Lauf stellt sicher, dass Materialien in der richtigen Menge zur richtigen Zeit verfügbar sind, um die Produktionspläne zu erfüllen.

Der Prozess beginnt mit der (Primär-)Bedarfsermittlung, bei der der MRP-Lauf die offenen Kundenaufträge, geplanten Bestellungen und Prognosen analysiert, um den Bruttobedarf zu berechnen. Dann wird der Bruttobedarf mit den verfügbaren

Lagerbeständen und bereits bestehenden Bestellungen abgeglichen, um den Nettobedarf zu ermitteln. Falls der Nettobedarf positiv ist, generiert der MRP-Lauf Bestellvorschläge für Rohmaterialien, Halbfertigprodukte und Endprodukte. Diese Bestellvorschläge können interne Fertigungsaufträge oder externe Bestellanforderungen sein. Der MRP-Lauf berücksichtigt dabei auch die Lieferzeiten, Losgrößen und Bestellzyklen, um die Bestellvorschläge zu optimieren. Eine Stückliste (BOM) wird verwendet, um zu bestimmen, welche Komponenten und Materialien für jedes Produkt benötigt werden. Anschließend werden die geplanten Bestellungen nach Priorität und Dringlichkeit sortiert, um sicherzustellen, dass kritische Materialien zuerst bestellt werden. Der MRP-Lauf berücksichtigt auch Kapazitätsbeschränkungen der Produktionsressourcen, um Überlastungen zu vermeiden. Zudem werden bestehende Fertigungsaufträge und Bestellungen überprüft und gegebenenfalls angepasst oder storniert, um den aktuellen Bedarf zu reflektieren.

Zusätzliche Funktionen

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Funktionen können in der Ansicht auch weitere Funktionen genutzt werden. Beispielsweise können sogenannte Materialbelege ausgegeben und angezeigt werden. Ein Materialbeleg in SAP S/4 HANA ist ein Dokument, das jede Materialbewegung im System festhält, wie beispielsweise Wareneingänge, Warenausgänge, Umlagerungen oder Bestandskorrekturen. Er dient der lückenlosen Dokumentation und Nachverfolgbarkeit von Materialflüssen innerhalb eines Unternehmens. Jeder Materialbeleg enthält detaillierte Informationen über die Art der Bewegung, die beteiligten Materialien, die Menge und die beteiligten Lagerorte. Durch die Integration in das SAP-System werden alle Materialbelege automatisch in den entsprechenden Modulen, wie Finanzbuchhaltung und Lagerverwaltung, verbucht. Dies gewährleistet eine präzise Bestandsführung und unterstützt die Transparenz und Kontrolle über die Materialwirtschaft.

Materialbelege können somit als Mittel zur Bestandsverwaltung genutzt werden.

Ferner ist es möglich, über die Funktion „Lagerbestand anzeigen“ die Lagerbestände einzelner Produkte auszugeben. Lagerbestände zeigen ähnlich wie Materialbelege eine tabellarische Übersicht einzelner Bestände. Das untenstehende Bild zeigt ein solches Beispiel. Der Vorteil ist, dass die Daten auf Lagerebene und nicht auf Bestandsebene angezeigt werden.

Material			Materialkurztext			Werk	Name 1	
LOrt	LgO	Frei verwendbar	BME	Transit und Umlag	In QualPrüfung	Nicht frei	Gesperrt	Retouren
		Gesamtwert	Währg	Gesamtwert	Gesamtwert	Gesamtwert	Gesamtwert	Gesamtwert
RB2400001				Raspberry Box Variante 1		HD00	Werk Friedrichshafen FN	
FG00		96	ST	0	22	0	1	0
		960,00	EUR	0,00	220,00	0,00	10,00	0,00
* Summe								
		960,00	EUR	0,00	220,00	0,00	10,00	0,00

Abbildung 16 Beispielhafte Übersicht aller Bestände der Produktvariante 1 im Lager Finished Goods (FG00)

Der MRP-Lauf ist ein iterativer Prozess, der regelmäßig ausgeführt wird, um Änderungen im Bedarf und im Bestand zu berücksichtigen. Nach Abschluss des MRP-Laufs werden die Bestellvorschläge durch Disponenten überprüft und freigegeben. Diese Freigaben führen zur Generierung von Bestellungen und Fertigungsaufträgen. Fertigungsaufträge wiederum werden dann wie bereits oben beschrieben in der Produktion verwendet.

4.9 Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche von SAP S4/HANA hat gegenüber früheren Versionen deutlich an Bedienerfreundlichkeit gewonnen. So ist sie visuell ansprechender und vor allem übersichtlicher gestaltet.

Im Rahmen des Projekts wurde die Benutzeroberfläche für die Verwendung in der Produktionsstätte möglichst praktikabel gestaltet.

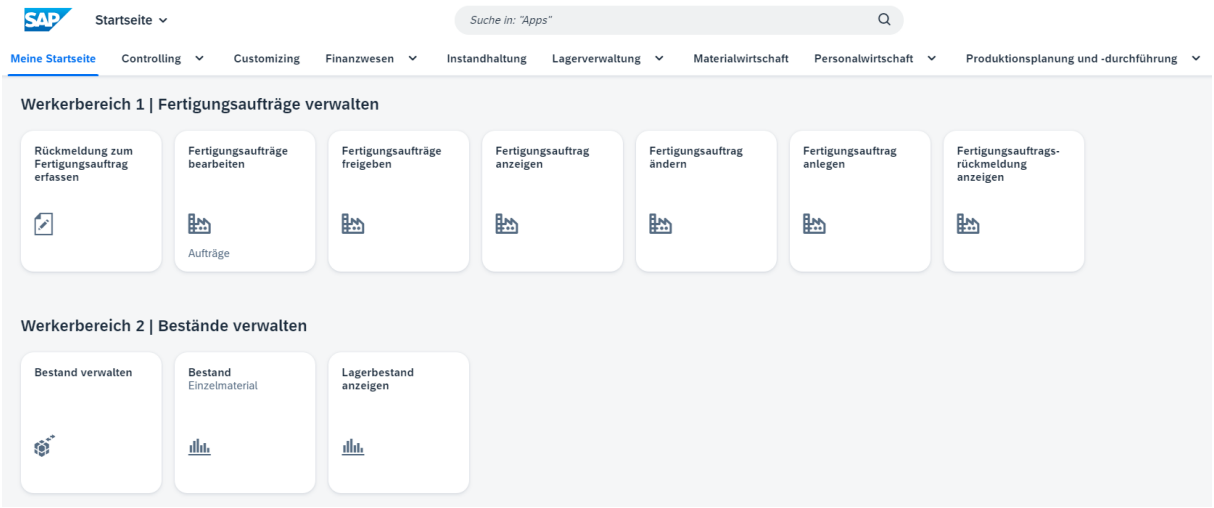


Abbildung 17 Mit der Aufteilung in Werkerbereich 1 und 2 ist die Bedienung des Systems verständlich gestaltet

Während im laufenden Betrieb der Produktionsstätte vornehmlich die Werkerbereiche 1 und 2 zum Einsatz kommen, ist für die Verwaltung und Änderung von Stammdaten der Bereich „Fertigungsstammdaten“ vorgesehen.

Damit ist eine Trennung zwischen der planerischen und der operativen Ebene des ERP-Systems sichergestellt.



Abbildung 18 Durch die Trennung von operativer und planerischer Ebene wird die Bedienbarkeit weiter verbessert

5 Integration eines Manufacturing Execution System

Langfristig wird die Zukunftsfabrik Bodensee als hochmoderne, verteilte Produktionsanlage einen Mehrwert sowohl für Forschende, Industriekunden als auch Studierende bieten. Die technologische Weiterentwicklung im Bereich der digitalen Fertigung wird sich dabei hauptsächlich auf die Implementierung eines Manufacturing Execution Systems konzentrieren. Die Notwendigkeit für die Einführung eines solchen System ist durch verschiedene Aspekte getrieben:

Zum einen liegt sie in der Kunden-Lieferanten-Beziehung begründet. Um einen sogenannten End-to-End-Prozess von der Bestellung eines Produkts bis zur Herstellung zu gewährleisten, ist ein MES in einer vernetzten Produktionsstätte zwingend notwendig. Das PP-Modul enthält sämtliche Stammdaten und Bewegungsdaten, die zur Erstellung von Bedarfen sowie Rückmeldungen aus der Fertigung notwendig sind. Die Materialwirtschaft ist damit innerhalb der Zukunftsfabrik möglich. Abgesehen von internen Kunden, soll die Zukunftsfabrik jedoch auch theoretische oder tatsächliche externe Kunden beliefern können. Die Bestellungen durch externe Kunden wird künftig durch eine Art Webshop realisiert werden. Die dort erfassten Bedarfe müssen also an das ERP-System weitergegeben werden.

In diesem Zusammenhang ist die sogenannte Interoperabilität von Maschinen und IT-Systemen in der Produktion von entscheidender Bedeutung. Interoperabilität beschreibt den ungehinderten Datenaustausch zwischen allen beteiligten Systemen. Im Beitrag Interoperabilität von Manufacturing Execution Systems von Miriam Schleipen et al. werden sinngemäß folgende zukünftige Entwicklungen im Bereich MES genannt:

1. MES und Feldgeräte werden vertikal integriert sein
2. MES werden mit anderen MES und IT-Systemen horizontal integriert sein
3. MES sind an die Systeme der digitalen Fabrik anzubinden, sodass eine ständige Planungsbereitschaft entsteht (Schleipen et al. 2011)

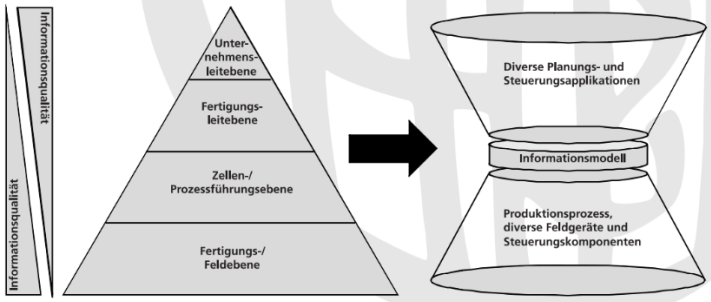


Bild 3 Veränderung der Informationsarchitektur in der Fabrik (siehe [9]).

Abbildung 19 Gegenüberstellung der klassischen Automatisierungspyramide und einem neuen Konzept für die MES-Ingeration

Diese Aspekte fungieren im folgenden Konzept als erste Anhaltspunkte für eine
Aus Punkt 3 ergibt sich eine weitere Motivation für die Einführung eines MES, da es für die Realisierung einer verteilten Produktion notwendig ist, über eine digitale Produktionsplanung- und steuerung zu verfügen.
Die technischen Voraussetzungen für eine solche Implementierung wurden bereits geschaffen. So wurde für den Datenverkehr zwischen ERP-System, MES-System und den Feldgeräten am PTZ bereits ein sogenannter OPCUA Server installiert. OPCUA steht für Open Platform Communications Unified Architecture und stellt einen industriellen Kommunikationsstandard dar. Mithilfe von OPCUA können Maschinendaten von Maschinen unterschiedlicher Hersteller in einem einheitlichen Format ausgetauscht werden können. (inray Indsutriesotware GmbH 2024)
Der OPCUA Server dient aus Sicht der Feldgeräte als sogenanntes *Gateway* zum MES- und ERP-System. Ein solcher Server ist also unabdingbar, für die Kommunikation zwischen der Bedarfsplanung im ERP und der Produktionsanlage.

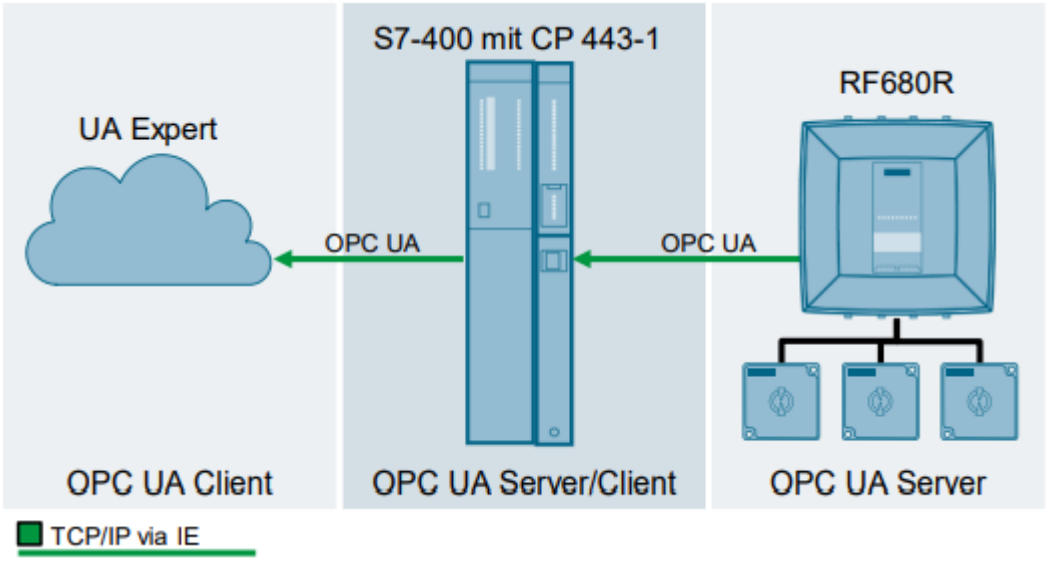


Abbildung 20 Visualisierung des Datenaustauschs zwischen OPC UA Server und Client (Siemens Industry, 2017)

Eine moderne verteilte Produktion ist auf eine zentrale Verbindung aller Maschinen und Anlagen angewiesen, ohne dass die räumliche Anordnung der einzelnen Produktionsstandorte eine Rolle spielt. Für diese Anforderung ist eine werksnahe und zugleich dynamische Anbindung notwendig. Das Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung hat entschieden, auf das MES-System „Flex“ des Softwareunternehmens Forcam zurückzugreifen. Das Flex MES stellt eine modulare MES-Lösung für Smart Factories dar. Die wesentlichen Schnittstellen in diesem Zusammenhang sind zum einen die Anbindung des MES and die Feldgeräte, zum anderen die Kommunikation mit dem ERP-System. Dadurch ergeben sich neue Anforderungen.

5.1 Anbindung von Feldgeräten

Wegen der Integration von Feldgeräten wird im vorliegenden Anwendungsfall ein sogenanntes Industrial Internet of Things notwendig. Anders kann das wertschöpfende Zusammenspiel zwischen Maschinen, MES und ERP sowie ggf. einer Kundenplattform nicht realisiert werden.

Forcam bietet mit Edge-Connect eine Backend-Anwendung, die diesen Anforderungen gerecht wird, indem sämtliche Maschinen digital angebunden werden können. Das Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktenwicklung ist

bezüglich dem Edge-Connect-Modul bereits mit Forcam im Austausch und Forcam hat eine erste Produktschulung zur Verfügung gestellt. Im Rahmen dieser Schulung wurden die grundlegenden Funktionsweisen der Maschinenanbindung erläutert.

Konkret soll die Plattform Edge-Connect das im untenstehenden Bild links illustrierte Problem lösen: viele unterschiedliche Maschinen müssen an ein und dasselbe MES angebunden werden.

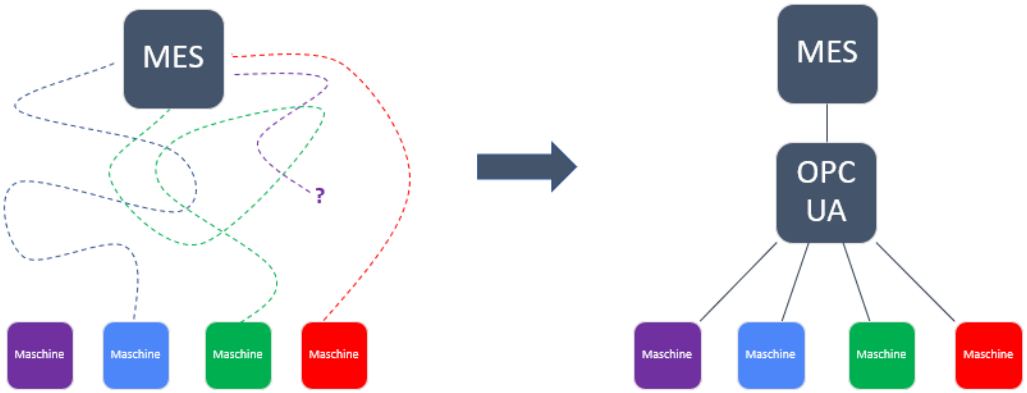


Abbildung 21 Schematische Darstellung der Rolle eines OPCUA-Servers in der Maschinenanbindung

Durch Nutzung von Edge-Connect kann dieser Herausforderung begegnet werden. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass Edge-Connect auch andere Kommunikationsstandards unterstützt – beispielsweise MQTT, Kafka oder REST. Sollten die Anlagen der Zukunftsfabrik also in Zukunft mit anderen Systemen verbunden werden müssen, wäre dies über die o.g. gängigen industriellen Datenprotokolle möglich. Ziel ist in jedem Fall die Homogenisierung des Datenverkehrs innerhalb eines heterogenen Maschinenparks.
Das ERP-System hingegen dient als zentrale Datenbank, welche alle Stamm- und Bewegungsdaten enthält. Das System ist jedoch nicht in der Lage, direkt mit Maschinen- und Anlagen im Feld zu kommunizieren. Im Konzept des MES‘ “FLEX” von Forcam ist es vorgesehen, dass die Anbindung von Feldgeräten über das Modul „Edge Connect“ geschieht. Edge Connect ermöglicht die Datenkommunikation zwischen diversen Steuerungseinheiten in der Fertigung und dem zentralen MES sowie in zweiter Instanz ERP-System. Somit können bspw. freigegebene FAUF genutzt werden, um eine SPS anzusteuern und Feldgeräte zu steuern.

Forcam nennt als Kernkompetenz des Systems hinsichtlich der Steuerungstechnik. Im praktischen Anwendungsfall muss davon ausgegangen werden, dass eine Produktionsstätte Anlagen mit unterschiedlichen Steuerungen enthält. Man spricht hier auch von sogenannten industriellen Kommunikationsstandards. Von klassischer Festverdrahtung über SPS bis hin zu CNC-Steuerungen der neusten Generation.
Damit ergibt sich eine hohe Bandbreite an Steuerungen, die über Edge Connect verbunden werden können.

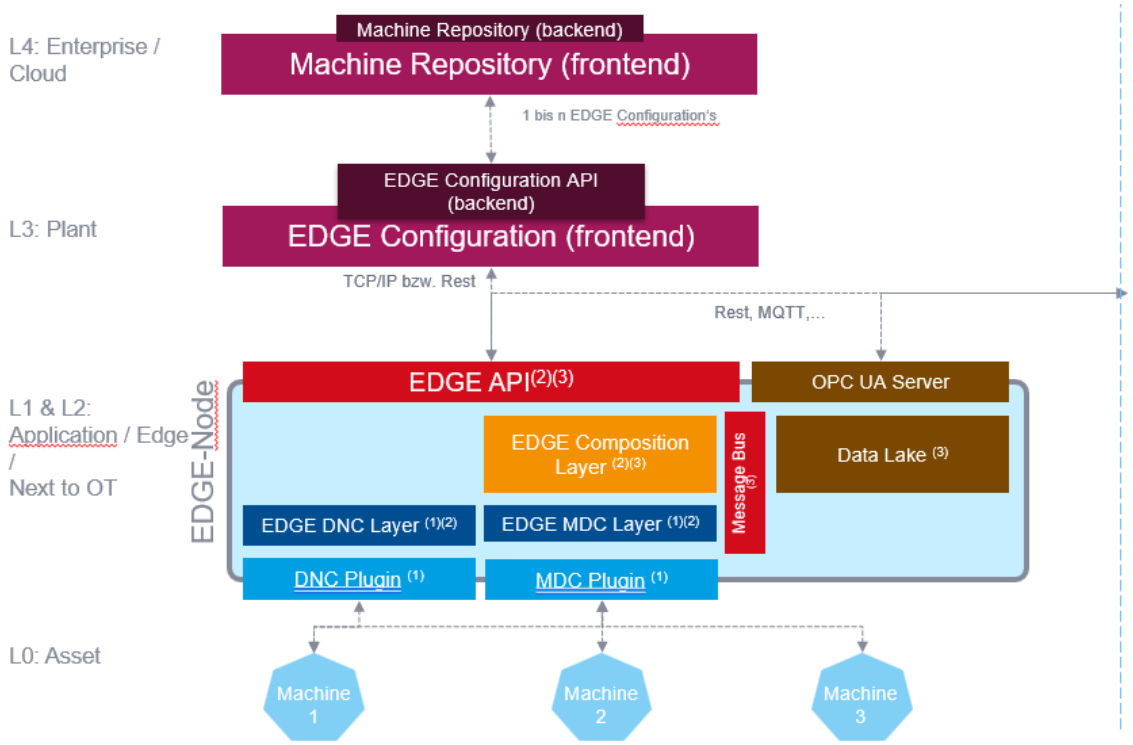


Abbildung 22 Beziehung der Bestandteile von Forcam Edge-Connect zur Anbindung von Feldgeräten

5.2 North- und Southbound Anbindung

Die zuvor in Abb. Xy gezeigte Verbindung des OPCUA-Servers mit Feldgeräten wird Southbound Interface, die Verbindung mit dem MES Northbound Interface genannt. Die Bezeichnung lehnt sich an der bildlichen höheren (northbound) bzw. tieferen (southbound) Ebene an, in deren Richtung der Datenverkehr stattfindet.

Forcam Edge-Connect bietet sowohl eine klassische DNC (direct numerical control) al sauch eine sogenannte MDC (machine data collection) Lösung an. Je nach technischer Ausführung der Kommunikationsschnittstelle sind kann auf eine der beiden Optionen zurückgegriffen werden. In Abb. Xy ist zu erkennen, wie die DNC-

und MDC-Schnittstellen southbound mit den Maschinen und northbound mit der Edge-Configuration Umgebung in Beziehung stehen.

Die Anbindung von Maschinen wird in der Edge-Configuration Umgebung realisiert. Der Anwender muss Edge-Connect zunächst mit dem MDC/DNC Controller im Feld verbinden. Dieser Schritt wird *MDC/DNC Controller Configuration* genannt. Die Konfiguration eines MDC-Controllers benötigt die folgenden Informationen:

Attribut	**Beispielhafter Eintrag**
Description	S7 A
Type	Controller Fabrikat (bspw. S7 1500)
Bus-Type	IP S7 Link/ Profibus
Machine Address	IP-Adresse der Maschine im MDC/DNC
PLC MPI Address	0
Subnet ID	
PLC Rack	Nummer der PLC Schiene
PLC Slot	Nummer PLC Steckplatz
PLC Address Mode	0

Datenaustausch zwischen Edge-Connect und Feldgeräten

Der Austausch von Maschinendaten muss für jede Maschine jeweils definiert werden. Der Benutzer kann dabei bestimmen, welche Maschinendaten übertragen werden sollen. So kann über Edge-Connect bspw. Der Maschinenzustand (d.h. ob eine Störung vorliegt oder nicht) oder die Proudzierte Menge northbound kommuniziert werden.

Grundlage für den Datenaustausch ist zunächst eine einheitliche Kategorisierung aller Feldgeräte. Forcam Edge-Connect nutzt für die Standardisierung der Anbindung die Programmiersprache *Pascal*. Auf einige Bestandteile soll im Folgenden genuaer eingegangen werden.

Zunächst wird ein sogenannter Header definiert, der einige Charakteristika der anzubindenden Maschine auflistet, bspw. das Erstellungsdatum, die Version, den Namen der Maschine etc.

Anschließend werden einige Variablen definiert und den Variablen jeweils ein Datentyp zugewiesen. Die Variablen haben an dieser Stelle hauptsächlich funktionellen Charakter, jedoch können auch bereits fertigungsrelevante Variablen definiert werden, wie bspw. die Anzahl produzierter Einheiten. Diese Daten sind von großer Relevanz

für die Bestandsverwaltung. In den folgenden Unterkapiteln wird genauer darauf eingegangen werden, inwiefern die an einer Anlage gesammelten Informationen im MES sowie ERP genutzt werden können.

Untenstehend ist ein Beispiel für die Definition einiger Variablen gezeigt. Die Funktion der einzelnen Variablen wird im Anschluss erklärt.

```
var_local
begin
// GENERAL LOGIC VARIABLES
   seconds                 : number;
   waitingTime             : number;
   packetNo                : number;
   packetNoOld             : number;
// SCRIPT INIZIALIZING VARIABLES
   initialized             : boolean;
// PIECE COUNT VARIABLES
   absPartCounter          : number;
   absPartCounterOld       : number;
   counterSend             : number;
// MACHINE STATE
   state                    : number;
   stateOld                 : number;
// MACHINE STATUS REASON
   status_reason           : string;
   status_reasonOld        : string;
// LOGGING CHANGED SIGNALS
   logString               : string;
   logstringOld            : string;
end;
```

Erläuterung zu den Variablen

Allgemeine Logik-Variablen

- **seconds:** Eine Variable vom Typ `number`, zur Verfolgung der verstrichenen Zeit in Sekunden.
- **waitingTime:** Eine Variable vom Typ `number`, die vermutlich die Wartezeit in Sekunden speichert.

- **packetNo:** Eine Variable vom Typ `number`, die die aktuelle Paketnummer speichert.
- **packetNoOld:** Eine Variable vom Typ `number`, die die vorherige Paketnummer speichert.

Initialisierungsvariablen

- **initialized:** Eine Variable vom Typ `boolean`, die angibt, ob das Skript oder die Maschine initialisiert wurde (true oder false).

Stückzähler-Variablen

- **absPartCounter:** Eine Variable vom Typ `number`, die den absoluten Stückzählerwert speichert, d.h., die Anzahl der produzierten Teile.
- **absPartCounterOld:** Eine Variable vom Typ `number`, die den vorherigen Wert des Stückzählers speichert.
- **counterSend:** Eine Variable vom Typ `number`, die möglicherweise den Zählerwert für gesendete Teile speichert.

Maschinenzustand

- **state:** Eine Variable vom Typ `number`, die den aktuellen Zustand der Maschine speichert (z.B., laufend, gestoppt).
- **stateOld:** Eine Variable vom Typ `number`, die den vorherigen Zustand der Maschine speichert.

Grund des Maschinenstatus

- **status_reason:** Eine Variable vom Typ `string`, die den Grund für den aktuellen Maschinenstatus speichert (z.B., "wartend auf Material").
- **status_reasonOld:** Eine Variable vom Typ `string`, die den Grund für den vorherigen Maschinenstatus speichert.

Protokollierung geänderter Signale

- **logString:** Eine Variable vom Typ `string`, die geänderte Signale oder Ereignisse protokolliert.
- **logStringOld:** Eine Variable vom Typ `string`, die das vorherige protokollierte Signal speichert.

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Initialisierung und die Abfrage des Maschinenstatus. Der Maschinenstatus kann beispielsweise „nicht verbunden“, „produzierend“ oder „ungeplanter Stopp“ lauten, um nur einige Beispiele zu nennen. Der Benutzer ist dabei frei in der Definition des Status. Zur Abfrage des

Maschinenzustands wird eine Abfrage von Kriterien eingesetzt, die je nach Rückmeldung vom Feldgerät den Status festlegt. Der Status ist dabei in der Maschinensteuerung als Zahlenwert definiert und wird logisch mit einer lesbaren Ausgabe verknüpft.

Nach vollständiger Konfiguration aller Parameter über das Skript ist nun noch optional die DNC einzustellen. Dies ist selbstverständlich nur nötig, sofern eine DNC verwendet wird. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn NC-Bearbeitungsprogramme für Fertigungsaufträge direkt an Maschinen versendet werden sollen. Da in der Zukunftsfabrik Fallenbrunnen derzeit keine (C)NC-Maschine verwendet wird, ist diese Einstellung nicht nötig und es wird lediglich wie oben beschrieben die MDC-Schnittstelle konfiguriert.

Die Konfiguration ist damit beendet und es wird eine Übersicht der Einstellungen in der Edge Connect Umgebung angezeigt.

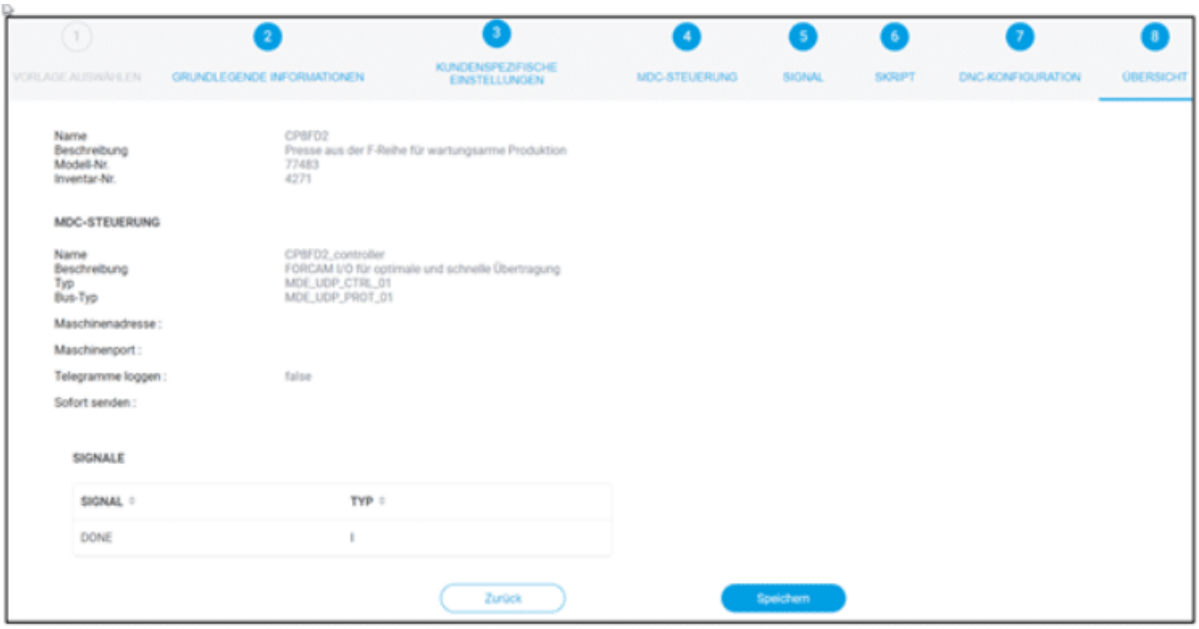


Abbildung 23 Übersicht am Ende der Anbindung einer Produktionsmaschine

Für die Kommunikation zwischen Maschinen und externen Drittsystemen kann bei Edge-Connect zwischen den Kommunikationsstandards MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) und REST (Representational Stat Transfer) gewählt werden. Auf die Funktionsweisen der beiden Protokolle soll im Folgenden kurz eingegangen werden.

Funktionsweise MQTT

MQTT ist ein sogenanntes Publish-Subscribe-basiertes Messaging-Protokoll, das für Maschinen-zu-Maschinen-Kommunikation (M2M) und das Internet der Dinge (IoT) entwickelt wurde. Es ist besonders gut geeignet für den Einsatz in Umgebungen mit geringer Bandbreite oder instabilen Netzwerken.

Funktionsweise des Datenaustauschs

MQTT-Broker einrichten:

Ein MQTT-Broker (z.B., Eclipse Mosquitto) dient als zentraler Vermittler für alle Nachrichten, die zwischen den Maschinen (Clients) und dem ERP-System ausgetauscht werden. Der Broker empfängt Nachrichten von Publishern und leitet sie an die entsprechenden Subscriber weiter.

Maschinen als MQTT-Clients:

Die Maschinen sind als MQTT-Clients konfiguriert und senden (publish) ihre Daten an den Broker. Diese Daten können Informationen über den aktuellen Zustand der Maschine, Produktionszahlen, Fehlermeldungen, Temperaturen und andere relevante Parameter sein.

Beispiel: Eine Maschine könnte alle 10 Sekunden ihre Temperaturdaten an ein bestimmtes Topic (z.B., "maschine/temperatur") senden.

ERP-System als MQTT-Client:

Das ERP-System ist ebenfalls als MQTT-Client konfiguriert und abonniert (subscribe) relevante Topics, um die Daten von den Maschinen zu empfangen. Das ERP-System kann diese Daten dann in Echtzeit verarbeiten und in seine Datenbank integrieren.

Beispiel: Das ERP-System abonniert das Topic "maschine/temperatur", um kontinuierlich die Temperaturdaten der Maschinen zu empfangen.

Publish-Subscribe-Modell:

Im Publish-Subscribe-Modell sendet ein Publisher Nachrichten an ein bestimmtes Topic, ohne zu wissen, wer die Nachrichten empfängt. Ein Subscriber meldet sich für ein bestimmtes Topic an und erhält alle Nachrichten, die an dieses Topic gesendet werden.

Dieses Modell ermöglicht eine lose Kopplung zwischen den Maschinen und dem ERP-System, wodurch das System skalierbar und flexibel wird.

Sicherheitsmechanismen:

MQTT unterstützt verschiedene Sicherheitsmechanismen wie TLS/SSL für die verschlüsselte Übertragung von Nachrichten und Authentifizierungsmethoden zur Sicherstellung, dass nur autorisierte Clients Daten senden und empfangen können.

Datenverarbeitung im ERP-System:

Das ERP-System verarbeitet die empfangenen Daten, aktualisiert die relevanten Datenbanken und kann basierend auf diesen Daten weitere Aktionen ausführen, wie z.B. die Anpassung von Produktionsplänen, die Generierung von Berichten oder die Auslösung von Wartungsaufträgen.

Beispiel für einen vollständigen Datenaustausch:

Eine Maschine sendet regelmäßig Produktionsdaten (z.B., Anzahl produzierter Teile) an das Topic "produktion/maschine1".

Das ERP-System abonniert dieses Topic und empfängt die Produktionsdaten.

Die empfangenen Daten werden in der Produktionsdatenbank des ERP-Systems gespeichert und zur Überwachung der Produktionsleistung verwendet.

Wenn die Produktion unter einen bestimmten Schwellenwert fällt, generiert das ERP-System eine Benachrichtigung und sendet eine Nachricht an ein anderes Topic (z.B., "wartung/benachrichtigung"), das von einem Wartungsteam abonniert wird.

Funktionsweise REST

Datenaustausch zwischen einer Maschine und einem ERP-System mit REST

Einführung in REST

REST (Representational State Transfer) ist ein Architekturstil für verteilte Systeme, der auf den Prinzipien des HTTP-Protokolls basiert. RESTful APIs verwenden HTTP-Anfragen, um Ressourcen zu erstellen, zu lesen, zu aktualisieren und zu löschen (CRUD-Operationen).

Funktionsweise des Datenaustauschs

REST-API einrichten:

Eine REST-API wird auf dem ERP-System eingerichtet, um Endpunkte zur Verfügung zu stellen, über die Maschinen Daten senden und empfangen können. Diese API-Endpunkte sind über HTTP(S) zugänglich und folgen dem REST-Prinzip der Adressierung von Ressourcen durch eindeutige URIs.

Maschinen als REST-Clients:

Die Maschinen fungieren als REST-Clients und senden HTTP-Anfragen (z.B., POST, GET) an die REST-API des ERP-Systems. Diese Anfragen enthalten Daten über den aktuellen Zustand der Maschine, Produktionszahlen, Fehlermeldungen, Temperaturen und andere relevante Parameter.

Beispiel: Eine Maschine sendet alle 10 Sekunden ihre Temperaturdaten als HTTP-POST-Anfrage an den Endpunkt `http://erp-system/api/temperatur`.

ERP-System als REST-Server:

Das ERP-System agiert als REST-Server und stellt die notwendigen API-Endpunkte zur Verfügung, um die Daten von den Maschinen zu empfangen und zu verarbeiten.

Beispiel: Der Endpunkt `/api/temperatur` nimmt POST-Anfragen entgegen und speichert die übermittelten Temperaturdaten in der Datenbank des ERP-Systems.

Verarbeitung der HTTP-Anfragen:

Jede HTTP-Anfrage enthält die notwendigen Daten im Anfragekörper (Payload), oft im JSON-Format. Das ERP-System empfängt diese Daten, validiert sie und speichert sie in den entsprechenden Datenbanken.

Beispiel: Eine POST-Anfrage an `/api/produktion` könnte JSON-Daten enthalten wie `{ "maschine_id": "1", "produzierte_teile": 100 }`, die dann im ERP-System gespeichert werden.

Sicherheitsmechanismen:

REST-APIs nutzen standardmäßige HTTP-Sicherheitsmechanismen wie TLS/SSL für die verschlüsselte Übertragung von Daten und OAuth oder API-Schlüssel für die Authentifizierung und Autorisierung von Anfragen, um sicherzustellen, dass nur autorisierte Maschinen Daten senden und empfangen können.

Datenverarbeitung im ERP-System:

Das ERP-System verarbeitet die empfangenen Daten, aktualisiert die relevanten Datenbanken und kann basierend auf diesen Daten weitere Aktionen ausführen, wie z.B. die Anpassung von Produktionsplänen, die Generierung von Berichten oder die Auslösung von Wartungsaufträgen.

Beispiel: Nach dem Speichern der Produktionsdaten wird ein Produktionsbericht aktualisiert und dem Management zur Verfügung gestellt.

Beispiel für einen vollständigen Datenaustausch:

Eine Maschine sendet regelmäßig Produktionsdaten (z.B., Anzahl produzierter Teile) über eine HTTP-POST-Anfrage an den Endpunkt `http://erp-system/api/produktion`.
Das ERP-System empfängt die POST-Anfrage, validiert die Daten und speichert sie in der Produktionsdatenbank.
Die empfangenen Daten werden zur Überwachung der Produktionsleistung verwendet.
Wenn die Produktion unter einen bestimmten Schwellenwert fällt, generiert das ERP-System eine Benachrichtigung und sendet eine HTTP-POST-Anfrage an einen anderen Endpunkt (z.B., `http://wartungssystem/api/benachrichtigung`), der vom Wartungssystem verarbeitet wird.

Durch den Einsatz von REST können Maschinen und ERP-Systeme effizient und sicher Daten austauschen, was eine verbesserte Produktionsüberwachung, -steuerung und -optimierung ermöglicht.

5.3 Datenaustausch zwischen Edge-Connect und übergeordneten Systemen

Die in Abschnitt 5.2 beschriebene Southbound-Verbindung des OPCUA-Servers steht der Northbound-Anbindung an übergeordnete Systeme gegenüber. Forcam Edge-Connect bietet drei Optionen für die Anbindung von MES an: SAP, MES von Forcam selbst sowie beliebige Drittsysteme. Im vorliegenden Anwendungsfall ist also zweitere Option relevant. Per OPCUA kann das MES Flex mit der Forcam Edge verbunden werden.

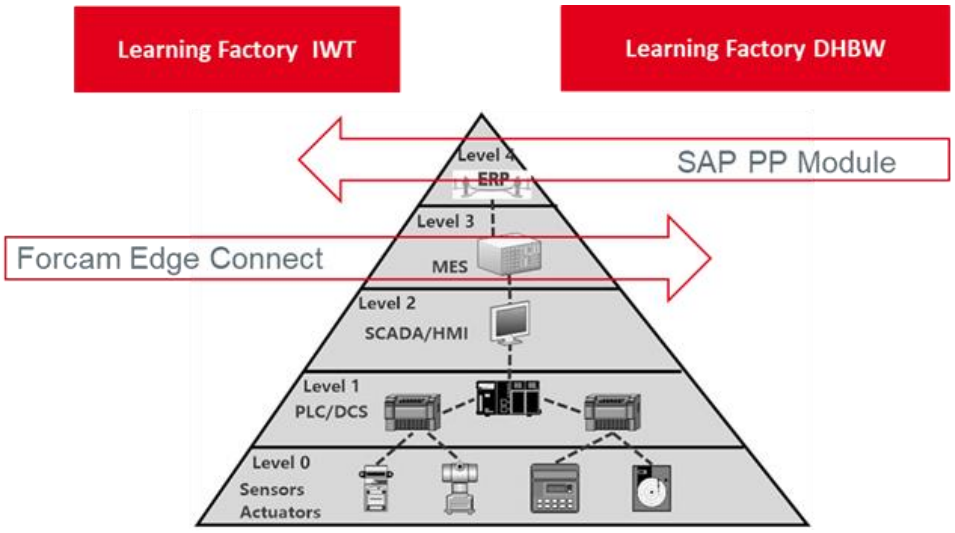


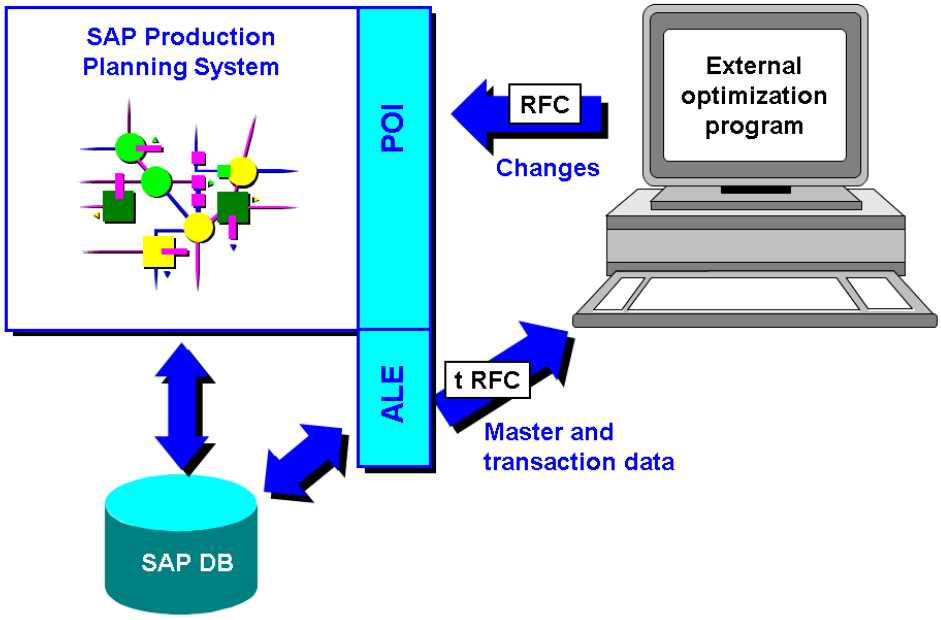
Abbildung 24 Die derzeitigen Anwendungen sind noch vertikal zu integrieren

5.4 Anbindung von MES und ERP

Im vorliegenden Anwendungsfall muss ein externes MES and das bestehende PP-Modul ERP auf Basis von S4/HANA angebunden werden. Konkret wird ein bidirektionaler Datenaustausch zwischen den beiden Teilsystem angestrebt, da andernfalls die Automatisierung von Maschinen und Anlagen sowie die Automatisierung des Berichtswesens nicht möglich ist.

Dafür kamen in der Vergangenheit im Wesentlichen drei Möglichkeiten infrage. Zum einen war der Datenaustausch mittels des sogenannten Production Optimization Interface (POI) möglich, zum anderen durch das PP-PS-Modul. Hinzu kam eine Variante über die PP-PDC-Schnittstelle. Letztere wird seit der Version S4/HANA nicht weiter unterstützt, weshalb – auch vor dem Hintergrund der gegebenen Anforderungen – lediglich die beiden erstgenannten Versionen nutzbar sind. (CWMC, 2020, Mind-Logistik 2019).

Variante 1 - POI



Kernelement des Datenaustauschs bilden die sogenannten iDocs. iDoc sind *intermediate documents*, welche die Kommunikation nicht-SAP-Systemen zu SAP-Systemen ermöglichen. Für die Verwendung des Forcam Flex ist es in Variante 1 also notwendig, iDocs verarbeiten zu können. (Force-5-11-21-Technical-Release-Notes.pdf (forcam.com)) Klassische Anwendungen für iDocs sind Stücklisten, Materialbelege oder Arbeitsanweisungen. Diese können durch die Strukturierung der Informationen im iDoc-Format zwischen SAP-Systemen und Drittsystemen ausgetauscht werden.

Variante 2 – PP/DS

Die Alternative zur Nutzung des POI stellt das Modul PP-DS dar, was für Production Planning – Detailed Scheduling steht. Im untenstehenden Diagramm ist zu erkennen, dass die Schnittstelle zwischen dem jeweiligen SAP-Modul und dem externen Drittsystem angesiedelt ist. Dabei ist die Nutzung des SAP S4/HANA Event Managers notwendig. Im Event Manager können Ereignisse definiert werden und bspw. Die Anlieferung von Rohteilen, Produktionsverzögerungen o.ä erfasst werden.

6 Fazit und Ausblick

Die Einführung eines ERP-Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee ist ein komplexes Unterfangen. Durch ein strukturiertes Vorgehen im Projekt konnte erreicht werden, dass alle relevanten Stammdaten den prozessualen Bedingungen entsprechend angelegt sind. Die Nutzung des ERP-Systems für die Materialwirtschaft der produzierenden Anlage ist bereits möglich.

In Zukunft werden mit der Implementierung eines MES in der Zukunftsfabrik Bodensee wesentliche Funktionalitäten hinzukommen. Dazu zählt insbesondere die elektronische Ansteuerung von Maschinen und Anlagen der Produktionsstätte über die Forcam Edge.
Dafür müssen die technischen Rahmenbedingungen hinsichtlich Hardware und Software geschaffen werden.

7 Literaturverzeichnis

Autor/ Institution	Quelle
Forcam GmbH	https://forcam.com/blog/maschinen-digitalisieren-mit-force-edge-connect/ https://forcam.com/force-edge-connect/ https://forcam.com/blog/konnektivitaet-40/#features
Böhme und Weihs Systemtechnik GmbH	https://www.boehme-weihs.de/de/q-blog/trends/maschinenanbindung-bei-der-implementierung-eines-mes-ein-oft-unterschaetztes-thema/
CWMC – Christian Wild Management Consultants UG	https://www.cwmc.best/mes-implementierung Anbindung Externes MES in SAP HANA (cwmc.best)
Inray Industriesoftware GmbH	https://www.kepware-opcserver.de/was-ist-opc-ua/#:~:text=OPC%20UA%20steht%20f%C3%BCr,einem%20einheitlichen%20Format%20bereitstellen%20k%C3%B6nnen.
Schleipen et al.	publ_2011_schleipen_at.pdf (kit.edu)
Siemens AG	https://support.industry.siemens.com/cs/document/109743832/einsatz-eines-cp-443-1-opc-ua-als-gateway-zur-mes-oder-erp?dti=0&lc=de-DE
Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung	Interne Unterlagen
Christian Leyh	Erfolgsfaktoren bei der Einführung von ERP-Systemen in klein- und mittelständischen Unternehmen und deren Implikationen für die Hochschullehre, 2014 https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-163181
Mindlogistik mindsquare AG	Betriebsdatenerfassung unter S/4HANA - PP-PDC, POI | Mindlogistik (mind-logistik.de)
ANT-Solutions	Wie integriert man MES in ein ERP-System (SAP, Oracle, JDE, LN)? - Blog - ANT-Lösungen (antsolutions.eu)
SAP Help Portal	PP/DS Optimization | SAP Help Portal Production Optimization Interface (POI) | SAP Help Portal
Ternes, Sigrid (Forcam GmbH)	Force-5-11-21-Technical-Release-Notes.pdf (forcam.com)
Miguel Figueiredo, Apress	Administration of SAP HANA Cloud | SpringerLink
SAP UCC Magdeburg	Einführung in SAP S/4 HANA
Grasedyck, Lippke, Oelfin, 2022	Successfully Managing S/4 HANA Projects

Kenntlichmachung der Nutzung von KI-basierten Werkzeugen

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
ChatGPt 4 turbo	• Hilfsmittel zur Definition von typischen Zielen bei der Einführung eines ERP-Systems • Hilfsmittel zum Verständnis der Grundbegriffe und Funktionsweisen von SAP S4 HANA sowie des Konzepts „MRP-Lauf“ (Kapitel 4) • Grundlegende Ideenfindung für die Anwendung von SAP in der Lehre (Kapitel 3) • Hilfestellung zum Verständnis der Funktionsweisen von Kommunikationsstandards (Kapitel 5)