Internal





MES-Rollout

STUDIENARBEIT T3200

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

vorgelegt am 14. Juli 2025
bearbeitet vom 07.April bis 30. Juni 2025

Fakultät:	Technik
Studiengang:	Elektrotechnik/Automation
Studiengang:	TEA22
Betreuer:	Edvin Hamzic
Hochschule:	DHBW Ravensburg

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

INHALTSVERZEICHNIS I
DANKSAGUNG III
ERKLÄRUNG DER EIGENLEISTUNGEN IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS V
ZUSAMMENFASSUNG VI
ABSTRACT VII
1. EINLEITUNG 1
2. RÜCKBLICK AUF STUDIENARBEIT I (T3100) 3
2.1. HINTERGRUND UND MOTIVATION 3
2.2. ZIELSETZUNG UND VORGEHEN 3
2.3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN 4
2.4. IST-ANALYSE DER PRODUKTIONSPROZESSE 5
2.5. ANFORDERUNGEN AN DAS MES 5
2.6. AUSBLICK AUF DIE UMSETZUNG 6
2.7. BEDEUTUNG DER ARBEIT 6
2.8. LESSONS LEARNED 7
3. PROJEKTVERLAUF SEIT T3100 8
4. DATENMANAGEMENT & DATA LAKE IN DER ZUKUNFTSFABRIK 9
4.1. GRUNDLAGEN DES DATA-LAKE-KONZEPTS 9
4.2. EINORDUNG UND MOTIVATION 12
4.3. TECHNISCHE INFRASTRUKTUR UND SYSTEMAUFBAU 13
4.4. SYSTEMATISCHE ERHEBUNG DER DATENBEDARFE 13
4.5. ERGEBNISSE DER DATENERHEBUNG 14
4.6. HERAUSFORDERUNGEN UND OFFENER STAND 15
4.7. BEDEUTUNG FÜR DIE ZUKUNFTSFABRIK 15

5. SCHULUNG: FORCAM FORCE BASIC ADMIN 17
5.1. ZIELSETZUNG UND ZIELGRUPPE DER SCHULUNG 17
5.2. INHALTE DER SCHULUNG (MODULWEISE) 18
5.2.1. TECHNISCHE ARCHITEKTUR VON FORCAM FORCE 18
5.2.2. DATENARCHITEKTUR: DOMAIN CACHE VS. INTERPRETATION CACHE 20
5.2.3. RULE ENGINE UND DECISION TABLES 21
5.2.4. MASTER DATA & WORKPLACE-KONFIGURATION 22
5.2.5. SHOP FLOOR TERMINAL (SFT) 23
5.2.6. REPORTING & VISUALISIERUNG (DASHBOARDS, KPIS) 25
5.2.7. SCHNITTSTELLEN ZU ERP/SAP 25
5.2.8. REALTIME-PROZESSE, MONITORING, TIMELINE TABLES 26
5.2.9. ÜBUNGEN & USE CASES AUS DER PRAXIS 26
5.3. BEWERTUNG UND EINORDNUNG 27
6. FAZIT & AUSBLICK 28
LITERATURVERZEICHNIS VII
ANHANG IX
ÜBERSICHT ÜBER DIE NUTZUNG VON KI-BASIERTEN WERKZEUGEN IX

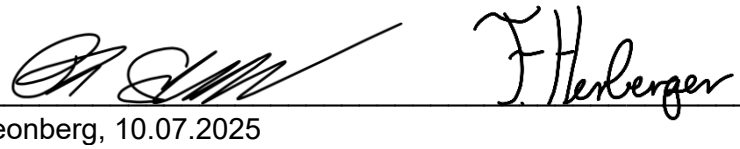
Danksagung

Wir möchten uns herzlich bei Herr Hamzic für die Unterstützung und die Betreuung während des gesamten Projektverlaufs bedanken. Seine Impulse und Rückmeldungen haben wesentlich zum Gelingen dieser Studienarbeit beigetragen.

Erklärung der Eigenleistungen

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

Ich versichere hiermit, dass ich meine Hausarbeit mit dem Thema: „MES-Rollout“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.



Leonberg, 10.07.2025

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Digitalisierungspyramide **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildung 2: Architektur eines Data Lakes mit Datenquellen, Verarbeitungsschicht und Anwendungszielen. Quelle: Nitendratech.com/bigdata/learn-datalake/, abgerufen am 10.07.2025. 10

Abbildung 3:Digitale Produktionspyramide mit Einordnung von FORCAM FORCE als MES zwischen ERP-Systemen und Steuerungsebene, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“ 20

Abbildung 4: Überblick über die Cache-Technologie in FORCAM FORCE mit Unterscheidung zwischen DomainCache und InterpretationCache, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“ 21

Abbildung 5: Phasen- und Statuslogik in FORCAM FORCE – Zusammenspiel von Operation Phase, Schichtstatus und Maschinenstatus zur Ableitung des Betriebszustands über eine Decision Table, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“ 22

Abbildung 6: Benutzeroberfläche zur Anlage eines Arbeitsplatzes in FORCAM FORCE mit hervorgehobenen Pflichtfeldern , Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“ 23

Abbildung 7: Ablaufmodell der Operation Phases in FORCAM FORCE mit Zustandsübergängen zwischen Released, Setting up, In Progress, Partially processed und Finished. Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“ 24

Abbildung 8: Berichtsansicht „Quantity Status Diagram (Workplace)“ in FORCAM FORCE zur Visualisierung der Produktionsmengen in einem ausgewählten Zeitraum, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“ 25

Zusammenfassung

Die vorliegende Studienarbeit beschäftigt sich mit dem fortgeführten Projekt zur Einführung eines Manufacturing Execution Systems in der Zukunftsfabrik Bodensee. Sie baut auf den Ergebnissen der ersten Studienarbeit auf, in der eine detaillierte Anforderungsanalyse durchgeführt wurde, und konzentriert sich auf die praktische Begleitung des Systemeinführungsprozesses, die Dokumentation der administrativen Schulung sowie auf die konzeptionelle Planung eines zentralen Data-Lake-Systems zur langfristigen Speicherung von Produktionsdaten.

Trotz erheblicher Verzögerungen im Projektverlauf, bedingt durch Lieferengpässe bei Hardwarekomponenten und die damit einhergehende Verzögerung beim Aufbau der Infrastruktur, konnten zentrale Erkenntnisse erarbeitet und dokumentiert werden. Die im Sommersemester durchgeführte Schulung zum FORCAM FORCE Basic Admin vermittelte vertiefte Kenntnisse zur Architektur und zur Konfiguration des Systems. Diese Inhalte wurden strukturiert aufgearbeitet und als technische Wissensbasis für zukünftige Studierendengruppen nutzbar gemacht.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Studienarbeit war die Vorbereitung des Aufbaus eines Data Lakes, der künftig als zentrale Speicherlösung für alle relevanten Produktionsdaten dienen soll. In Gesprächen mit allen beteiligten Projektgruppen wurde systematisch erfasst, welche Daten im laufenden Betrieb anfallen, in welchem Format sie vorliegen und welche Daten langfristig gespeichert und analysiert werden sollen. Daraus wurde ein tragfähiges Konzept für die zukünftige Datenspeicherung entwickelt, das sowohl technische Grundlagen als auch inhaltliche Anforderungen berücksichtigt.

Insgesamt leistet diese Studienarbeit einen wichtigen Beitrag zur weiteren Digitalisierung der Zukunftsfabrik Bodensee. Sie dokumentiert nicht nur den aktuellen Projektstand, sondern stellt auch eine fundierte Arbeitsgrundlage für zukünftige Projektphasen dar. Durch die enge Verzahnung von technischer Systemintegration, schulischer Wissensvermittlung und datengetriebener Analyse schafft sie eine solide Basis für den langfristigen Aufbau einer modernen, lernfähigen und wissenschaftlich nutzbaren Modellfabrik.

Abstract

This study documents the progress of a project focused on implementing a Manufacturing Execution System (MES) in the "Zukunftsfabrik Bodensee", a model factory at DHBW Ravensburg. Building on the results of a previous study, which provided a comprehensive requirements analysis, the current work concentrates on tracking the implementation process, documenting a foundational system training, and designing a data lake for long-term data storage.

Due to significant project delays, caused primarily by hardware delivery issues and a lack of available infrastructure, direct involvement in the system setup was limited. However, valuable insights were gained through the analysis of training materials from the FORCAM FORCE Basic Admin course. These materials were systematically processed and now serve as a structured reference for future student groups involved in the MES rollout.

Another core focus of this study was the development of a concept for a data lake that will serve as a centralized storage environment for all relevant production data. Through direct engagement with project groups responsible for various production steps, key data sources and requirements were identified. These findings were consolidated into a framework designed to support efficient data collection, storage, and future analysis in the model factory.

Overall, the study contributes to the digital advancement of the Zukunftsfabrik by combining theoretical insights with practical documentation. It creates a solid foundation for further project stages, enhances transparency, and promotes data-driven learning and innovation in an academic-industrial environment.

1. Einleitung

Die Zukunftsfabrik Bodensee verfolgt das Ziel, eine digitalisierte Modellumgebung für moderne Produktionsprozesse zu schaffen, in der sowohl technologische Innovationen als auch didaktische Konzepte praktisch erprobt werden können. Im Zentrum steht die Integration eines Manufacturing Execution Systems (MES), das Transparenz, Rückverfolgbarkeit und Effizienz in der Fertigung erhöhen soll. Die Zukunftsfabrik dient hierbei nicht nur als Demonstrationsplattform für Industrie-4.0-Technologien, sondern auch als Lern- und Forschungsumgebung für Studierende der DHBW.

Die erste Studienarbeit im Rahmen des Projekts legte im Winter 2024 den Grundstein für diese digitale Transformation. Im Fokus standen die detaillierte Analyse der bestehenden Produktionsprozesse, die Modellierung mit BPMN sowie die Ableitung konkreter Anforderungen an das zu implementierende MES-System FORCAM FORCE. Diese fundierte Vorarbeit bildete die notwendige Voraussetzung für die nun folgende Phase der technischen Umsetzung.

Die vorliegende Studienarbeit II knüpft direkt an die Ergebnisse der ersten Projektphase an. Ziel war es, den weiteren Projektverlauf zu dokumentieren, zentrale Fortschritte kritisch zu reflektieren und ausgewählte Teilaspekte im Detail aufzubereiten. Im Mittelpunkt standen dabei vor allem zwei Themen: die Teilnahme bzw. Nachbereitung der durch die Firma Forcam angebotenen Schulung zum FORCAM FORCE Basic Admin sowie die Konzeption eines zentralen Data Lakes zur Speicherung und späteren Auswertung produktionsrelevanter Daten. Beide Bereiche sind zentrale Bausteine auf dem Weg zu einer funktionierenden und datengetriebenen Smart Factory.

Im Rahmen der Projektbearbeitung übernahmen wir als Projektteam die eigenverantwortliche Dokumentation und inhaltliche Aufarbeitung dieser beiden Themenfelder. Andere technische Aufgaben wie die Installation des MES, die Netzwerkinfrastruktur oder die finale Systemkonfiguration lagen außerhalb unseres Bearbeitungsumfangs und wurden entweder durch andere Gruppen oder durch das

IWT betreut.

Die Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. Nach einem Rückblick auf die Inhalte der ersten Studienarbeit folgt eine Darstellung des bisherigen Projektverlaufs seit Dezember 2024. Das vierte Kapitel widmet sich der Schulung durch die Firma Forcam und dokumentiert deren Inhalte sowie deren Relevanz für die praktische Arbeit mit FORCAM FORCE.
Das fünfte Kapitel befasst sich mit der Idee und Konzeption eines Data Lakes als zukunftsweisendes Instrument zur strukturierten Datenspeicherung und -analyse. Hierbei wird sowohl auf technische Grundlagen als auch auf die konkrete Umsetzung in der Zukunftsfabrik eingegangen. Den Abschluss der Arbeit bildet ein Fazit mit Ausblicken auf zukünftige Weiterentwicklungen und mögliche Themen für nachfolgende Projektphasen oder Abschlussarbeiten.

2. Rückblick auf Studienarbeit I (T3100)

Die erste Studienarbeit mit dem Titel "Anforderungsanalyse zur Implementierung eines MES in der Zukunftsfabrik Bodensee" legte den Grundstein für die digitale Transformation der Modellfabrik der DHBW Ravensburg und des Instituts für Weiterbildung, Wissens- und Technologietransfer (IWT). Ziel war es, die bestehenden Produktionsprozesse zu analysieren und daraus eine strukturierte Anforderungsbasis für die Einführung eines Manufacturing Execution Systems (MES) zu schaffen. Der Fokus lag dabei auf der konkreten Vorbereitung der Implementierung des Systems FORCAM FORCE MES FLEX.

2.1. Hintergrund und Motivation

Die Zukunftsfabrik Bodensee verfolgt das Ziel, moderne Fertigungstechnologien praxisnah abzubilden. Sie ist nicht auf eine effektive Massenproduktion, sondern auf die Generierung, Analyse und Nutzung von Produktionsdaten fokussiert. Im konkreten Anwendungsfall werden Gehäuse für Raspberry Pi in zwei verteilten Fertigungsschritten produziert. Während an der DHBW die Grundmontage erfolgt, wird am IWT die Endmontage und Qualitätsprüfung durchgeführt.

Die physische Trennung der beiden Produktionsstandorte erfordert eine durchgängige digitale Prozessintegration. Die Einführung eines MES war daher ein logischer Schritt, um Transparenz, Rückverfolgbarkeit und eine effektive Steuerung der Produktion zu gewährleisten. Insbesondere sollten durch ein MES zukünftig Kennzahlen erhoben, Störungen dokumentiert sowie Material- und Auftragsflüsse automatisiert verwaltet werden.

2.2. Zielsetzung und Vorgehen

Kernziel der Studienarbeit war es, eine fundierte Anforderungsanalyse zur MES-Implementierung zu erstellen. Dazu wurde ein strukturierter Workshop mit der Firma Forcam durchgeführt, in dem Produktionsprozesse aufgenommen, analysiert und modelliert wurden. Die Ergebnisse dienten als Basis für die Spezifikation funktionaler,

technischer und organisatorischer Anforderungen.
Die Arbeit gliederte sich in mehrere Phasen, beginnend mit der theoretischen Aufarbeitung zentraler Begriffe wie MES, ERP und BPMN, gefolgt von der Analyse der bestehenden Produktionsprozesse im Ist-Zustand.
Anschließend wurden diese Prozesse mithilfe von BPMN-Diagrammen modelliert. Darauf aufbauend erfolgte die Ableitung und Strukturierung der Anforderungen sowie abschließend die Formulierung eines Ausblicks zur Einführung des Systems.

2.3. Theoretische Grundlagen

Ein zentrales Element der Studienarbeit war die Abgrenzung des MES vom ERP-System. Dabei wurde das MES als operative Steuerungsschicht zwischen der Fertigung und der unternehmerischen Planungsebene definiert.
Zur Veranschaulichung diente die sogenannte Digitalisierungspyramide, welche die hierarchische Systemarchitektur von den physischen Assets über PLC und EDGE CONNECT bis hin zum MES und ERP darstellt. Zur Prozessmodellierung wurde die Methode Business Process Model and Notation eingesetzt.
Diese standardisierte Notation erlaubte es, selbst komplexe Abläufe strukturiert und nachvollziehbar darzustellen und war somit ein hilfreiches Werkzeug zur Analyse und Dokumentation der Produktionsprozesse in der Zukunftsfabrik. (vgl. Herberger und Schuler, 2024)

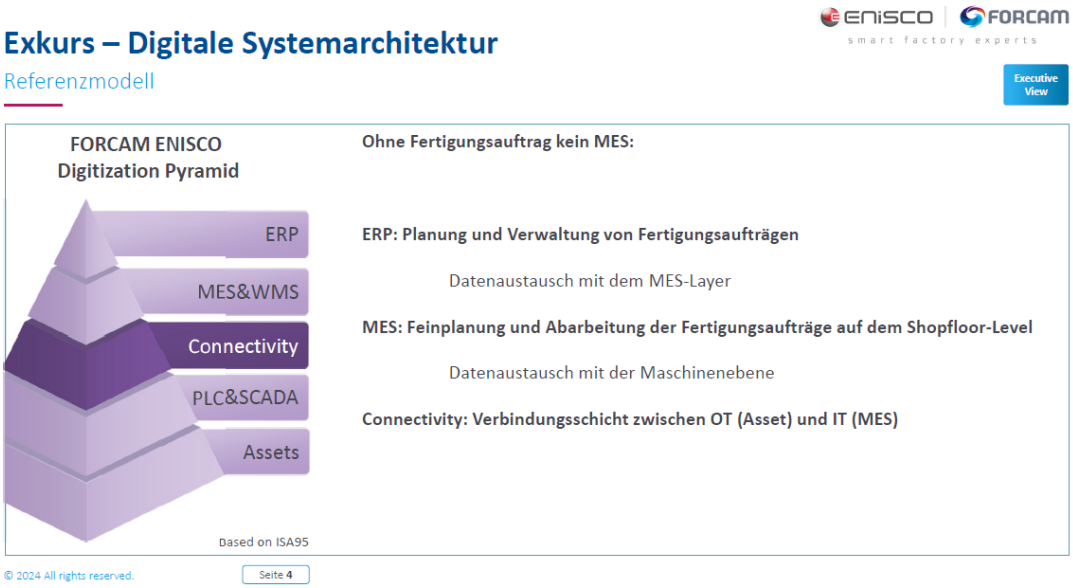


Abbildung 1: Digitalisierungspyramide

2.4. Ist-Analyse der Produktionsprozesse

Ein wesentlicher Bestandteil der Studienarbeit war die detaillierte Analyse der realen Produktionsabläufe in der Zukunftsfabrik. Hierzu wurde ein Workshop in Zusammenarbeit mit der Firma Forcam organisiert, der mit einem sogenannten Gemba Walk durch die beiden Standorte begann. Ziel war es, die bestehenden Prozesse vor Ort zu erfassen und ein tiefes Verständnis für die einzelnen Fertigungsschritte zu gewinnen.

In diesem Zusammenhang wurden sämtliche relevanten Arbeitsschritte identifiziert und dokumentiert. Die daraus resultierende Prozesskette umfasste die fünf zentralen Fertigungsschritte: Belt Feeding, Bin Picking, Assembling, End-of-Line Testing und Robotic Loading.

Für jeden dieser Schritte wurde ein entsprechendes BPMN-Diagramm erstellt, das die Aktivitäten, Ereignisse und Entscheidungspunkte detailliert abbildete. Darüber hinaus wurden auch die wesentlichen Schnittstellen erfasst, an denen in Zukunft relevante Produktionsdaten erfasst werden sollen, wie beispielsweise Montagezähler, Statuswechsel und Benutzerinteraktionen.

2.5. Anforderungen an das MES

Aus der Analyse der Produktionsprozesse wurden umfassende Anforderungen an das zukünftige MES-System abgeleitet. Diese Anforderungen wurden in funktionale, technische und organisatorische Kategorien unterteilt. Funktional wurde unter anderem die Notwendigkeit betont, eine effektive Auftragsverwaltung und Feinplanung zu ermöglichen, die Rückverfolgbarkeit von Bauteilen sicherzustellen sowie Betriebszustände wie OEE und Störungen transparent zu überwachen. Ebenso wurde die Integration eines Werkerassistenzsystems als zentrale Funktion identifiziert.

Auf technischer Ebene waren insbesondere die Anbindung an Siemens S7-Steuerungen und die Nutzung von MQTT für die Kommunikation hervorzuheben.

Auch der Aufbau einer Infrastruktur zur Nutzung von EDGE CONNECT sowie die Implementierung standardisierter Schnittstellen wie REST oder OPC-UA wurden als notwendig erachtet.
Organisatorisch wurde die Etablierung eines Rollen- und Rechtemanagements, ein Schulungskonzept für verschiedene Zielgruppen sowie die Integration des Systems in die bestehende IT-Infrastruktur von DHBW und IWT thematisiert. Alle Anforderungen wurden so formuliert, dass sie sowohl umsetzbar als auch zukunftsfähig sind. (vgl. Herberger und Schuler, 2024)

2.6. Ausblick auf die Umsetzung

Im abschließenden Kapitel der ersten Studienarbeit wurde ein konkreter Ausblick auf die bevorstehende Implementierungsphase gegeben. Vorgesehen war der schrittweise Aufbau der notwendigen Netzwerk- und Serverinfrastruktur, gefolgt von der Pilotierung einzelner Produktionsprozesse innerhalb des MES-Systems.
Darüber hinaus sollte eine gezielte Schulung von Key-Usern und Administratoren erfolgen, um die Akzeptanz und Handhabbarkeit des Systems sicherzustellen. Ein weiterer zentraler Aspekt war die Planung zur Integration der durch das MES erfassten Daten in einen zukünftigen Data Lake.
Auf diese Weise sollte eine langfristige Speicherung und Analyse großer Datenmengen ermöglicht werden. Auch weiterführende Ideen wie die Anbindung eines Webshops zur Auftragserfassung sowie die spätere Integration eines ERP-Systems wurden als mögliche Erweiterungen ins Auge gefasst.

2.7. Bedeutung der Arbeit

Die erste Studienarbeit stellte einen grundlegenden Meilenstein für die digitale Weiterentwicklung der Zukunftsfabrik Bodensee dar. Sie ermöglichte nicht nur eine strukturierte Auseinandersetzung mit den Anforderungen und Potenzialen eines MES, sondern bildete auch die Kommunikationsgrundlage für die Zusammenarbeit mit externen Partnern wie Forcam.
Die klar formulierten Anforderungen und die transparente Dokumentation der Analyse- und Modellierungsergebnisse erleichterten die Überführung in die

Umsetzungsphase erheblich. Gleichzeitig wurde mit der Arbeit ein solides Fundament für die nachfolgenden Projektphasen gelegt, in denen es nun darum geht, das System technisch zu integrieren, zu testen und in den produktiven Betrieb zu überführen.
Die vorliegende Studienarbeit II setzt genau an diesem Punkt an und dokumentiert die Fortschritte und Erkenntnisse, die sich im weiteren Projektverlauf ergeben haben.

2.8. Lessons Learned

Im Verlauf der ersten Studienarbeit wurden zahlreiche wertvolle Erkenntnisse gewonnen, die nicht nur für die konkrete MES-Implementierung, sondern auch für zukünftige Digitalisierungsprojekte von Bedeutung sind. Besonders deutlich wurde, wie wichtig eine strukturierte Prozessaufnahme und ein einheitliches Begriffsverständnis im Projektteam sind, um Missverständnisse und spätere Fehlentwicklungen zu vermeiden.
Auch die frühe Einbindung externer Partner wie Forcam erwies sich als entscheidend, da sie nicht nur technisches Fachwissen, sondern auch praxiserprobte Methoden in das Projekt einbrachten. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Modellierung mit BPMN nicht nur der Dokumentation dient, sondern auch die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Stakeholdern wesentlich erleichtert.
Ein weiterer zentraler Lerneffekt war, dass die Komplexität der Systemarchitektur frühzeitig adressiert werden muss, insbesondere im Hinblick auf Schnittstellen, Datenflüsse und spätere Erweiterbarkeit. Schließlich wurde klar, dass technische Voraussetzungen wie Infrastruktur, Netzwerkverfügbarkeit und IT-Security nicht als Randthemen, sondern als integrale Bestandteile des Projekterfolgs betrachtet werden müssen. Diese Erkenntnisse fließen direkt in die aktuelle Phase der Umsetzung und die vorliegende Studienarbeit II ein.

3. Projektverlauf seit T3100

Nach Abschluss der ersten Studienarbeit im Dezember 2024 ging das Projekt in eine neue Phase über, die im Zeichen der praktischen Umsetzung der zuvor analysierten Anforderungen stand. Der ursprüngliche Plan sah vor, dass ab Jahresbeginn 2025 die Infrastrukturmaßnahmen zur technischen Vorbereitung der MES-Implementierung beginnen und bis spätestens April abgeschlossen sein sollten.
Auf dieser Basis sollte im Anschluss die konkrete Einrichtung des MES erfolgen.
In der Realität zeigte sich jedoch schnell, dass dieser Zeitplan nicht einzuhalten war.

Bereits zu Beginn des Jahres wurde deutlich, dass sich die Lieferung zentraler Hardwarekomponenten verzögerte. Die Ursachen lagen hauptsächlich in langen Lieferzeiten. Dadurch konnte mit dem Aufbau der Netzwerk- und Serverinfrastruktur nicht wie geplant begonnen werden.

Der Projektzeitraum war dennoch von regelmäßigen Abstimmungen begleitet. Jeden Dienstag fand ein fester Regeltermin statt, in dem über den aktuellen Stand des Projekts berichtet wurde. Trotz der formalen Struktur dieser Treffen blieben Fortschritte inhaltlich weitgehend aus, da es keine neuen technischen Entwicklungen gab, über die berichtet werden konnte. Entsprechend beschränkte sich unsere Rolle in diesen Sitzungen auf das passive Verfolgen der Projektverzögerungen. Ein aktives Mitwirken an technischen Aufgaben, Testläufen oder der Nutzung eines MES-Testsystems war in diesem Zeitraum nicht möglich, da wir keinen Zugriff auf die Systeme hatten und sich das Projekt im Wesentlichen in einem Wartezustand befand.

Erst gegen Ende des Sommersemesters, Mitte Juni 2025, erfolgte schließlich die Installation des MES auf dem vorgesehenen Server. Parallel dazu wurde durch die Firma Forcam eine Schulung angeboten. Zum aktuellen Zeitpunkt ist das MES technisch aufgesetzt, jedoch noch nicht vollständig konfiguriert. Die eigentliche Systemeinrichtung, inklusive der Konfiguration von Benutzerrollen, Prozesslogiken und Datenflüssen, steht noch aus. Die Weiterarbeit und finale Inbetriebnahme des Systems durch die nachfolgende Studierendengruppe übernommen.

4. Datenmanagement & Data Lake in der Zukunftsfabrik

4.1. Grundlagen des Data-Lake-Konzepts

Die fortschreitende Digitalisierung industrieller Produktionsprozesse führt zu einer zunehmenden Menge an entstehenden Daten, die sowohl in ihrer Struktur als auch in ihrer Entstehungsgeschwindigkeit sehr unterschiedlich sein können. In modernen Fertigungsumgebungen wie der Zukunftsfabrik Bodensee fallen Daten in nahezu allen Prozessschritten an – von Maschinensteuerungen über Sensoren bis hin zu Logistik- und Qualitätsinformationen. Um diese heterogenen Datenmengen langfristig nutzbar zu machen, wird zunehmend auf das Konzept des Data Lakes zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um ein datenbankunabhängiges Speicherkonzept, das auf Flexibilität, Skalierbarkeit und Interoperabilität ausgelegt ist. Ziel eines Data Lakes ist es, strukturierte, semi-strukturierte und unstrukturierte Daten in ihrer Rohform zentral zu speichern und sie für nachgelagerte Analysen verfügbar zu halten. (vgl. Google Learn, 2025)

Der Begriff „Data Lake“ wurde erstmals im Jahr 2010 von James Dixon, dem damaligen CTO des Unternehmens Pentaho, eingeführt. Dixon verwendete dabei die Metapher eines Sees, in dem alle Daten in ihrer ursprünglichen Form gesammelt werden – im Gegensatz zu einem Data Warehouse, das eher einem gefilterten, kanalisierten Wassersystem gleicht, in dem nur ausgewählte und aufbereitete Daten gespeichert werden. Ein Data Lake verfolgt somit ein „Schema-on-Read“-Paradigma: Die Strukturierung der Daten erfolgt erst zum Zeitpunkt der Analyse und nicht bereits beim Speichern. Dies ermöglicht eine hohe Flexibilität, da auch Daten mit zunächst unklarem Verwendungszweck abgelegt und zu einem späteren Zeitpunkt in neuen Kontexten genutzt werden können. (vgl. Nitendratech, 2024)

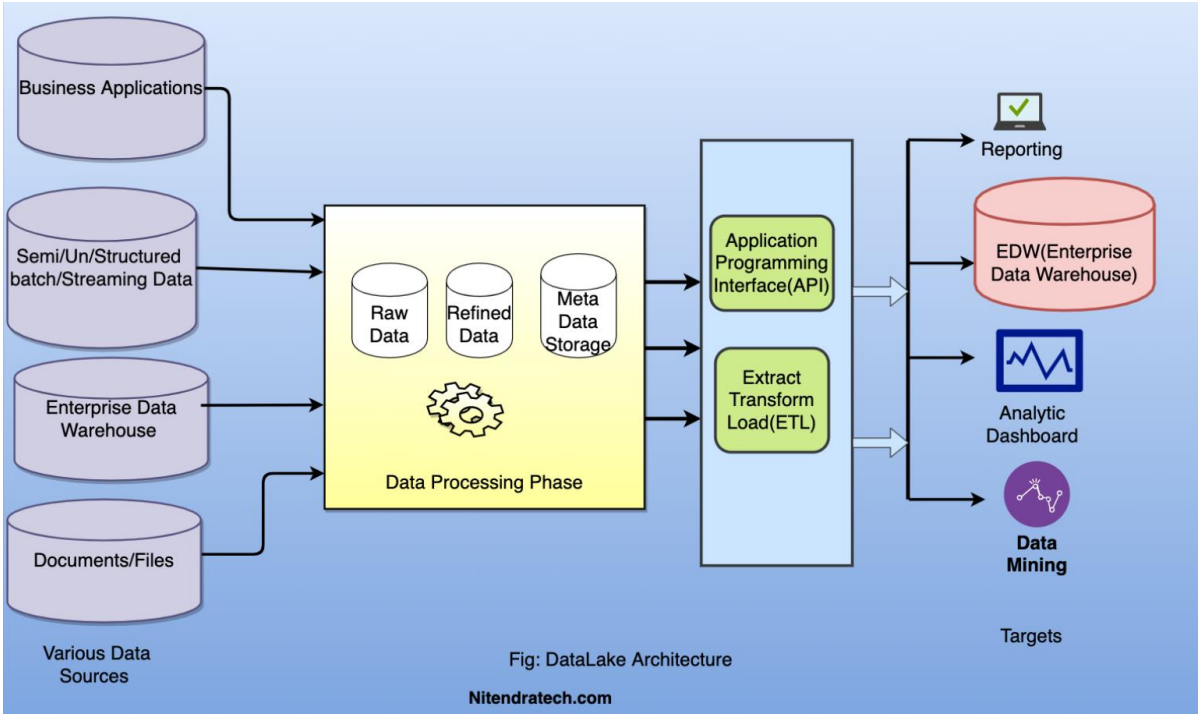


Abbildung 2: Architektur eines Data Lakes mit Datenquellen, Verarbeitungsschicht und Anwendungszielen. Quelle: Nitendratech.com/bigdata/learn-datalake/, abgerufen am 10.07.2025.

Technisch gesehen basiert ein Data Lake in der Regel auf einer skalierbaren Speicherinfrastruktur, häufig in Kombination mit verteilten Dateisystemen wie dem Hadoop Distributed File System (HDFS) oder modernen Cloud-Speicherlösungen wie Amazon S3 oder Azure Data Lake Storage. In lokalen oder kleineren Szenarien, wie sie in der Zukunftsfabrik Anwendung finden, kann jedoch auch eine klassische Filesystemstruktur auf einem Linux-Server als Grundlage dienen. Entscheidend ist hierbei die Fähigkeit, große Datenmengen effizient abzulegen, zu versionieren und im Bedarfsfall in strukturierte Analyseprozesse zu überführen. (vgl. AWS, 2020)

Ein wesentlicher Vorteil des Data-Lake-Ansatzes besteht in seiner Fähigkeit, Daten aus unterschiedlichsten Quellen zusammenzuführen, ohne diese zuvor in ein einheitliches Datenmodell überführen zu müssen. Dadurch können etwa Maschinendaten aus speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS), Sensorwerte, Log-Files, Ereignisdaten aus Shopfloor-Terminals oder manuell erhobene Prozessdaten gemeinsam gespeichert werden. Die Heterogenität der Daten wird nicht als Hindernis, sondern als Normalzustand verstanden. Erst beim Auslesen und Analysieren der Daten erfolgt eine gezielte Transformation, Aggregation oder Strukturierung. Dieser Ansatz unterscheidet sich grundlegend vom Data Warehouse,

das ein vorab definiertes Datenmodell und eine aufwendig gestaltete ETL-Strecke (Extract, Transform, Load) erfordert. (vgl. 7wData, 2017)

Im industriellen Kontext ergeben sich durch die Nutzung von Data Lakes vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. So können über längere Zeiträume hinweg Produktionsdaten gesammelt und zur Entwicklung von Kennzahlen (Key Performance Indicators, KPIs) herangezogen werden. Ebenso lassen sich Qualitätsprobleme retrospektiv analysieren, indem historische Prozesswerte mit konkreten Fehlerbildern in Beziehung gesetzt werden. Darüber hinaus bildet ein Data Lake die notwendige Grundlage für moderne Analyseverfahren wie Predictive Maintenance, Machine Learning oder Prozesssimulationen. Voraussetzung für diese Anwendungsfälle ist allerdings ein gezieltes Datenmanagement, das die gespeicherten Rohdaten über sogenannte Metadaten beschreibt und kategorisiert. Ohne diese semantische Kontextualisierung bleibt ein Data Lake ein bloßer Datenspeicher ohne Mehrwert. (vgl. Docs, 2022)

Ein weiterer wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit Data Lakes ist das sogenannte Data Governance. Hierunter versteht man die Gesamtheit aller Prozesse, Rollen und Richtlinien, die sicherstellen, dass die im Data Lake abgelegten Daten korrekt, konsistent, sicher und nachvollziehbar sind. Dies betrifft beispielsweise Zugriffsrechte, Datenschutzfragen, Datenqualität sowie die Nachverfolgbarkeit von Änderungen und Zugriffen. Besonders in sensiblen industriellen Anwendungen ist ein sauber durchdachtes Governance-Modell unverzichtbar, um regulatorischen Anforderungen gerecht zu werden und Vertrauen in die Datenbasis zu schaffen. (vgl. Rebecca Eichler, 2021)

Auch aus didaktischer Sicht bietet das Konzept eines Data Lakes interessante Perspektiven. In einer Lernumgebung wie der Zukunftsfabrik können Studierende reale Produktionsdaten in ihrer Rohform erleben, verstehen und analysieren. Sie lernen dabei, mit unstrukturierten Daten umzugehen, diese zu explorieren, zu transformieren und schließlich für eigene Fragestellungen nutzbar zu machen. Der Data Lake fungiert somit nicht nur als technologisches Element einer digitalen Produktion, sondern auch als pädagogisches Werkzeug zur Vermittlung moderner

Datenkompetenz. (vgl. Naseem, 2024)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Data Lake eine hochgradig flexible und zukunftsfähige Lösung zur Speicherung und Verarbeitung von Produktionsdaten darstellt. Seine Stärke liegt insbesondere in der Fähigkeit, große, vielfältige und noch unstrukturierte Datenmengen aufzunehmen und für unterschiedliche Zwecke verfügbar zu machen. Gerade im Kontext einer industriellen Lernfabrik wie der Zukunftsfabrik Bodensee bietet dieses Konzept die Möglichkeit, Daten als zentrales Element von Innovation, Qualität und Lernen zu verankern. (vgl. altlan, 2023)

4.2. Einordung und Motivation

Im Rahmen der weiteren Digitalisierung der Zukunftsfabrik Bodensee wurde frühzeitig erkannt, dass es nicht ausreicht, Produktionsprozesse lediglich zu steuern und zu überwachen. Vielmehr müssen die entstehenden Daten dauerhaft gesichert, strukturiert abgelegt und für spätere Analysen verfügbar gemacht werden. Der klassische Ansatz einer isolierten Datennutzung je Arbeitsstation wurde damit konsequent erweitert. Es wurde das Ziel formuliert, eine zentrale Dateninfrastruktur in Form eines sogenannten Data Lakes aufzubauen. Ein Data Lake ist ein Speichersystem, das große Mengen an heterogenen, oft noch unstrukturierten Daten in ihrer Rohform aufnimmt (vgl. Oracle, 2025). Diese Datenbasis kann dann im Nachgang für vielfältige Zwecke verwendet werden. Dazu zählen beispielsweise Prozessanalysen, Qualitätsüberwachung sowie Optimierungs- und Lernzwecke. (vgl. Grunert, 2024)

Für die Zukunftsfabrik bedeutet dies einen entscheidenden Schritt hin zu einer datengetriebenen Modellproduktion. Die Überlegung, einen Data Lake aufzusetzen, war dabei nicht nur technischer Natur, sondern resultierte aus dem klaren Bedarf, die entstehenden Datenströme nachhaltig nutzbar zu machen. Dies betrifft sowohl den kurzfristigen operativen Nutzen als auch die langfristige Forschung und Lehre.

4.3. Technische Infrastruktur und Systemaufbau

Für die Umsetzung dieses Konzepts wurde auf den vorhandenen Servern des IWT eine dedizierte Linux-Partition mit einem Speichervolumen von 500 Gigabyte eingerichtet. Diese Partition dient explizit als Ablageort für den entstehenden Data Lake. Insgesamt stehen auf drei Servern rund sechs Terabyte Gesamtkapazität zur Verfügung. Die besagte Partition ist speziell für die zentralisierte Speicherung produktionsrelevanter Daten vorgesehen. Der Speicherort befindet sich auf einem System, das unabhängig von der Windows-Serverlandschaft betrieben wird. Dies ermöglicht eine erhöhte Flexibilität und Kontrolle bei der Verwaltung der Dateien und Datenstrukturen. (Johnson, 2024)

Im Gespräch war zudem die Rolle eines sogenannten Data Acquisition Servers. Dieser sollte als Bindeglied zwischen den realen Produktionsprozessen wie etwa Maschinensteuerungen, Sensoren oder Bedienoberflächen und dem Data Lake fungieren. Dabei wurde über ein Modell nachgedacht, bei dem dieser Server Daten aus unterschiedlichen Quellen entgegennimmt, vorverarbeitet, formatiert und anschließend automatisiert in den Data Lake überträgt. Dieses Konzept wurde jedoch zum Zeitpunkt unseres Projektendes nicht mehr weiter konkretisiert, da der Fokus zunächst auf der Bestandsaufnahme der Anforderungen und der Identifikation relevanter Datentypen lag.

4.4. Systematische Erhebung der Datenbedarfe

Ein wesentlicher Arbeitsschritt bestand darin, gemeinsam mit den an der Modellfabrik beteiligten Gruppen zu klären, welche Daten im laufenden Betrieb anfallen und welche davon für die langfristige Speicherung im Data Lake relevant sein könnten. Ziel dieser Befragung war es, ein möglichst vollständiges Bild über die entstehenden Datenarten, deren Formate sowie deren Nutzungskontext zu erhalten. Dabei wurden gezielt Gespräche mit den Studierendengruppen geführt, die jeweils eine bestimmte Produktionsstation oder einen spezifischen Arbeitsschritt betreuten.

Im Zentrum der Gespräche stand die Frage, welche Daten für spätere Auswertungen tatsächlich notwendig sind und wie sie sich technisch erfassen lassen. Ebenso wurde darauf geachtet, in welchem zeitlichen Abstand die Daten erzeugt werden, ob sie automatisch verfügbar sind und ob eine strukturelle Verknüpfung mit weiteren Informationen sinnvoll ist.

4.5. Ergebnisse der Datenerhebung

In den Gesprächen mit den Gruppen wurde deutlich, dass an vielen Stationen relevante Informationen entstehen, die sich für eine Ablage im Data Lake eignen. Ein zentrales Beispiel ist die Verwendung von QR-Codes, die zur Identifikation und Verfolgung einzelner Bauteile und Produktgruppen genutzt werden.
Im Rahmen der geplanten Dateninfrastruktur soll jede Baugruppe mit zwei QR-Codes ausgestattet werden, wobei jeweils ein QR-Code auf Seite A und ein weiterer auf Seite B angebracht ist. Jeder QR-Code soll die Seriennummer der jeweiligen Baugruppe sowie eine Kennzeichnung der zugehörigen Seite (A oder B) enthalten. Beim Scan eines QR-Codes am End-of-Line-Prüfstand soll zusätzlich der aktuelle Status des Bauteils erfasst werden. Sämtliche dieser Informationen sollen künftig vollständig und dauerhaft im Data Lake abgelegt werden, um eine lückenlose Rückverfolgbarkeit und eine fundierte Analyse der Produktionsdaten zu ermöglichen.

Darüber hinaus wurden weitere relevante Datenarten identifiziert. Dazu zählen unter anderem Prozessparameter wie Temperaturwerte, Drehzahlen, Stückzahlen oder Zustandsdaten aus der speicherprogrammierbaren Steuerung. Diese Daten liefern nicht nur wichtige Informationen über den Ablauf einzelner Arbeitsschritte, sondern erlauben es auch, Rückschlüsse auf Qualität, Effizienz und Maschinenverhalten zu ziehen. Ebenso sollen Zeit- und Datumsstempel mit konkretem Bezug zu erfassten QR-Codes gespeichert werden, um die zeitliche Zuordnung von Bearbeitungen und Ereignissen zu ermöglichen.

Ein weiterer Punkt betrifft die Erfassung manueller Arbeitsschritte. Hier soll beispielsweise dokumentiert werden, wie lange einzelne Tätigkeiten an bestimmten Arbeitsplätzen in Anspruch genommen haben. Diese Informationen könnten in

Zukunft genutzt werden, um Prozesse effizienter zu gestalten oder ergonomische Optimierungen zu entwickeln.

4.6. Herausforderungen und offener Stand

Zum Zeitpunkt unseres Projektabschlusses war die technische Umsetzung des Data Lake noch nicht realisiert. Zwar lag eine vorbereitete Partition auf dem Server vor und die Datenerhebung war abgeschlossen, jedoch fehlte es noch an einer konkreten technischen Implementierung. Insbesondere war die Anbindung der Datenquellen an den Speicher noch nicht erfolgt. Auch die Entscheidung über das konkrete Speicherformat war noch offen. Es war weder abschließend geklärt, ob die Daten als strukturierte CSV-Dateien, als JSON-Daten oder in Form von Datenbankeinträgen gespeichert werden sollten, noch war eine automatisierte Übertragungslogik definiert.

Zudem bestand zu diesem Zeitpunkt noch keine Infrastruktur zur Live-Kommunikation mit den Maschinen über etablierte Schnittstellen wie MQTT oder REST. Dies bedeutet, dass die bisher durchgeführten Arbeiten vor allem konzeptioneller Natur waren, gleichzeitig aber eine verlässliche Grundlage für die nachfolgende Umsetzungsphase bilden.

4.7. Bedeutung für die Zukunftsfabrik

Der Aufbau eines Data Lake ist von strategischer Bedeutung für die Weiterentwicklung der Zukunftsfabrik Bodensee. Durch die zentrale Speicherung aller relevanten Produktionsdaten entsteht ein umfassendes Datenfundament, das sowohl für operative als auch für wissenschaftliche Fragestellungen nutzbar ist. Anders als klassische Datenbanken, die stark strukturierte Informationen speichern, erlaubt der Data Lake auch die Aufnahme von unstrukturierten oder semistrukturierten Daten und bietet damit eine hohe Flexibilität für unterschiedliche Anwendungsfälle.

Die zukünftige Analyse dieser Daten kann weitreichende Erkenntnisse ermöglichen. Denkbar sind unter anderem die Identifikation systematischer Fehlerquellen, die

Optimierung von Prozessparametern oder die Entwicklung prädiktiver Modelle für Wartung und Qualitätssicherung. Gleichzeitig wird die Grundlage für eine digitalisierte Lehre geschaffen, bei der Studierende reale Produktionsdaten für Projekte und Auswertungen nutzen können.

Durch die Dokumentation der Datenquellen, ihrer Relevanz und ihrer technischen Anforderungen haben wir einen wichtigen Vorbereitungsbeitrag geleistet, auf dem zukünftige Gruppen konkret aufbauen können. Die Zukunftsfabrik hat damit die Chance, sich zu einem datenbasierten Kompetenzzentrum für digitale Produktion zu entwickeln.

5. Schulung: FORCAM FORCE Basic Admin

Im Rahmen der Einführung des Manufacturing Execution Systems FORCAM FORCE in der Zukunftsfabrik Bodensee ist eine fundierte Einarbeitung in die Systemarchitektur und die grundlegende Administration notwendig. Hierfür wurde eine Schulung durch die Firma Forcam durchgeführt. Die folgende Dokumentation fasst die Inhalte der Basic Admin Schulung zusammen und soll als Wissensbasis für künftige Projektgruppen dienen. Ziel ist es, zentrale technische Konzepte, Systemkomponenten und Konfigurationsmöglichkeiten verständlich darzustellen, um die spätere Nutzung und Weiterentwicklung des Systems zu erleichtern. Die nachfolgenden Abschnitte bieten einen Überblick über die in der Schulung vermittelten Inhalte und stellen damit ein praxisnahes Nachschlagewerk für die operative Anwendung von FORCAM FORCE in der Modellfabrik dar.

5.1. Zielsetzung und Zielgruppe der Schulung

Die FORCAM FORCE Basic Admin Schulung verfolgt das Ziel, die Teilnehmenden umfassend auf die Einführung, Konfiguration und den Betrieb des Manufacturing Execution Systems FORCAM FORCE vorzubereiten.
Im Zentrum steht die Vermittlung eines tiefgehenden Verständnisses für die technischen und organisatorischen Aspekte, die für die Digitalisierung der Produktion notwendig sind.
Die Schulung geht dabei weit über eine reine Funktionsbeschreibung hinaus und legt Wert auf die praxisnahe Vermittlung von Kompetenzen, die es den Teilnehmenden ermöglichen, das System nicht nur zu bedienen, sondern aktiv an die spezifischen Anforderungen des eigenen Unternehmens anzupassen.

Die Teilnehmenden lernen, wie sie die Systemarchitektur durchdringen, Datenflüsse nachvollziehen und relevante Schnittstellen konfigurieren.
Neben den technischen Grundlagen werden auch die administrativen Aufgaben behandelt, die für einen reibungslosen Betrieb des MES erforderlich sind.

Die Zielgruppe der Schulung setzt sich aus mehreren relevanten Personengruppen zusammen, die jeweils unterschiedliche Rollen im Rahmen der Einführung und Nutzung des Manufacturing Execution Systems einnehmen. Zu diesen zählen zunächst die Systemadministratoren, die für die Installation, Konfiguration und Wartung des Systems verantwortlich sind und damit eine zentrale Rolle für den technischen Betrieb übernehmen. Darüber hinaus richtet sich die Schulung an Projektmanager, die einen umfassenden Überblick über die Systemlandschaft benötigen, um die Einführung und Weiterentwicklung des MES gezielt steuern und Projekte erfolgreich umsetzen zu können. Eine weitere wichtige Zielgruppe bilden die sogenannten Key User sowie die Fachbereichsverantwortlichen. Diese fungieren als Schnittstelle zwischen IT, Produktion und den jeweiligen Fachabteilungen. Ihre Aufgaben umfassen insbesondere die Definition konkreter Anforderungen an das System und die Validierung der technischen Umsetzung im operativen Umfeld. Ergänzt wird die Zielgruppe durch fachliche Experten, die aktiv an der Ausgestaltung spezifischer Anwendungsfälle sowie an der Spezifikation und Integration von Schnittstellen beteiligt sind. Ihr Beitrag ist insbesondere für die langfristige Weiterentwicklung und Anpassung des Systems an betriebliche Bedürfnisse von zentraler Bedeutung.

5.2. Inhalte der Schulung (modulweise)

Die Schulung ist modular aufgebaut und behandelt sämtliche Aspekte der Einführung, Konfiguration und Nutzung von FORCAM FORCE. Jedes Modul widmet sich einem zentralen Themenbereich, der für den erfolgreichen Betrieb des Systems von Bedeutung ist. Die Inhalte werden praxisnah vermittelt und durch zahlreiche Beispiele, Übungen und Screenshots aus den Schulungsunterlagen ergänzt.

5.2.1. Technische Architektur von FORCAM FORCE

FORCAM FORCE ist als modulares, webbasiertes Manufacturing Execution System (MES) konzipiert, das die durchgängige Digitalisierung der Produktion unterstützt. Die technische Architektur des Systems basiert auf einer klaren funktionalen Trennung zwischen der Erfassung von Maschinendaten, deren Verarbeitung sowie der

Visualisierung dieser Informationen für unterschiedliche Nutzergruppen. Die Systemarchitektur ist dabei mehrschichtig aufgebaut. In der untersten Schicht erfolgt die Maschinenanbindung über sogenannte DCU- oder DACQ-Module, die dafür zuständig sind, Maschinensignale aufzunehmen und in ein normiertes Format zu überführen. Auf dieser Basis arbeitet das Regelwerk, auch als Rule Engine bezeichnet, das die eingehenden Daten interpretiert und die Produktionslogik entsprechend steuert. Die Datenhaltung erfolgt über eine Kombination aus In-Memory-Caches und klassischen Datenbanksystemen, wodurch schnelle Zugriffszeiten und eine hohe Systemperformance gewährleistet werden. Die Benutzeroberflächen des Systems setzen sich aus verschiedenen webbasierten Frontends zusammen, darunter Office, Workbench und das Shop Floor Terminal (SFT), die jeweils spezifische Funktionen und Interaktionsmöglichkeiten für unterschiedliche Anwendergruppen bieten. Insgesamt ermöglicht diese mehrschichtige Architektur eine hohe Skalierbarkeit und erlaubt die nahtlose Integration in bestehende IT-Landschaften, etwa über standardisierte Schnittstellen zu ERP-Systemen wie SAP oder zu Maschinensteuerungen über OPC UA. Dadurch eignet sich FORCAM FORCE sowohl für kleinere Produktionsumgebungen als auch für komplexe, globale Produktionsnetzwerke mit mehreren Standorten.

Das Schichtenmodell orientiert sich an den Levels des Manufacturing Operating System:

- Level 0–2: Physische Prozesse, Maschinensteuerung, Datenerfassung
- Level 3: Produktionssteuerung, Workflow, Rezepturen
- Level 4: Unternehmensplanung, Materialwirtschaft, Logistik

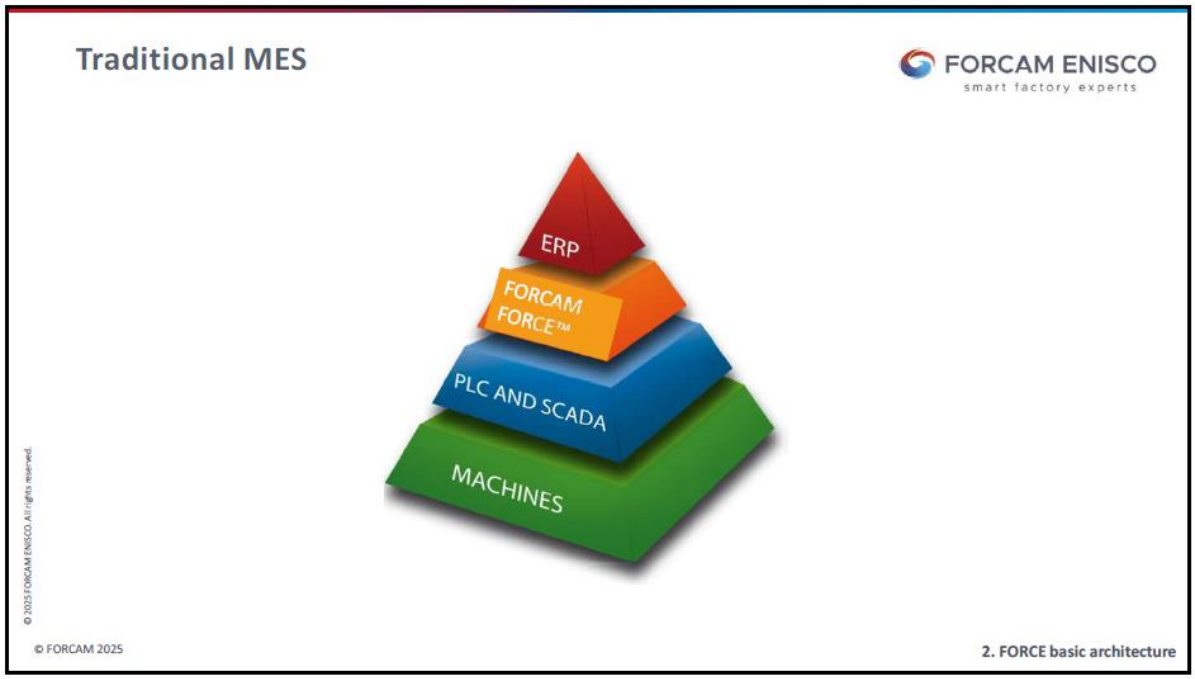


Abbildung 3:Digitale Produktionspyramide mit Einordnung von FORCAM FORCE als MES zwischen ERP-Systemen und Steuerungsebene, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“

5.2.2. Datenarchitektur: Domain Cache vs. Interpretation Cache

Ein zentrales Element der Datenarchitektur von FORCAM FORCE ist die Unterscheidung zwischen dem sogenannten Domain Cache und dem Interpretation Cache. Der Domain Cache dient der Speicherung statischer und semi-statischer Stammdaten wie beispielsweise Informationen zu Arbeitsplätzen, Personal oder Schichtmodellen. Diese Daten werden von allen Instanzen des Regelwerks gemeinsam genutzt, wodurch eine hohe Zugriffsgeschwindigkeit ohne Datenbank-Latenz erreicht wird. Im Gegensatz dazu speichert der Interpretation Cache temporäre, flüchtige Zustände, etwa den aktuellen Maschinenstatus, Produktionsphasen oder Schichtinformationen. Dieser Cache ist nicht global, sondern individuell pro Regelwerk-Controller ausgelegt und ermöglicht dadurch eine echtzeitfähige Verarbeitung eingehender Ereignisse sowie die schnelle Bereitstellung relevanter Statusinformationen für Bedienterminals. Durch die klare Trennung dieser beiden Cache-Typen wird eine performante und zugleich flexible Datenverarbeitung sichergestellt, die sowohl den Anforderungen an Verarbeitungsgeschwindigkeit als auch an Datenkonsistenz gerecht wird.

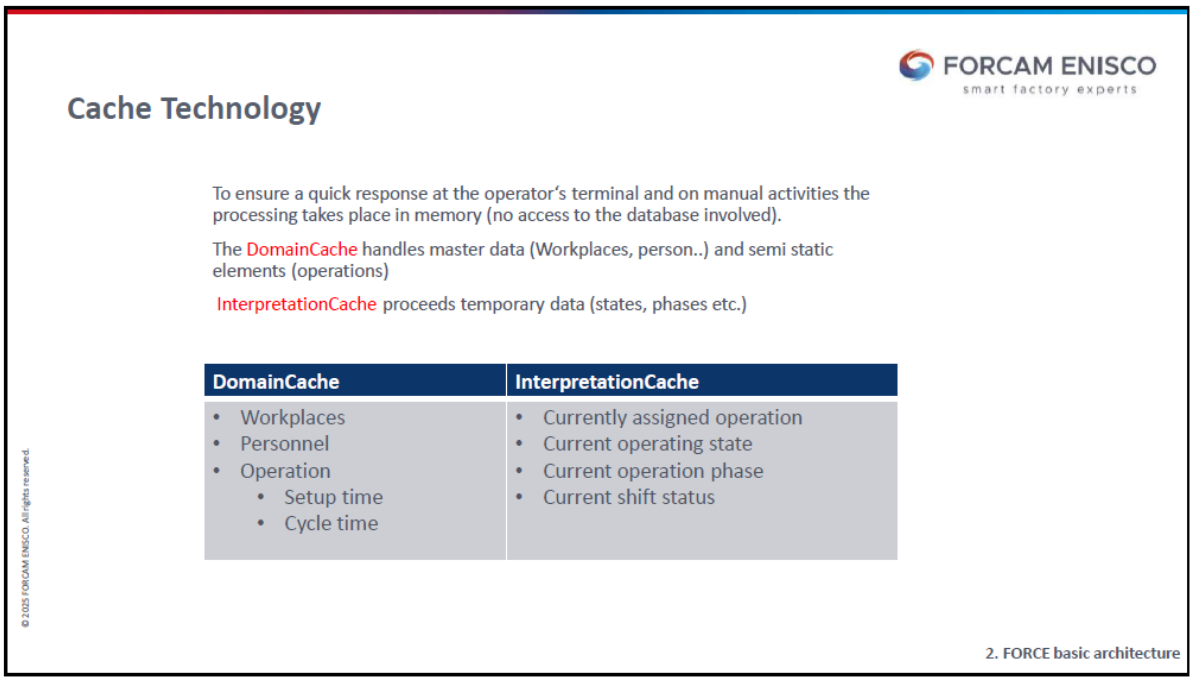


Abbildung 4: Überblick über die Cache-Technologie in FORCAM FORCE mit Unterscheidung zwischen DomainCache und InterpretationCache, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“

5.2.3. Rule Engine und Decision Tables

Die Rule Engine bildet das Herzstück der Echtzeitverarbeitung im System und übernimmt die zentrale Aufgabe, sowohl Maschinen- als auch Bedienereingaben als sogenannte Events zu verarbeiten. Diese Ereignisse werden über strukturierte Entscheidungstabellen, sogenannte Decision Tables, in konkrete betriebliche Zustände überführt. Auf diese Weise wird die zugrunde liegende Geschäftslogik systematisch abgebildet, wodurch der aktuelle Status von Maschinen und Operationen zuverlässig bestimmt werden kann. Die Rule Engine ist modular aufgebaut und lässt sich durch sogenannte Logic Components flexibel erweitern. Zu diesen Komponenten zählen unter anderem Zeitbasen, Funktionen zur Mengenberechnung oder spezifische Filter für Betriebszustände. Dadurch können kundenspezifische Anforderungen gezielt umgesetzt und neue Phasen, Statusarten oder Regelwerke problemlos ergänzt werden. Dieses Konzept ermöglicht eine präzise, anpassbare und erweiterbare Steuerung der Produktionslogik in Echtzeit.

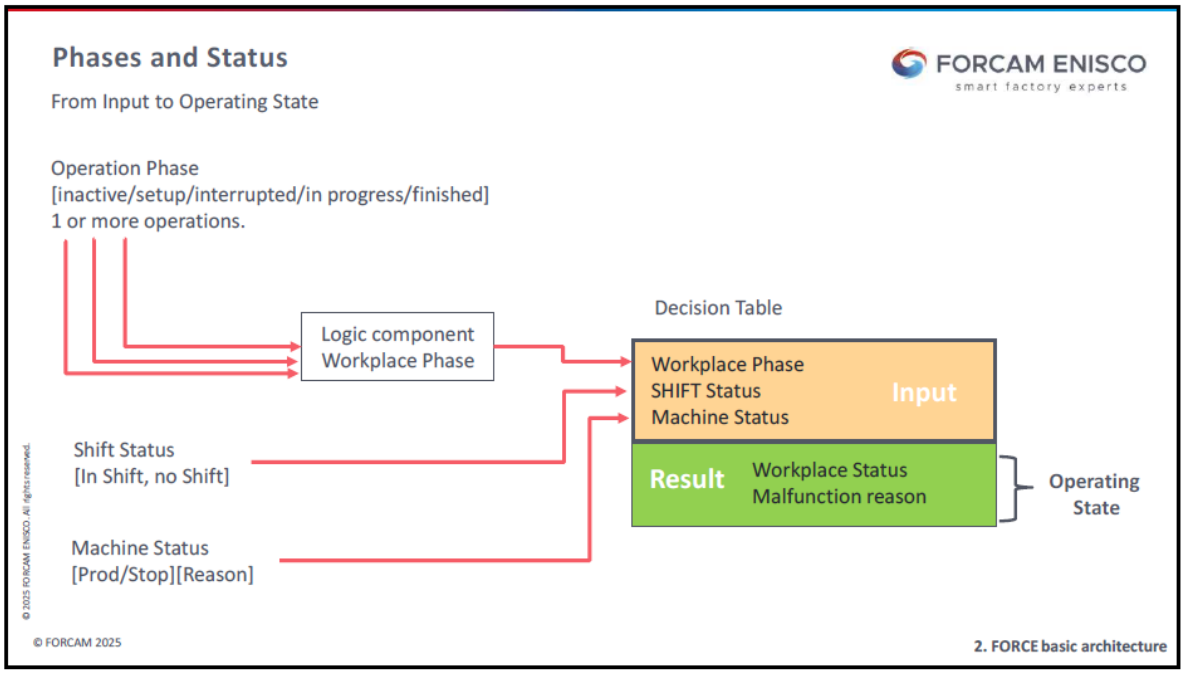


Abbildung 5: Phasen- und Statuslogik in FORCAM FORCE – Zusammenspiel von Operation Phase, Schichtstatus und Maschinenstatus zur Ableitung des Betriebszustands über eine Decision Table, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“

5.2.4. Master Data & Workplace-Konfiguration

Die Konfiguration von Arbeitsplätzen und Maschinen im FORCAM FORCE System erfolgt zentral über die sogenannte Workbench, eine administrative Oberfläche zur strukturierten Verwaltung und Pflege aller relevanten Stammdaten. Innerhalb dieser Umgebung lassen sich Arbeitsplätze in hierarchischen Strukturen organisieren, etwa entlang von Organisationseinheiten, Produktionslinien oder der ERP-Systematik des Unternehmens. Dabei wird nicht nur die physische Zuordnung abgebildet, sondern auch die logische Einbindung in das Produktions- und Buchungssystem ermöglicht.

Stammdaten wie Maschineninformationen, Personalzuweisungen, Schichtmodelle sowie Gründe für Qualitätsabweichungen oder Störungen werden innerhalb der Workbench zentral gepflegt. Dies gewährleistet eine konsistente Datenbasis und unterstützt die nahtlose Integration in nachgelagerte Prozesse wie Reporting oder ERP-Rückmeldung. Ein besonderer Vorteil ergibt sich aus der Möglichkeit, Templates für Konfigurationen zu nutzen. Diese Vorlagen erlauben eine standardisierte

Einrichtung von Arbeitsplätzen und tragen dazu bei, den Rollout neuer Maschinen oder Produktionsabschnitte deutlich zu beschleunigen.

Zusätzlich können pro Arbeitsplatz oder Maschinentyp spezifische Parameter wie Buchungslogiken, detaillierte Qualitätsinformationen oder Statusbäume zugewiesen werden. Die Konfiguration kann dabei entweder individuell auf den jeweiligen Arbeitsplatz abgestimmt oder auf Basis vordefinierter Templates vorgenommen werden, was sowohl Flexibilität als auch Effizienz bei der Systemeinrichtung sicherstellt.

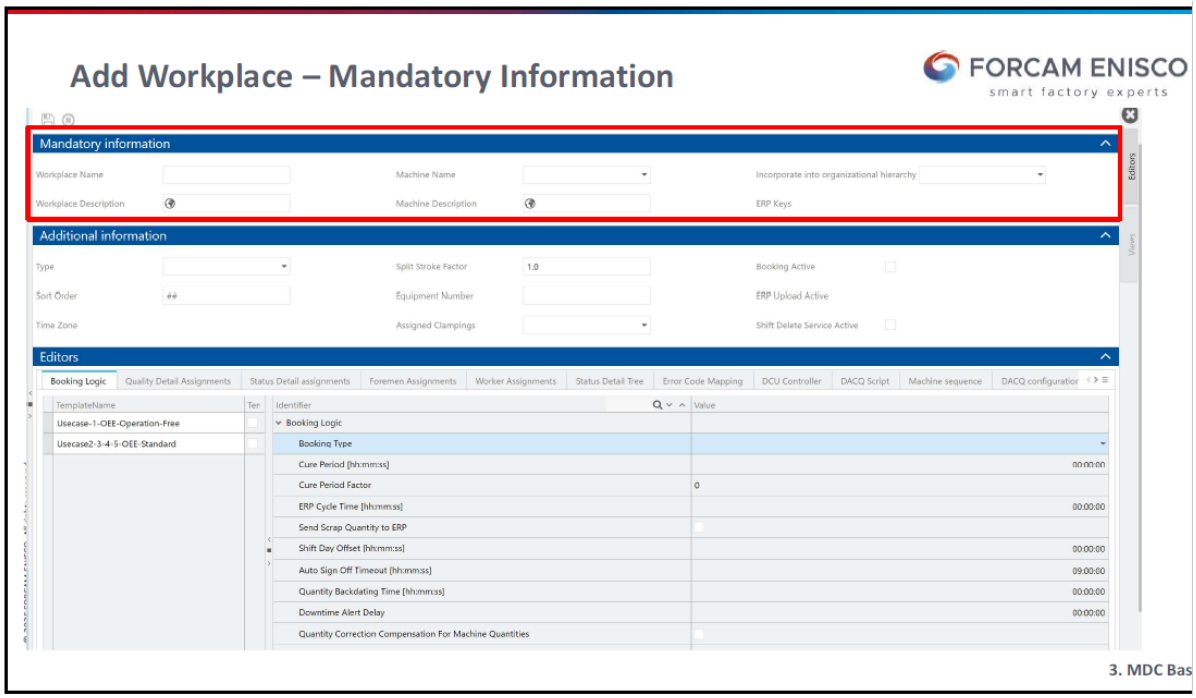


Abbildung 6: Benutzeroberfläche zur Anlage eines Arbeitsplatzes in FORCAM FORCE mit hervorgehobenen Pflichtfeldern , Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“

5.2.5. Shop Floor Terminal (SFT)

Das Shop Floor Terminal stellt eine touch-optimierte Weboberfläche dar, die speziell für die Anforderungen von Werkern und Schichtleitern im Produktionsumfeld entwickelt wurde. Es ermöglicht die Darstellung von Arbeitsplätzen, laufenden Aufträgen, Systemstatus und Meldungen in Echtzeit und unterstützt dadurch eine unmittelbare Interaktion mit dem Produktionssystem direkt am Ort des Geschehens. Die Oberfläche ist so gestaltet, dass Buttons und Dialogfenster für zentrale

Funktionen wie Mengenbuchungen, Störmeldungen oder Wartungsanforderungen individuell konfiguriert werden können. Dies erlaubt eine gezielte Anpassung an die jeweiligen Arbeitsprozesse und Informationsbedarfe.

Ein zentrales Element des Shop Floor Terminals ist das zugrunde liegende Phasenmodell, mit dem verschiedene Zustände eines Produktionsvorgangs wie „inaktiv“, „Rüsten“, „in Bearbeitung“, „unterbrochen“, „fertig“ oder „geschlossen“ abgebildet werden können. Die Übergänge zwischen diesen Phasen sowie die damit verbundenen Statusanzeigen lassen sich flexibel gestalten und auf unternehmensspezifische Prozesse abstimmen. Darüber hinaus bietet das System die Möglichkeit, sogenannte SFT-Templates zu definieren. Diese Vorlagen erlauben die Wiederverwendung einmal konfigurierter Oberflächen und Einstellungen für verschiedene Arbeitsplatztypen oder spezifische Anwendungsszenarien, wodurch ein einheitlicher und effizienter Rollout über unterschiedliche Produktionsbereiche hinweg unterstützt wird.

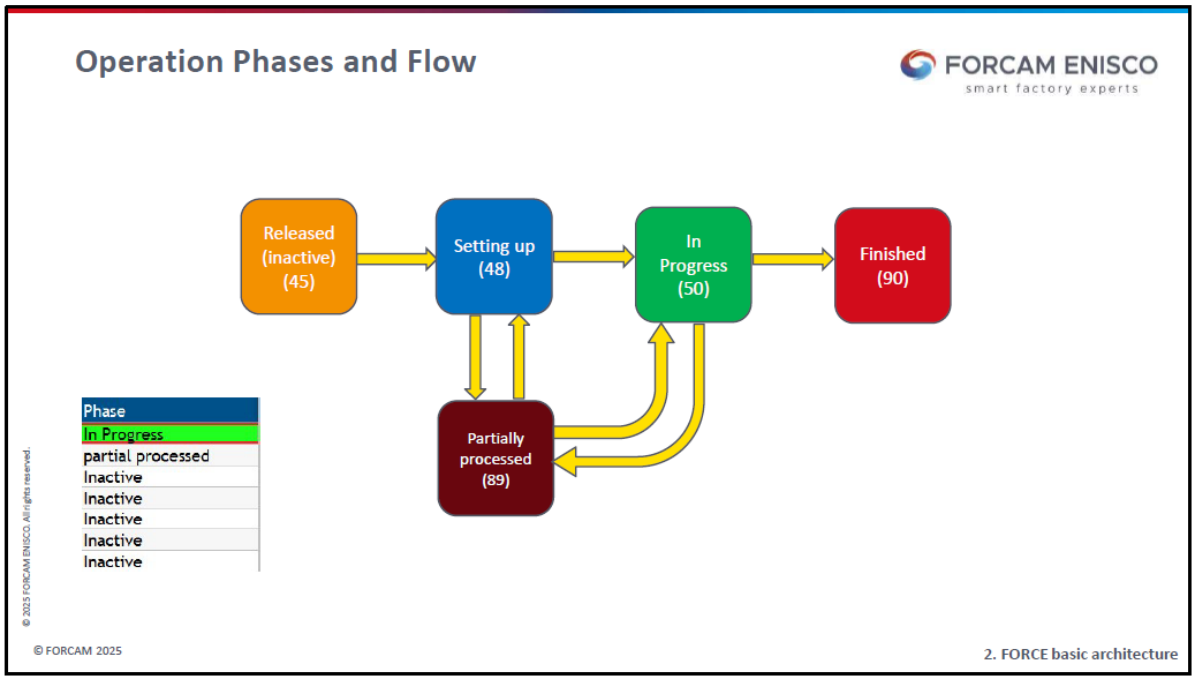


Abbildung 7: Ablaufmodell der Operation Phases in FORCAM FORCE mit Zustandsübergängen zwischen Released, Setting up, In Progress, Partially processed und Finished. Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“

5.2.6. Reporting & Visualisierung (Dashboards, KPIs)

Das Reporting-Modul stellt umfangreiche Standardberichte zu Betriebszuständen, Mengen, OEE, Qualität, Personal und Schichten bereit. Alle Ereignisse und Zustandswechsel werden timeline-basiert gespeichert und können über Drilldown-Funktionen detailliert analysiert werden. Individuelle Dashboards mit aktuellen Kennzahlen (KPIs) ermöglichen die Echtzeit-Visualisierung des Maschinenparks. Filter, Hierarchieslider und autorisierte Links sorgen für rollenbasierte Auswertungen.

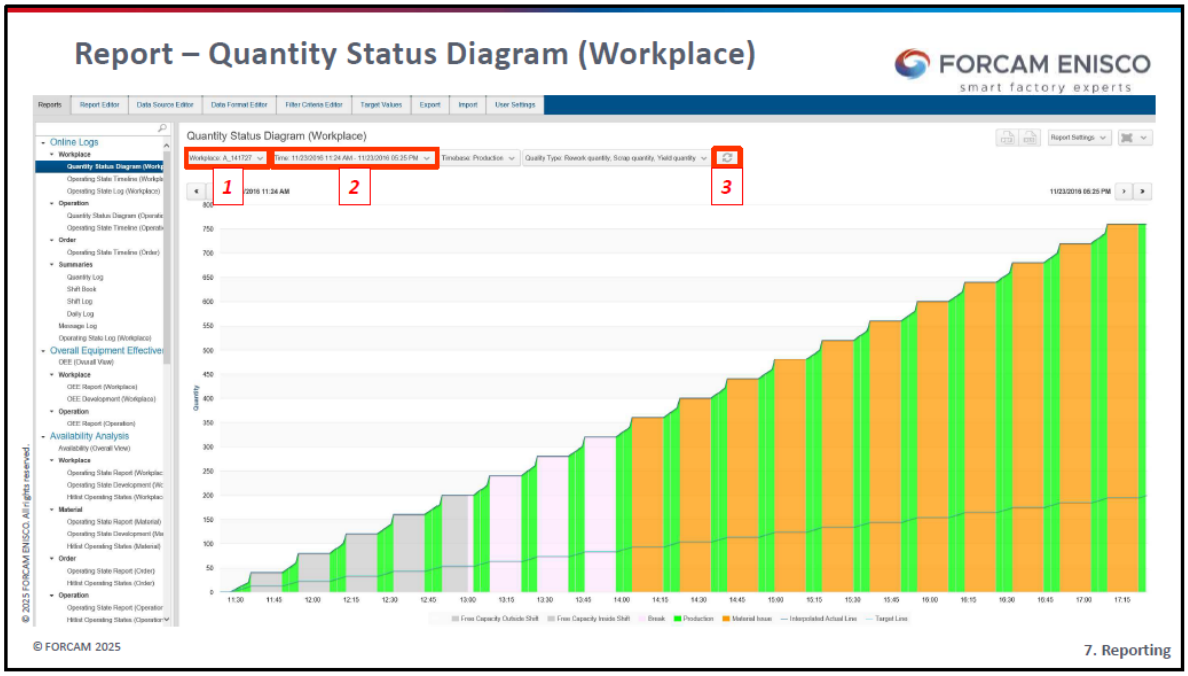


Abbildung 8: Berichtsansicht „Quantity Status Diagram (Workplace)“ in FORCAM FORCE zur Visualisierung der Produktionsmengen in einem ausgewählten Zeitraum, Quelle: FORCAM ENISCO (2025), Schulungsunterlage „FORCE Basic Architecture“

5.2.7. Schnittstellen zu ERP/SAP

Die Integration von FORCAM FORCE in bestehende ERP-Systeme erfolgt über bidirektionale Schnittstellen, die den Austausch relevanter Daten in beide Richtungen ermöglichen. Dabei werden insbesondere Informationen zu Aufträgen, Personal, Schichten sowie Rückmeldedaten wie Mengen, Zeiten, Status und Qualitätskennzahlen verarbeitet. Für weit verbreitete ERP-Systeme wie SAP stehen standardisierte Adapter zur Verfügung, die auf Technologien wie IDoc oder XML basieren. Darüber hinaus können individuelle Schnittstellenlösungen realisiert

werden, um eine nahtlose Anbindung auch an andere ERP-Plattformen sicherzustellen. Die Rückmeldung der Produktionsdaten an das ERP-System lässt sich dabei automatisiert und sehr flexibel gestalten. Durch die Definition spezifischer Download- und Upload-Templates für unterschiedliche Datenobjekte kann der Datenaustausch präzise auf die betrieblichen Anforderungen abgestimmt werden. Zusätzlich erlaubt das System eine gezielte Steuerung der Rückmeldeereignisse, etwa bei einem Wechsel der Produktionsphase, beim Schichtwechsel oder in zyklischen Abständen. Auf diese Weise wird eine konsistente, zeitnahe und transparente Synchronisation zwischen Shopfloor und Unternehmensleitebene gewährleistet.

5.2.8. Realtime-Prozesse, Monitoring, Timeline Tables

Der Realtime-Main-Process berechnet Betriebszustände und KPIs in Echtzeit. Caches sorgen für die schnelle Statusbereitstellung für Terminals und Visualisierungen. Status-Tabellen (ST-Tables) halten aktuelle Zustände vor, Timeline-Tabellen (TL-Tables) speichern die Historie aller Aktivitäten und Statuswechsel mit Zeitstempel, Schicht- und Arbeitsplatzbezug. Diese Daten bilden die Grundlage für Reporting, Korrekturen und Audits. Überwachung und Alarmierung bei Störungen, Abweichungen oder Wartungsbedarf sind integriert.

5.2.9. Übungen & Use Cases aus der Praxis

Im Rahmen der Schulung werden praxisnahe Übungen durchgeführt, wie das Anlegen und Konfigurieren eines neuen Arbeitsplatzes, die Durchführung von Buchungen und Statusmeldungen am SFT, die Auswertung von Timeline- und Statusdaten im Reporting sowie die Korrektur von Betriebszuständen und Mengenbuchungen. Anhand realer Use Cases werden die Möglichkeiten zur Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit, zur Optimierung von Rüst- und Produktionszeiten, zur Integration von Wartungsprozessen sowie zur Umsetzung von Mehrmaschinenbedienung und Gruppenarbeit demonstriert.

5.3. Bewertung und Einordnung

Die FORCAM FORCE Basic Admin Schulung ist ein zentrales Element für die erfolgreiche Einführung und nachhaltige Nutzung eines MES in der industriellen Praxis. Sie vermittelt nicht nur technisches Know-how, sondern befähigt die Teilnehmenden, das System eigenständig zu konfigurieren, zu betreiben und an die spezifischen Anforderungen des Unternehmens anzupassen. Dies führt zu einer effizienteren Projektumsetzung, da Implementierungsfehler reduziert und die Inbetriebnahme beschleunigt werden. Gleichzeitig wird durch den Aufbau von internem Expertenwissen die Grundlage für eine kontinuierliche Optimierung und Weiterentwicklung geschaffen. Die Flexibilität des Systems ermöglicht es, Anpassungen und neue Anforderungen eigenständig umzusetzen.

Gerade im Kontext der Zukunftsfabrik, die als Modellumgebung für moderne, digitalisierte Produktionsprozesse dient, ist die fundierte Schulung der Projektbeteiligten essenziell. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Potenziale des MES voll ausgeschöpft werden. Die praxisnahe Ausrichtung der Schulung ermöglicht eine direkte Anwendung des Gelernten in der Pilotumgebung der Zukunftsfabrik. Zudem bildet sie die Grundlage für die Entwicklung und Erprobung neuer Use Cases, wie beispielsweise Kreislaufwirtschaft, Data Lake oder Webshop-Integration. Die Ergebnisse der Schulung dienen als Blaupause für weitere Rollouts und als Referenz für externe Partner und Besucher.

6. Fazit & Ausblick

Die zweite Studienarbeit im Rahmen des Projekts „MES-Rollout in der Zukunftsfabrik Bodensee“ dokumentiert eine Übergangsphase zwischen konzeptioneller Vorbereitung und technischer Umsetzung. Während die erste Studienarbeit vor allem auf die Prozessanalyse, Anforderungsdefinition und Systemmodellierung fokussiert war, lag der Schwerpunkt der aktuellen Arbeit auf der praxisnahen Begleitung des Rollouts und der technischen Grundlagenbildung für zentrale Systemkomponenten wie das MES und den Data Lake.

Trotz zahlreicher Verzögerungen im Projektverlauf – insbesondere durch Lieferengpässe und infrastrukturelle Abhängigkeiten – konnte ein substanzieller Beitrag geleistet werden. Die Teilnahme an der FORCAM FORCE Basic Admin Schulung und deren detaillierte Dokumentation schaffen eine wertvolle Wissensbasis für künftige Studierendengruppen, die mit dem System arbeiten werden. Die Schulung vermittelte nicht nur die technische Architektur und Funktionsweise des Systems, sondern auch praxisrelevante Konfigurationsmöglichkeiten und Use Cases, die unmittelbar in der Modellfabrik anwendbar sind.

Ein weiterer zentraler Arbeitsbereich war die Konzeption eines Data Lake als langfristige Speicherlösung für Produktionsdaten. Durch Gespräche mit allen beteiligten Gruppen konnte eine umfassende Bedarfsanalyse durchgeführt werden, aus der sich klare Anforderungen an Struktur, Inhalt und Nutzungskontext der zu speichernden Daten ergeben. Auch wenn die technische Umsetzung zum Zeitpunkt unseres Projektabschlusses noch nicht erfolgt ist, wurde durch die strukturierte Dokumentation ein solides Fundament für die Weiterentwicklung gelegt.

Der Aufbau eines Data Lake stellt für die Zukunftsfabrik einen entscheidenden Meilenstein dar. Er eröffnet vielfältige Möglichkeiten – von der einfachen Nachverfolgbarkeit einzelner Produktionsschritte über die Entwicklung von Qualitätskennzahlen bis hin zur Anwendung datengetriebener Methoden wie Machine Learning oder Predictive Maintenance. Gleichzeitig schafft er die Grundlage für eine moderne, datenbasierte Lehre, in der Studierende mit realen, heterogenen Daten arbeiten können.

Für die kommenden Projektphasen ergeben sich daraus klare Empfehlungen.

Zunächst sollte der Data Lake technisch vollständig implementiert werden, inklusive automatisierter Datenübertragung, Formatdefinition und Sicherstellung von Datenintegrität. Parallel dazu wäre es sinnvoll, weitere Schulungen für Key User oder zur vertieften Konfiguration der Rule Engine durchzuführen, um die Eigenständigkeit der Studierenden im Umgang mit dem MES zu fördern. Auch die Implementierung eines Webshops ist noch umzusetzen.

Langfristig bietet das Projekt zahlreiche Anknüpfungspunkte für weiterführende Arbeiten. Themen wie die Optimierung von Datenströmen, die Entwicklung eigener Reporting-Tools, die Integration externer Datenquellen oder die Nutzung des Data Lakes für KI-basierte Analysen sind nur einige Beispiele für mögliche Vertiefungsrichtungen.

Literaturverzeichnis

7wData. (17. 03 2017). *7wData*. Von Charting the data lake: Using the data models with schema-on-read and: https://7wdata.be/predictive-analytics/charting-the-data-lake-using-the-data-models-with-schema-on-read-and/ abgerufen

al, L. e. (2023). *Data Acquisition Servers in Smart Factories.* Proceedings of the International Conference on Smart Manufacturing.

altlan. (17. 05 2023). *atlan*. Von What is Data Lake Metadata Management? Benefits, Examples, Tools, & Key Factors to Consider: https://atlan.com/data-lake-metadata-management/ abgerufen

AWS. (2020). *AWS.* Von Why do industrial enterprises need a data lake?: https://pages.awscloud.com/rs/112-TZM-766/images/AWS_Manufacturing_Data_Lake_eBook.pdf abgerufen

Docs, A. (28. 09 2022). *AWS Amazon Docs*. Von Industrial Data Lake for Predictive Maintenance using Amazon Monitron and Amazon Kinesis: https://docs.aws.amazon.com/architecture-diagrams/latest/industrial-data-lake-for-predictive-maintenance-using-amazon-monitron-and-amazon-kinesis/industrial-data-lake-for-predictive-maintenance-using-amazon-monitron-and-amazon-kinesis.html abgerufen

ENISCO, F. (2025). *Basic Admin .*

Enisco, F. (2025). *Forcam Enisco smart factory experts*. Von Optimieren Sie Ihre Produktion mit unserer MES-Lösungswelt: https://forcam-enisco.net/funktionalitaeten/?_gl=1*19rb33x*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=CjwKCAjw7MLDBhAuEiwAIeXGISOQnW35MJKmC7uUEJN-RMIH1KCYBlNL8jCNfb18aVSzUTb63MLCQRoC0DEQAvD_BwE abgerufen

GmbH, T. V. (04. 10 2023). *IT Production Online*. Von Zukunftssicher im Data Lake: https://it-production.com/allgemein/systemarchitektur-fuer-advanced-analytics/ abgerufen

Google Learn. (11. 07 2025). Von Was ist ein Data Lake?: https://cloud.google.com/learn/what-is-a-data-lake abgerufen

Grunert, D. (2024). *Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie.* Von Data-Driven Modeling in Production: https://www.ipt.fraunhofer.de/en/offer/digitalization/data-driven-modelling.html

abgerufen

Johnson, S. &. (2024). *Flexible Storage Solutions in Manufacturing.* Handbook of Manufacturing Systems.

Naseem, O. (07. 05 2024). *Data Science Central*. Von Metadata management in datalakes : https://www.datasciencecentral.com/metadata-management-in-data-lakes/ abgerufen

Nitendratech. (04. 08 2024). *Nitendratech*. Von What is Data Lake? Feature and Architecture: https://www.nitendratech.com/bigdata/learn-datalake/ abgerufen

Oracle. (kein Datum). *Oracle Cloud Infrastructure DocumentationTry Free Tier*. Von Use Data Lake with Autonomous Database: https://docs.public.oneportal.content.oci.oraclecloud.com/en-us/iaas/autonomous-database-serverless/doc/autonomous-lakehouse.html abgerufen

Rebecca Eichler, C. G. (2021). *Uni Stuttgart*. Von Modeling Metadata in Data Lakes : https://www.ipvs.uni-stuttgart.de/departments/as/publications/eichlera/21_HANDLE_DKE.pdf abgerufen

Schuler und Herberger. (2024). *Anforderungsanalyse zur Implementierung eines MES in der Zukunftsfabrik Bodensee.* Friedrichshafen: DHBW Ravensburg.

Anhang

Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
Mercedes-Benz Direkt Chat	Nutzung als Rechtschreibkorrektur- und Formulierungshilfe (gesamt) Nutzung zur Aufarbeitung von Dokumenten
DeepL Write	Nutzung als Rechtschreibkorrektur- und Formulierungshilfe (gesamt)