Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg
Ravensburg
Campus Friedrichshafen

Implementierung eines MES-Systems in die Zukunftsfabrik Bodensee

Anbindung und Auswertung von Produktionsdaten am MES

Studienarbeit T3_3100

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Automatisierungstechnik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Tom Gluth, Edgar Malinowsky

Abgabedatum:	8. Januar 2026
Bearbeitungszeitraum:	01.10.2025 - 12.01.2026
Matrikelnummer:	7773289, 5538376
Kurs:	TEA23
Dualer Partner:	DHBW Ravensburg - PTZ - Zukunftsfabrik Bodensee
Betreuer:	Thomas Dietmüller

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.14 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 24.07.2023.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Studienarbeit T3_3100 mit dem Thema:

Implementierung eines MES-Systems in die Zukunftsfabrik Bodensee

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben.

Ingelheim am Rhein, den 8. Januar 2026

Signiert von:
Tom Gluth
52515B8FD3BF49E...

DocuSigned by:
Edgar Malinowsky
A20E6F6131AD4A2...

Tom Gluth, Edgar Malinowsky

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Kurzfassung

Die Studienarbeit beschreibt die Einführung eines Manufacturing Execution Systems (MES) in der Zukunftsfabrik Bodensee der DHBW Ravensburg mit Schwerpunkt auf der Anbindung von SPS-Daten an FORCAM EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX. Ausgangslage ist ein teilweise konfiguriertes MES, in dem zwar eine Server-SPS-Verbindung besteht, jedoch keine operative Übertragung von Maschinenzuständen, Stückzählern und weiteren Prozessparametern erfolgt, wodurch Echtzeit-Transparenz und OEE-Bewertung eingeschränkt sind.

Nach einer theoretischen Einordnung von MES, seinen Aufgaben und der Abgrenzung zu ERP- und SCADA-Systemen wird die FORCAM-Architektur mit EDGE CONNECT als Datenerfassungsschicht und MES FLEX als Visualisierungs- und Bedienplattform analysiert. Methodisch gliedert sich die Arbeit in Systemanalyse, Zieldefinition (Echtzeit-Transparenz, standardisierte Schnittstelle, Skalierbarkeit), Schnittstellenkonzeption und Implementierungsplanung.

Praktisch wird ein zentraler SPS-Datenbaustein mit offset-basierter Adressierung als MES-Schnittstelle aufgebaut, zyklisch mit Prozesswerten gefüllt und in EDGE CONNECT über Assets und Signale angebunden. Ein einheitlich strukturiertes Composition-Skript bildet die Maschinenstatuslogik, die Stückzahlzählung und das Logging ab und übergibt die Ereignisse per REST-basierter Northbound-Konfiguration an die Command-API von FORCE MES FLEX.

Durch die abschließende Konfiguration der EDGE-Instanz im MES stehen Maschinenzustände und Stückzahlen in nahezu Echtzeit in Terminals und Dashboards zur Verfügung. Die Arbeit erzielt damit eine stabile, wartungsfreundliche und skalierba-

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

re Schnittstellenarchitektur als Referenzlösung für weitere Maschinen und bildet die Grundlage für OEE-Analysen, Prozessoptimierung und datenbasierte Entscheidungen in der Lernfabrik.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Abstract

This student research project describes the introduction of a Manufacturing Execution System (MES) at the Zukunftsfabrik Bodensee of the DHBW Ravensburg, with a focus on connecting PLC data to FORCAM EDGE CONNECT and FORCE MES FLEX. The starting point is a partially configured MES in which a server-PLC connection exists, but there is no operational transmission of machine statuses, piece counters, and other process parameters, which limits real-time transparency and OEE evaluation.

After a theoretical classification of MES, its tasks, and its differentiation from ERP and SCADA systems, the FORCAM architecture with EDGE CONNECT as the data acquisition layer and MES FLEX as the visualization and operating platform is analyzed. Methodologically, the work is divided into system analysis, goal definition (real-time transparency, standardized interface, scalability), interface design, and implementation planning.

In practical terms, a central PLC data block with offset-based addressing is set up as an MES interface, cyclically filled with process values, and connected to EDGE CONNECT via assets and signals. A uniformly structured composition script maps the machine status logic, piece count, and logging, and transfers the events to the FORCE MES FLEX command API via REST-based northbound configuration.

The final configuration of the EDGE instance in the MES makes machine statuses and quantities available in terminals and dashboards in near real time. The work thus achieves a stable, maintenance-friendly, and scalable interface architecture as a reference solution for other machines and forms the basis for OEE analyses, process optimization, and data-based decisions in the learning factory.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Grundlagen **3**

2.1 Grundlagen des Manufacturing Execution Systems (MES) 3

2.1.1 Begriffsdefinition und konzeptionelle Einordnung 3

2.1.2 Normative Rahmenwerke und Standardisierung 4

2.1.3 Grundlegende Aufgaben und Funktionsweise 5

2.1.4 Zentrale Funktionsmodule eines MES 7

2.1.5 Abgrenzung zu verwandten Systemen 9

2.1.6 Zusammenfassung 10

2.2 Ausgangslage 11

3 Systemanalyse des FORCAM MES mit Fokus auf EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX **12**

3.1 Systemarchitektur und Komponentenaufbau 12

3.2 Komponente FORCE EDGE CONNECT 14

3.2.1 Aufgaben und Rolle im Gesamtsystem 14

3.2.2 Edge-Knoten und Konfigurationskonzept 14

3.2.3 Maschinenanbindung und Protokolle 15

3.2.4 EDGE API und Eventmodell 16

3.3 Komponente FORCE MES FLEX 16

3.3.1 Rolle als MES- und Bedienplattform 16

3.3.2 Bedienoberflächen und Dashboards 17

3.3.3 Integrierte MES-Apps 17

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

3.4 Zusammenspiel von EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX . . . 18
3.4.1 Datenfluss vom Shopfloor zur MES-Ebene 18
3.4.2 Bidirektionale Kommunikation 19

4 Vorgehen **20**
4.1 Systemanalyse 20
4.2 Zieldefinition 20
4.3 Schnittstellenkonzeption 21
4.4 Implementierungsplan 21

5 Umsetzung und Ergebnisse **23**
5.1 Schnittstellenerzeugung im SPS-Programm 23
5.2 Konfiguration FORCAM Force Edge Connect 25
5.2.1 neues Asset anlegen 26
5.2.2 Prozessdaten als Signale anlegen oder in bestehendem Asset hinzufügen 28
5.2.3 Schreiben des Composition-Skripts 30
5.2.4 Northbound-Konfiguration 34
5.3 Datenübertragung zu FORCAM Force MES FLEX 37
5.4 Troubleshooting 38

6 Zusammenfassung **40**

Literaturverzeichnis **42**

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen **45**

Abbildungsverzeichnis **47**

Tabellenverzeichnis **48**

A Anmerkung zur Nutzung von Künstlicher Intelligenz **I**

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung der Fertigungsprozesse im Kontext der Industrie 4.0 stellt produzierende Unternehmen - insbesondere im Hochtechnologiebereich - vor entscheidende strategische Herausforderungen und Chancen gleichermaßen. Manufacturing Execution Systems (MES) etablieren sich dabei als unverzichtbare Schlüsseltechnologie, die die Brücke zwischen der strategischen Planungsebene der ERP-Systeme und der operativen Shopfloor-Steuerung über SPS und SCADA-Systeme schlägt. Durch Echtzeit-Erfassung, -verarbeitung und -analyse von Produktionsdaten schaffen MES die notwendige Transparenz, um Prozesseffizienz zu maximieren, Stillstandszeiten zu minimieren und datenbasierte Entscheidungsfindung auf allen Ebenen zu ermöglichen.

Diese Studienarbeit mit dem Titel „Implementierung eines MES-Systems in die Zukunftsfabrik Bodensee - Anbindung und Auswertung von Produktionsdaten am MES“ widmet sich der praxisnahen Umsetzung einer solchen Lösung in der Lern- und Forschungsfabrik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Ravensburg Campus Friedrichshafen. Die Zukunftsfabrik Bodensee repräsentiert eine hochmoderne Demonstrationsumgebung für Automatisierungstechnologien und Industrie-4.0-Anwendungen, in der Studierende und Industriepartner innovative Konzepte hautnah erleben und weiterentwickeln können.

Die vorliegende Ausgangssituation in der Zukunftsfabrik Bodensee zeigt ein teilweise konfiguriertes FORCAM Force MES-System mit der zugehörigen Edge-Computing-Software FORCAM Force Edge Connect. Während die grundlegende Server-SPS-Konnektivität besteht, fehlt die operative Datenübertragung relevanter Prozessparameter wie Maschinenstatus, Stückzählerstände, Durchlaufzeiten oder Qualitätsin-

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

dikatoren. Auf SPS-Ebene waren keine standardisierten Schnittstellen - etwa dedizierte Datenbausteine oder Funktionsbausteine - vorhanden, und die Edge-Connect-Konfiguration war unvollständig. Dies resultiert in einem Mangel an Echtzeit-Transparenz, der eine zielgerichtete Prozessoptimierung, OEE-Steigerung (Overall Equipment Effectiveness) oder ressourcengerechte Planung verhindert.

Die Problemstellung konkretisiert sich somit in der Notwendigkeit, eine robuste, skalierbare und wartungsfreundliche bidirektionale Schnittstelle zu etablieren. Diese muss Prozessdaten nahtlos von der SPS-Ebene über Edge Connect - unter Nutzung moderner IIoT-Protokolle wie OPC UA, REST-API und Composition-Skripting - ins MES überführen und dort für Analysen sowie Steuerungsaufgaben verfügbar machen.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

2 Grundlagen

2.1 Grundlagen des Manufacturing Execution Systems (MES)

2.1.1 Begriffsdefinition und konzeptionelle Einordnung

Ein *Manufacturing Execution System (MES)* ist ein computergestütztes Informationssystem, das die Planung, Steuerung, Überwachung und Optimierung von Fertigungsprozessen in Echtzeit ermöglicht.[1]–[3] Das MES bildet die zentrale Schnittstelle zwischen der betriebswirtschaftlichen Planungsebene (Enterprise Resource Planning, ERP) und der operativen Steuerungsebene (Shopfloor) mit Maschinen, Anlagen und Prozessleitsystemen (z. B. SCADA, SPS) innerhalb der Automatisierungspyramide.[1], [4], [5]

Die Kernaufgabe eines MES besteht darin, die Umsetzung (*Execution*) einer bestehenden und gültigen Produktionsplanung durchzusetzen und gleichzeitig Rückmeldungen aus dem Produktionsprozess zu verarbeiten.[1], [6] Durch die Erfassung und Verarbeitung von Echtzeitdaten schafft das MES Transparenz, steigert die Effizienz und ermöglicht reaktionsschnelle Entscheidungen im laufenden Fertigungsprozess.[1], [7] Während ERP-Systeme die Frage beantworten „Was soll wann produziert werden?“, beantwortet das MES „Wie, womit und in welchem Status wird gerade produziert?“[2], [4]

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

2.1.2 Normative Rahmenwerke und Standardisierung

VDI-Richtlinie 5600

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) definiert in der Richtlinie VDI 5600 den umfassenden Funktionsumfang von Fertigungsmanagementsystemen. Diese Richtlinie strukturiert die MES-Aufgaben in zehn zentrale Funktionsbereiche.[8]

Tabelle 2.1: Zentrale Funktionsbereiche eines MES nach VDI 5600

Funktionsbereich	Beschreibung
Auftragsmanagement	Verwaltung und Steuerung von Produktionsaufträgen entlang ihres Lebenszyklus
Feinplanung und Feinsteuerung	Detaillierte Termin- und Ressourcenplanung auf Maschinen- und Arbeitsplatzebene
Betriebsmittelmanagement	Verwaltung von Maschinen, Werkzeugen und Anlagen, inkl. Verfügbarkeiten und Zustände
Materialmanagement	Steuerung des Materialflusses, Bestandsführung und Bereitstellung am Ort des Bedarfs
Personalmanagement	Qualifikationsmanagement, Schichtzuordnung und arbeitsplatzbezogene Personalplanung
Datenerfassung	Echtzeiterfassung von Prozess-, Maschinen- und Produktionsdaten (BDE/MDE)
Leistungsanalyse	Ermittlung von Kennzahlen zur Produktionseffizienz (z. B. OEE, Ausschussquoten)
Qualitätsmanagement	Überwachung und Steuerung der Produkt- und Prozessqualität
Informationsmanagement	Bereitstellung relevanter Informationen und Reports für unterschiedliche Nutzergruppen
Energiemanagement	Überwachung und Optimierung des Energieverbrauchs in der Fertigung

MESA International

Die Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) International definierte bereits 1997 elf Kernfunktionen, die ein MES umfassen sollte.[1], [9] Dazu gehören insbesondere:

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

1. Ressourcenzuweisung und -status (*Resource Allocation and Status*)
2. Arbeitsgänge/Detailplanung (*Operations/Detail Scheduling*)
3. Disposition von Produktionseinheiten (*Dispatching Production Units*)
4. Dokumentenkontrolle (*Document Control*)
5. Datenerfassung und -bereitstellung (*Data Collection/Acquisition*)
6. Personalmanagement (*Labor Management*)
7. Qualitätsmanagement (*Quality Management*)
8. Prozessmanagement (*Process Management*)
9. Instandhaltungsmanagement (*Maintenance Management*)
10. Leistungsanalyse (*Performance Analysis*)
11. Produktverfolgung und -genealogie (*Product Tracking and Genealogy*)

2.1.3 Grundlegende Aufgaben und Funktionsweise

Kernaufgaben im Produktionsprozess

Im operativen Produktionsmanagement erfüllt ein MES drei zentrale Kernfunktionen:[1], [5]

- **Betriebsdatenerfassung (BDE):** Systematische Erfassung von Informationen wie Durchlaufzeiten, Maschinenauslastung, Kapazitäten und Verfügbarkeiten.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

- **Verriegelung (*Locking*):** Sicherstellung, dass Maschinen korrekt eingerichtet, freigegeben und funktionsfähig sind, bevor ein Auftrag gestartet wird (z. B. Freigabeprüfungen, Prüfmittelstatus).

- **Rückverfolgbarkeit (*Traceability*):** Lückenlose Dokumentation von Chargen, Seriennummern, Materialeinsatz und relevanten Prozessparametern zur vollständigen Nachverfolgung.

Funktionale Wirkungsweise im Gesamtsystem

Ein MES operiert als Informations- und Datendrehscheibe, die ein aktuelles Abbild der Fertigung zu jeder Zeit darstellt.[1], [6] Die systematische Arbeitsweise folgt typischerweise einem wiederkehrenden Workflow:

1. Das ERP-System erzeugt einen Fertigungsauftrag und gibt ihn zur Produktion frei.

2. Das MES übernimmt den Auftrag, verfeinert ihn (z. B. Aufspaltung in Teilaufträge) und erstellt eine detaillierte Feinplanung.

3. Maschinen und Mitarbeiter liefern laufend Ist-Daten (Stückzahlen, Stillstandszeiten, Qualitätswerte) an das MES.

4. Das MES analysiert die Daten in Echtzeit, erkennt Abweichungen, stößt Eskalationen oder Anpassungen der Planung an und unterstützt operative Entscheidungen.

5. Ergebnisse und Kennzahlen werden an übergeordnete Systeme (ERP, Management-Cockpits) zurückgemeldet.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

2.1.4 Zentrale Funktionsmodule eines MES

Produktionsplanung und -steuerung

Das MES ermöglicht eine exakte Planung und Steuerung der Fertigungsabläufe sowie der benötigten Ressourcen.[1], [10] Basierend auf aktuellen Kapazitäten, Materialverfügbarkeit, Rüstzuständen und Prioritäten erstellt das System eine optimale Reihenfolge der abzuarbeitenden Aufträge, wobei Rüstzeiten minimiert und Durchlaufzeiten optimiert werden. Die Auftragssteuerung gewährleistet, dass das richtige Material, die korrekten Werkzeuge und qualifiziertes Personal zur richtigen Zeit an den jeweiligen Stationen verfügbar sind.[4], [5]

Echtzeit-Datenerfassung und -verarbeitung

Ein MES sammelt Daten direkt aus der Produktion, verarbeitet sie in Echtzeit und stellt diese Informationen transparent für verschiedene Nutzergruppen bereit.[1], [2] Die Datenerfassung erfolgt typischerweise über zwei Kanäle:

- **Maschinendatenerfassung (MDE):** Automatische Erfassung von Zuständen, Zählwerten und Prozessgrößen direkt aus Steuerungen über industrielle Kommunikationsprotokolle (z. B. OPC UA, MQTT, Profinet).

- **Betriebsdatenerfassung (BDE):** Manuelle Eingaben durch Mitarbeiter an Terminals, Tablets oder BDE-Stationen (z. B. Start/Ende von Aufträgen, Störgründe, Qualitätsurteile).

Das MES konsolidiert beide Datenströme, korreliert sie mit den laufenden Aufträgen und schafft so ein vollständiges Bild der Produktionssituation. Abweichungen werden sofort erkannt, Engpässe identifiziert und Optimierungspotenziale sichtbar gemacht.[10], [11]

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Qualitätsmanagement und Rückverfolgbarkeit

Die Qualitätskontrolle erfolgt mit Hilfe eines MES in Echtzeit, sodass bei Abweichungen unmittelbar reagiert werden kann (z. B. Sperren von Chargen, Anpassung von Prozessparametern).[2], [4] Dies reduziert Ausschuss, Nacharbeit und Reklamationen erheblich.

Das MES unterstützt zudem eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von Produkten und Chargen, indem es dokumentiert, welches Material wann, wo, von wem und unter welchen Bedingungen verarbeitet wurde.[1], [5] Diese Produktgenealogie ist für die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften (z. B. in der Lebensmittel-, Pharma- oder Automobilindustrie) und für Kundenanforderungen an Transparenz unerlässlich.

Ressourcenmanagement

Das MES verwaltet und überwacht Produktionsressourcen wie Maschinen, Personal, Werkzeuge und Materialien in integrierter Form.[1], [5] Es plant Maschinenbelegung, Materialfluss und Personaleinsatz mit dem Ziel, kurze Durchlaufzeiten, hohe Auslastung und pünktliche Lieferungen zu erreichen.

Dabei werden Qualifikationen der Mitarbeiter berücksichtigt, Wartungsfenster eingeplant und Materialengpässe frühzeitig sichtbar gemacht. So unterstützt das MES sowohl die operative Steuerung als auch mittelfristige Kapazitätsentscheidungen.[6], [10]

Leistungsanalyse und Kennzahlen

Ein MES liefert wichtige Kennzahlen zur Produktionseffizienz wie die Overall Equipment Effectiveness (OEE), Stillstandszeiten, Ausschussquoten und Termintreue.[1], [5] Auf Basis dieser Kennzahlen können Schwachstellen und Verluste entlang der Wert-

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

schöpfungskette identifiziert und Maßnahmen im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) abgeleitet werden.

Reporting-Funktionen und Dashboards ermöglichen es, Kennzahlen in verschiedenen Aggregationsstufen (Schicht, Linie, Werk) zu analysieren und zielgruppengerecht darzustellen.[2], [4]

2.1.5 Abgrenzung zu verwandten Systemen

MES im Vergleich zu ERP-Systemen

ERP-Systeme operieren vorwiegend auf der strategisch-taktischen Ebene und verarbeiten Planungsdaten im Tages- bis Wochenbereich (z. B. Absatzplanung, Materialbedarfsplanung, Finanzprozesse).[4], [11] Das MES arbeitet demgegenüber auf der operativen Ebene mit Echtzeitdaten im Sekunden- bis Stundenbereich und fokussiert auf die konkrete Ausführung der Fertigung.

Vereinfacht ausgedrückt beantwortet das ERP die Frage „Was und wann?“, während das MES die Frage „Wie und mit welchem aktuellen Status?“ beantwortet.[1], [2] Beide Systeme ergänzen sich und sollten über geeignete Schnittstellen bidirektional integriert sein.

MES im Vergleich zu SCADA-Systemen

SCADA-Systeme (Supervisory Control and Data Acquisition) visualisieren und überwachen einzelne Anlagen oder Maschinen auf der Feldebene und sind eng mit der Prozess- bzw. Maschinensteuerung verknüpft.[1], [6] Das MES operiert eine Ebene höher und orchestriert mehrere Maschinen, Anlagen oder gesamte Produktionslinien aus Sicht des Auftrags und der Ressourcennutzung.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Der Fokus des MES liegt nicht auf der technischen Steuerung einzelner Aggregate, sondern auf der übergeordneten Produktionssteuerung, der betriebswirtschaftlich orientierten Datenerfassung und der Optimierung des gesamten Fertigungsprozesses.[1], [4]

2.1.6 Zusammenfassung

Ein Manufacturing Execution System ist ein zentrales Element der digitalen Transformation der Produktion. Als Bindeglied zwischen ERP und Shopfloor ermöglicht es die Echtzeit-Steuerung, -Überwachung und -Optimierung von Fertigungsprozessen.[1], [2], [4] Die Funktionsbereiche nach VDI 5600 sowie die MESA-Referenzfunktionen bilden einen umfassenden Rahmen für die Funktionalität moderner MES-Lösungen.[8], [9]

Durch die systematische Erfassung und Verarbeitung von Produktionsdaten schafft das MES Transparenz, erhöht die Effizienz, verbessert die Qualitätssicherung und reduziert Kosten sowie Durchlaufzeiten.[1], [5] Für die Implementierung in eine bestehende Produktion ist die Kenntnis dieser grundlegenden Aufgaben und Funktionsweisen essenziell, um das Potenzial des Systems vollständig auszuschöpfen und eine erfolgreiche Integration zu gewährleisten.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

2.2 Ausgangslage

Zu Beginn der Studienarbeit gab es ein bereits teilweise konfiguriertes MES-System von FORCAM. Zusätzlich wurde bereits die zugehörige Schnittstellen-Software (Edge Connect) von Forcam vorbereitet. Hierfür ist im PTZ eine eigene Infrastruktur aus virtuellen Maschinen (VM) aufgebaut, mehr dazu in Kapitel 3 Systemanalyse des FORCAM MES mit Fokus auf EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX. Der Server ist mit der Steuerung (SPS) bereits verbunden, es werden aber noch keine Daten übertragen. Die Einrichtung der Datenübertragung von SPS über die Edge Connect zum MES erfolgte dann im Rahmen dieser Studienarbeit, siehe Kap. 5 Umsetzung und Ergebnisse.
Auf der SPS-Ebene war noch nichts vorbereitet, wie Variablen, Datenbausteine, o.ä., für eine mögliche Integration in ein MES-System.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

3 Systemanalyse des FORCAM MES mit Fokus auf EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX

3.1 Systemarchitektur und Komponentenaufbau

Die FORCAM MES-Landschaft basiert auf einer zweistufigen Architektur, die aus der Konnektivitätsplattform *FORCE EDGE CONNECT* und dem Manufacturing Execution System *FORCE MES FLEX* besteht.[12], [13] EDGE CONNECT übernimmt die standardisierte Maschinendatenerfassung und -anbindung, während MES FLEX die Verarbeitung, Visualisierung und Bedienoberflächen für die Nutzer bereitstellt.[14], [15]

Die Architektur folgt dem Prinzip einer komponierbaren IT-Infrastruktur, bei der beide Komponenten lose gekoppelt sind und über klar definierte Schnittstellen interagieren.[16] Dadurch können Unternehmen Maschinenanbindung und MES-Funktionalität unabhängig voneinander skalieren und weiterentwickeln.[12]

Im ZDP ist die Systemarchitektur, wie in Abb. 3.1 dargestellt, aufgebaut. Dabei gibt es einen Server, welcher mehrere lokale VMs beinhaltet. Diese VMs haben steuern die verschiedenen Komponenten, welche in den nachfolgenden Abschnitten erklärt werden.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

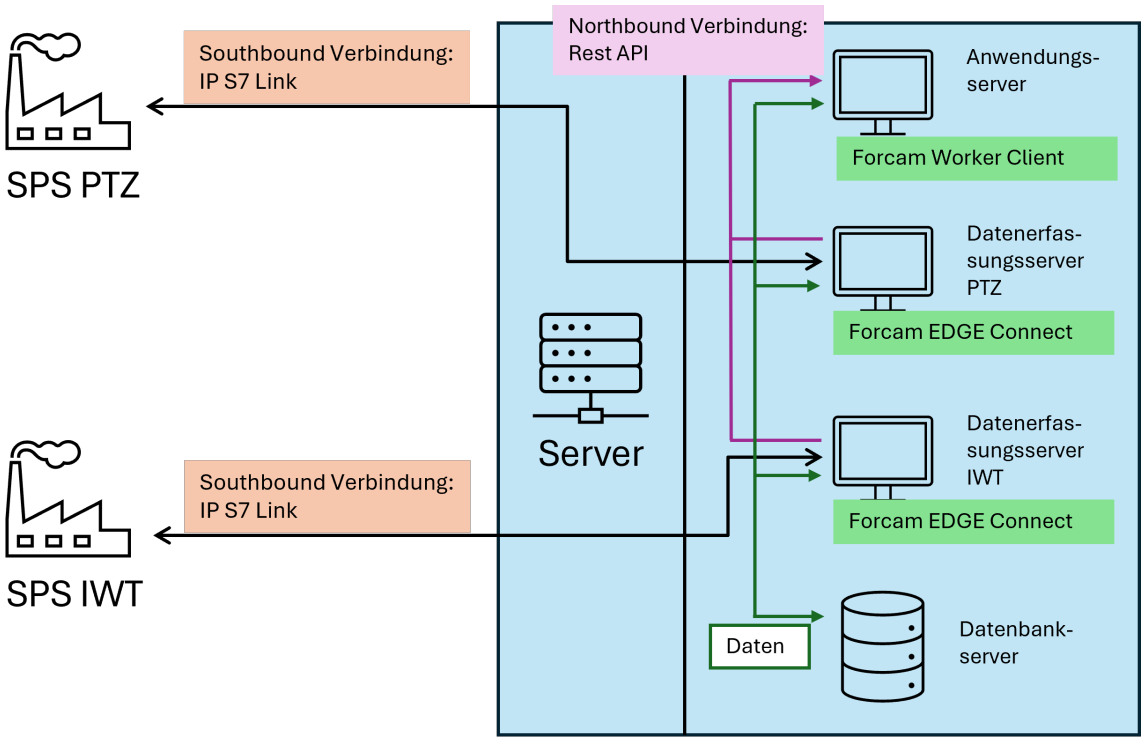


Abbildung 3.1: Übersicht Netzwerk-Infrastrukur im ZDP

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

3.2 Komponente FORCE EDGE CONNECT

3.2.1 Aufgaben und Rolle im Gesamtsystem

FORCE EDGE CONNECT ist die zentrale Plattform für die Anbindung heterogener Maschinenparks und bildet die Datenerfassungsschicht zwischen Shopfloor und überlagerten IT-Systemen.[14], [15] Die Lösung erfasst Maschinensignale und Prozessdaten in Echtzeit, normiert sie in ein einheitliches Datenmodell und stellt sie als standardisierte Events für nachgelagerte Systeme wie FORCE MES FLEX oder SAP Digital Manufacturing bereit.[14], [17]

Zu den Kernaufgaben von EDGE CONNECT gehören:

- Erfassung von Zuständen, Zählwerten und Prozessgrößen direkt aus Steuerungen und Sensorik.
- Normalisierung der Rohsignale in standardisierte Status- und Produktionsereignisse.
- Bereitstellung einer bidirektionalen Kommunikationsschnittstelle zwischen Maschine und IT-Systemen.

[14], [15]

3.2.2 Edge-Knoten und Konfigurationskonzept

Technisch basiert EDGE CONNECT auf einem Knotenmodell, bei dem ein Edge-Knoten jeweils eine logisch abgegrenzte Anbindungsinstanz (z. B. für ein Werk oder einen Linienverbund) repräsentiert.[14] Pro Standort können mehrere Knoten betrieben werden, um Last zu verteilen oder Netzsegmentgrenzen zu berücksichtigen.[14]

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Die Konfiguration erfolgt über eine zentrale, webbasierte Oberfläche (EDGE Configuration), die unter anderem folgende Funktionen bereitstellt:

- Übersicht über alle Knoten mit Statusinformationen.
- Anzeige der Anzahl und des Verbindungsstatus der angebundenen Maschinen.
- Zentrale Aktivierung, Deaktivierung und Überwachung der Konnektivität.

[14]

Die Anbindung einer Maschine wird in einem geführten, mehrstufigen Dialog eingerichtet, in dem unter anderem Steuerungstyp, Signale, Logikskripte und ggf. NC-Programmübertragung definiert werden.[14]

3.2.3 Maschinenanbindung und Protokolle

EDGE CONNECT unterstützt eine Vielzahl unterschiedlicher Steuerungen und Protokolle, wodurch sowohl moderne als auch ältere Maschinen integriert werden können.[14], [15] Typischerweise kommen folgende Mechanismen zum Einsatz:

- Steuerungsspezifische Plug-ins (z. B. für Siemens S7, Beckhoff, Heidenhain).
- Industrielle Kommunikationsprotokolle wie OPC UA, MQTT, Profinet oder MTConnect.
- Zusätzliche IO-Module oder Sensorik zur Nachrüstung von Legacy-Maschinen.

[14], [18]

Die über diese Schnittstellen erfassten Signale werden über konfigurierbare Logik in standardisierte Ereignisse (z. B. Produktionsstart, Störung, Mengenrückmeldung)

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

überführt und an die MES-Ebene weitergeleitet.[14]

3.2.4 EDGE API und Eventmodell

Für den Datenaustausch mit Drittsystemen stellt EDGE CONNECT eine HTTP- oder REST-basierte API bereit, über die Events im JSON-Format übertragen werden.[14] Das Eventmodell sieht Platzhalter für dynamische Werte vor, sodass Maschinensignale zur Laufzeit direkt in den Eventinhalt eingebettet werden können.[14]

Über dieses API-Konzept lassen sich neben FORCE MES FLEX auch weitere Systeme wie Datenplattformen, Analytics-Lösungen oder cloudbasierte Services anbinden.[15]

3.3 Komponente FORCE MES FLEX

3.3.1 Rolle als MES- und Bedienplattform

FORCE MES FLEX bildet die MES-Ebene der Lösung und dient als flexible Datendrehscheibe sowie als zentrale Bedien- und Visualisierungsplattform.[12], [13] Es verarbeitet die von EDGE CONNECT gelieferten Events, ordnet sie Aufträgen, Ressourcen und Materialbewegungen zu und stellt die Informationen in Form von MES-Apps und Dashboards zur Verfügung.[13]

Die Plattform adressiert unterschiedliche Nutzerrollen:

- Werker am Shopfloor mit fokusierten, aufgabenorientierten Terminals.
- Schicht- und Produktionsleiter mit Linien- und Bereichsübersichten.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

- Management mit aggregierten Kennzahlen und Trendanalysen.

[13], [19]

3.3.2 Bedienoberflächen und Dashboards

Kernbestandteil von FORCE MES FLEX sind konfigurierbare, rollenbasierte Dashboards, die relevante Informationen in Echtzeit visualisieren.[13] Diese Oberflächen sind als Webanwendung ausgeführt und können auf unterschiedlichen Endgeräten wie Touch-Terminals, Tablets oder Büroarbeitsplätzen genutzt werden.[13], [19]

Für manuelle Arbeitsplätze stehen spezialisierte Shopfloor-Terminals zur Verfügung, die u. a. folgende Funktionen unterstützen:

- Anmeldung von Mitarbeitern und Zuordnung zu Maschinen oder Aufträgen.
- Starten und Beenden von Aufträgen sowie Erfassung von Stückzahlen und Störgründen.
- Anzeige von Arbeitsanweisungen, Stücklisten und Qualitätsvorgaben.

[19]

3.3.3 Integrierte MES-Apps

FORCE MES FLEX stellt eine Reihe von MES-Apps bereit, die je nach Projektfokus aktiviert und konfiguriert werden können.[12], [13] Typische Apps sind:

- *Leistungsanalyse*: Auswertung von OEE, Stillstandszeiten und Produktivitätskennzahlen.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

- *Feinplanung*: Detaillierte Termin- und Ressourcenplanung mit interaktiven Planungstafeln.
- *Rückverfolgbarkeit*: Track-and-Trace-Funktionalitäten für Chargen und Seriennummern.
- *Dokumentenmanagement*: Bereitstellung und Versionierung von Dokumenten am Arbeitsplatz.
- *Energiemonitoring*: Kombination von energetischen und produktiven Kennzahlen.

[13]

3.4 Zusammenspiel von EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX

3.4.1 Datenfluss vom Shopfloor zur MES-Ebene

Im Zusammenspiel bildet EDGE CONNECT die Datenerfassungsschicht, während FORCE MES FLEX die Verarbeitung und Visualisierung übernimmt.[13], [14] Der typische Datenfluss gestaltet sich wie folgt:

1. EDGE CONNECT liest Maschinensignale und erstellt daraus standardisierte Events.
2. Die Events werden über definierte Schnittstellen an FORCE MES FLEX übertragen.
3. MES FLEX ordnet die Events Aufträgen, Ressourcen und Materialflüssen zu

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

und speichert sie in der MES-Datenbasis.

4. Die aufbereiteten Informationen werden in Dashboards, Terminals und Reports visualisiert.

[13], [14]

3.4.2 Bidirektionale Kommunikation

Neben der reinen Datenerfassung unterstützt die Kombination aus EDGE CONNECT und MES FLEX auch bidirektionale Kommunikationsszenarien.[15], [17] Beispielsweise können:

- Auftragsdaten aus MES FLEX über EDGE CONNECT an Maschinensteuerungen übergeben werden.
- NC-Programme verteilt und an Maschinen bereitgestellt werden.
- Vorgabezeiten oder Parameteränderungen aus dem MES an die Steuerung zurückgespielt werden.

[14], [17]

Damit eignen sich EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX insbesondere für Szenarien, in denen in den folgenden Kapiteln einer Arbeit sowohl die *Maschinenanbindung* als auch die *Benutzeroberfläche und Bedienung* detailliert betrachtet und umgesetzt werden sollen.[12], [13]

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

4 Vorgehen

Dieses Kapitel beschreibt das methodische Vorgehen der Arbeit. Es gliedert sich in vier Phasen: Systemanalyse, Zieldefinition, Schnittstellenkonzeption und Implementierungsplanung.

4.1 Systemanalyse

Ausgangspunkt bildet die Analyse des FORCAM MES (Kapitel 3), die die Architektur aus EDGE CONNECT (Datenerfassung) und MES FLEX (Visualisierung) identifiziert. Diese Untersuchung bildet die technische Grundlage und klärt die Schnittstellen sowie Datenflüsse zwischen den Systemkomponenten.

4.2 Zieldefinition

Zentrale Ziele der Anbindung:

- **Erfassung von Maschinenstatus und Stückzahlen**: Grundlage für Echtzeit-Transparenz über Produktionsabläufe und Auslastung
- **Echtzeit-Datenübertragung**: Minimierung von Latenzzeiten für aktuelle Entscheidungsgrundlagen

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

- **Standardisierte, skalierbare Schnittstellen**: Einheitliche Datenformate für einfache Erweiterbarkeit auf weitere Maschinen

4.3 Schnittstellenkonzeption

Geplante Standardisierung:

- **SPS**: Zentrale Datenbausteine mit offset-basierter Adressierung für konsistente Signalzuordnung
- **EDGE CONNECT**: Signale und Composition-Skripte zur Umwandlung heterogener SPS-Daten in standardisierte MES-Events
- **MES FLEX**: API-basierte Datenintegration mit rollenbasierter Visualisierung für unterschiedliche Nutzergruppen

4.4 Implementierungsplan

Schrittweise Realisierung:

1. **SPS-Vorbereitung**: Erstellung zentraler Datenstrukturen für einheitlichen Prozessdatenzugriff
2. **EDGE CONNECT-Konfiguration**: Asset-Definition, Signal-Mapping und Event-Generierung inklusive Northbound-Kommunikation
3. **MES FLEX-Integration**: Instanzkonfiguration und Bereitstellung der Daten in Shopfloor-Terminals

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

4. **Validierung**: Systemtests unter realen Produktionsbedingungen zur Sicherstellung der Funktionalität

Die Umsetzung und Ergebnisse dieses Vorgehens folgen in Kapitel 5.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

5 Umsetzung und Ergebnisse

In diesem Kapitel wird die praktische Umsetzung der in Kapitel 4 beschriebenen Konzepte dargelegt. Es werden die einzelnen Schritte zur Realisierung der Schnittstelle zwischen der SPS und dem FORCAM Force MES FLEX dargestellt, einschließlich der Konfiguration der notwendigen Komponenten und der Datenübertragung.

5.1 Schnittstellenerzeugung im SPS-Programm

Um eine einheitliche Übergabe gewünschter Prozesswerte zu ermöglichen, die Anbindung dieser an FORCAM Edge Connect zu vereinfachen und eine bessere Übersichtlichkeit sowie Wartbarkeit der konfigurierten Verbindung zu garantieren, wurden alle relevanten Prozessvariablen in einen extra Datenbaustein des SPS-Programms kopiert. Dieser Datenbaustein wird als Schnittstelle für die Kommunikation mit der Software FORCAM Force Edge Connect verwendet. Die Adressierungen der Signale innerhalb von Edge Connect erfolgt anschließend gemäß der Datenbausteinnummer und dem im Datenbaustein dargestellten Offset.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

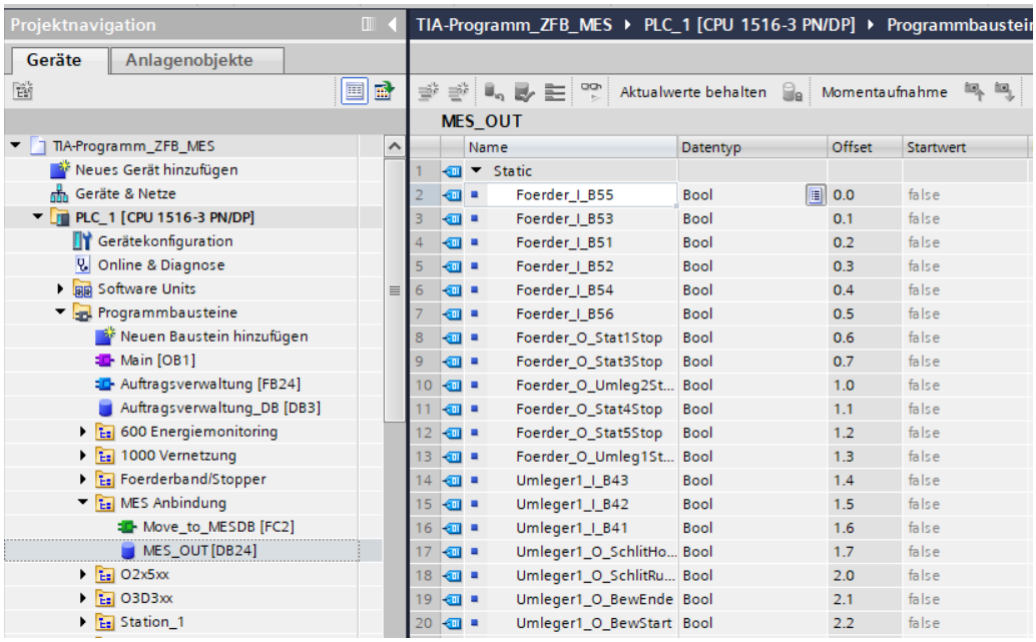


Abbildung 5.1: Datenbaustein MES_OUT

Dieser Offset wird automatisch generiert, wenn der optimierte Bausteinzugriff für den Datenbaustein, in dessen Einstellungen unter Attribute, deaktiviert wurde. Sollten weitere Werte ergänzt werden, ist dies am Ende der vorhandenen Liste zu tätigen, damit sich nicht alle Adressen verschieben und bereits konfigurierte Signale in Edge Connect erneuert werden müssen. Damit die Werte des Datenbausteins auch mit den zyklischen Werten der SPS übereinstimmen, wird die Funktion Move_to_MESDB verwendet, welche die aktuellen Werte in den Baustein schreibt. Diese ist bei der Ergänzung weiterer Prozesswerte ebenfalls zu bearbeiten und anzupassen.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

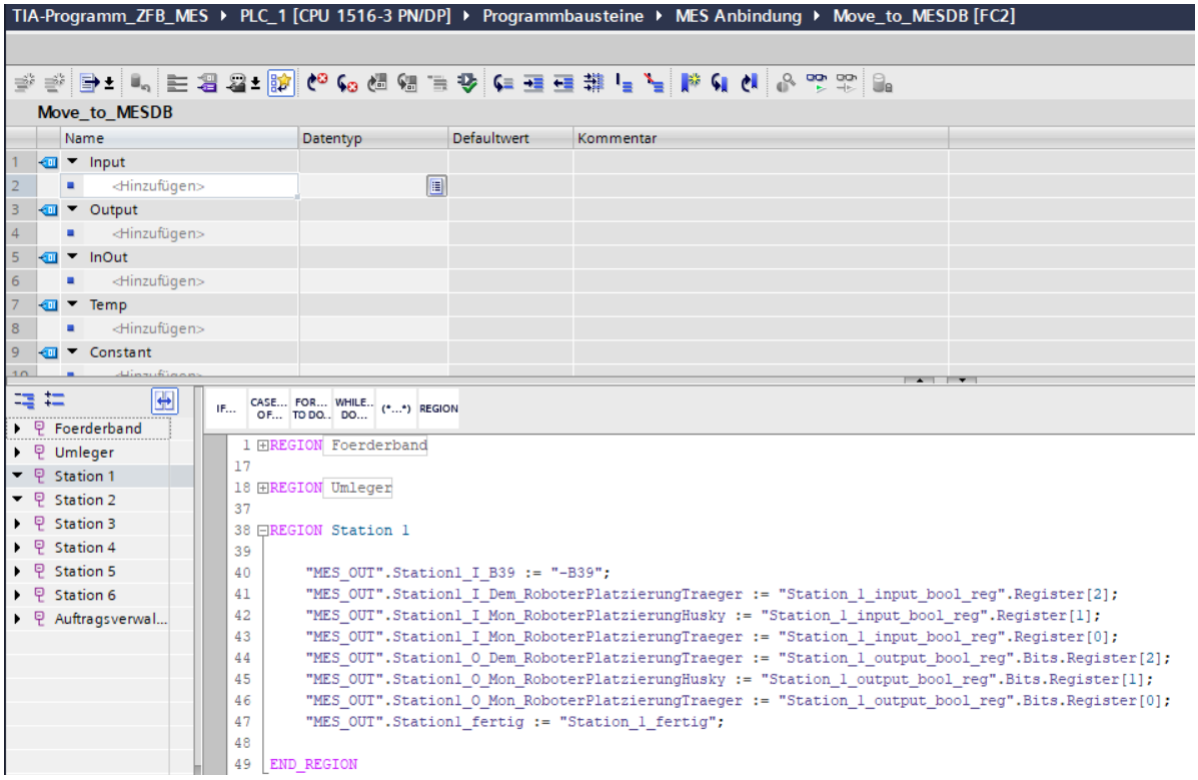


Abbildung 5.2: Funktion Move_to_MESDB

5.2 Konfiguration FORCAM Force Edge Connect

Wurden die relevanten Prozesswerte im SPS-Programm vorbereitet, so kann mit der Konfiguration in Edge Connect begonnen werden. Innerhalb von Edge Connect gibt es mehrere Möglichkeiten Prozesswerte anzubinden.

Aktuell gibt es zwei Knoten, welche den Anlagenteil im PTZ der DHBW und den Anlagenteil des IWT darstellen.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

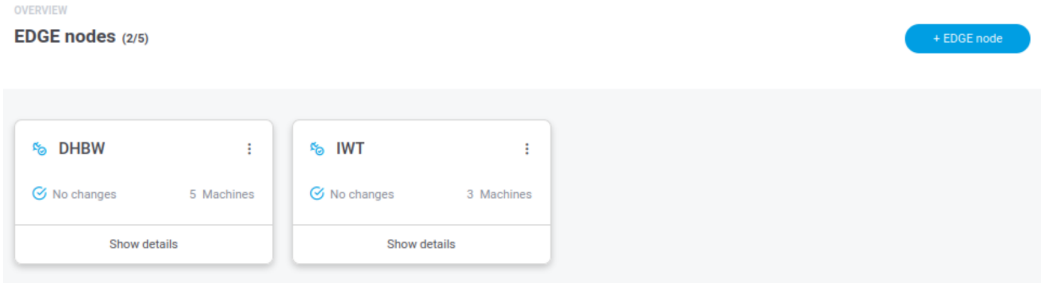


Abbildung 5.3: aktuelle Knoten in Edge Connect

Innerhalb eines Knotens können Daten in bestehenden Assets hinzugefügt oder erneuert werden und ebenso ein neues Asset mit neuen Prozessdaten angelegt werden.

5.2.1 neues Asset anlegen

Wählt man die Option ein neues Asset anzulegen, so öffnet sich ein Konfigurationsfenster, in welchem zuerst die Basisinformationen des Assets eingetragen werden. Wichtig sind dabei die Auswahlmöglichkeiten MDC (Machine Data Connection), DNC (Distributed Numerical Control) und DataLake. Innerhalb der MDC-Konfiguration wird die Verbindung der Daten aus der SPS zu Edge Connect konfiguriert. DNC ermöglicht den Datentransfer von Edge Connect zur Anlagensteuerung, was für diese Arbeit nicht relevant ist, jedoch für spätere Erweiterungen genutzt werden könnte. DataLake ist die Speicherung der Prozessdaten in der Cloud von FORCAM, welche für die spätere Auswertung und Analyse der Daten verwendet werden kann.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

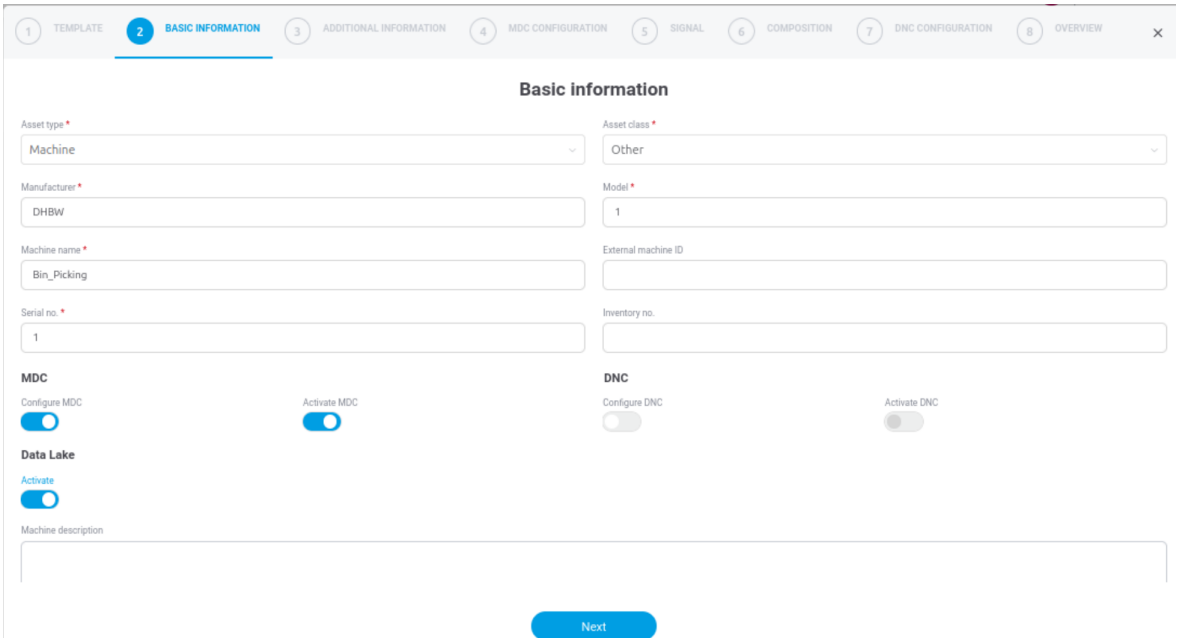


Abbildung 5.4: neues Asset anlegen

Um die Prozesswerte von der SPS zu Edge Connect zu übertragen, muss zunächst die MDC-Kommunikation konfiguriert werden. Hier muss das entsprechende Plug-In (Siemens S7-1500) für die Kommunikation zwischen Edge-Connect und SPS gewählt werden. Je nach gewähltem Plug-In ergeben sich mehrere Möglichkeiten für das vorhandene Bussystem der Anlage (IP S7 Link), welches daraufhin auch hinsichtlich der zugehörigen Parameter konfiguriert werden muss.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

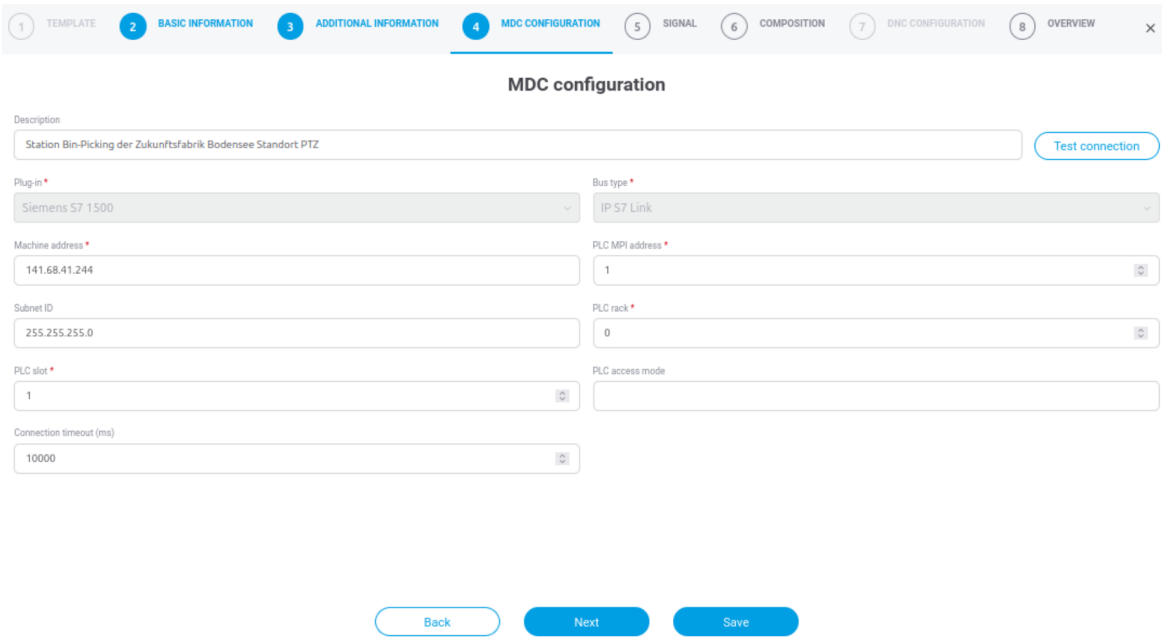


Abbildung 5.5: MDC-Konfiguration

5.2.2 Prozessdaten als Signale anlegen oder in bestehendem Asset hinzufügen

Wurde das Asset bis hierhin konfiguriert, so werden als Nächstes die Prozesswerte als Signale angelegt. Um die Signale korrekt anzulegen, ist es essenziell den Datentyp und die Herkunft des Signals zu kennen. Es gibt u. a. die Möglichkeit binäre Ein- und Ausgänge der SPS abzufragen, Werte aus Datenbausteinen zu lesen und Ein- und Ausgangsworte der SPS zu erfassen. Wie bereits in der Vorbereitung der Daten innerhalb des SPS-Programms dargestellt verwenden wir nur Werte innerhalb eines Datenbausteins. Somit ist die Herkunft des Signals immer ein Datenbaustein und es muss lediglich auf korrekte Adressierung und den passenden Datentyp geachtet werden.

Für den ausgewählten Datentyp gibt es ein entsprechendes Untermenü in welchem die genauere Adressierung SPS-Signals einstellbar ist, dem Prozesswert eine Einheit

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

versehen werden kann und eigene Tags und Kommentare für die Variablen vergeben können werden. Ebenso kann für jedes Signal sowohl entschieden werden, ob dieses aktiv geschaltet ist, als auch ob es in den DataLake mit einfließt. Für eine erfolgreiche Kommunikation der Prozesswerte von SPS zu Edge Connect sind die Adressierung des SPS-Signals, sowie eine korrekte MDC-Kofiguration von größter Bedeutung.

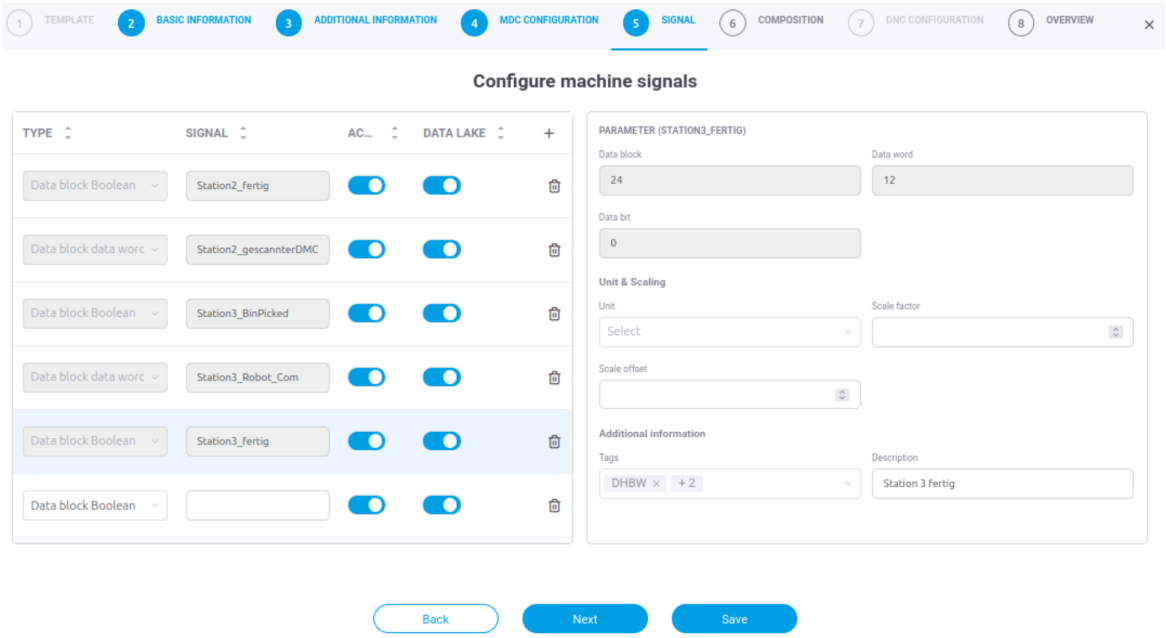


Abbildung 5.6: Signalkonfiguration

Beim gewählten Datentyp Data Block Boolean z.B. ist die Adressierung folgendermaßen:

- Datablock - Datenbausteinnummer innerhalb SPS-Programm (DB24), Adresse 24
- Data Word - Anfang des Datenblockbytes, in welchem das zu lesende Bit liegt
- Data Bit - Adresse des Bits 0-7

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Eine Konfiguration für das Signal, welches im Datenblock den Offset +8.1 hat ist demnach Data block: 24; Data word: 8; Data bit: 1, bei einem Signal mit Offset +9.2 ist es dann Data block: 24; Data word: 9; Data bit:2 etc.

Für Variablen eines Datenbausteins vom Typ Integer oder Real kann in der Edge der Typ Data block data word, bzw. Data block double word verwendet werden. Hierbei ist dieselbe Adresse wie im Baustein der SPS anzugeben.

5.2.3 Schreiben des Composition-Skripts

Um die von der SPS empfangenen Daten richtig zu verarbeiten und für die Übergabe ans MES vorzubereiten, muss für jedes Asset ein Composition-Skript geschrieben werden. Im Composition-Skript werden Variablen deklariert, konfigurierte Signale verarbeitet, Listen erstellt und gewünschte MES-Reaktionen auf entsprechende Prozesswerte vorbereitet. Für die Programmierung des Skripts sind die in Abbildung 5.7 dargestellten Funktionen und Events relevant.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Verwendung	Skriptfunktion Parameter in [...] sind optional	Beschreibung	Output-Event
Standard	SendImpulse(ImpulseCount, [Reference])	Sendet Impulse.	Impulse
Standard	SendQuantity(Quantity, [Unit], [QualityDetail], [Reference])	Sendet Menge.	Quantity
Custom	SendState(State, [StatusCodesListName], [Reference])	Sendet Status.	State
Standard	SendStateProduction([StatusCodesListName], [Reference])	Sendet Produktionsstatus.	State
Standard	SendStateStoppage([StatusCodesListName], [Reference])	Sendet den Zustand Stopp.	State
Standard	SendSignalValue(SignalName, Value, [Unit], [Reference], [CustomerSpecificSetting], [Timestamp])	Sendet den Wert eines Signals. Liste für Timestamp muss mit dem Datentyp "Long" (L) angelegt werden	SignalValue
Standard	SendSignalPackage(SignalNamesListName, ValuesListName, [UnitsListName], [Reference], [CustomerSpecificSetting], [TimestampsListName])	Sendet Signalwerte als Paket. Liste für Timestamp muss mit dem Datentyp "Long" (L) angelegt werden	SignalPackage
Custom	SendGenericInformation(ParamName, ParamValue, [Reference])	Sendet generische Informationen.	GenericInformation
Helfer	ListNew(ListName, DataType)	Erstellt eine neue Liste mit dem Namen ListName und Listenelementen vom Datentyp DataType (S für String, B für Boolean, N für Number).	-
Helfer	ListAdd(ListName, Value)	Fügt der Liste ein Element hinzu.	-
Helfer	ListClear(ListName)	Leert die Liste.	-
Helfer	ListDelete(ListName)	Löscht die Liste.	-

Abbildung 5.7: wichtige Funktionen im Composition-Skript, Quelle: [20]

Prinzipiell ist es sinnvoll, das Skript einheitlich aufzubauen und zu standardisieren, sodass es für jedes Asset gleich aufgebaut ist und somit verständlicher und wartungsfreundlicher wird. Zusätzlich erleichtert dies die spätere Erweiterung der Schnittstelle

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

um weitere Prozesswerte, da bereits eine Grundstruktur vorgegeben ist.

Das geschriebene und zurzeit verwendete Composition-Skript hat folgenden Aufbau:

- Deklaration der Variablen
- einmalige Initialisierung
- Verarbeitung der eingehenden Signale zum entsprechenden Maschinenstatus
- Erstellung und Befüllung der Listen für das State-Event
- Verarbeitung bestimmter Prozesswerte zur Stückzahlzählung
- Logging von Fehlern und Warnungen

Dabei erfüllt es folgende Aufgaben:

- Überwachung des Anlagenstatus und korrekte Zuweisung der Maschinenzustände
- Erkennung produzierter Teile und Stückzahlzählung
- Bereitstellung von Log-Dateien zur Fehlerauswertung

Um den Anlagenstatus korrekt ans MES zu übermitteln, werden die im MES definierten Maschinenzustände innerhalb des Composition-Skripts erstellt und je nach Anlagenzustand entsprechend in eine Liste eingefügt. Diese Liste wird anschließend mit dem Befehl sendState im State-Event an die Northbound-Konfiguration von Edge Connect übergeben, sodass der Maschinenstatus in einem zweiten Schritt an das MES übertragen werden kann, vgl. Abb. 5.8.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7


```
154 if state <> stateOld or status_reason <> status_reasonOld then
155 begin
156 ListClear("STATUSCODES");
157 ListAdd("STATUSCODES", status_reason);
158 SendState(state, "STATUSCODES");
159
160 DebugOut("@|PLC|@" + " Send state=" + state + "; Status_Reason=" + status_reaso
161
162 stateOld         := state;
163 status_reasonOld := status_reason;
164 end;
```

Abbildung 5.8: Liste STATUSCODES und State-Befehl

Um die Stückzahl der produzierten Teile zu erfassen, wird bei jeder abgeschlossenen Produktion einer Station das Impulse-Event ausgelöst, welches die Stückzahl des Assets im MES um 1 erhöht vgl. Abb. 5.9.

```
133 // SEND machine count (Strokes) START
134 if not offline(@|PLC|@) and RISINGEDGE(@|PLC|@:Station1_fertig) and @|PLC|@:Auf
135 begin
136 SendImpulse(1);
137 end;
138 // SEND machine count END
```

Abbildung 5.9: Impulse-Event im Composition-Skript

Damit Fehler und Warnungen, die während des Betriebs auftreten, nachvollzogen und ausgewertet werden können, wird im Composition-Skript ein Logging implementiert. Hierbei werden die in der Log-Datei auszugebenden Werte zunächst in die Variable logString geschrieben und in einem zweiten Schritt über den debugOut-Befehl in die Log-Datei ausgegeben vgl. Abbildung 5.10.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7


```
// LOGGING SIGNALS WHEN CHANGED START
logString := "@|PLC|@ Signals: "
 + " offline: "       + ToString(offline(@|PLC|@))
 + " OperationID: "   + ToString(operation)
 + " State: "         + ToString(state)
 + " Status_Reason: " + ToString(status_reason)
 + " seconds: "       + ToString(seconds);

if logString <> logstringOld then
begin
DebugOut(logString);
logstringOld := logString;
end;
// LOGGING SIGNALS WHEN CHANGED END
```

Abbildung 5.10: Logging im Composition-Skript

Die erstellte Log-Datei kann unter dem Pfad `/home/forcam/EdgeInstaller/ForceEdgeNodes/logs/current/edge-composition_overall.log` des Datenerfassungsservers gefunden werden und ermöglicht eine einfache Fehleranalyse bei Störungen.

5.2.4 Northbound-Konfiguration

Damit die in Edge Connect erfassten und im Composition-Skript verarbeiteten Daten an das MES übergeben werden können, ist eine Northbound-Konfiguration erforderlich. In dieser Konfiguration wird festgelegt, auf welche Weise mit übergeordneten Systemen wie MES oder ERP-System kommuniziert wird, und welche Kommunikationsparameter dafür gelten.

Über die Northbound-Konfiguration stehen verschiedene Protokolle zur Verfügung: REST-API, MQTT, Apache Kafka, NATS.io oder OPC UA. Für die Anbindung des FORCAM Force MES FLEX wird die REST-API genutzt.

Die Verbindung zum MES erfolgt über die URL `https://anwendungsserver:24443/ffwebservices/api/latest/commands`, die den API-Endpunkt im MES darstellt.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

In der Northbound-Konfiguration lassen sich die Payloads der vom Composition-Skript gesendeten Events mit Platzhalter-Variablen definieren und die Ziel-API des MES festlegen. Mögliche Ziel-APIs sind die Bridge API, TDM API, CAQ API, Command API, ERP API, Complete API, Customized API und PDM API.

Um Maschinenstatus, Stückzahlen und weitere Anwendungsfälle der Command-API im MES abzubilden, muss eben diese mittels Verwendung des Endpunkts /commands ausgewählt werden.

Die Platzhalter-Variablen der konfigurierten Payload beziehen sich auf die Attribute, die im entsprechenden Befehl des Composition-Skripts gesendet werden, und ermöglichen deren Übergabe an die API. Diese Variablen können sich jedoch nur auf Attribute beziehen, die Edge Connect bekannt sind. Spezifische MES-IDs wie etwa WorkplaceID oder OperationID müssen daher im Composition-Skript oder an anderer Stelle in der Asset-Konfiguration hinterlegt werden vgl. Abb.5.11, 5.12.

```
65 yield     := "6A5B17541CB048D0B53857D1AA00323E";
66 scrap_e2 := "8E8B1E5765324338BB080C2AA4984DA2";
67 scrap_s1 := "6DCFC00D581641A28B8ED71496A39833";
68 scrap_s2 := "1B56A361ECAB439FB19ED1D1C7C21DFF";
69 scrap_s3 := "B9F0073214234A12B8B787F5860AFF98";
70 rework_r1 := "A58A250B5B2643DB843BB9C3AF3B9ED4";
71 rework_r2 := "9ACE2BF4FD0442E59122C5FB47C796C2";
72 rework_r3 := "3ECD64B557ED42719C19B5F35576BD15";
```

Abbildung 5.11: QualityDetailIDs im Composition-Skript

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

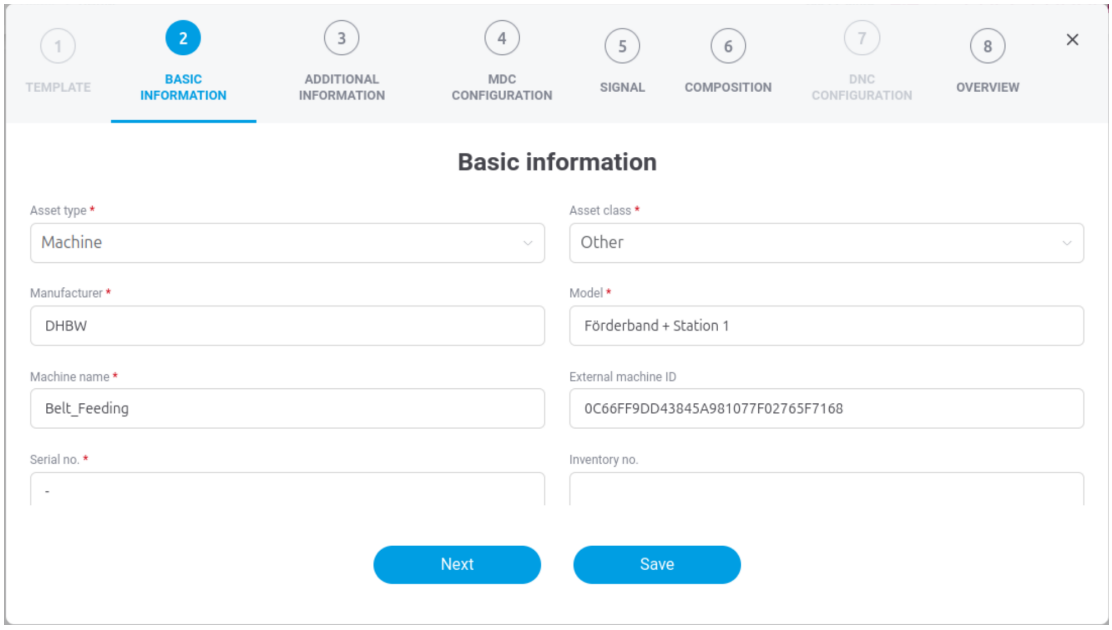


Abbildung 5.12: WorkplaceID als ExternalMachineID in Edge Connect

Die korrekten Payloads für die verschiedenen Events (State, Impulse etc.) können auf dem Anwendungsserver unter der URL `https://anwendungsserver:24443/ffwebservices/docs/index.html?continue#command-api` nachgeschlagen werden vgl. Abb. 5.13.

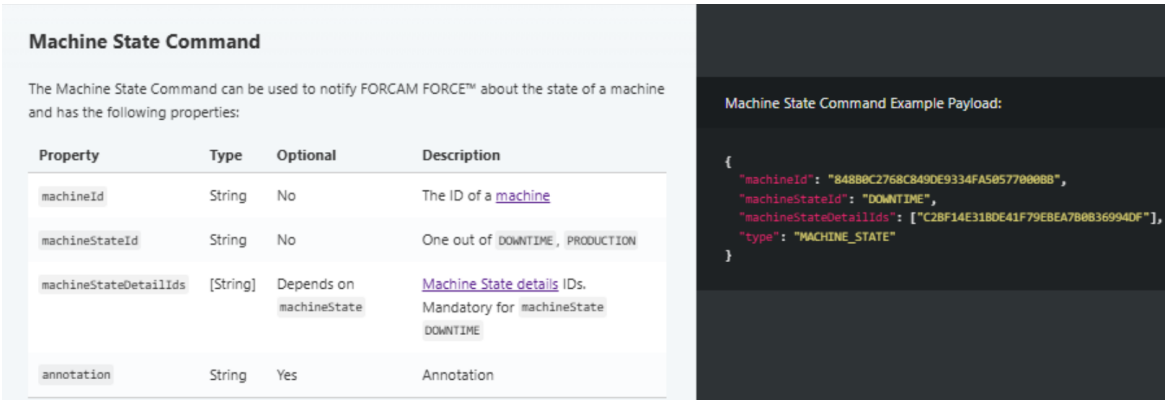


Abbildung 5.13: Payload State-Command

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

5.3 Datenübertragung zu FORCAM Force MES FLEX

Nachdem die Konfiguration in Edge Connect abgeschlossen ist, muss die Verbindung zwischen Edge Connect und dem MES innherhalb des MES konfiguriert werden. Hierzu wird in der MES-Oberfläche unter dem Menüpunkt Konfigurationen im Navigator FORCAM FORCE EDGE-Instanz ausgewählt und die entsprechende Verbindung eingetragen, vgl. 5.14.

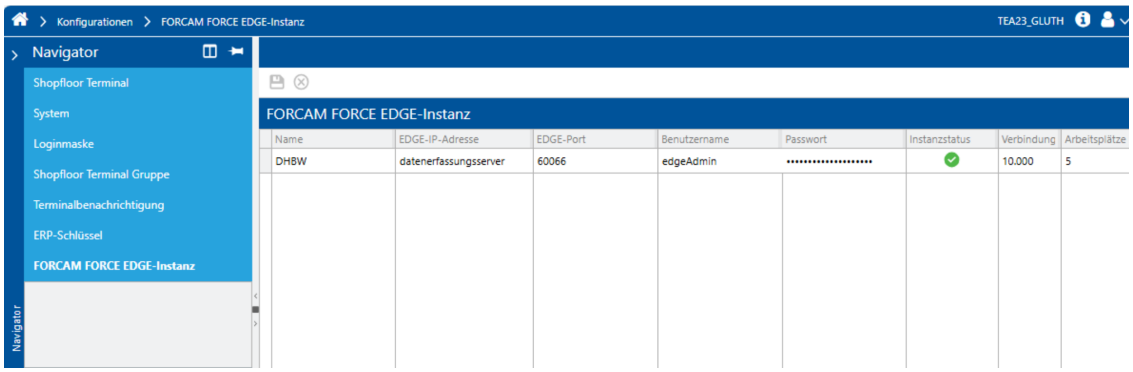


Abbildung 5.14: Edge-Instanz

Wird ein DNS-Name für den Datenerfassungsserver von Edge Connect verwendet, so muss dieser in der Hosts-Datei des Anwendungsservers (gespeichert unter `C:\Windows\System32\drivers\etc\hosts`) eingetragen werden.

Wurde die Verbindung korrekt konfiguriert, so wird im Instanzstatus angezeigt, dass die Verbindung aktiv ist. Nun sollten die von der Northbound-Konfiguration in Edge Connect gesendeten Events im MES empfangen und verarbeitet werden, wodurch die Visualisierungen und Berechnungen intern im MES ablaufen können vgl. Abbildung 5.15.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

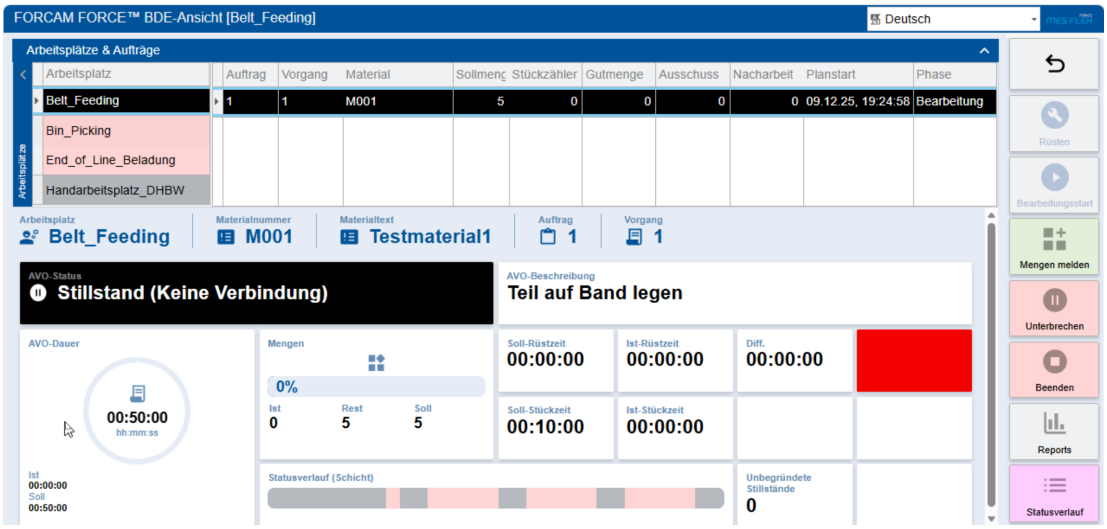


Abbildung 5.15: Übersicht Worker-Client (Visualisierung)

5.4 Troubleshooting

Sollte die Datenübertragung nicht wie gewünscht funktionieren, so gibt es mehrere Möglichkeiten, um Fehler zu identifizieren und zu beheben. Zunächst sollte überprüft werden, ob die Verbindung zwischen Edge Connect und dem MES aktiv ist.

Anschließend sollte die Northbound-Konfiguration in Edge Connect kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass die API-Endpunkte und Authentifizierungsdetails korrekt sind. Hier ist ebenfalls mittels Testfunktion zu überprüfen, dass die Payloads der gesendeten Events den Anforderungen der MES-API entsprechen und auch erfolgreich gesendet werden.

Falls weiterhin Probleme auftreten, kann die Log-Datei von Edge Connect eingesehen werden, um detaillierte Fehlermeldungen zu erhalten. Sollte dies zu keinem Erfolg führen, so sollte das Composition-Skript auf mögliche Fehler oder Inkonsistenzen überprüft werden, insbesondere hinsichtlich der Variablenzuweisungen und der Logik zur Ereignisverarbeitung.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

In tiefergreifenden Fällen kann auch der Support von FORCAM kontaktiert werden, um spezifische Probleme zu lösen.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

6 Zusammenfassung

Diese Studienarbeit widmete sich der Implementierung eines Manufacturing Execution Systems (MES) in die Zukunftsfabrik Bodensee der DHBW Ravensburg, Campus Friedrichshafen. Ausgehend von einem teilweise konfigurierten FORCAM Force MES ohne operative Datenübertragung wurde eine funktionsfähige Schnittstelle zwischen SPS, EDGE CONNECT und FORCE MES FLEX etabliert.

Die methodische Vorgehensweise umfasste eine Analyse des Systems, präzise Zieldefinition, standardisierte Schnittstellenkonzeption sowie schrittweise Implementierung. Kern der Lösung bildet ein zentraler SPS-Datenbaustein (DB24 “MESOUT”) mit offset-basierter Adressierung, der über eine dedizierte Funktion “MovetoMESDB” zyklisch aktualisiert wird. In EDGE CONNECT wurden Assets, Signale, Composition-Skripte und Northbound-REST-API erfolgreich konfiguriert.

Erreichte Ergebnisse:

- Echtzeit-Übertragung von Maschinenzuständen (Produktion, Stillstand, Rüsten) und Stückzählerständen mit Latenz $< 1\,\mathrm{s}$
- Vollständige Visualisierung angebundener Werte in MES FLEX Shopfloor-Terminals und Dashboards
- Wartungsfreundliche, skalierbare Architektur für zukünftige Erweiterungen
- Stabile Datenübertragung unter Produktionsbedingungen

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Die erfolgreiche Integration schafft die technische Grundlage für OEE-Analysen, Prozessoptimierung und datenbasierte Entscheidungsfindung in der Lernfabrik. Die entwickelten Konzepte und Konfigurationen sind direkt auf weitere Maschinen übertragbar und bilden eine Referenz für Industrie 4.0-Anwendungen in der Automatisierungstechnik.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Literaturverzeichnis

[1] J. Kletti, *MES – Manufacturing Execution System: Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung*, 3. Aufl. Springer Vieweg, 2015, ISBN: 978-3-662-46897-1.

[2] IBM Corporation. „Was ist ein Manufacturing Execution System (MES)?“ Zugriff am 29.12.2025. (2023), Adresse: https://www.ibm.com/de-de/topics/mes-system.

[3] MPDV Mikrolab GmbH. „Manufacturing Execution System (MES).“ Zugriff am 29.12.2025. (2021), Adresse: https://www.mpdv.com/industrie-4-0/smart-factory-glossar/manufacturing-execution-system-mes.

[4] SAP SE. „Was ist ein Manufacturing Execution System (MES)?“ Zugriff am 29.12.2025. (2025), Adresse: https://www.sap.com/germany/products/scm/digital-manufacturing/what-is-mes.html.

[5] Bechtle PLM. „Manufacturing Execution System (MES).“ Zugriff am 07.12.2025. (2025), Adresse: https://www.bechtle-plm.com/wissen/glossar/manufacturing-execution-system-mes/.

[6] IBM Corporation. „Funktionsweise von MES-Systemen.“ Zugriff am 29.12.2025. (2023), Adresse: https://www.ibm.com/de-de/think/topics/mes-system.

[7] FASTEC GmbH. „Was ist ein MES-System?“ Zugriff am 29.12.2025. (2025), Adresse: https://www.fastec.de/aktuelles/was-ist-ein-mes-system/.

[8] *VDI 5600 Blatt 1: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems)*, Richtlinie des VDI, Beuth-Verlag, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2008.

[9] *MES Functionalities and Models*, Whitepaper von MESA International, Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA), 1997.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

[10] GFOS mbH. „Manufacturing Execution System: Funktionen und Vorteile für die Industrie.“ Zugriff am 29.12.2025. (2024), Adresse: https://www.gfos.com/de/lexikon/mes/.

[11] ERP.de Redaktion. „Was ist ein Manufacturing Execution System (MES)?“ Zugriff am 29.12.2025. (2024), Adresse: https://www.erp.de/erp-software/produktion/was-ist-ein-mes.

[12] FORCAM ENISCO GmbH. „FORCAM ENISCO's MES Product Portfolio: The right solution for every plan.“ Zugriff am 05.01.2026. (2024), Adresse: https://forcam-enisco.net/en/blog/the-right-solution-for-every-plan-forcam-eniscos-mes-product-portfolio/.

[13] FORCAM ENISCO GmbH. „Digitize and optimize your manufacturing with MES FLEX.“ Zugriff am 05.01.2026. (2025), Adresse: https://forcam-enisco.net/en/force-mes-flex/.

[14] FORCAM ENISCO GmbH. „Maschinen digitalisieren mit EDGE CONNECT.“ Zugriff am 05.01.2026. (2024), Adresse: https://forcam-enisco.net/blog/maschinen-digitalisieren-mit-edge-connect/.

[15] FORCAM ENISCO GmbH. „Konnektivität 4.0: Digitale Vernetzung in der Industrie.“ Zugriff am 05.01.2026. (2024), Adresse: https://forcam-enisco.net/blog/konnektivitaet-40/.

[16] FORCAM ENISCO GmbH. „Das IIoT braucht IT-Komponisten.“ Zugriff am 05.01.2026. (2024), Adresse: https://forcam-enisco.net/blog/das-iiot-braucht-it-komponisten/.

[17] FORCAM ENISCO GmbH. „SAP DM und EDGE CONNECT: Integration in die SAP Manufacturing Suite.“ Zugriff am 05.01.2026. (2024), Adresse: https://forcam-enisco.net/blog/sap-dm-und-edge-connect-forcam-integration/.

[18] FORCAM GmbH. „FORCAM FORCE – Die MES-Lösung für smarte Produktion.“ Zugriff am 05.01.2026. (2016), Adresse: https://www.youtube.com/watch?v=VihyVRveqYM.

[19] FORCAM ENISCO GmbH. „Discover how FORCAM ENISCO's MES Flex digitizes manual workplaces.“ Zugriff am 05.01.2026. (2024), Adresse: https://www.youtube.com/watch?v=hRGNixLdFkA.

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

[20] FORCAM ENISCO GmbH, *Handbuch FORCAM Force Edge Connect*, de-DE, 2024. Adresse: `https://bwsyncandshare.kit.edu/s/XEwsqsHJWmycK8G?dir=/24_25/10%20MES/40%20Softwaredokumentation/010_Dokumentationen/020_Edge_Connect/020_Handb%C3%BCcher&editing=false&openfile=true` (besucht am 02. 01. 2026).

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BDE	Betriebsdatenerfassung
ca.	circa (ungefähr)
CAQ	Computer Aided Quality
DB	Datenbaustein
DHBW	Duale Hochschule Baden-Württemberg
DNC	Distributed Numerical Control
EDGE	FORCE EDGE CONNECT (Edge-Computing- und Konnektivitätsplattform von FORCAM)
ERP	Enterprise Resource Planning
ET	Elektrotechnik
etc.	et cetera (und so weiter)
FORCAM	FORCAM ENISCO GmbH
ggf.	gegebenenfalls
i.d.R.	in der Regel
IIoT	Industrial Internet of Things
insb.	insbesondere
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MDE	Maschinendatenerfassung

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

MES	Manufacturing Execution System
MES FLEX	FORCE MES FLEX (Manufacturing Execution System von FORCAM)
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association
MESOUT	Datenbaustein für MES-Schnittstelle in der SPS
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
NC	Numerical Control
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PDM	Product Data Management
PTZ	Produktions- und Transferzentrum (Zukunftsfabrik Bodensee)
REST	Representational State Transfer
S7	Simatic S7 (SPS-Steuerungsfamilie von Siemens)
SAP DM	SAP Digital Manufacturing
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
VM	Virtuelle Maschine
z. B.	zum Beispiel

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Abbildungsverzeichnis

3.1 Übersicht Netzwerk-Infrastrukur im ZDP 13

5.1 Datenbaustein MES_OUT 24
5.2 Funktion Move_to_MESDB 25
5.3 aktuelle Knoten in Edge Connect 26
5.4 neues Asset anlegen 27
5.5 MDC-Konfiguration 28
5.6 Signalkonfiguration 29
5.7 wichtige Funktionen im Composition-Skript 31
5.8 Liste STATUSCODES und State-Befehl 33
5.9 Impulse-Event im Composition-Skript 33
5.10 Logging im Composition-Skript 34
5.11 QualityDetailIDs im Composition-Skript 35
5.12 WorkplaceID als ExternalMachineID in Edge Connect 36
5.13 Payload State-Command 36
5.14 Edge-Instanz 37
5.15 Übersicht Worker-Client (Visualisierung) 38

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

Tabellenverzeichnis

2.1 Zentrale Funktionsbereiche eines MES nach VDI 5600 4

A.1 Liste der verwendeten Künstliche Intelligenz basierten Werkzeuge . . . I

Docusign Envelope ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7

A Anmerkung zur Nutzung von Künstlicher Intelligenz

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Künstliche Intelligenz (KI basierte Werkzeuge benutzt. Tabelle A.1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Werkzeuge und den jeweiligen Einsatzzweck.

Tabelle A.1: Liste der verwendeten KI-basierten Werkzeuge

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
Perplexity AI Pro	▪ Chatbot der Perplexity AI, Inc. ▪ Zusammenstellen von Literatur für Grundlagen und Systemanalyse ▪ Verbesserung des Satzbaus und der Grammatik ▪ Erstellung des Abkürzungsverzeichnisses ▪ Überprüfung auf fehlerhafte Formulierungen oder Logikfehler im Text

Abschlusszertifikat

Umschlag-ID: 0BAD086B-7FED-4D0F-A90D-251CC52A66B7
Status: Abgeschlossen
Betreff: Complete with Docusign: TEA23_Gluth-Tom_Malinowsky-Edgar_7773289_5538376_T3-3100.pdf
Quellumschlag:
Dokumentenseiten: 57
Signaturen: 2
Zertifikatsseiten: 4
Initialen: 0
Signatur mit Anleitung: Aktiviert
Umschlag-ID-Stempel: Aktiviert
Zeitzone: (UTC+01:00) Amsterdam, Berlin, Bern, Rom, Stockholm, Wien

Umschlagersteller:
Edgar Malinowsky
Binger Straße 173
Ingelheim, Rheinland-Pfalz CT 55216
edgar.malinowsky@boehringer-ingelheim.com
IP-Adresse: 148.188.1.197

Eintragsverfolgung

Status: Original
08.01.2026 17:06:08

Inhaber: Edgar Malinowsky
edgar.malinowsky@boehringer-ingelheim.com

Standort: DocuSign

Unterzeichnerereignisse	Signatur	Zeitstempel
Edgar Malinowsky edgar.malinowsky@boehringer-ingelheim.com Dude Sicherheitsstufe: E-Mail, Kontoauthentifizierung (keine)	DocuSigned by: Edgar Malinowsky A20E6F6131AD4A2... Signaturübernahme: Vorgegebener Stil Mit IP-Adresse: 148.188.1.197	Gesendet: 08.01.2026 17:08:01 Eingesehen: 08.01.2026 17:08:10 Signiert: 08.01.2026 17:08:19

Vereinbarung bezüglich elektronischer Unterlagen und Signaturen:
Akzeptiert: 02.09.2025 14:12:42
ID: 2590ed67-f1cc-4d35-bf98-78d6e0867499

Tom Gluth tom.gluth@boehringer-ingelheim.com B.Eng. Electronic Boehringer Ingelheim Pharma GmbH&Co.KG Sicherheitsstufe: E-Mail, Kontoauthentifizierung (keine)	Signiert von: Tom Gluth 52515B8FD3BF49E... Signaturübernahme: Vorgegebener Stil Mit IP-Adresse: 148.188.1.197	Gesendet: 08.01.2026 17:08:20 Eingesehen: 08.01.2026 17:08:46 Signiert: 08.01.2026 17:09:31

Vereinbarung bezüglich elektronischer Unterlagen und Signaturen:
Akzeptiert: 04.09.2025 17:33:43
ID: da49abd7-8fa1-4163-9476-b4aff675ace7

Vor-Ort-Unterzeichner – Ereignisse	Signatur	Zeitstempel

Bearbeiterversandereignisse	Status	Zeitstempel

Beauftragtenzustellereignisse	Status	Zeitstempel

Vermittlerversandereignisse	Status	Zeitstempel

Zertifizierter Versand - Ereignisse	Status	Zeitstempel

Kopienereignisse	Status	Zeitstempel

Zeugen-Ereignisse	Signatur	Zeitstempel

Notarereignisse	Signatur	Zeitstempel

Umschlagereignisse – Überblick	Status	Zeitstempel
Umschlag gesendet	Hash-codiert/verschlüsselt	08.01.2026 17:08:01

Umschlagereignisse – Überblick	Status	Zeitstempel
Zertifiziert zugestellt	Sicherheitsprüfung ausgeführt	08.01.2026 17:08:46
Signiervorgang abgeschlossen	Sicherheitsprüfung ausgeführt	08.01.2026 17:09:31
Abgeschlossen	Sicherheitsprüfung ausgeführt	08.01.2026 17:09:31

Zahlungen	Status	Zeitstempel

Vereinbarung bezüglich elektronischer Unterlagen und Signaturen

Heads up Boehringer employees - Working Abroad Policy: If you are working abroad, on a business trip or TWA, please be aware that certain activities are not permitted, including the signing of contracts. For exceptions & solutions to delegate, type workingabroad/ in your browser. Workaround: Please postpone your signature or forward the envelope to an authorized signatory in your country of employment.

Boehringer Ingelheim

Consent to Proceed with Electronic Signatures

This document describes the frame conditions with regard to the use of the DocuSign® system by the authorized user ('you') for electronic signing and/or processing of documents concerning the business with Boehringer Ingelheim International GmbH, Binger Strasse 173, 55216 Ingelheim am Rhein, Germany or any of its affiliated companies ('we, us or Company').

Via the DocuSign® system, you will be able to complete, review, and even print documents you will electronically sign using only your web browser via the link sent to you by e-mail. Before using the DocuSign® system, please make sure that you are able to meet the technical system requirements, which can be accessed via the DocuSign® website. Please read the information below carefully and thoroughly.

Contractual documents and notices may be sent to you electronically

If not otherwise agreed in a given contract between you and us, we will provide electronically to you through your DocuSign® user account all contractual documents, notices and other documents that are required to be provided or made available to you during the course of our business relationship with you. To reduce the chance of you inadvertently not receiving any notice or document, we will provide all of the required notices and documents to you by the contractually agreed method(s) and to the address(es) provided therein. Subject to the provisions of the given contract you may receive documents and notices electronically or in paper format.

Getting paper copies

As long as you are an authorized user of the DocuSign® system, you will have the ability to download and print any documents we send to you through your DocuSign® user account for a limited period of time (usually 30 calendar days) after such documents are first sent to you. In case a mandatory local legal requirements exists, we will provide paper copies of the contractual documents upon your request which has to be sent to the respective Company contact nominated in the contract.

Consequences of changing your mind

In exceptional cases (f.e. contractually agreed option, mandatory local legal requirement) you may be entitled to elect to receive required notices and disclosures only or additionally in paper format. If you decide to exercise a given option you have to liaise with your respective Company contact nominated in the contract by using the address(es) in accordance with the process contractually foreseen.

Changing your e-mail address

If your e-mail address changes please arrange for your new e-mail address to be reflected in your DocuSign® account by following the process for changing e-mail in the DocuSign® system.

Acknowledging your access and consent to receive materials electronically

To confirm to us that you can access this information electronically, please verify that you were able to read this electronic consent and that you (i) also were able to print on paper or electronically save this disclosure for your future reference and access or that you (ii) were able to e-mail this disclosure and consent to an address where you will be able to print on paper or save it for your future reference and access.

By checking the 'I Agree' box, I confirm that:

- I can access and read this CONSENT TO PROCEED WITH ELECTRONIC SIGNATURES document; and
- I can print on paper the disclosure or save or send the disclosure to a place where I can print it, for future reference and access; and
- Until or unless I have notified my respective Company contact as described above, I consent to receive through electronic means all contractual documents, notices and other documents that are required to be provided or made

available to me by the Company during the course of the business relationship with you.