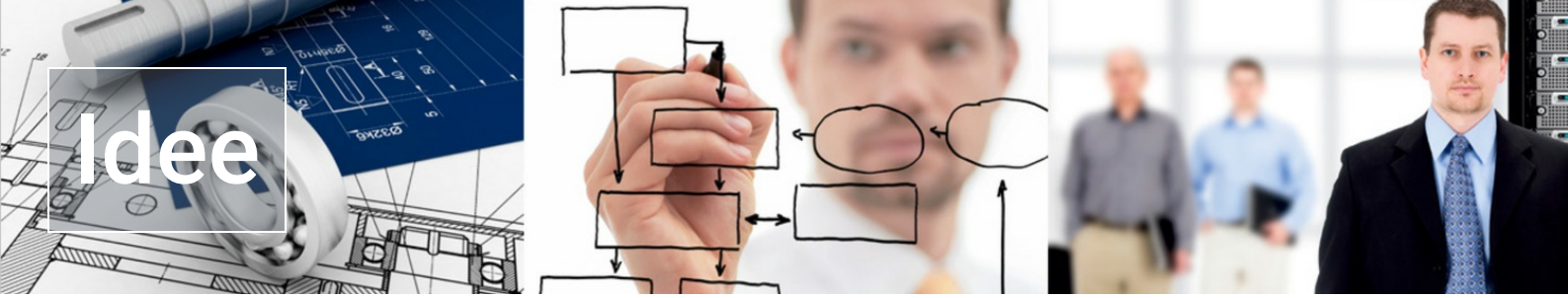


KME – Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH

Zukunft durch Innovation und Forschung

FLEXROBTWIN – FLEXIBLE ROBOTIK-REKONFIGURATION UND -WARTUNG MIT DIGITALEM ZWILLING

FlexRobTwin schafft ein herstellerübergreifendes Digital Engineering Ökosystem, das digitale Zwillinge und eine zentrale Wissensbasis vereint und gebündeltes Expertenwissen über RAG Pipelines kontextgerecht nutzbar macht, sodass Anlagenzustände sowie Wartungs- und Rekonfigurationsbedarf automatisch erkannt werden. Dadurch werden Inbetriebnahme- und Umrüstzeiten verkürzt, unnötige Servicereisen minimiert und Servicetechniker durch verdachtsbasierte Diagnosen und kontextsensitive Handlungsempfehlungen gezielt vorbereitet.

Problemstellung

In vielen modernen Fertigungsbetrieben erhöhen eine hohe Variantenvielfalt, kleine Losgrößen und unklare Informationsflüsse die Komplexität der Abläufe und steigern damit das Risiko wiederkehrender, vermeidbarer Linienstillstände. Ersatzteile sind nicht vorrätig, notwendiges Umrüstwissen fehlt in den Serviceteams und Zuständigkeiten sind unklar. Unternehmen berichten von diesen Problemen – digitale Zwillinge und virtuelle Inbetriebnahmen existieren oft nur proprietär oder unvollständig und lassen sich nicht zuverlässig in die Steuerungssoftware integrieren. Besonders kritisch ist die Fernwartung: Hoher manueller Aufwand und zu wenig Expertenwissen führen dazu, dass Servicetechniker unvorbereitet vor Ort erscheinen.

Servicetechniker werden oft zu Stillständen gerufen, ohne über ausreichende Ersatzteile oder das erforderliche Fachwissen zu verfügen. Dies verlängert die Ausfallzeiten und führt zu weiteren Einsätzen. Bei defekten Antriebsachsen von Robotersystemen sollten beispielsweise Motorstromprofile und eine priorisierte Top-5-Liste der Verdachtsfälle vorab an den Dienstleister gesendet werden. Dies ermöglicht einen ressourceneffizienten Einsatz (d. h. geeignete Ersatzteile und geeignete Experten).

Darüber hinaus werden Systemzustände wie aktuelle Betriebszeiten oft nur unzureichend erfasst. Es mangelt an standardisierten Diagnosedaten, einer Priorisierung von Fehlerkategorien und kontextabhängigen Handlungsempfehlungen, die Servicetechniker gezielt vorbereiten. Ohne diese Lösungen entstehen unnötige Wartezeiten, höhere Reisekosten und Qualitätsrisiken. Dies gefährdet die Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit automatisierter Fertigungsanlagen.

Zielsetzung

Ziel des Projekts ist die praxisnahe Entwicklung und Validierung eines herstellerübergreifenden Lösungsrahmens, der insbesondere die Phasen Rekonfiguration und Wartung (siehe Abbildung 1) unterstützt und somit Rekonfigurations- und Wartungszeiten reduziert. Die Kernziele von FlexRobTwin sind:

- Aufbau eines OPC UA basierten, semantisch modellierten digitalen Zwillings, der Anlagenzustand sowie Wartungs- und Rekonfigurationsbedarfe automatisch erkennt, Zustandsdaten (z. B. Motorströme, Laufzeiten, Ausgangspositionen) konsolidiert.
- Entwicklung von Algorithmen zur Priorisierung von Fehlerkategorien und zur automatisierten Generierung kontextsensitiver Handlungsempfehlungen (z. B. Top-5-Verdachtsdiagnosen, benötigte Ersatzteile, möglicher Abschaltzeitpunkt) zur optimalen Vorbereitung von Servicetechnikern.
- Etablierung eines plattformbasierten, kollaborativen Workflows mit standardisierten, modularen Schnittstellen und digitalen Informationsmodellen, um Fernwartung sowie Remote-Updates zu ermöglichen.

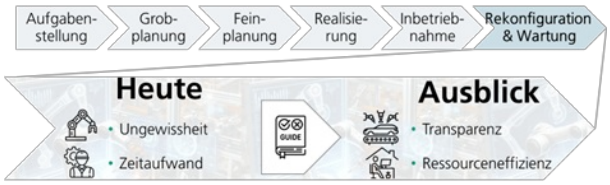
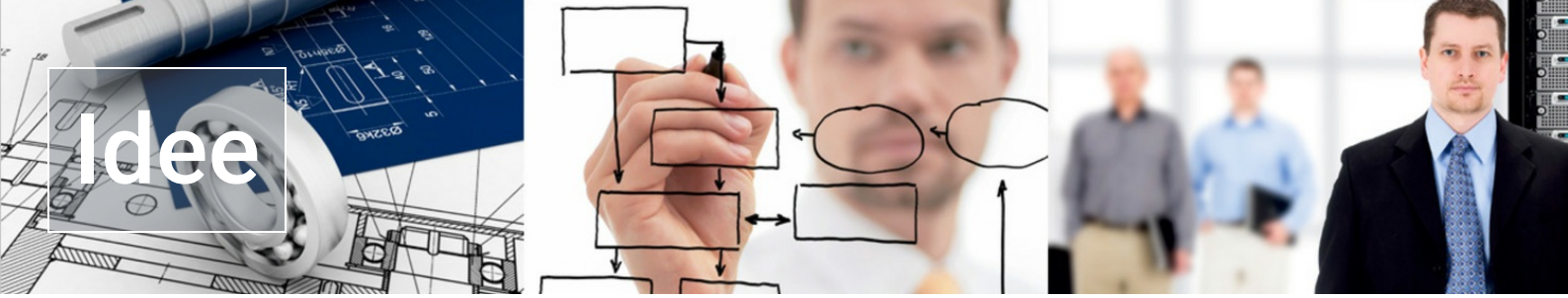


Abb. 1: Das Projekt zielt auf eine effizientere Rekonfiguration und Wartung von Betriebsmitteln ab.

Die quantitativen Zielgrößen von FlexRobTwin sind: Reduktion der Inbetriebnahme- und Umrüstzeiten um mindestens 50 % sowie eine signifikante Verringerung der Vor-Ort-Einsätze. Dies wird erreicht durch die Reduktion unnötiger Fahrt- und Wartezeiten von Servicetechnikern und durch ein semantisches Wissensmodell, das Rekonfigurationen und Wartungsaufgaben analysiert, Fehlerkategorien priorisiert, kontextspezifische Handlungsempfehlungen liefert und gezielt das benötigte Expertenwissen sowie passendes Personal identifiziert. Das Projekt liefert eine prototypische Implementierung, validiert relevante Kennzahlen (z. B. Zeit- und Kostenersparnis, Anzahl vermiedener Einsätze) und formuliert praxisorientierte Umsetzungs- und Skalierungsempfehlungen für die Industrie.



Vorgehensweise

Die Durchführung des Projektvorhabens gliedert sich in die nachfolgend beschriebenen fünf Arbeitspakete (AP):

AP1 – Anforderungsanalyse und Use-Case-Definition: Zu Beginn werden bei den Industriepartnern technische, organisatorische und wirtschaftliche Anforderungen systematisch erhoben. Auf dieser Basis werden Rekonfigurations- und Wartungs-Use-Cases priorisiert – beispielsweise Roboterarm- oder Werkzeugwechsel sowie Remote-Fehlerbehebung – und messbare Metriken für Inbetriebnahme-/Umrüstzeiten, Stillstandzeiten, Serviceeinsätze und benötigte Expertenstunden definiert. Ergebnis dieser Phase sind priorisierte Use-Case-Listen, die als Grundlage für die folgenden APs dienen.

AP2 – Rekonfigurationsmodellierung und Szenarioanalyse: Aufbauend auf den Anforderungen werden typische Rekonfigurationsszenarien modelliert und hinsichtlich des Zeitaufwands, Teilebedarfs und erforderlicher Expertisestufen quantifiziert. Wechselwirkungen zwischen Teilprozessen werden analysiert und standardisierte Rekonfigurations-Templates abgeleitet, die als Praxismuster für schnelle Umrüstungen dienen. Zusätzlich werden Regeln zur Priorisierung entwickelt, die entscheiden, welche Szenarien remote unterstützt werden können und welche Einsätze zwingend vor Ort erforderlich sind.

AP3 – Wissensdatenbank, Ontologie und RAG-Applikation: Es wird eine semantische Wissensbasis aufgebaut, die Komponenten, Prozeduren, typische Fehlerfälle und Ersatzteilbedarf abbildet. Auf dieser Basis entsteht eine RAG-Applikation, die kontextsensitive Schritt-für-Schritt-Anleitungen, Top-5-Verdachtsdiagnosen und konkrete Handlungsempfehlungen generiert. Die Empfehlungen werden anhand realer Störfälle und Expertenfeedback validiert, um Praxistauglichkeit und Aussagekraft sicherzustellen.

AP4 – Vernetzung, OPC UA-Mapping und Roboter-Interaktion: Die Wissensbasis wird auf OPC UA-Informationsmodelle gemappt und kritische Datenpunkte (z. B. Motorströme, Betriebsmodus, Positionsdaten, Laufzeiten) festgelegt. Es werden kontrollierte Read/Write-Befehle sowie Sicherheitsrichtlinien für Remote-Interaktionen definiert, etwa ein "Move-to-Maintenance-Pose". Parallel werden Telemetrie-Feeds, Alarm- und Priorisierungslogiken implementiert, um Wartungsbedarf frühzeitig zu erkennen und gezielt zu eskalieren.

AP5 – Pilotierung, Validierung und Rollout-Roadmap: Abschließend erfolgt die Integration und Erprobung des Gesamtsystems in ausgewählten roboterbasierten Pilotanlagen unterschiedlicher Branchen. Die KPIs werden gemessen und hinsichtlich der definierten Baseline validiert (Ziel: ≥50 % Reduktion Inbetriebnahme/Umrüstung sowie deutlich weniger Vor-Ort-Einsätze), ergänzt durch Wirtschaftlichkeitsanalysen. Auf Basis der Ergebnisse werden eine skalierbare Rollout-Roadmap sowie Empfehlungen für Standardisierung und Normung erstellt.

Ergebnisse / Nutzen

Nach Projektabschluss von FlexRobTwin steht ein kompaktes, praxisorientiertes digitales Engineering-Ökosystem zur Verfügung, das gezielt die Phasen Rekonfiguration und Wartung adressiert. Kernbestandteile sind ein OPC-UA-basiert semantisch modellierter digitaler Zwilling zur konsolidierten Anlagenzustands- und Telemetrieauswertung, eine semantische Wissensbasis mit Ontologie sowie eine RAG/GenAI-Applikation, die kontextbezogene Schritt-für-Schritt-Anleitungen, Top-5-Verdachtsdiagnosen und priorisierte Handlungsempfehlungen liefert. Durch das Mapping auf standardisierte OPC-UA-Modelle und die Definition sicherer Remote-Interaktionsbefehle (z. B. Move-to-Maintenance-Pose) werden Fernwartung, frühzeitige Fehlererkennung und gezielte Teilelogistik möglich. Damit lassen sich unnötige Fahrt- und Wartezeiten reduzieren, geeignete Experten schneller zuordnen und Vor-Ort-Einsätze deutlich minimieren.

Das Projekt liefert validierte Pilotimplementierungen, ein KPI-System zur Nachweisführung der Effekte sowie praxisnahe Empfehlungen für Rollout und Standardisierung.

Überblick / Ergebnisse und Nutzen:

- Reduktion der Inbetriebnahme- und Umrüstzeiten um ≥ 50 %
- Reduktion der erforderlichen Servicereisetage um ≥ 40 %
- OPC-UA-basierter, semantisch modellierter digitaler Zwilling (Anlagenzustand, Telemetrie)
- Semantische Wissensdatenbank/Ontologie mit Ersatzteil- und Verfahrenswissen
- RAG-Applikation für Top-5-Verdachtsdiagnosen und kontextsensitive Schritt-für-Schritt-Anleitungen
- Validierte Pilotanlage
- KPI-Validierungsbericht, Kosten-Nutzen-Analyse sowie Rollout- und Normungsempfehlungen

Forschungspartner

Prof. Dr.-Ing. Johannes Schilp
Fraunhofer IGCV | Universität Augsburg (Lehrstuhl für Produktionsinformatik)

Projektpartner

ABB-Robotik, RIBE Automation, F.EE GmbH, sbp | sandmaier boehler partners GmbH & Co. KG, STÖGER AUTOMATION GmbH