

IIOT-PLATTFORM FÜR ASSISTIERTE FERTIGUNGSPROZESSE

Technologieplattform für assistierte Fertigungsprozesse in digitalen Wertschöpfungsnetzwerken (PlatinA)



„Durch das Forschungsvorhaben soll der Aufbau regionaler Wertschöpfungsnetzwerke im Kontext innovativer Fertigungstechnologien vorangetrieben werden, wobei die vielseitigen Hemmnisse für den Einsatz von Schlüsseltechnologien wie KI, I4.0, Big Data oder Sensortechnologien adressiert werden.“

— Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Mecke,
Platina Projektleiter

Inhalt

1. Das PlatinA-Projekt	3
1.1. Projektfokus und Lösungsansatz	
1.2. Ausgangssituation und Herausforderungen	
2. Technologische Grundlage – Asset Administration Shell	6
3. Entwickelte Plattformarchitektur	7
4. Anwendungsfall: KI-gestützte CNC-Kalibrierung	8
4.1. Problemstellung	
4.2. Entwickelte Lösung	
4.3. Technische Implementation	
5. Sicherheitsaspekt	9
5.1. Herausforderungen	
5.2. Entwickelte Sicherheitsmechanismen	
Quellen	9

Abstract

Platina entwickelt innovative Lösungen für die Digitalisierung der Präzisionsfertigung. Dieses Whitepaper präsentiert die Entwicklung und Implementierung einer IIoT-Plattform auf Basis der Asset Administration Shell (AAS), die speziell auf die Bedürfnisse kleiner und mittlerer Unternehmen zugeschnitten ist.

Im Zentrum steht die nahtlose Integration von Industrie 4.0-Technologien in bestehende Fertigungsumgebungen. Die Kombination aus standardisierter AAS-Architektur, maschinellem Lernen (ML) und Multi-Agenten-Systemen ermöglicht eine durchgängige Digitalisierung – von der Prozessoptimierung bis zur autonomen Qualitätskontrolle.

Das Whitepaper richtet sich an Forscher, Industriepartner und Projektförderer im Bereich Industrie 4.0 und bietet eine umfassende Darstellung der Projektergebnisse, wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Anwendungsfälle. Darüber hinaus werden technologische Trends, methodische Vorgehensweisen und Herausforderungen bei der Implementierung digitaler Produktionsprozesse aufgezeigt.

Ergänzend erläutert das Dokument bewährte Praktiken, übertragbare Lösungsansätze sowie Potenziale für zukünftige Forschungsvorhaben. Zudem werden organisatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, regulatorische Aspekte sowie Fragen der technologischen Skalierbarkeit und Interoperabilität behandelt. Es dient damit als Ergebnisbericht und strategische Orientierungshilfe für kommende Innovationsprojekte.

Zudem beschreibt das Whitepaper die organisatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die für eine erfolgreiche Digitalisierung von Produktionsumgebungen entscheidend sind. Es stellt dar, wie interdisziplinäre Zusammenarbeit, qualifikationsorientierte Weiterbildung und ein systematisches Daten- und Prozessmanagement zur nachhaltigen Wertschöpfung beitragen. Auch regulatorische Aspekte, Sicherheitsanforderungen sowie Fragen der technologischen Skalierbarkeit und Interoperabilität werden berücksichtigt.



Von Links nach rechts: Ronny Stolze, Rüdiger Mecke, Markus Müller, Sebastian Linke

1. DAS PLATINA PROJEKT

PlatinA ist ein Forschungsprojekt zur Entwicklung einer IIoT-Plattform für assistierte Fertigungsprozesse in digitalen Wertschöpfungsnetzwerken. Die Asset Administration Shell ermöglicht, dass Geräte unterschiedlicher Hersteller strukturierte, maschinenlesbare Informationen austauschen und somit herstellerübergreifend interoperabel werden.

Die containerbasierte Architektur gewährleistet lokale Datensouveränität ohne Cloud-Abhängigkeit und ermöglicht eine schrittweise, skalierbare Integration in bestehende Produktionsumgebungen. Die standardisierte AAS-basierte Infrastruktur unterstützt die systematische Modellierung komplexer Fertigungsprozesse und Expertenwissen.

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ist das besonders wertvoll. Oft fehlt ihnen die Zeit oder die personelle Bandbreite, um komplexe Industrie-4.0-Architekturen eigenständig aufzubauen. PlatinA zielt darauf ab, die Einstiegshürde zu senken: durch vorgefertigte Module, Referenzarchitekturen, Demonstratoren und praxisnahe Werkzeuge. Was sonst wie ein technologischer Dschungel erscheinen könnte, lässt sich so in handhabbare Einheiten zerlegen.

Kernziele des Projekts:

- **Standardisierte IIoT-Plattform:** Entwicklung einer interoperablen Plattform gemäß DIN SPEC 91345 und IEC 63278, die herstellerunabhängige Integration ermöglicht und auf Open-Source-Technologien basiert.
- **Assistierte Fertigungsprozesse:** Integration von KI-gestützten Assistenzsystemen für Prozessoptimierung, Qualitätskontrolle und Predictive Maintenance in der Präzisionsschleiftechnik.
- **Regionale Fertigungsnetzwerke:** Aufbau kooperativer Wertschöpfungsstrukturen zur Stärkung regionaler Lieferketten und gemeinsamer Nutzung von Ressourcen und Know-how.
- **Praxisnaher Technologietransfer:** Entwicklung einsetzbarer Lösungen mit niedrigen Einstiegshürden, die schrittweise Implementierung ohne Disruption bestehender Prozesse ermöglichen.

1.1. Projektfokus und Lösungsansatz

Durch interoperable “PlatinA-Schnittstellen” wird eine herstellerunabhängige Integration von Maschinen und IT-Systemen ermöglicht. Die offene, AAS-basierte Architektur unterstützt eine flexible und zukunftssichere Nutzung, die sich sowohl an bestehende Legacy-Systeme als auch an moderne Industrie 4.0-Komponenten anpassen lässt.

Assistierte Fertigungsprozesse

Ein Schwerpunkt liegt auf assistierten Fertigungsprozessen, wobei die kraftgeregelte Feinstschleif-technologie als Pilotanwendung dient. Die kognitiven Assistenzsysteme unterstützen Bediener durch automatisierte Prozessempfehlungen, Echtzeit-Überwachung und adaptive Arbeitsanweisungen. Durch datengetriebene Verfahren werden Fertigungsprozesse optimiert, die Prozessstabilität verbessert und die Abhängigkeit von Expertenwissen reduziert.

Technologietransfer

Der Technologietransfer erfolgt praxisnah: Die Lösungen sind containerbasiert einsetzbar und zeichnen sich durch niedrige Einstiegshürden aus. Die modulare Architektur ermöglicht eine schrittweise Implementierung einzelner Komponenten – von grundlegender Datenerfassung bis hin zu umfassenden digitalen Assistenzsystemen. Dies stellt sicher, dass bestehende Prozesse nicht gestört werden und Investitionen inkrementell getätigt werden können.

Nachhaltigkeit

PlatinA legt einen besonderen Fokus auf nachhaltige Fertigung und Ressourceneffizienz. Durch die intelligente Vernetzung von Maschinen und Prozessen können Materialeinsatz, Energieverbrauch und Ausschuss deutlich reduziert werden. Die Plattform erfasst systematisch Verbrauchsdaten entlang der gesamten Wertschöpfungskette und identifiziert Optimierungspotenziale durch kontinuierliche Datenanalyse.

Die Echtzeitüberwachung von Fertigungsparametern trägt zur Prozessstabilität bei und minimiert Ausschuss durch frühzeitige Erkennung von Abweichungen. Zudem unterstützt die AAS-basierte Dokumentation die Nachverfolgbarkeit von Materialströmen und ermöglicht transparente Nachhaltigkeitsbilanzen.

Flexibilität und Erweiterbarkeit:

Die entwickelte IIoT-Plattform zeichnet sich durch hohe Flexibilität aus, um auf wechselnde Marktanforderungen und technologische Entwicklungen reagieren zu können. Neue Fertigungstechnologien, zusätzliche Sensorik oder alternative Produktionsmethoden lassen sich dank standardisierter AAS-Schnittstellen problemlos integrieren, ohne umfangreiche Systemanpassungen zu erfordern.

Die modulare Architektur erlaubt es KMU, schrittweise zu digitalisieren und die Plattform an spezifische Produktionsbedarfe anzupassen, ohne bestehende Prozesse zu stören. Unternehmen können mit grundlegenden Funktionen wie Datenerfassung und Visualisierung beginnen und sukzessive erweiterte Assistenzsysteme, Predictive Maintenance oder automatisierte Qualitätskontrolle hinzufügen.

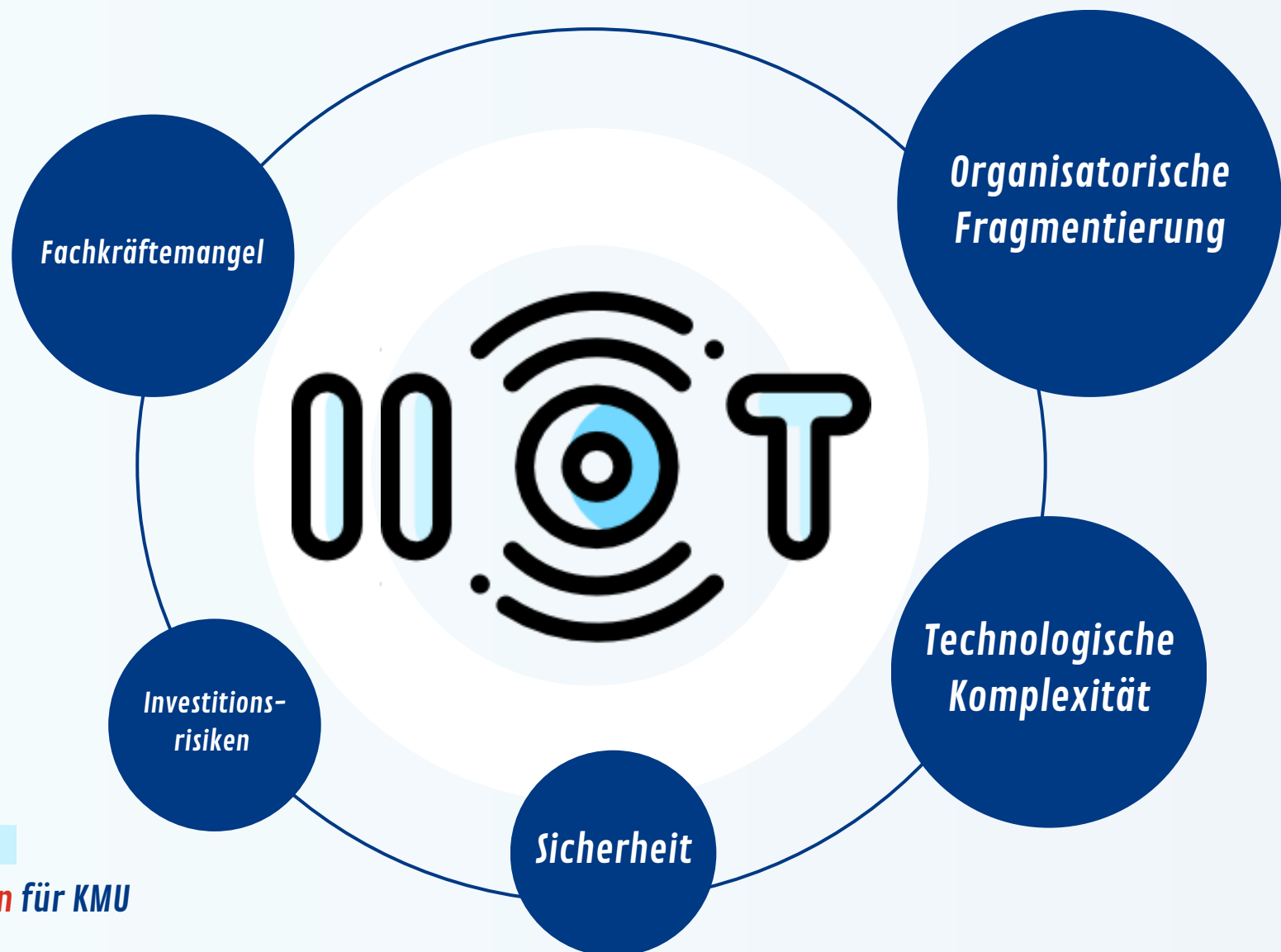
Die containerbasierte Deployment-Strategie ermöglicht eine flexible Skalierung je nach Unternehmensanforderungen – von einzelnen Maschinen bis hin zu vernetzten Produktionslinien. Updates und Erweiterungen können ohne Produktionsunterbrechungen eingespielt werden, was die Betriebskontinuität sichert. Darüber hinaus unterstützt die offene Architektur die Integration von Drittanbieter-Lösungen und ermöglicht es Unternehmen, Best-of-Breed-Strategien zu verfolgen, ohne an proprietäre Ökosysteme gebunden zu sein. Die datengetriebene Plattformarchitektur lässt sich über verschiedenen Prozessen hinaus auf weitere Feinschleifentechnologien, Qualitätstechnologien und Intralogistik übertragen, um dort eine bedarfsrechte Ressourcennutzung zu ermöglichen.

1.2. Ausgangssituation und Herausforderungen

Die deutsche Präzisionsfertigung steht im globalen Wettbewerb vor der Notwendigkeit, durch digitale Transformation ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen sehen sich dabei mit erheblichen Barrieren konfrontiert:

Investitionsrisiken und ROI-Unsicherheit

Hohe Einstiegskosten bei unsicheren Return-on-Investment-Szenarien schrecken KMU von Industrie 4.0-Projekten ab. Mangelnde Transparenz über konkrete Nutzeffekte erschwert Investitionsentscheidungen. Viele Unternehmen verfügen nicht über die Ressourcen für umfangreiche Pilotprojekte und scheuen das finanzielle Risiko bei unklaren Amortisationszeiten.



Die Herausforderungen für KMU

Technologische Komplexität

Fehlende Standardisierung erschwert die Integration heterogener Maschinenparks und IT-Systeme. Die Vielzahl proprietärer Schnittstellen und Datenformate behindert durchgängige Digitalisierungsstrategien und führt zu erhöhtem Integrationsaufwand sowie Inkompatibilitäten zwischen verschiedenen Systemen.

Organisatorische Fragmentierung

Die Digitalisierung verlangt Zusammenarbeit über Abteilungsgrenzen hinweg. Produktion, IT, Qualitätssicherung und externe Integrationspartner müssen Prozesse gemeinsam gestalten. Nur durch ein gemeinsames Verständnis für Ziele und Anforderungen können Lösungen nachhaltig wirken.

Fachkräftemangel und Kompetenzlücken

Fehlende Expertise für Implementierung und Betrieb moderner IIoT-Lösungen hemmt die digitale Transformation. Die Abhängigkeit von externen Dienstleistern erhöht Kosten und Risiken. Qualifiziertes Personal mit Kenntnissen in Produktionstechnik, IT-Systemen und Datenanalyse ist schwer zu finden, während gleichzeitig bestehende Mitarbeitende häufig nicht über die erforderlichen Kompetenzen verfügen.

Datensouveränität und Sicherheit

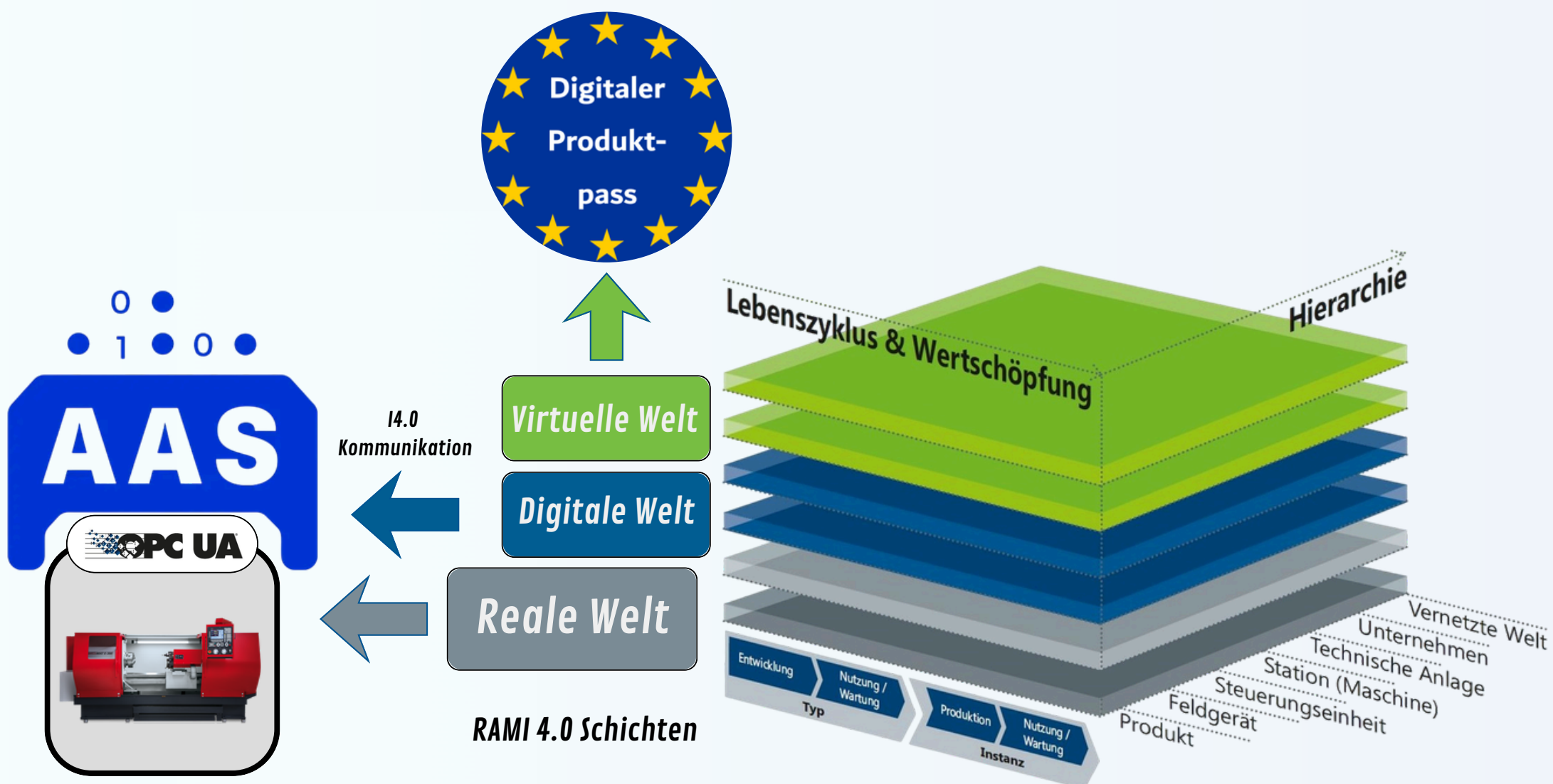
Bedenken hinsichtlich proprietärer Cloud-Lösungen und Datensicherheit bei Vernetzung mit Partnern und Lieferanten. Anforderungen an Compliance und Datenschutz (DSGVO) müssen berücksichtigt werden.

2. Technologische Grundlage - Asset Administration Shell

Die Asset Administration Shell (AAS) bildet das digitale Rückgrat der entwickelten Plattform [1].

Als standardisierte Verwaltungsschale ermöglicht sie:

- **Semantische Interoperabilität:** Einheitliche Beschreibung von Assets über Herstellergrenzen hinweg
- **Lebenszyklusmanagement:** Durchgängige Informationsverfügbarkeit von der Planung bis zum Recycling (im Kontext des digitalen Produktpasses)
- **Plug-and-Produce:** Automatische Integration neuer Komponenten in bestehende Systemlandschaften



Integration der AAS in das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 [2]

Implementierung der AAS Type 3-Architektur:

Die Type 3-Architektur ermöglicht aktive, intelligente Verwaltungsschalen mit eigener Verarbeitungslogik.

Im PlatinA-Kontext wurden folgende Komponenten realisiert:

- **Submodelle für Fertigungsprozesse:** Strukturierte Abbildung von Prozessparametern, Qualitätsmerkmalen und Maschinenzuständen
- **Binding-Mechanismen:** Echtzeitanbindung über OPC UA, MQTT und REST-APIs
- **Digitaler Produktpass (DPP):** AAS-basierte Implementierung für durchgängige Produktdokumentation und Nachverfolgbarkeit über den gesamten Lebenszyklus – von der Fertigung bis zum Recycling [3]

3. Entwickelte Plattformarchitektur

Edge Integration

Die unterste Schicht bildet das IIoT-Gateway auf Basis eines Revolution Pi, das als hardwarenahe Schnittstelle zwischen physischen Produktionsanlagen und der digitalen Plattform fungiert. Das Gateway erfasst Sensordaten, Betriebszustände und Prozessparameter direkt an den Maschinen in Echtzeit. Ein wesentlicher Vorteil dieser Edge-basierten Architektur liegt in der Möglichkeit, zeitkritische Regelkreise und Alarmfunktionen lokal auszuführen, ohne auf zentrale IT-Infrastruktur oder Cloud-Dienste angewiesen zu sein. Dies gewährleistet Ausfallsicherheit, minimiert Latenzzeiten und ermöglicht Produktionskontinuität auch bei Netzwerkausfällen. Vorverarbeitete Daten werden anschließend an die nächsthöhere Schicht weitergeleitet.

Persistenz

Durch speziell auf Zeitreihen optimierte Speicherstrukturen können große Datenmengen aus kontinuierlichen Fertigungsprozessen performant verarbeitet und abgefragt werden. Neben den eigentlichen Messwerten werden auch Metadaten zu den Asset Administration Shells gepflegt, was eine eindeutige Zuordnung von Daten zu Maschinen, Submodellen und Produktionschargen ermöglicht.

Digitale Zwillinge

Diese AAS-Layer bildet das Herzstück der Plattformarchitektur und verwaltet die digitalen Zwillinge aller Produktionsanlagen. Jede Maschine oder Komponente wird als Verwaltungsschale abgebildet, die sowohl statische Eigenschaften wie technische Spezifikationen als auch dynamische Prozessdaten wie aktuelle Betriebszustände enthält. Über standardisierte REST-APIs können externe Anwendungen und Dienste auf diese Verwaltungsschalen zugreifen, wodurch herstellerübergreifende Interoperabilität gewährleistet wird. Submodell Repositories ermöglichen die strukturierte Ablage und Wiederverwendung von Teilinformationen, was die Skalierbarkeit innerhalb des Fertigungsnetzwerks fördert. Die AAS-Architektur ist kompatibel mit zukünftigen digitalen Produktpass-Anforderungen der EU und ermöglicht eine durchgängige Produktdokumentation über den gesamten Lebenszyklus hinweg [3].

Intelligenz

Der Analytik-Layer wertet die erfassten Daten aus und generiert handlungsrelevante Erkenntnisse. Python-basierte Tools ermöglichen flexible Datenanalysen, während etablierte ML-Frameworks für die Implementierung komplexer Algorithmen genutzt werden. Anwendungsfälle umfassen die Optimierung von Fertigungsprozessen durch parametrische Analysen, Mustererkennung zur Qualitätssicherung sowie Optimierungsalgorithmen, die Verschleiß und Ausfallrisiken frühzeitig identifizieren. Die ML-Modelle werden kontinuierlich mit neuen Produktionsdaten trainiert und verbessern dadurch ihre Vorhersagegenauigkeit im laufenden Betrieb.

Interaktion

Die oberste Schicht ermöglicht die Interaktion mit der Plattform durch verschiedene Frontend-Technologien. Produktionsprozesse lassen sich in Echtzeit überwachen, Maschinenzustände einsehen und Leistungskennzahlen analysieren. Die Interfaces, bestehend aus Dashboards, Benutzeroberflächen und monitorbasierten Frontends, stellen intuitive Konfigurationstools bereit, die auch Mitarbeitenden ohne tiefgehende IT- oder Datenexpertise die Bedienung der Plattform, das Konfigurieren von Alarmen und das Anpassen von Submodellen ermöglichen.



4. Anwendungsfall: KI-gestützte CNC-Kalibrierung

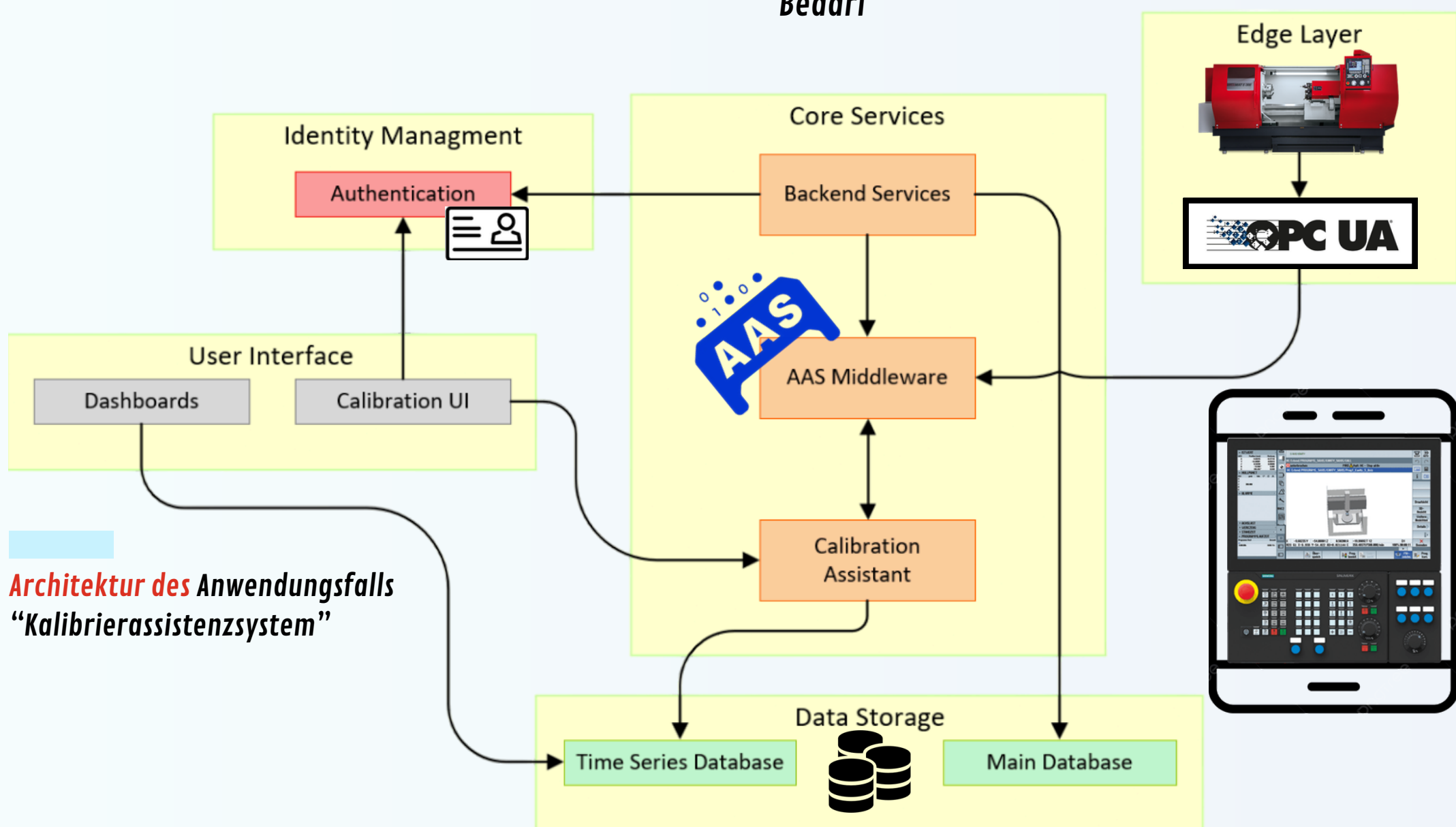
4.1. Problemstellung

Die bisherige Kalibrierung von maschinenintegrierter Kraftsensorik erfordert manuelle Eingriffe durch Fachpersonal, zeitaufwendige iterative Optimierung und erfahrungsbasierte Parameteranpassung. Jeder Kalibrierungsvorgang führt zu Produktionsunterbrechungen und bindet qualifizierte Mitarbeitende für repetitive Aufgaben.

4.2. Entwickelte Lösung

Im Laufe des Projektes wurde ein Kalibrierungssystem mit folgenden Komponenten entwickelt:

- **User-Interface:** Intuitive Bedienung für Maschinenbediener ohne Programmierkenntnisse
- **Sensorintegration:** Automatische Messung von Prozessabweichungen
- **Datenerfassung:** Maschinenzustände und Umgebungsparameter erfassen
- **Historische Integration:** Nutzung vergangener Kalibrierungsdaten für kontinuierliches Lernen
- **Feature Engineering:** Extraktion relevanter Prozessparameter
- **Automatisierte Anpassung:** Direkte Übertragung berechneter Parameter an CNC-Steuerung
- **Validierung:** Kontrollmessungen zur Qualitätssicherung
- **Iterative Verfeinerung:** Nachkalibrierung bei Bedarf



4.3. Technische Implementation **Ergebnisse:**

Die Implementierung erfolgte mit folgenden Schlüsselaspekten:

- **IoT-Tunneling:** Sichere Remote-Anbindung für dezentrale Fertigung
- **Sensordaten-Integration:** Zuverlässige Rückmeldung über Kalibrierungserfolg
- **Datenbank-Integration:** Persistierung aller Kalibrierungsvorgänge für kontinuierliches Lernen
- **Zeitersparnis:** Reduktion der Kalibrierungszeit um durchschnittlich 70%
- **Qualitätssteigerung:** Konsistentere Ergebnisse durch daten-getriebene Optimierung
- **Skalierbarkeit:** Transfer auf verschiedene Maschinentypen möglich
- **Wissenssicherung:** Digitalisierung von Expertenwissen

5. Sicherheitsaspekt

5.1. Herausforderungen

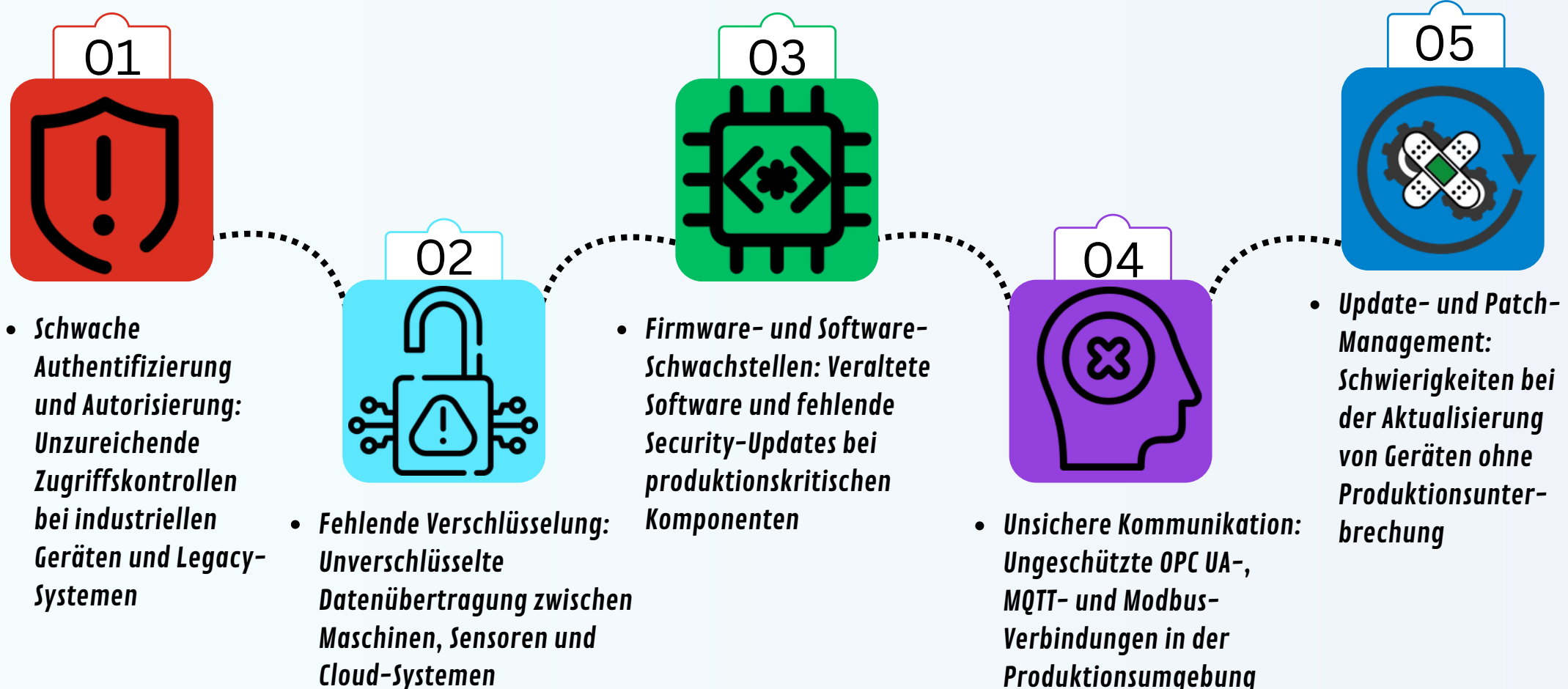
Die Vernetzung industrieller Systeme birgt erhebliche Sicherheitsrisiken, die sorgfältig adressiert werden müssen.

Zu den kritischsten Bedrohungen zählen der unbefugte Zugriff auf Steuerungssysteme, der unbemerkte Eingriff in Produktionsprozesse durch Angreifer sowie Datenmanipulation, die eine ernsthafte Gefahr für das geistige Eigentum und die Produktionsintegrität darstellen.

5.2. Entwickelte Sicherheitsmechanismen

Das PlatinA-Projekt entwickelte einen umfassenden AAS basierten Ansatz zur Absicherung der OPC UA-Verbindungen. Durch kontinuierliche Schwachstellenanalyse werden potenzielle Sicherheitslücken proaktiv identifiziert.

Ergänzend erfolgt eine signaturbasierte Erkennung zur Identifikation bekannter Angriffsvektoren. Das System implementiert zudem ein Echtzeit-Alerting, das bei erkannten Sicherheitsvorfällen sofortige Benachrichtigungen auslöst, um schnelle Reaktionen zu ermöglichen.



IIoT Sicherheit – Herausforderungen

Quellen:

- [1] Plattform Industrie 4.0: "Details of the Asset Administration Shell – Part 1: The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0" (Version 3.0RC02, 2022)
- [2] Industrial Digital Twin Association (IDTA): "Specification of the Asset Administration Shell Part 3a: Data Specification – IEC 61360" (IDTA-01003-a-3-0, Version 3.0, April 2023)
- [3] EU-Verordnung 2024/1781: "Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)" - etabliert den rechtlichen Rahmen für DPP in der EU

Für Kontaktanfragen und weiterführende Informationen nutzen Sie bitte unsere Webseite:
platin-a.h2.de