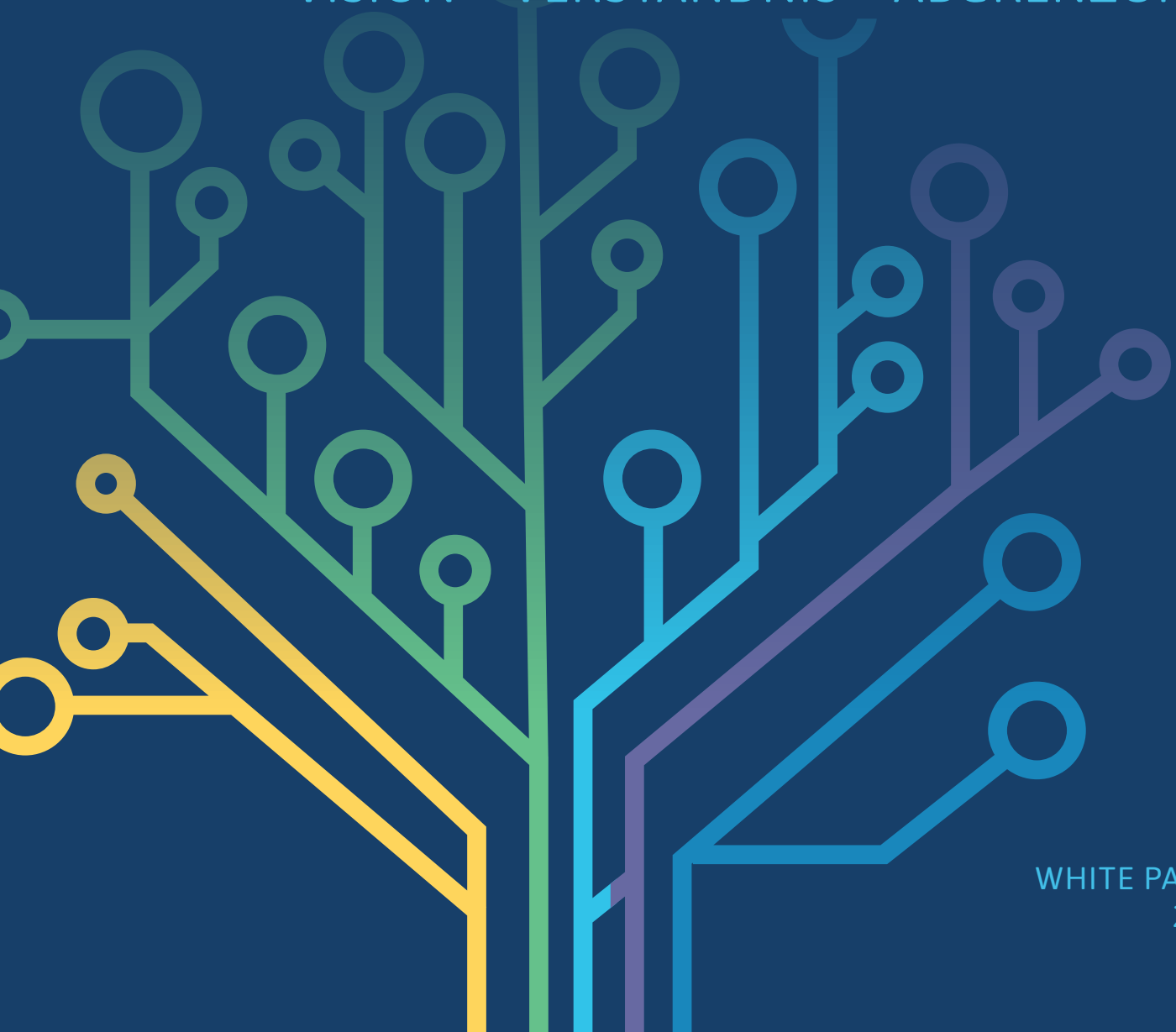
EuPro Gigant

# EDGE-COMPUTING IM PROJEKT EUPROGIGANT

## VISION – VERSTÄNDNIS – ABGRENZUNG



WHITE PAPER
2021

# IMPRESSUM


**Editor**

| | |
|---|---|
| Prof. Dr. Matthias Weigold | PTW TU Darmstadt |

**Autoren**

| | |
|---|---|
| Markus Weber, M. Sc. | PTW TU Darmstadt |
| Benjamin Brockhaus, M. Sc. | PTW TU Darmstadt |
| Stefan Dumss, M. Sc. | MIVP TU Wien |

**Co-Autoren**

| | |
|---|---|
| Dr. Jan Brinkhaus | Brinkhaus GmbH |
| Melissa Brunnbauer, M. Sc. | Concircle Österreich GmbH |
| Dr. Konrad Pfadenhauer | Concircle Österreich GmbH |
| Dipl.-Ing. Werner Kirsten | Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH |
| Prof. Dr. Friedrich Bleicher | IFT TU Wien |
| Clemens Schwaiger, M. Sc. | IFT TU Wien |
| Dipl.-Ing. Torsten Dehnert | IGH Infotec AG |
| Dipl.-Phys. Jürgen Erstling | IGH Infotec AG |
| Dipl.-Ing. Achim Getschmann | IGH Infotec AG |
| Prof. Dr. Manfred Grafinger | MIVP TU Wien |
| Dr. Verena Henrich | Software AG |

**Herausgeber**

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)
Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt
https://www.ptw.tu-darmstadt.de



**Erscheinungsjahr**

2021



**Lizenz**

CC BY 4.0 International – Creative Commons, Attribution



Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Gefördert durch:
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FFG
Forschung wirkt.

DLR Projektträger

# KURZFASSUNG

Im Rahmen des österreichisch-deutschen Leitprojekts für Gaia-X in der produzierenden Industrie namens EuProGigant wird eine gemeinsame Dateninfrastruktur nach den Prinzipien von Gaia-X für das Wertschöpfungsökosystem konzipiert und umgesetzt. Das Ziel des Projekts ist die Demonstration und Skalierung eines standortübergreifenden, digital vernetzten Produktionsökosystems mit resilienter, datengetriebener und nachhaltiger Wertschöpfung zur Stärkung der europäischen Vorreiterrolle in der Industrie. Der Fokus im Projekt liegt auf der Anbindung diverser Maschinen und Anlagen unabhängig von Herstellern und Software- bzw. Firmwareständen der Steuerungskomponenten. Neben Anforderungen an eine gemeinsame Dateninfrastruktur hinsichtlich IT-Security, Safety, Zuverlässigkeit, Schnittstellenkonfiguration zur Interoperabilität und ein funktionierendes Update-Management sind die Anforderungen zu integrierender digitaler Funktionen (Services) heterogener Herkunft zu nennen, welche in der Gaia-X Architektur über die Federation Services aus dem Daten-Ökosystem bezogen werden. Hohes Potenzial zur Umsetzung von industriellen Anwendungsfällen besteht in der Nutzung von Daten aus Produktionsprozessen. Insbesondere die hochfrequente, zeitsynchrone Datenerfassung und -verarbeitung mittels Services im Edge-Computing auf dem Shop Floor wird als Treiber für digitale datengetriebene Geschäftsmodelle in der Beschreibung von Datenwertschöpfungsketten gesehen. Das White Paper legt die begriffliche Basis für das Edge-Computing im Projekt EuProGigant und soll über das Projekt hinaus das Verständis für die vielfältige Nutzung von Edge-Systemen in der Produktion im Zusammenhang mit Gaia-X schärfen.

## KONTAKTDATEN

EuProGigant – Europäisches Produktionsgiganet zur kalamitätsmindernden Selbst-Orchestrierung von Wertschöpfungs- und Lernökosystemen

**Pilotfabrik Industrie 4.0 TU Wien**
Dr. Claudia Schickling
Konsortialführung Österreich
claudia.schickling@tuwien.ac.at

**PTW TU Darmstadt**
Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold
Konsortialführung Deutschland
m.weigold@ptw.tu-darmstadt.de

Markus Weber, M. Sc.
Projektkoordinator
m.weber@ptw.tu-darmstadt.de

info@euprogigant.com
www.euprogigant.com

# INHALTSVERZEICHNIS


| | |
|---|---|
| **Impressum** | **3** |
| **Kurzfassung** | **4** |
| Kontaktdaten | 4 |
| **Inhaltsverzeichnis** | **5** |
| **Einführung** | **6** |
| Motivation | 6 |
| Definition von Edge-Computing | 7 |
| **Vision des Edge-Computing im Projekt EuProGigant** | **8** |
| **Edge-Computing im industriellen Umfeld** | **10** |
| Heutige Fabriknetzwerke und ihre Elemente | 10 |
| Edge-Architekturen | 12 |
| **Edge-Computing im Projektzusammenhang** | **14** |
| **Hardware zum Edge-System** | **16** |
| **Bewertung der Sicherheit bei Nachrüstung von Edge-Devices (nach Maschinenrichtlinie)** | **17** |
| **Über EuProGigant** | **17** |
| **Literatur** | **18** |

# EINFÜHRUNG

## MOTIVATION

Das Konsortium des österreichisch-deutschen Leitprojekts für Gaia-X im Produktionsumfeld namens EuProGigant sieht in der Verwendung der Edge-Technologie einen entscheidenden Baustein der im Projektantrag beschriebenen Zielsetzung zum Aufbau eines resilienten Wertschöpfungs- und Lernökosystems.

Wertschöpfung findet für das Konsortium an der produzierenden Maschine oder Anlage statt. Funktionen zur Befähigung des Produktionsprozesses, auf unerwartete und unbekannte Störgrößen zu reagieren und den Prozess stabil zu halten (Resilienz) oder die Geschwindigkeit des Wertschöpfungsprozesses zu steigern, sind als Qualitätsmerkmale im Produktionsumfeld zu verstehen. Hierbei ist die Verarbeitung großer Datenmengen aus Maschinensteuerungen und Sensoren sowie die schnelle Reaktion auf die gewonnene Information, d. h. die beinahe latenzfreie Rückmeldung an Steuerungen, als Antwort auf lokale oder auch übergeordnete Warn- und Diagnosemeldungen (sog. Events), nötig. Für das Projektkonsortium ist es für die Entwicklung und Forschung an den Zielsystemen und den Anwendungsfällen entscheidend, Begrifflichkeiten zu klären, allgemeine Ansätze zu beschreiben und somit eine Breitenwirkung der Lösung zu erzielen. Letztlich strebt das Konsortium den Aufbau eines Infrastruktur- und Datenökosystems an, in dem alle Entitäten der Produktion, wie Maschinen, Anlagen, Vermessungsgeräte, Fördersysteme, Lager, Gebäudeinfrastruktur etc., miteinander vernetzt sind. Hierdurch entsteht aus dem funktionalen Zusatznutzen an der Edge ein Mehrwert für die unternehmerische Wertschöpfung. Zur unternehmens- und standortübergreifenden Vernetzung wird auf die technische Architektur von Gaia-X zurückgegriffen.

Der Beitrag fokussiert sich auf das Edge-Computing in der Domäne Industrie 4.0. Der Einsatz des vorgeschlagenen EuProGigant Edge-Systems erschließt sich insbesondere im Zusammenhang cyber-physischer Produktionssysteme (CPPS)[1] mit dem Nutzen, diese zu Vernetzen und in einer gemeinsamen Dateninfrastruktur zur Kommunikation, zum Datenaustausch und zum verteilten Abarbeiten von Softwarefunktionen zu befähigen. Die industrielle Produktion wird dadurch unternehmensübergreifend, standortunabhägig, flexibel und effizient in einem Wertschöpfungsökosystem vernetzt.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst die Vision des Edge-Computings im Projekt EuProGigant beschrieben. In Kapitel 3 wird der heute typische Aufbau in der industriellen Fertigung, sowie bereits erprobte Ansätze zur Integration Edge-Computing in das Fertigungsumfeld beschrieben. Anschließend wird in Kapitel 4 das im Projektkonsortium gewählte Verständnis des Edge-Systems dargestellt. In Kapitel 5 werden in Frage kommende Hardware analysiert sowie die Abgrenzung zu Fog- und Cloud-Computing erläutert.

Abschließend wird in Kapitel 6 auf die Frage der Haftung und Neubewertung der CE-Konformität eingegangen, die bei Nachrüstung von Edge-Computing-Lösungen an bestehenden Anlagen zu beantworten ist.

[1] Cyber-phyische Produktionssysteme (CPPS): Cyber-physische Systeme sind in Dinge der physischen Welt eingebettete Computer, die diese steuern. Zusammen bilden Sie ein Verbund aus informatischen, softwaretechnischen, mechanischen und mechatronischen Komponenten. Die physischen Dinge sind in der Domäne Industrie 4.0 im Besonderen Fertigungs- und Produktionsmittel *[1]*.

## DEFINITION VON EDGE-COMPUTING

Der Begriff des Edge-Computings ist ein weithin verwendeter Begriff im Industriebereich und wächst auch im Zusammenhang mit dem starken Zuwachs an Industrial Internet-of-Things-Anwendungen (IIoT). Edge-Computing ist definiert als die Erfassung und Verarbeitung von Daten mit niedriger Latenz, weil die Daten bspw. im maschinennahen Umfeld am Rande des Firmennetzwerks benötigt werden *[2]*. Weiterhin ist das Edge-Computing laut der Definition nach Gartner Teil einer verteilten Rechnertopologie *[3]*.

Das Edge-Computing ermöglicht die Verarbeitung großer Datenmengen, welche durch die große Anzahl IoT-fähiger Sensoren und Geräte anfällt. Im Cloud-Computing führt die Übertragung großer Datenmengen über das Internet zu hohen Kosten, die größtenteils über die beanspruchte Bandbreite abgerechnet werden. Das Edge-Computing übernimmt daher die Aufgabe der Datenverdichtung, z. B. durch das Erzeugen von Kennzahlen oder Warnmeldungen, um den Datenverkehr in Richtung Cloud zu minimieren. *[2]*

Die Gaia-X Assoziation gibt eine Definition von Edge-Computing im Glossar auf der Webseite an. So wird die Edge-Technologie als dezentralisierte Daten-Architektur beschrieben. Edge-Computing bietet sich dort an, wo große Datenmengen entstehen und verarbeitet werden sollen. Von Bedeutung sind auch Echtzeitanwendungen mit Latenzzeiten von wenigen Millisekunden. Für die weitere Datenverarbeitung können sich Cloud-Technologien anschließen. *[4]*

# VISION DES EDGE-COMPUTING IM PROJEKT EUPROGIGANT

*Das Konsortium beschreibt innovative Funktionen, die zukünftig das Edge-Computing autonomer und intelligenter werden lassen, um das Ziel der Resilienz und der Erhöhung der Wertschöpfungsgeschwindigkeit in der Industrie erreichen zu können.*

Auf die Produktionsumgebung angewendet, beschreibt die Vision des Projekts EuProGigant das Edge-Computing mit Funktionalitäten der Selbstanbindung und der Selbstorchestrierung. Damit ist gemeint, dass die Konfiguration von Edge-Systemen erlernt wird und die nötige Schnittstellenauswahl aus einer Angebotsbibliothek zur Maschinenanbindung über Feldbusse, andere Industrie-Rechnereinheiten, Sensoren oder zur Cloud automatisiert und intelligent erfolgt. Neue Schnittstellen werden automatisch erkannt und gemäß der nötigen Konfiguration, neue Services zur Schnittstellenübersetzung in den Datenkonnektor geladen. Der Datenkonnektor ist eine Software-Komponente, welche die Ausführung von Services für die Datenerfassung oder die Datenausgabe in Verbindung mit Zielsystemen ermöglicht. Hierzu kommen heute vielfältig ausgeführte programmierbare Anwendungsschnittstellen (Application Programming Interface – API) zum Einsatz. Die Selbstorchestrierung der Geräte erfolgt, um Ressourcen gezielt und nach Bedarf einzusetzen, wozu ein vernetztes Auslastungsmonitoring der Hardware und der Netzwerkanbindung benötigt wird. Endgeräte sollen frei und – wo nötig – drahtlos im Produktionsumfeld positioniert werden und bspw. nach Bedarf an einer Maschine zu einem Rechner-Cluster zusammengeschlossen werden können. Im äußerst visionären Fall erfolgt dies über frei bewegliche Edge-Rechnereinheiten, die sich wie Drohnen durch die Fertigung zu ihrem Einsatzort bewegen und dort selbständig drahtlos verbinden und sich für die anstehenden Aufgaben konfigurieren. Das Projekt sieht ein großes Potenzial im Edge-Computing, da am Ort der Datenquelle die datengetriebene Wertschöpfung im Zusammenhang mit digitalen innovativen Geschäftsmodellen beginnt und sich entlang der Datenwertschöpfungskette fortsetzt. Hierzu sind digitale Services, die aus angebundenen Dateninfrastrukturen bezogen werden, essenziell. Diese Services und die zugrundeliegende technische Architektur des Edge-Computings müssen in der Lage sein, Daten hochfrequent und mit eindeutigem Zeitbezug zu erfassen und in standardisierte Datenstrukturen zu überführen.

Die Vision zeigt auf, wie wichtig neue Übertragungstechnologien, wie OPC UA über TSN oder 5G in Zukunft werden und welche Anwendungsfälle sich neu denken lassen. Als Beispiele sind die auf Bauteile oder auf den Prozessschritt bezogene Energiebedarfsanalyse, ein prozessintegriertes Qualitätsmanagement je Bauteilsektionen, sowie prozessstabilisierende, echtzeitnahe Regelkreise zu nennen. Damit geht die Frage einher, ob nicht die bisher monolithische Architektur der Werkzeugmaschine aufgebrochen werden muss und eine offene Maschine zum Gegenstand einer durchgängig vernetzten, flexiblen Produktionsumgebung wird.

# EDGE-COMPUTING IM INDUSTRIELLEN UMFELD

## HEUTIGE FABRIKNETZWERKE UND IHRE ELEMENTE

Im industriellen Umfeld finden sich heutzutage unter anderem bereits Rechnereinheiten zur Produktionssteuerung (Leitrechner) und zur numerischen Maschinensteuerung (NCU). Der Leitrechner bildet eine zentrale Einheit, in der die Informationen aus mehreren – am Wertschöpfungsprozess beteiligten – Maschinen zusammenlaufen. Zusätzlich dient der Leitrechner der Planung und Steuerung der Fertigung. Entsprechend werden alle angebundenen Maschinen über den Leitrechner gesteuert. Auf den Leitrechnern werden zentrale Steuer-, Lade- und Statusfunktionen ausgeführt.

Die numerische Steuerungseinheit (engl. Numerical Control Unit – NCU) bildet den Kern der CNC-Steuerung, bspw. von Bearbeitungsmaschinen. Die CNC-Steuerung umfasst neben der NCU auch Antriebsregler, eine Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) (engl. Programmable Logic Controler – PLC) und ein Bedienteil als Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl. Human-Machine-Interface – HMI), sowie teilweise weitere Recheneinheiten je nach Steuerungsarchitektur (bspw. PCU, TCU bei Siemens SINUMERIK®-Systemen).

Diese Komponenten sind an der Maschine oder Anlage im sogenannten Anlagennetz verbunden (siehe Abbildung 1). Zur Kommunikation kommen zwischen PLC, Antriebsreglern und NCU sogenannte Feldbussysteme zum Einsatz, die heutzutage i. d. R. Ethernet-basiert (RTE, Real-Time-Ethernet) sind. Hierzu gehören bspw. PROFINET® und EtherCAT®, welche die Echtzeitfähigkeit des Informationsaustauschs für Automationsanwendungen sicherstellen. Die NCU kann über Standard-Ethernet zusätzlich mit dem Firmennetz verbunden werden, um Zugriff auf Netzlaufwerke zu erhalten *[5]*. Hierüber werden beispielsweise Bearbeitungsprogramme geladen, Werkzeugeinstelldaten übermittelt und Status- und Fehlermeldungen von Maschinen und Anlagen an ein Produktionssteuerungssystem (engl. Manufacturing Execution System – MES) oder einen Leitrechner kommuniziert. Die Netzwerktopologien in Fabriken sind aus IT-Sicht klassisch sternförmig aufgebaut und Produktionssysteme werden zentral gesteuert. Die hierzu bekannte hierarchische Zuordnung wird in der Automatisierungspyramide beschrieben.

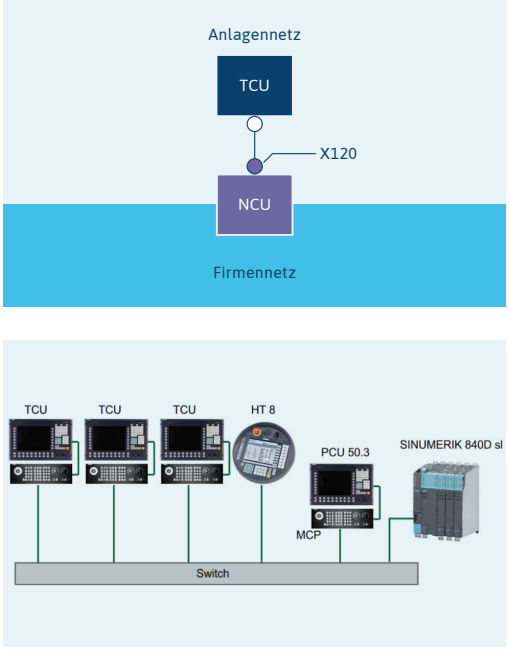



Abbildung 1: Unterscheidung in Anlagen- und Firmennetz sowie Komponenten einer SINUMERIK-CNC-Steuerung, Bildquelle *[5]*

In älteren Anlagen und Systemen ist das Anlagennetz häufig nicht auf Ethernet-Basis ausgeführt, sondern durch Feldbusse der ersten Generation (bspw. PROFIBUS®) charakterisiert oder sogar in analoger Verdrahtungstechnik ausgeführt. Ein Anschluss an ein Firmennetz ist häufig nicht vorgesehen, oder wegen mangelnder Sicherheitsupdates nicht angeraten. Diese Lücke schließen heute Edge-Systeme, die Schnittstellen bereitstellen, die an einer Maschine nicht verfügbar sind und schaffen damit den Übergang von Ethernet zu Altsystemen (sog. Legacy-Systemen).

Heutige moderne Produktionssysteme sind komplex und erfordern ein stetiges Zusammenspiel zwischen dem physischen System und dessen virtueller Repräsentation[2]. Dies ist nötig, da bspw. kundenindividuelle Anforderungen an Produkte gestellt werden, wodurch Produktionssysteme adaptiv darauf reagieren und Warenströme für eine effiziente, flexible Produktion gezielt zu Fertigungsstationen gelenkt werden müssen. Das Prinzip lautet, dass Produkte ihren Weg durch die Produktion selbständig in Abhängigkeit von sich wechselnden Randbedingungen beschreiben und Maschinen und Anlagen sich daran anpassen. Dies stellt einen grundlegenden Wandel in der Verknüpfung, Planung und Steuerung von Fertigungs- und Produktionsmitteln dar. Dies verändert die Architektur von IT-Systemen in modernen Fabriken von klassischen IT-Netzwerktopologien hin zur verteilten, autonomen Agentensystemarchitektur. Als Agent wird eine abgrenzbare Hardware- und/oder Softwareeinheit bezeichnet. Der Agent erfasst seine Umwelt und ist in der Lage selbständig darauf zu reagieren. *[6]*

Werden in der IT-Infrastruktur eingebundene Geräte betrachtet und nicht mehr nur auf Produktionssysteme fokussiert, so haben sich für den Zweck effizienter Verwaltungs- und Programmierfunktionen Software-Definierte Netzwerke (SDN) etabliert. SDN nutzen konventionelle Server und Hardware, auf der die Steuerungsfunktionen für das Netzwerk virtualisiert, z.B. in Containern, beliebig skalierbar instanziiert werden können. Die Weiterleitungsfunktionen sind von den Steuerungsfunktionen separiert. *[7]*

[2] Digitale Zwillinge kommen in Verbindung mit cyber-physischen Produktionssystemen zum Einsatz.

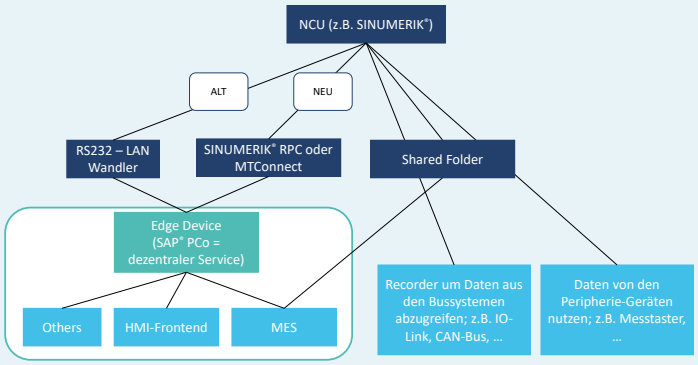



Abbildung 2: Datenanbindung über ein zentrales Edge-Device mit MES- und Cloud-Anbindung

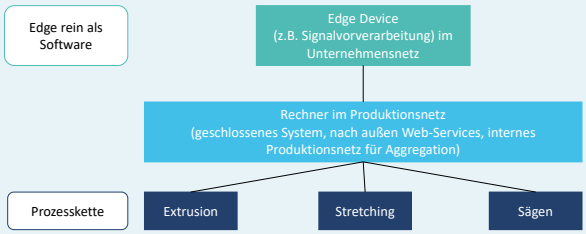



Abbildung 3: Edge-Computing am Rand des Produktionsnetzes

## EDGE-ARCHITEKTUREN

Im Konsortium sind bereits unterschiedliche Edge-Architekturen im industriellen Umfeld umgesetzt worden. Hier wird exemplarisch auf einige wenige eingegangen und eine Schlussfolgerung hinsichtlich allgemeiner Ansätze und Unterscheidungsmerkmale gezogen.

In der in Abbildung 2 gezeigten Architektur erfolgt der Datenabgriff interner Maschinendaten aus der NCU über einen Konnektorbaustein namens RPC SINUMERIK basierend auf einem Remote Procedure Call. Dieser Baustein ist in der Regel auf der PCU implementiert und bietet Funktionen für die Daten- und Dateienübertragung. Wenige Daten werden direkt im Zuge des Funktionsaufrufs durch das Zielsystem – hier Edge-Device – vom SINUMERIK RPC übertragen. Größere Datenmengen werden in Dateien geschrieben und per FTP (File Transfer Protocol – digitales Protokoll zur Dateiübertragung) oder einem Dateisystem per Kopieren und Einfügen übermittelt (Shared Folder) *[8]*. Im abgebildeten Fall kommt alternativ das Protokoll MTConnect zum Abrufen von Maschinendaten zum Einsatz, welches über das maschinenlesbare XML-Format Daten austauscht. Das Edge-Device als Hardware-Einzelgerät kommuniziert mit dem MES-System, welches bspw. über ein HMI-Frontend als Web-Anwendung angefragt wird und Informationen für die Bedienung an der Maschine bereitstellt. Auf dem Edge-Device werden eine Reihe von Services lokal ausgeführt. Als Beispiel ist der Plant-Connectivity-Service (PCo) von SAP® abgebildet. Weitere Daten von Bussystemen, die nicht als Informationen unmittelbar im Anlagennetz verfügbar sind, können über eingesetzte Buskoppler aufgenommen und entweder separat zum Edge-Device mittels eigener Gateways oder auch in Verbindung mit dem Edge-Device nach Übersetzung auf das kompatible Netzwerkprotokoll aufgenommen werden. Die hier dargestellte Architektur nutzt das Edge-Computing anhand eines Hardware-Geräts als maschinennahe, dezentrale Rechnereinheit mit lokaler Instanz von Services mehrheitlich zur Datenweiterleitung an Zielsysteme.

In Abbildung 3 wird das Edge-Computing ebenfalls in Verbindung mit einem ERP/MES-System eingesetzt. Im Gegensatz zur Abbildung 2 ist die Edge zentral am Rand des Produktionsnetzes angesiedelt. Grund hierfür sind hohe IT-Sicherheitsanforderungen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass es nur einen zentralen Zugang zum, vom Unternehmensnetz abgetrennten, Produktionsnetz gibt. Das Produktionsnetz repräsentiert das Firmennetz nach Abbildung 1. Der zentrale Rechner im Produktionsnetz ist ein Prozessleitrechner mit MES-Software. Das Edge-Computing wird softwarebasiert, bspw. On-Premises, auf einer virtuellen Maschine durchgeführt und beschreibt hier keine spezielle Hardware. Auch Private-Cloud-Instanzen können als Basis für Edge-Computing in diesem Fall dienen. Letztlich bestimmt die Anwendung die tolerierbare Latenz im Informationsaustausch und somit die Positionierung der Funktionalitäten im Netzwerk.

Abbildung 4 ist eine Zusammenstellung von Architekturen, die den universellen, dezentralen Einsatz von Edge-Devices als Hardware-Einzelgeräte im maschinennahen Umfeld mit Anforderungen an die Latenz und große Datenmengen

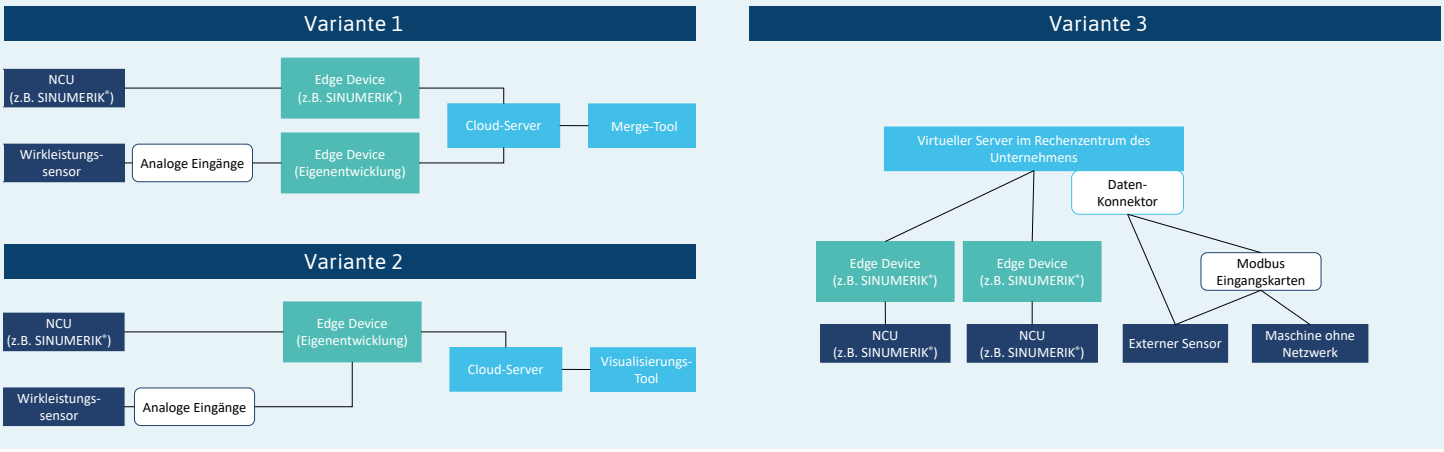



Abbildung 4: Praxisbeispiele für Edge-Architekturen zur hochfrequenten Datenverarbeitung im maschinennahen Umfeld

gemeinsam haben. Diese Architektur kommt zur Anwendung, wenn hochfrequente Daten dynamischer Anwendungsfälle aus unterschiedlichen Quellen, wie maschineninterne Steuerungs- und Antriebsdaten, analoge und digitale Sensorsignale und vorverarbeitete Signale von externen Messystemen, bspw. via Feldbus (CAN, PROFIBUS®, IO-Link ...) erfasst, aggregiert, verarbeitet und an Zielsysteme weitergesendet werden müssen. Als Zielsysteme kommen bspw. Cloud-Datenbanken, Plattformen mit performanten Services für Anwendungen der künstlichen Intelligenz, die CNC-Steuerung der Maschine selbst in Frage. Das Edge-Device ist in diesen Fällen mit mindestens einem kurzfristigen Datenpuffer oder sogar größeren Datenspeicherlösungen ausgestattet. In der Praxis zeigt sich, dass manche Edge-Geräte für spezielle Aufgaben entwickelt wurden und eine Erweiterbarkeit der Devices durch Dritte (wie den Maschinenbetreiber) nicht vorgesehen ist. Hierfür müssen diese mit weiteren Edge-Devices kombiniert werden, was den verfügbaren Platz im Schaltschrank der Maschine schnell ausreizt, sodass nachrüstbare oder separate Schaltschranksysteme an der Maschine nötig werden und mit Kosten und elektrischem Absicherungs- und Dokumentationsaufwand verbunden sind. Des Weiteren wird die ungenutzte Rechenkapazität dieser Spezial-Edge-Devices verschwendet.

In Abbildung 5 ist der Fall eines rein Service-basierten Verständnisses von Edge-Computing dargestellt. Die instanziierten digitalen Services integrieren Funktionen auf einer Rechnereinheit gemäß einer Architektur, welche die grundlegenden Funktionen bereitstellt und anwendungsspezifisch geladen und konfiguriert werden kann.

Die Daten werden aus unterschiedlichen Quellen anhand verschiedener Schnittelle erfasst. Microservices in einer virtualisierten Umgebung mittels Container übernehmen die Datenverarbeitung. Hierzu können je nach Anwendungsfall auch KI-Engines entweder als KI-Service für das Modelltraining oder als anwendungsspezifisch trainiertes Modell zum Einsatz kommen. Die Datenspeicherung erfolgt in Datenbanken über Agenten zur Schnittstellenübersetzung. Datenbroker spielen für den Aufbau souveräner, dezentraler Internationaler Datenräume (International Data Spaces, siehe Referenzarchitekturmodell IDSA [9, 10]) eine zunehmend große Rolle. Sie übernehmen die Funktion, Metadaten verfügbar und auffindbar zu halten, um Datenobjekte und IT-Ressourcen im Datenraum bereitstellen zu können. Sie sind als Teil einer dezentralen Suchmaschine zu verstehen.

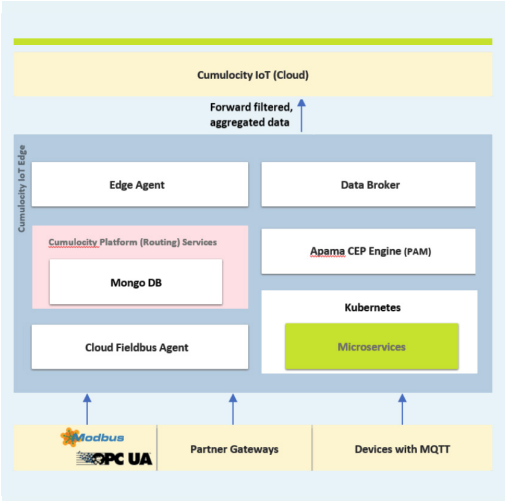



Abbildung 5: Edge-Computing als rein software-basierter Ansatz mit flexibler Implementierung im Produktionsumfeld (Software AG)

# EDGE-COMPUTING IM PROJEKTZUSAMMENHANG

*Im Zusammenhang des Projekts EuProGigant definiert das Konsortium nach der Zusammenstellung und Diskussion der dargestellten Informationen das Edge-Computing für das EuProGigant – Europäische Produktionsgiganet.*

Die Anforderungen lauten:

- Edge-Systeme unterstützen dezentrale Rechenoperationen möglichst nahe an der Datenquelle, um eine gegebene Zeitanforderung in der Datenübertragung und Datenerfassung erfüllen zu können. Die Zeitanforderung ist abhängig vom Anwendungsfall.

- Das Edge-System besitzt als Grundaufbau eine Input-, eine Logik- und eine Output-Schicht. Die Input-Schicht übernimmt die Aufgabe der Datenerfassung über konfigurierbare Schnittstellen sowie das Verarbeiten von Daten gemäß verfügbarer, verlinkter Informationsmodelle, woran branchenspezifische Vokabulare geknüpft sind. Die Logik-Schicht führt das Datenhandling gemäß den datenverarbeitenden Services, die Datenspeicherung bzw. -pufferung und die Datenvisualisierung durch. Im Kontext Gaia-X erfolgt in der Logik-Schicht die Generierung von Selbstbeschreibungen als Informationsmodelle und deren Zuordnung zu den Daten. Die Output-Schicht stellt die Daten mit deren Selbstbeschreibung zur Übertragung an Zielsysteme über standardisierte, konfigurierbare Schnittstellen zur Verfügung.

- Das Edge-System ermöglicht die Kommunikation mit Zielsystemen, z.B. On-Premises, Public-Cloud oder Private-Cloud. Abhängig von IT-Sicherheitsanforderungen und Konformitätsbestimmungen muss die Platzierung der Edge im Netzwerk bestimmt werden. Dies kann sich je nach Anwendungsfall unterscheiden.

- Die Edge-Systeme können die Ausprägung als Edge-Device oder Edge-Cloud annehmen. Das Edge-Device ist ein Hardware-Einzelgerät. Die Edge-Cloud bezeichnet Computing-Infrastruktur sowohl im Unternehmen (On-Premises) als auch in der Private-Cloud. Die Edge-Cloud kann dazu auch bekannte Dienste aus dem Public-Cloud-Bereich an strategischen Knotenpunkten nahe des Unternehmensnetzwerks platzieren. Das kann im Zusammenspiel einer Edge-Cloud-Strategie erfolgen und meint, dass Services eines Anbieters sowohl in der Edge als auch in der Cloud als Softwareprodukt implementiert werden können. Die Funktionalitäten der Edge, wie Datenverarbeitung, Konnektivität oder Anwendungen des Gebiets der künstlichen Intelligenz, sind je nach Anwendungsfall an geeigneter Stelle platzierbar, wo der größte Kundennutzen entsteht [11]. Die Funktionen werden als Services bereitgestellt und sind hardwareunabhängig.

- Der Fokus der Datenverarbeitung im Edge-System liegt auf der Erhöhung der Wertschöpfung. Die Prozessinformationen zur Wertschöpfung werden zusammengeführt und zu neuen Informationen aufgewertet, sodass in bidirektionaler Kommunikation zwischen Datenquelle und Edge-System die Wertschöpfung gesteigert werden kann. In Analogie zur physischen Wertschöpfung erfolgt die Datenverwertung entlang einer digitalen Datenwertschöpfungskette.

- Das IIoT-Device ist klar vom Edge-Device zu trennen. Das Edge-Device unterscheidet sich vom IIoT-Device darin, dass es die Möglichkeit anbietet, Gaia-X Services zu instanziieren (s. Abb. 6). Ein generisches IoT-Device ist bspw. nur als Datenquelle mit fester Cloudanbindung und Gateway-Funktionalität konzipiert.

Das Edge-System wird im Konsortium als (open source) Softwareprodukt aufgefasst, welches im lokalen Netzwerk an Stellen der Subnetzwerkübergänge[3] oder zur Erhöhung der lokalen Rechenkapazität installiert werden kann. Das Edge-System wird als universell und flexibel einsetzbares System betrachtet, dass Selbstanbindungs- und -Konfigurationsfunktionen anbietet. Es besitzt Funktionalitäten zur Sicherheitsintegration, zur breiten Schnittstellen- und Protokollkonfiguration und ist über den Gaia-X Federated Catalogue auffindbar[4], um neue Funktionen als Services instanziieren und monitoren zu können. Dafür muss das Edge-System die Federated Services (s. Abb. 6) von Gaia-X nutzen können. Es beeinträchtigt durch funktionale Isolierung und Security-by-Design keine sicherheitsrelevanten Funktionen auf der PLC oder NCU, sodass eine Neubewertung der Sicherheit der Anlage nicht erforderlich wird.

[3] Subnetzwerkübergänge:
- Direkt an der Maschine: Übergang Maschine zu lokalem Netzwerk;
- Im Fertigungsnetzwerk: Übergang Unternehmensnetzwerk zu Fertigungsnetzwerk;
- Im Unternehmensnetzwerk: Übergang Internet zu Unternehmensnetzwerk.

[4] Sowohl private als auch öffentliche zentrale bzw. dezentral verteilte Kataloge werden unterstützt

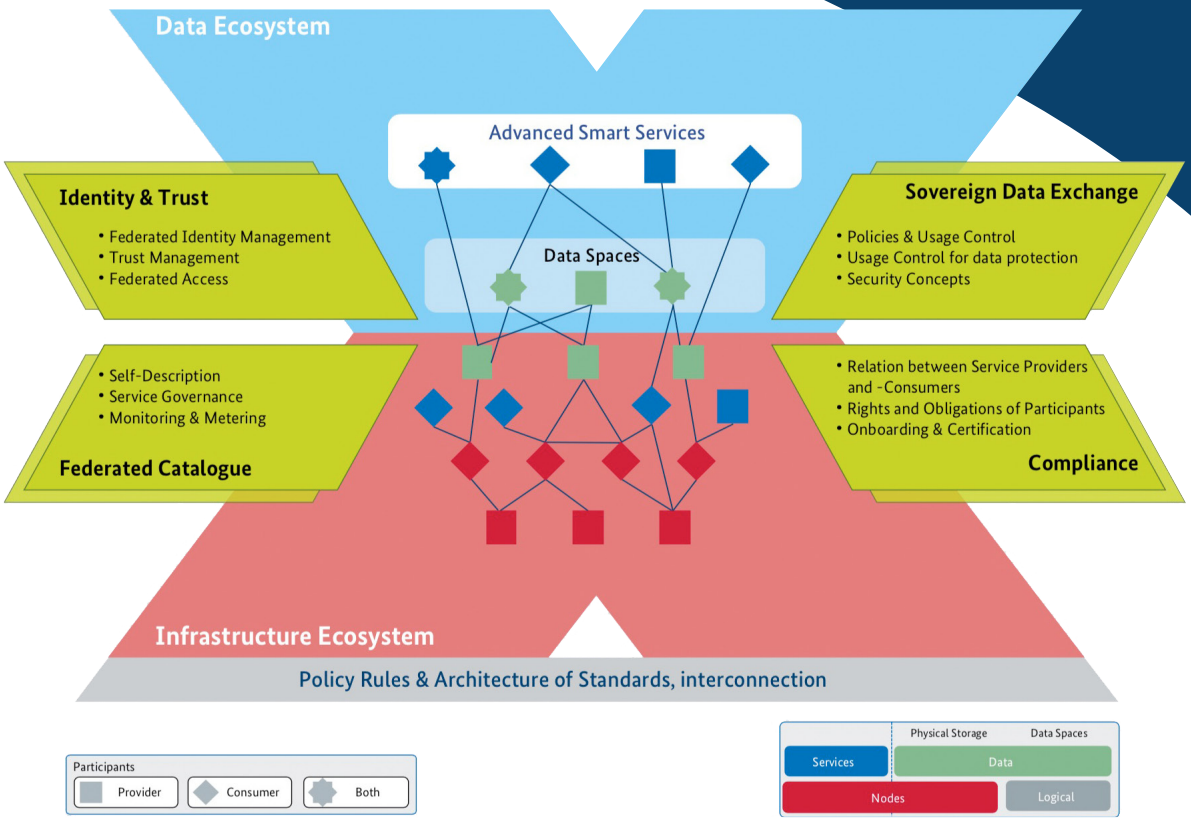



Abbildung 6: Federation Services von Gaia-X als Schnittstellenfunktionen zur Orchestrierung von Datenströmen zwischen Infrastruktur- und Daten-Ökosystem *[12]*

# HARDWARE ZUM EDGE-SYSTEM

Mit dem Verständnis des Edge-Systems als reines Softwareprodukt stellt sich die Frage der darunterliegenden Hardware. Hier soll das Edge-System agnostisch sein und verschiedenste Hardwareklassen ermöglichen. Die Hardwareklassen im Projektkontext sind in Abbildung 7 dargestellt.

Der Bereich Edge-Devices wird von Einzelgeräten verschiedener Leistungsklassen gebildet. Im Projekt kommen hier Industrie-PCs sowie industrietaugliche Single Board Computer (SBC) zum Einsatz. Der Bereich Edge-Cloud umfasst zum einen typische Cluster oder lokale Rechenzentren, die auch häufig unter den Bezeichnungen On-Premises und Private Cloud vermarktet werden.

Zusätzlich befindet sich hier aber auch der Zusammenschluss mehrerer Edge-Devices zur Erweiterung der Rechenleistung oder Verbesserung der Verfügbarkeit. Oberhalb schließt sich der Cloud-Computing-Bereich an, wobei im Projektverständnis hier Infrastructure-as-a-Service (IaaS) bis Platform-as-a-Service (PaaS) gemeint ist.

Da das Edge-System die Leistungsbedarfe seiner Applikationen kennt (siehe auch Gaia-X Self-Description), und die Angebote der verfügbaren Edge-Hardware ebenfalls als Informationen bereitgestellt werden, kann die Positionierung im Netzwerk der einzelnen Applikationen automatisch festgelegt werden. Dies schließt eine Repositionierung mit ein, die durch Störungen oder Änderungen am Leistungsbedarf notwendig werden können („Mobilität von Services“ als Service-Portabilität).

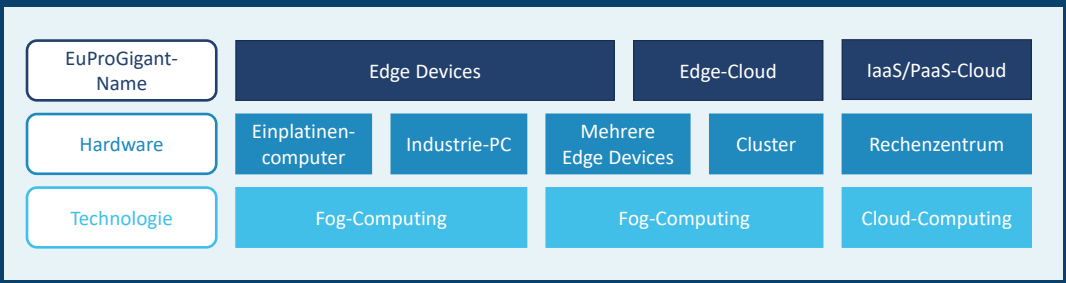



Abbildung 7: Hardwareklassen für Edge-Systeme in EuProGigant (Quelle: PTW)

# BEWERTUNG DER SICHERHEIT BEI NACHRÜSTUNG VON EDGE-DEVICES (NACH MASCHINENRICHTLINIE)

Das Edge-System verfügt über Funktionen zur Cloud-Anbindung und übernimmt Aufgaben, die aufgrund der Rechenleistung und der Datenmenge nicht auf einem sicherheitskritischen System wie der NCU ausgeführt werden. Die Geräte im Anlagennetz verarbeiten ausschließlich eine für die Wertschöpfung hinreichende Datenmenge und stellen Safety-Funktionen für den sicherheitskonformen Betrieb der Maschine oder Anlage nach Maschinenrichtlinie *[13]* bereit, wie Safe-Motion, E-Stopp, Safe-Torque-Off, Not-Halt, Not-Aus. Im Zeitraum 2021 – 2023 wird mit einer überarbeiteten Version der Maschinenrichtlinie gerechnet *[14]*. Das Konformitätsbewertungsverfahren überprüft die Funktionstüchtigkeit der Sicherheitsfunktionen. Nach erfolgter Bewertung signalisiert das CE-Kennzeichen dem Betreiber einer Maschine die Normkonformität *[15]*. Die Verwendung von Edge-Systemen in Verbindung mit Steuerungs-Einheiten an Maschinen und Anlagen gilt als kritisch, wenn durch sie Sicherheitssignale beeinflusst werden. Um einer Neubewertung der Konformität nach Installation eines Edge-Systems zu umgehen, muss nachgewiesen werden, dass es sich um eine nicht wesentliche Veränderung im Sinne der Maschinenrichtlinie handelt. Dabei ist die Frage zu klären, ob sich durch den Einbau neue Gefährdungen ergeben haben oder sich ein bestehendes Risiko erhöht hat. Der TÜV Süd schreibt, dass es sich in Fällen von Retrofits an Maschinensteuerungen mehrheitlich nicht um wesentliche Veränderungen handelt *[15]*. Genaue Anforderungen sind neben der Maschinenrichtlinie auch dem Papier „Wesentliche Veränderung von Maschinen" des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales zu entnehmen *[16]*. Wesentlich ist, dass durch die Integration von Edge-Systemen vorhandene Sicherheitsparameter unberührt bleiben und keine sicherheitsgerichteten Steuersignale verarbeitet werden. Dann ist eine Neubewertung der Normkonformität laut TÜV SÜD nicht nötig *[15]*. Von hoher Wichtigkeit ist, dass nach einer erfolgten Modernisierung der Maschine oder Anlage die Dokumentation hinsichtlich Schaltpläne, Konstruktionszeichnungen, Bedienungsanleitung und Gefährdungsbeurteilung aktuell gehalten werden. Ein wichtiger Fall der dabei ausgeklammert wird ist, dass für eine Datenbereitstellung auf der NCU oder der PLC eigens Services installiert werden können, welche Rechenkapazität in Anspruch nehmen und so ggf. sicherheitsrelevante Funktionen des Geräts behindern können.

# LITERATUR


[1] Plattform Industrie 4.0 Österreich, Cyber-physische Systeme. [Online]. Verfügbar unter: https://plattformindustrie40.at/forschung-entwicklung-innovation/cyber-physische-systeme/ (Zugriff am: 1. November 2021).

[2] K. Shaw, Wie funktioniert Edge Computing? [Online]. Verfügbar unter: https://www.computerwoche.de/a/was-ist-edge-computing,3550237 (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[3] Gartner, Gartner Glossary: Edge Computing. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/edge-computing (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[4] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, GAIA-X Glossary: Edge Computing. [Online]. Verfügbar unter: https://www.data-infrastructure.eu/SiteGlobals/GAIAX/Forms/Listen/Glossar/Glossar_Formular.html?resourceId=1737836&input_=1839500&pageLocale=en&titlePrefix=E#form-1737836 (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[5] Siemens, SINUMERIK: SINUMERIK 840D sl Bedienkomponenten und Vernetzung (IM5). Inbetriebnahmehandbuch. [Online]. Verfügbar unter: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/279/53878279/att_40779/v1/IM5_de_de-DE.pdf (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[6] Lüder, Arndt and Vogel-Heuser, Birgit, „Elektronische Datenverarbeitung - Agentenbasiertes Steuern“ in Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 2: Anwendungen, Bender, Beate and Göhlich, Dietmar, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, S. 143–150, doi: 10.1007/978-3-662-59713-2_7.

[7] Red Hat, Was ist Software-Defined Networking? Infrastruktur. [Online]. Verfügbar unter: https://www.redhat.com/de/topics/hyperconverged-infrastructure/what-is-software-defined-networking (Zugriff am: 2. November 2021).

[8] Siemens, SINUMERIK: SINUMERIK Integrate RPC SINUMERIK. Projektierungshandbuch. [Online]. Verfügbar unter: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/109/109756109/att_942846/v1/RPC_config_man_0218_de-DE.pdf (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[9] International Data Spaces Association, A trustworthy architecture for the data economy. IDS Infografik. [Online]. Verfügbar unter: https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/IDSA-Infografik-English.pdf (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[10] Boris Otto und Anna Maria Schleimer, „GAIA-X and IDS: Position Paper“. [Online]. Verfügbar unter: https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/IDSA-Position-Paper-GAIA-X-and-IDS.pdf

[11] Intel Deutschland GmbH, Eine Edge-Cloud bringt Sie näher an Ihre Business-Intelligence heran. [Online]. Verfügbar unter: https://www.intel.de/content/www/de/de/edge-computing/edge-cloud.html#:~:text=Eine%20Edge%2DCloud%2DStrategie%20positioniert,%2DCloud%2DDiensten%20%C3%A4hnlich%20ist. (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[12] BMWi, „GAIA-X: Technical Architecture“, Juni 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/gaia-x-technical-architecture.html. Zugriff am: 4. Januar 2021.

[13] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG, 2006. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32006L0042

[14] TÜV SÜD, Maschinenrichtlinie 2006/42/EG einfach erklärt. [Online]. Verfügbar unter: https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/maschinensicherheit-info/maschinenrichtlinie (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[15] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Maschinen ändern: Retrofit EG-konform umsetzen. [Online]. Verfügbar unter: https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/industry-service/pdf/netinform/maschinen-ndern---retrofit-eg-konform-umsetzen.pdf (Zugriff am: 6. Mai 2021).

[16] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, „Interpretationspapier zum Thema “Wesentliche Veränderung von Maschinen”“, Gemeinsames Ministerialblatt (GMBl), Nr. 10, S. 183–186, 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitsschutz/interpretationspapier-veraenderung-maschinen.pdf;jsessionid=3EDFB891D9BA753CEF581B3DB2051142.delivery1-replication?__blob=publicationFile&v=1

# ÜBER EUPROGIGANT

EuProGigant steht für „Europäisches Produktionsgiganetz zur kalamitätsmindernden Selbstorchestrierung von Wertschöpfungs- und Lernökosystemen“. Das binationale Projekt ist am 1. März 2021 gestartet und läuft vier Jahre. Ziel ist der Aufbau eines standortübergreifenden, digital vernetzten Produktionsökosystems. Den Rahmen bilden das österreichische Programm „FTI Offensive Big Data in der Produktion“ der Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sowie das deutsche Programm „Entwicklung digitaler Technologien“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). EuProGigant ist eine eingetragene EU-weite Marke in Wort und Bild von TU Wien und TU Darmstadt.

EuPro Gigant

**Technische Universität Wien**
Karlsplatz 13, 1040 Wien
Telefon: +43 1 58801 0
ATU37675002

**Technische Universität Darmstadt**
Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt
Telefon: +49 6151 16-0

Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Gefördert durch:
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FFG
Forschung wirkt.

DLR Projektträger