

# Edge-Management im Industrial Internet of Things

## Edge-Management-Interoperabilität basierend auf der Verwaltungsschale

*Markus Rentschler, ARENA2036 e.V.*

*Xuan-Thuy Dang, Murrelektronik GmbH*

*Dominik Rohrmus, LNI 4.0*

*Andreas Graf Gatterburg, Hilscher GmbH*



Lemgo, 6.11.2024

# Motivation

## Was ist Edge-Technologie?

- „**Edge Architektur**“ ist ein Netzwerk-Architekturparadigma, welches die Fusion von IT und OT vorteilhaft unterstützt.
- „**Edge Computing**“ ist ein dezentrales Computerparadigma, das Daten näher an ihrer Quelle verarbeitet, um einerseits die Latenz in Richtung OT und andererseits die Bandbreite in Richtung IT zu reduzieren. Es bringt Rechenleistung an den Rand eines Netzwerks und ermöglicht Echtzeit-Datenverarbeitung für Anwendungen wie IoT, autonome Geräte und kritische Systeme, steigert die Effizienz und verringert die Abhängigkeit von zentralisierten Servern.
- „**Edge Devices**“ oder „**Edge Gateways**“ sind Computing-fähige Geräte, die im Feld eingesetzt werden können und auf denen klassische Software-Anwendungen (nicht nur SPS-Programme) flexibel installiert und ausgeführt werden können.

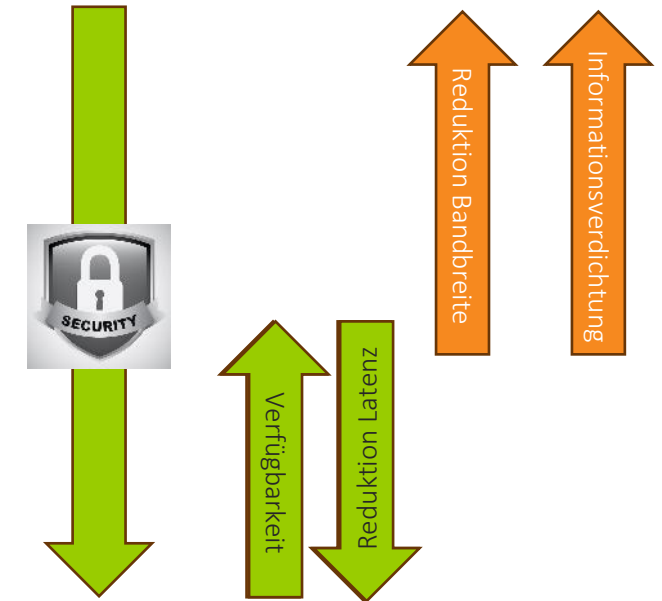
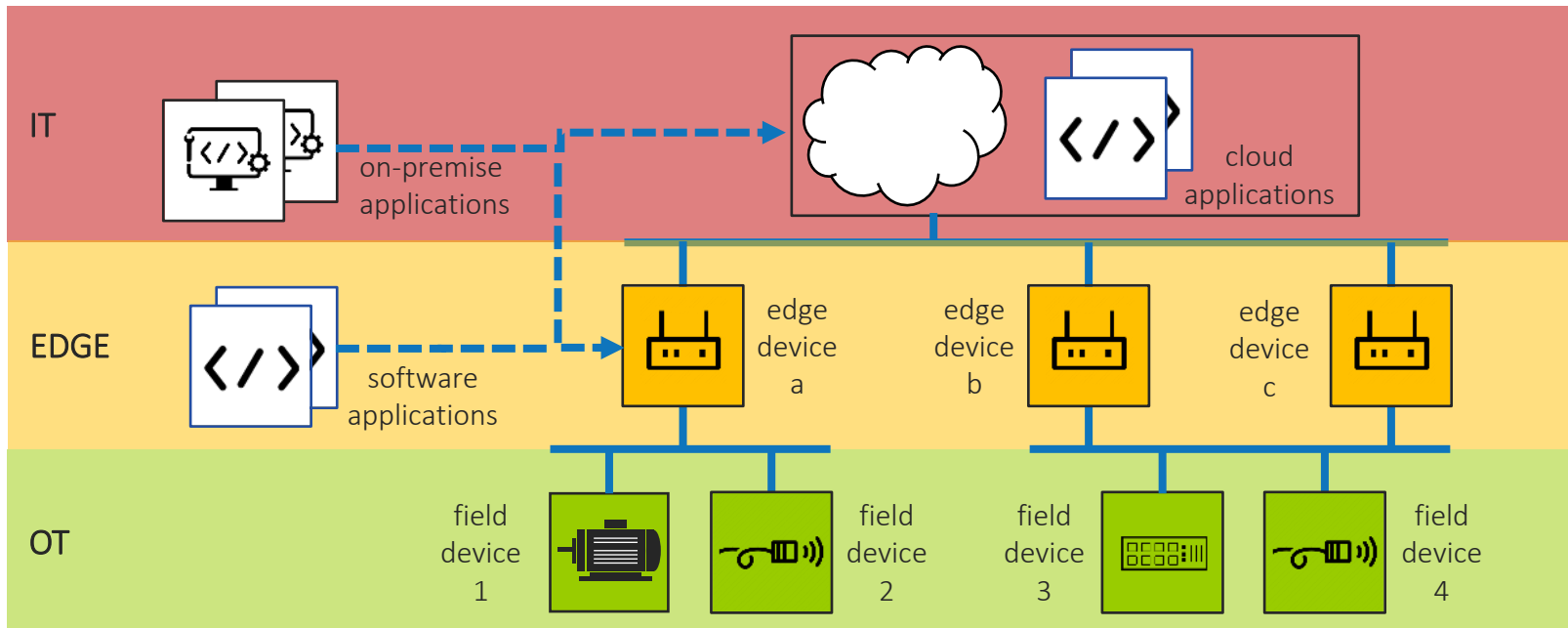
## Warum ist Edge-Technologie aus Sicht der produzierenden Industrie (OT) wichtig?

- Ermöglicht flexibel Einsatz neuester Softwaretechnologien (Datenanalyse, Modelle, KI, etc.) in der OT mit Vorteilen sowohl aus Sicht der Performance (Device-Cloud-Kommunikation) als auch aus Sicht der Datenhoheit (kritische Daten werden nicht in der Maschine dargestellt und lokal gehalten)

## Ist das Management einer Edge-Infrastruktur problematisch?

- Ja, es ist gekennzeichnet durch proprietäre Konfigurationsmechanismen und mangelhafte Interoperabilität zwischen verschiedenen Herstellern, sowie komplexe und fehleranfällige Integration der Geräte in ein Gesamtsystem.
- Hoher Lock-in-Effekt der Geräteanbieter

# Edge-Architektur



- IT-OT-Konvergenz durch Security und Datenvorverarbeitung in der Edge
- Ermöglicht Edge-/Fog-Computing

- ✓ Security
- ✓ Dezentralität = Höhere Verfügbarkeit
- ✓ IT-Bandbreitenreduktion/Informationsverdichtung
- ✓ OT-Latenzreduktion

# Relevanz des Edge-Paradigmas?

- Selbstversuch:  
<https://www.bing.com/search?q='edge+computing'>
- A. Hamm, A. Willner, I. Schieferdecker, “Edge Computing: A Comprehensive Survey of Current Initiatives and a Roadmap for a Sustainable Edge Computing Development,” 2019,  
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.1912.08530>

→ Es wurden 75 (!) Initiativen identifiziert, die sich mit Edge Computing beschäftigen:  
“The 75 initiatives include 28 software projects, 22 harmonization projects, 20 consortia, and 16 national initiatives.”

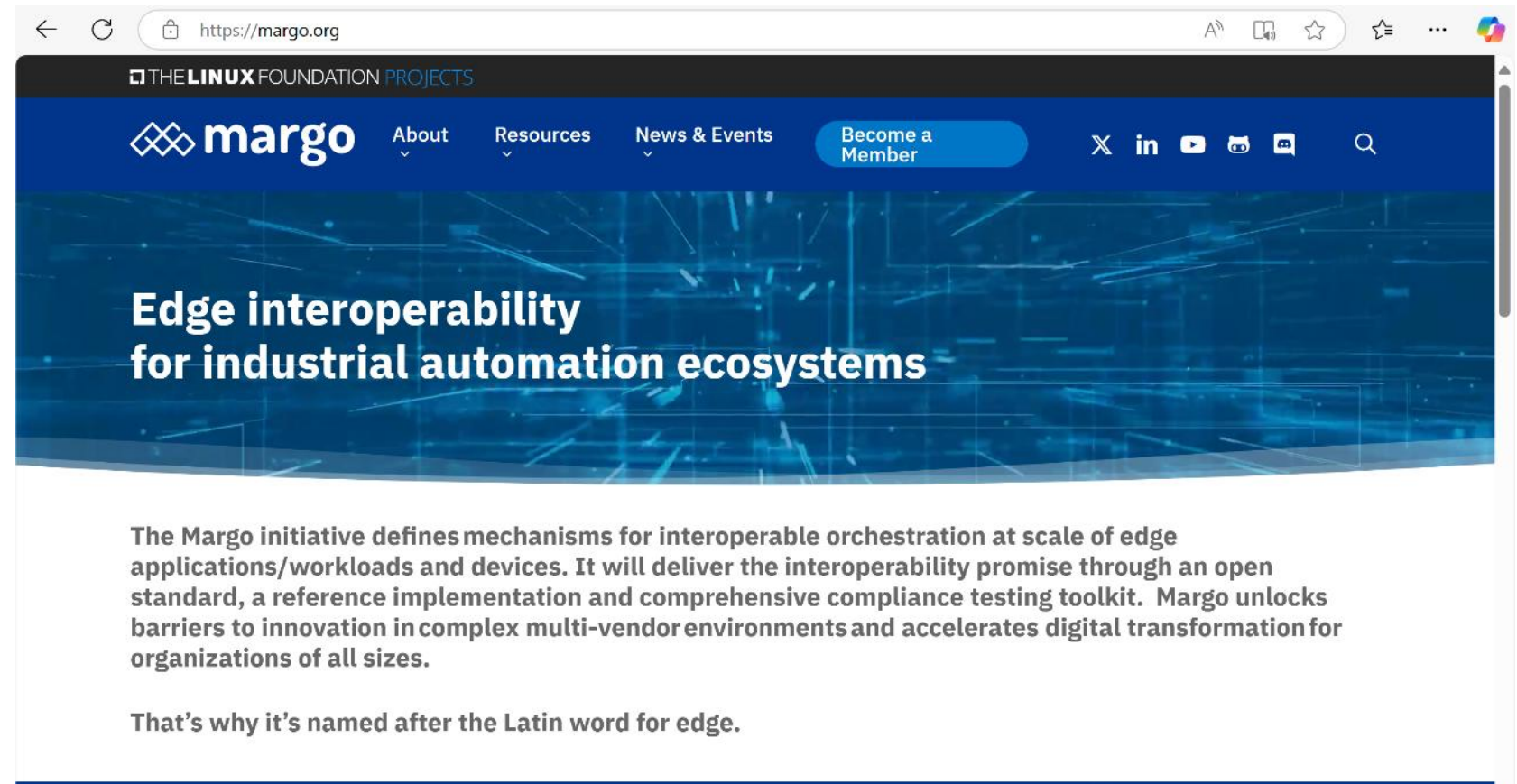
The image shows a Bing search result for "edge+computing" and an arXiv paper. The Bing search result includes a snippet about edge computing and a link to the arXiv paper. The arXiv paper is titled "Edge Computing: A Comprehensive Survey of Current Initiatives and a Roadmap for a Sustainable Edge Computing Development" by Andrea Hamm, Alexander Willner, and Ina Schieferdecker. The paper is categorized under Computer Science > Distributed, Parallel, and Cluster Computing. The abstract states: "Edge Computing is a new distributed Cloud Computing paradigm in which computing and storage capabilities are pushed to the topological edge of a network. However, various standards and implementations are promoted by different initiatives. Lead by a reference architecture model for Edge Computing, current initiatives are analyzed by explorative content analysis. Providing two main contributions to the field, we present, first, how current initiatives are characterized, and second, a roadmap for sustainable Edge Computing relating three dimensions of sustainable development to four cross-concerns of Edge Computing. Findings show that most initiatives are internationally organized software development projects; important branches are currently telecom and industrial sectors; most addressed is the network virtualization layer. The roadmap reveals numerous chances and risks of Edge Computing related to sustainable development; such as the use of renewable energies, biases, new business models, increase and decrease of energy consumption, responsiveness, monitoring and traceability." The paper has 15 pages, 19 comments, and is cited by 15 sources. The journal reference is "15th International Conference on Wirtschaftsinformatik (2020)".

# Relevanz des Edge-Paradigmas?

## Neueste Initiative:

<https://margo.org/>

<https://github.com/margo>



# Was ist das LNI 4.0 (Labs Network Industrie 4.0)?



1. LNI 4.0 e.V. wurde im Jahr 2015 gemeinsam mit der Plattform Industrie 4.0 und von wichtigen Unternehmen und Verbänden, z.B. Deutsche Telekom, Festo, SAP, SIEMENS und die Verbände Bitkom, VDMA und ZVEI.
2. LNI 4.0 ist ein offener, neutraler, vorwettbewerblicher, ministeriell finanzierter gemeinnütziger Verein (NGO).
3. LNI 4.0 dient als Dialog-, Kompetenz- und Experimentierplattform, insbesondere für kleine und mittelständische deutsche Unternehmen.
4. LNI 4.0 ist ein schnell wachsendes Netzwerk, das derzeit aus mehr als 50 renommierten Testzentren (Labs) und rund 400 Unternehmen in ganz Deutschland besteht.
5. in diesem Netzwerk können Unternehmen ohne tiefgreifende akademische Forschungsfähigkeiten Technologien, Innovationen und Geschäftsmodelle rund um das Thema Industrie 4.0 - bei minimalem finanziellen und technischen Risiko - in einem wettbewerbsneutralen Umfeld erschliessen -> **TESTEN vor INVESTIEREN!**
6. Das Netzwerk nutzt mehr als 120 Anwendungsfälle und fünf große Testumgebungen in allen relevanten Bereichen der Digitalisierung, um Industrie 4.0-Innovationen unter realen Bedingungen zu testen.
7. Fast alle LNI4.0 Testbeds befassen sich mit dem Thema der herstellerübergreifenden Interoperabilität.



# LNI 4.0 in Deutschland

## Testlabs



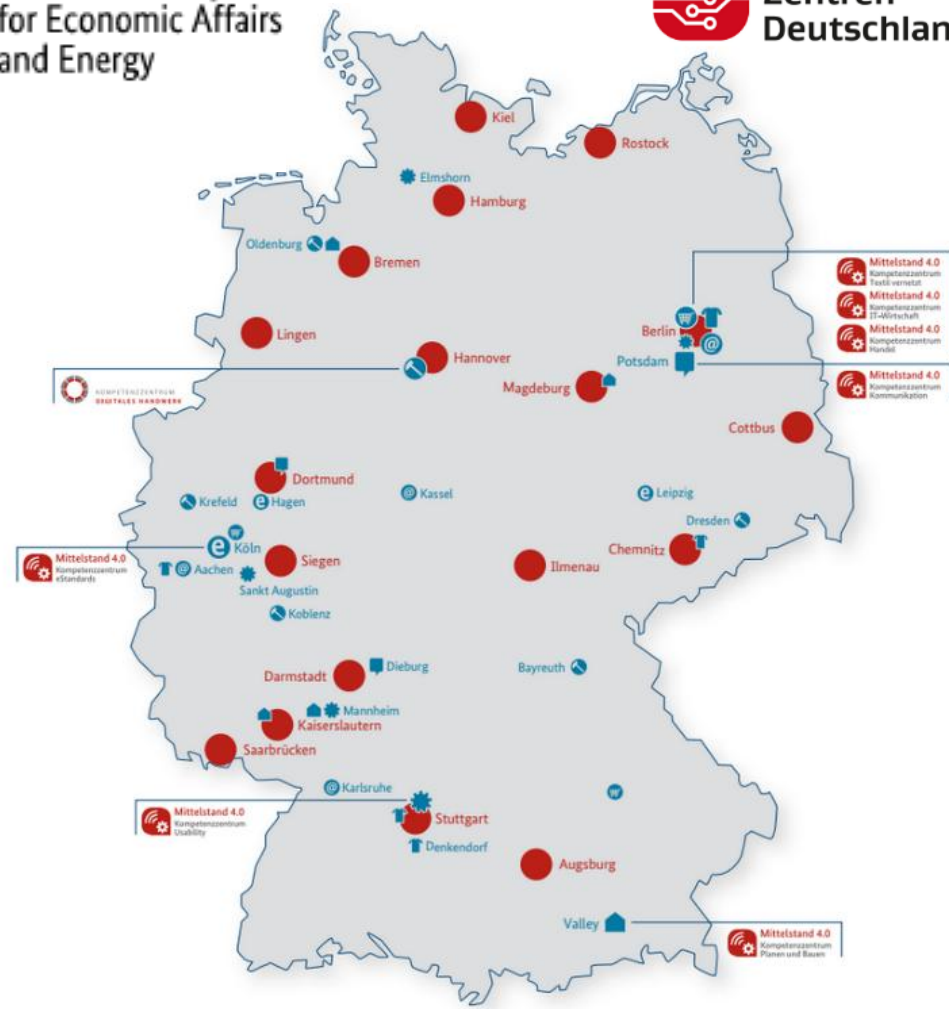
## 29 Industrie 4.0 Kompetenzzentren



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy



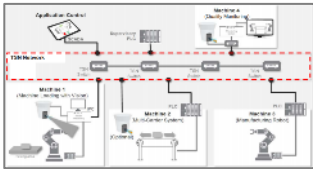
Mittelstand-Digital  
Zentren  
Deutschlandweit



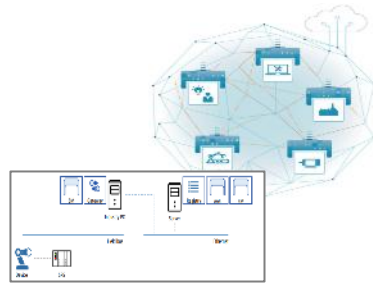
# Übersicht LNI 4.0 Testbeds

## Machine Interoperability

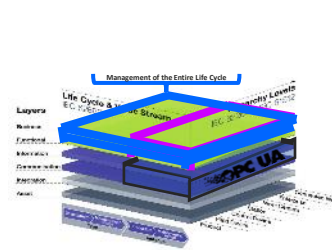
### 1 Time-Sensitive Networking (TSN)



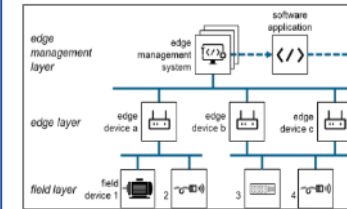
### 2 Asset Administration Shell (AAS) (IEC63278)



### 3 Shopfloor Communication via OPC UA



### 4 Edge\_Management



- TSN is a **toolbox** to enable **Time-Sensitive Networking** of machines and devices
- Further validation of **extensions to the IEEE 802.1 standard family** for time-sensitive networking (TSN)
- **Further participation at**
  - OPC UA PubSub TSN prototyping
  - Inter-domain stream establishment, distributed or centralized domain control
  - TSN application in 5G
- **Continuous plug-festivals** based on SME requirements and LNI 4.0 Use Cases.
- **Evaluation of a simple approach for production lines, fostering stepwise collaboration between automation system integrators and machine builders**

- **Asset Administration Shell** is a **Metamodel with UML class diagram** and related **Infrastructure Services**
- **Initiation, testing and validation of further Modules in the AAS** (energy efficiency, de-carbonization, etc.) and **providing input for its standardization**
- **Build up of a AAS Demonstrator and Network to other demonstrators**

- Validation of **Horizontal and vertical communication network of machines** via **semantic of OPC UA Companion Specifications**
- **Extension by commercial business aspects (reg. MES, ERP)**
- **Evaluation of Use Cases for different manufacturers tested with OPC UA client/server**

- **Edge computing technology** as **distributed computing paradigm** and the **decentralized data processing** at the edge of the network, from the field devices to the Management System layer
- Finalization of **Functional and Implementation view**
- **Compatibility test** of the **Implementation View** on different products and devices
- **Validation of the proposal for standardization of the management of edge and field devices**

## Human Integration

### 5 Human – Machine – Process-Integration (HMPI)



**Creation and Validation of proposals for intelligent and immersive human machine integration and interaction**

**Entry point for the integration of humans:**  
= **technical solutions and applications, whilst Linking to existing initiatives from the overall context (e.g. ethical, social, legal activities)**

## Data Management & Analytics

### 6 Network of Data Labs & Analytics



- **Data Management as fundamental basis for Industrie 4.0**
- **Network of existing activities at German and European level**
- **Extension to Artificial Intelligence and Digital Twin / Simulation**



# LNI 4.0 Testbed Edge Management

<https://lmi40.de/angebot/testbeds/testbed-emt/>

## Edge Management Demonstrator System

**Edge Management Demonstrator**

Der Edge Management Demonstrator von LNI 4.0 zeigt, wie die verschiedenen Ebenen der Technologien und Systeme im Kontext von Industrie 4.0 zusammenarbeiten. Er setzt sich aus verschiedenen Ebenen zusammen, die unterschiedliche Funktionen und Aufgaben haben:

- Field Layer:** Erfassung von Echtzeit-Daten durch Sensoren und Geräte.
- Edge Layer:** Lokale Verarbeitung und Analyse der Daten zur Optimierung der Prozesse.
- Management Layer:** Zentrales Management, Langzeit-Datenspeicherung und Integration in übergeordnete IT-Systeme.

### 1. Field Layer (Feldebene)

Die Feldebene ist die unterste Ebene des Systems, in welcher sich physische Geräte und Sensoren befinden. Diese erfassen Daten in Echtzeit und liefern sie weiter. In dieser Ebene befinden sich bspw. Maschinen, Anlagen und Sensoren, die direkt in der Produktion eingesetzt werden.

**Funktionen:**

- Datenerfassung und Vorverarbeitung
- Überwachung und Steuerung von Maschinen und Anlagen
- Kommunikation mit den darüber liegenden Ebenen

**Beispiel:**

Sensoren an einer Fertigungsstraße, die bspw. Temperatur oder Druck messen, mit der Anlagensteuerung arbeiten und diese Daten an die nächste Ebene weiterleiten.

### 2. Edge Layer (Edge-Ebene)

Die Edge Layer ist die mittlere Ebene. Sie befindet sich zwischen der Field Layer und der Management Layer und dient als „Brücke“. Sie verarbeitet die von den Sensoren und Geräten gesammelten Daten in der Anlagensteuerung und sendet diese an weiterführende Systeme und Steuerungen.

**Funktionen:**

- Datenverarbeitung und -analyse
- Vorverarbeitung, Filterung und Konvertierung
- Lokale Speicherung von Daten
- Ausführung von Applikationen und Algorithmen wie KI zur Optimierung der Produktionsprozesse

**Beispiel:**

Sensoren an einer Fertigungsstraße, die bspw. Temperatur oder Druck messen, mit der Anlagensteuerung arbeiten und diese Daten an die nächste Ebene weiterleiten.

### 3. Management Layer (Management-Ebene)

Die Management Layer ist die oberste Ebene in diesem System. Sie verwaltet und überwacht die gesamte Infrastruktur der Edge Layer und Anwendungen in der Edge Ebene.

**Funktionen:**

- Zentrales Management von Edge-Geräten und deren Anwendungen
- Datenspeicherung und deren Analyse
- Integration in übergeordnete IT-Systeme
- Sicherheitsmanagement und Zugangskontrollen sowie On- und Offboarding neuer Hardware und Software
- Berichte und Dashboards werden für die Integration von Edge-Technologien, deren Konfiguration und zur Entscheidungsfindung zur Verfügung gestellt

**Welche LNI 4.0 Testbeds gibt es?**

### Time-Sensitive Networking (TSN)

Das TSN-Testbed ist eine offene, öffentlich finanzierte Testumgebung zur Validierung von IEEE 802.1 Standarderweiterungen. Time-Sensitive-Networking auf der Basis von Use Cases von kleinen- und mittleren Unternehmen. Die Erweiterungen erlauben, heterogene Echtzeitanwendungen in einem

### Asset Administration Shell (AAS)

Das AAS-Testbed dient zur Testung und Validierung der Verwaltungsschale (AAS) und deren Standardisierung. Die Partner arbeiten mit Fokus auf VWS Anwendungsfälle für kleine- und mittlere Unternehmen zusammen und validieren die Implementierung der Verwaltungsschale. Damit

### Edge Management

Das Testbed Edge Management wird betrieben mit dem Ziel, Anwendungsfälle für das Management von Edge- und Field-Devices über ein Device Management System zu erproben und die Ergebnisse kleinen- und mittleren Unternehmen für die Vernetzung ihrer Devices zuzuführen sowie Anstöße für die Standardisierung zu liefern. Die beteiligten Partner erarbeiten und

**Das Edge Management Testbed**

**Was ist das Edge Management Testbed?**

Industrie 4.0 verbindet die traditionelle Welt der Fertigung (OT) mit den Möglichkeiten der modernen IT. Ein zentrales Element dieser Verbindung sind Edge-Geräte. Diese spielen in der Fabrikautomatisierung eine Schlüsselrolle. Jedoch stellt die Auswahl und Einrichtung, also Konfiguration dieser Geräte nur einen Teil der Herausforderung dar. Denn vor allem in der Integration sowie des Managements der Geräte liegt häufig eine besondere Komplexität. Auch die entsprechende Software und Verbindungen werden benötigt, um ein effizientes und interoperables Projekt zu gewährleisten.

# Methodischer Ansatz nach IIRA

## Fragestellung

## Zielgruppe

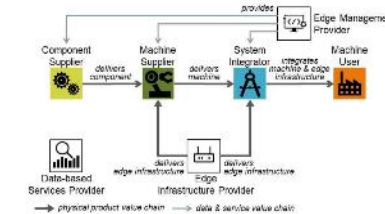
## Gesichtspunkt

## Resultat/Beschreibung

Warum soll das System entwickelt werden?

Management  
Produktmanager

Business  
View

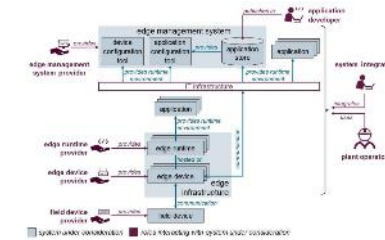


→ Geschäftsperspektive der identifizierten Stakeholder.

Was soll das System leisten?

Produktmanager  
Systemarchitekt

Usage  
View

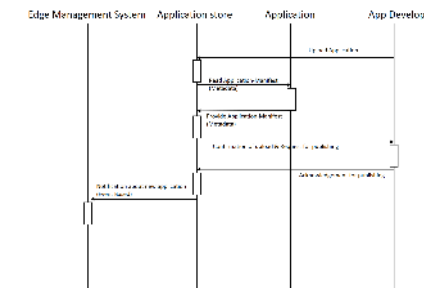


→ Anwendungsfälle und Fähigkeiten eines Edge Management System.

Wie arbeitet das System?

Systemarchitekt  
Systementwickler

Functional  
View

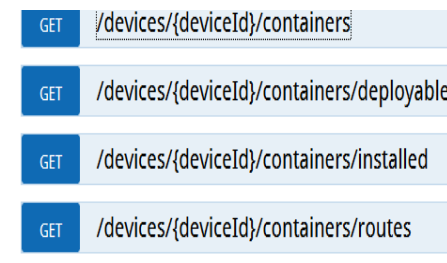


→ Funktionalitäten des Edge Management System.

Wie wird das System implementiert?

Systementwickler

Implementation  
View



→ Systemschnittstellen des Edge Management Systems

<https://github.com/LNI40>

https://github.com/LNI40/Implementation-View

README

## Das LNI4.0 Edge Management Testbed

### Motivation

Industrie 4.0 verbindet die traditionelle Welt der Fertigung (OT) mit den Möglichkeiten der modernen IT. Ein zentrales Element dieser Verbindung sind Edge-Geräte. Diese spielen in der Fabrikautomatisierung eine Schlüsselrolle. Jedoch stellt die Auswahl und Einrichtung, also Konfiguration dieser Geräte nur einen Teil der Herausforderung dar. Denn vor allem in der Integration sowie des Managements der Geräte liegt häufig eine besondere Komplexität. Auch die entsprechende Software und Verbindungen werden benötigt, um ein effizientes und interoperables Projekt zu gewährleisten.

Derzeit sind die meisten Edge Management Systeme proprietär. Das bedeutet, dass sie nur mit den Geräten des einen jeweiligen Herstellers vollständig kompatibel sind, weil sie nicht auf einheitlichen Standards aufsetzen. Dies stellt ein erhebliches Hindernis für die Flexibilität dar und erschwert die weitere Verbreitung von Edge-Geräten.

Im [LNI4.0 Edge Management Testbed](#) haben sich verschiedene Hersteller von Edge Management Lösungen zusammengeschlossen und entwickeln gemeinsam herstellerübergreifende Standard-Lösungen, damit Edge-Geräte verschiedenen Hersteller nahtlos zusammenarbeiten können.

### Business View

[https://lni40.de/wp-content/uploads/2023/02/BusinessView-LNI40TestbedEdgeManagement\\_published-V2.0.pdf](https://lni40.de/wp-content/uploads/2023/02/BusinessView-LNI40TestbedEdgeManagement_published-V2.0.pdf)

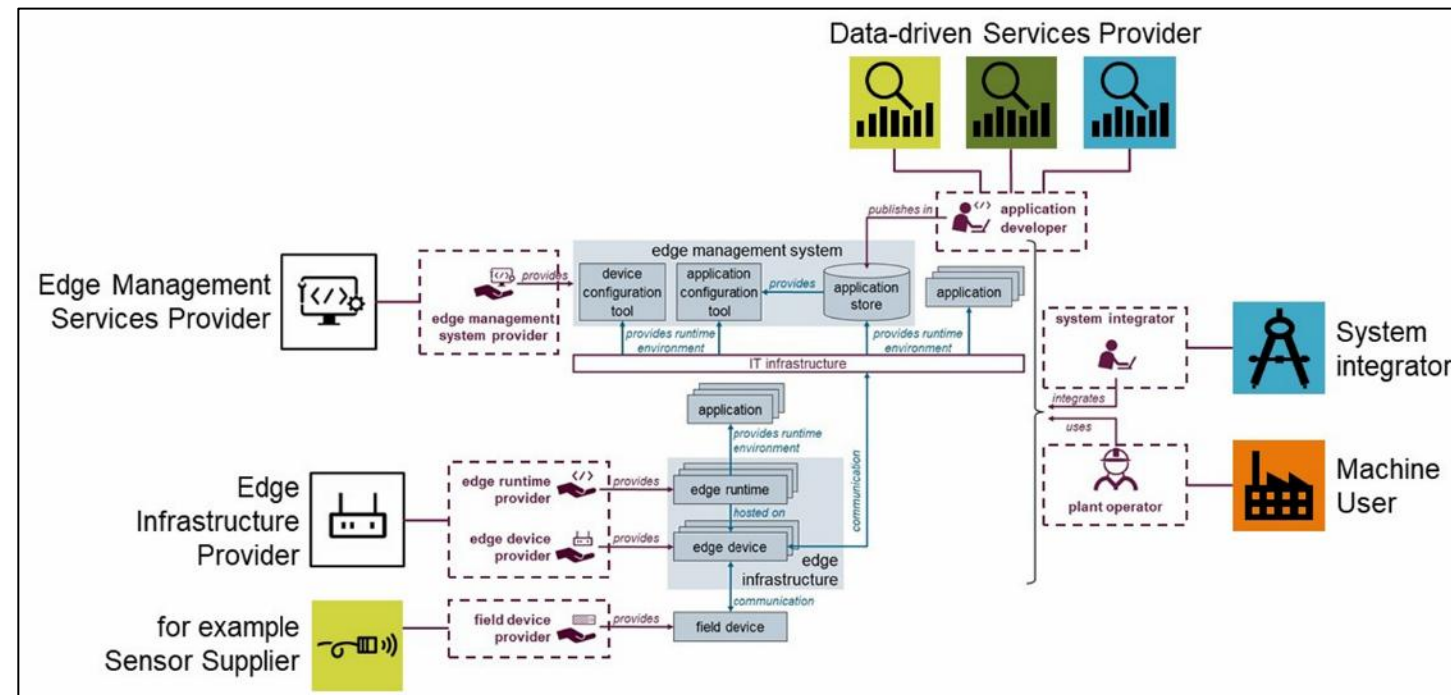
### Usage View

[https://lni40.de/wp-content/uploads/2023/02/UsageView-TestbedEdgeConfiguration\\_publish-10032020.pdf](https://lni40.de/wp-content/uploads/2023/02/UsageView-TestbedEdgeConfiguration_publish-10032020.pdf)

### Functional View

[https://github.com/LNI40/Implementation-View/blob/main/FunctionalView-TestbedEdgeConfiguration\\_V8.4.pdf](https://github.com/LNI40/Implementation-View/blob/main/FunctionalView-TestbedEdgeConfiguration_V8.4.pdf)

## Ganzheitliche Systemdefinition, basierend auf Business View, Usage View und Functional View



Quelle: LNI4.0

1. **Fokus der Arbeitsgruppe** hat sich im Laufe der Zeit leicht verschoben:  
Edge Configuration → Edge Management → Edge Interoperabilität
2. **Ganzheitliche Systemanalyse** basierend auf Business View, Usage View und Functional View
3. **Definition grundsätzlich benötigter Features:** Discovery, Identifikation, Konfiguration, Diagnose, Wartung
4. **Schnittstellen-Standardisierung** für Edge-Management-Software (EMS):
  - **Initialer Ansatz:** Vorschlag einer standardisierten REST-API für Edge Devices (basierend auf HATEOAS & W3C-Thing-Description-Ansätzen), d.h. ein generisches EMS kann direkt mit den heterogenen Edge Devices interagieren. Dieses Konzept stieß jedoch auf mangelnde Akzeptanz bei einigen Akteuren.
  - **Aktueller Ansatz:** Native APIs der Edge-Devices bleibt proprietär und werden um einen AAS-Server ergänzt (kann als Applikation im Device oder im proprietären EMS erfolgen). Über die Submodelle Nameplate, AID, AIMC werden die Digitalen Zwillinge der Edge-Devices abgebildet. Visualisierung ist über beliebige Applikationen möglich, welche clientseitig die AAS-API unterstützen.
5. **PoC** mit einem Demonstrator, der laufend erweitert wird (regelmäßig gezeigt auf SPS und HMI)



# REST-API mit HATEOAS & W3C-TD

**Initialer Ansatz:** Vorschlag einer [standardisierten REST-API](#) für Edge Devices, damit ein generisches EMS direkt mit den heterogenen Edge Devices interagieren kann. Dieses Konzept fand nicht bei allen Akteuren Akzeptanz.

1. Beim HATEOAS-Prinzip stellt der REST-Server im Gerät Informationen dynamisch mittels Hypermedia-Links im Inhalt der API-Antwort bereit. Ein Client benötigt so kaum oder nur wenige Vorkenntnisse über die Interaktion mit der Anwendung oder dem Server.
2. Ergänzend enthält das Konzept der “[Thing Description](#)” (TD) neben HATEOAS-Aspekten auch zusätzliche Schnittstellendefinitionen, um alle Informationen zu liefern, die für eine erfolgreiche Interaktion mit einem Thing notwendig sind.
3. Diese Konzepte unterstützen damit Selbstidentifikation von Geräten und Funktionen
4. Nur wenige grundsätzliche “Primitives” müssen definiert werden für *Identifikation, Konfiguration, Diagnose, Wartung*
5. Ermöglicht Weiternutzung von proprietären APIs mit wenig neuem Overhead.

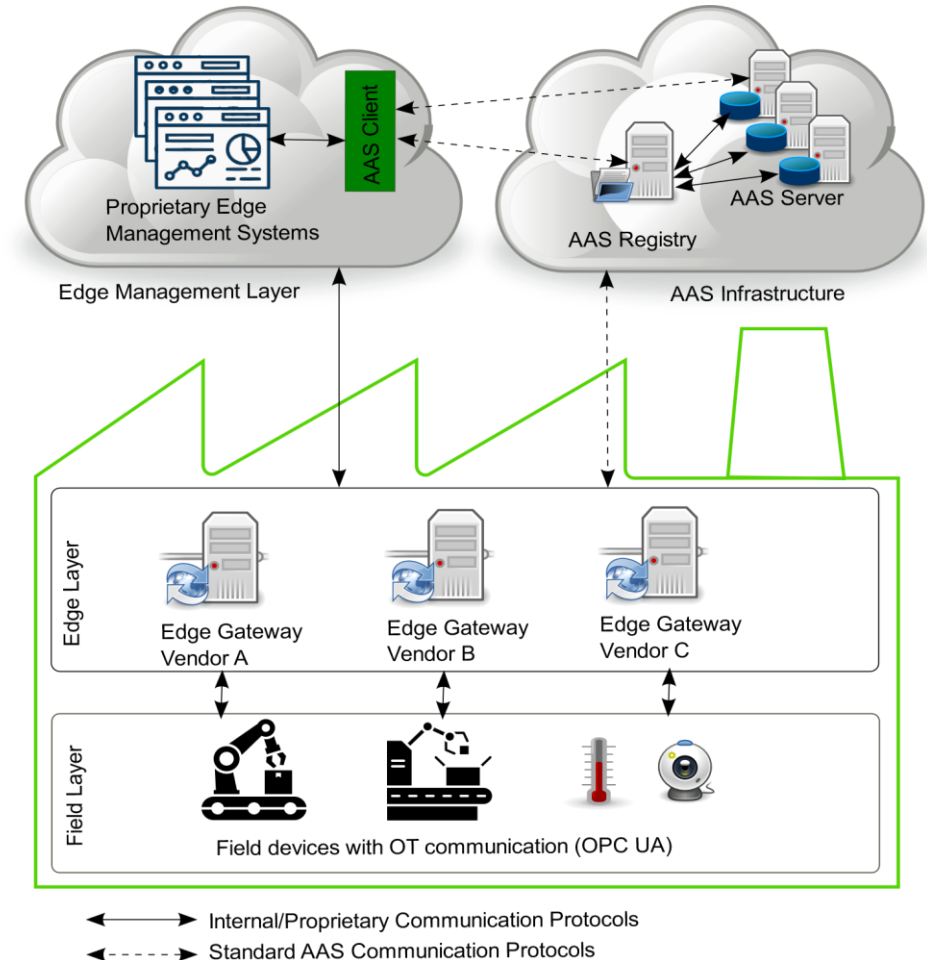
The screenshot displays the Swagger Editor interface for the 'LNI 4.0 Edge Management REST API'. The left sidebar shows the file structure. The main editor area contains the OpenAPI specification in JSON/YAML format. The right-hand pane shows the rendered API documentation, which includes a title, version, and a table of endpoints under the 'Asset Management' section.

Method	Endpoint	Description
GET	/identification	retrieve identification nameplate of the asset
GET	/picture	retrieve picture image of the asset
GET	/capabilities	retrieve functional, structural and api information of the asset
GET	/device	retrieve functional, structural and api information of the root device asset
GET	/diagnostics	retrieve diagnostic informations of the asset
GET	/configuration	retrieve configuration variables of the asset
POST	/configuration	update a set of configuration variables of the asset

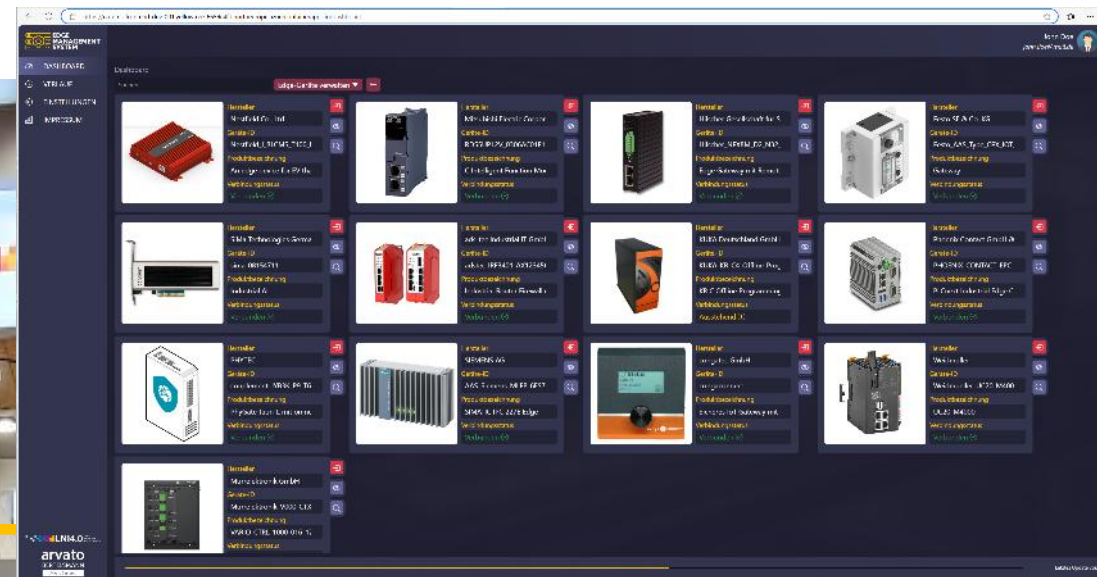


**Aktueller Ansatz:** Stärkere Berücksichtigung von sog. „Brownfield“-Systemen, die durch proprietäre Kommunikationsprotokolle angebunden werden müssen.

1. Die generischen Schnittstellen zwischen Edge-Management- und Edge-Ebene werden mittels einer AAS-Infrastruktur realisiert.
2. Informationen aus den Edge-Geräten der verschiedenen Hersteller werden in entsprechenden Verwaltungsschalen über die REST API der AAS aktualisiert.
3. Die Submodelle [AID](#), [AIMC](#) und applikationsspezifische Teilmodelle werden angewendet zur Integration von Daten in die AAS. Das Submodell AIMC bspw. adaptiert hierzu auch W3C-TD-Konzepte.
4. Ein herstellerübergreifendes Edge-Management-System kann so auf die Geräteinformationen zugreifen und diese abbilden. Umgekehrt können Konfigurationen oder Befehle an die Geräte kommuniziert werden.
5. Es erfolgt eine periodische Synchronisation zwischen dem Edge-Gerät und dem AAS Repository.



# Demonstratoren Edge Management und AAS Hannover Messe 2024





# Edge Management System Demonstrator

The screenshot displays the Edge Management System (EMS) dashboard. The main interface is divided into two sections: a grid of edge devices and a detailed view of a selected device.

**Edge Devices Grid:**

Hersteller	Geräte-ID	Produktbezeichnung	Verbindungsstatus
Nestfield Co., Ltd.	Nestfield_J_BLCMS_T100_I	An edge device for EV tha	Verbunden
Mitsubishi Electric Corpor	RD55UP12V_0306AC01F1	C Intelligent Function Moi	Verbunden
Hilscher Gesellschaft für S	Hilscher_NFX8	Edge Gateway	Verbunden
Festo SE & Co. KG			
SiMa Technologies Gerna	sim_08154711	Industrial AI	Verbunden
ads-tec Industrial IT Gmb	adstec_IRF3401_AX12345	Industrial Router Firewall	Verbunden
KUKA Deutsch	KUKA_KR_C4.0	KR C Offline Pr	Ausgehend
PHYTEC	complement_JYB3K_P9_T6	PhyGate Tauri-L mit omne	Verbunden
SIEMENS AG	AAS_Siemens_MLFB_6ES7	SIMATIC IPC 227E Edge	Verbunden
congatec Gmb	congaconnect	Sicheres IoT Ga	Verbunden
Murrelektronik GmbH	Murrelektronik_V000_CTX	VARIO-CTRL_1000_016_12	Verbunden

**Device Details View (Murrelektronik\_V000\_CTX\_010001\_AAS):**

**Allgemeine Informationen:**

Hersteller	Produktbezeichnung
Murrelektronik GmbH	VARIO-CTRL_1000_016_128_PN_EC

**Auslastung:**

- CPU-Auslastung in %: Graph showing fluctuating values between 0.00 and 0.10.
- Temperatur in °C: Graph showing a steady increase from 0.00 to 1.00.
- Freier Arbeitsspeicher in GB: Graph showing fluctuating values between 0.00 and 1.00.

**Netzwerkkonfigurationen:**

Interface	Name	IP-Adresse	Subnetzmaske	Gateway	Adresse
InterfaceEth0	eth0	192.168.0.1	255.255.255.0	192.168.0.1	Static
InterfaceEth1	eth1	192.168.0.2	255.255.255.0	192.168.0.1	Automatic DHCP

# Roadmap

- **LNI 4.0:**
  - Kontinuierliche Erweiterung des Demonstrators mit Konfigurations- und Diagnosedialogen, sowie Security-Mechanismen (abhängig von IDTA).
  - Nächste Demo auf der SPS 2024, Halle 3, Stand 331
- **ARENA-X:** Demonstrations- und Testumgebung für Datenräume
  - <https://arena2036.de/de/arena-x-projekt>
  - Firmenübergreifender Datenaustausch mittels AAS und Catena-X
  - Mit einer Edge-Infrastruktur für Interoperabilitäts-Testszenarien über das Netz



# Vielen Dank

## Markus Rentschler

Forschungskordinator Digitale Interoperabilität

**Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles**

**ARENA**2036 e.V.

Pfaffenwaldring 19

70569 Stuttgart, Germany

E-Mail [markus.rentschler@arena2036.de](mailto:markus.rentschler@arena2036.de)

