

---

# DIPRO ABSCHLUSSVERANSTALTUNG

DIGITALER ZWILLING FÜR PRODUKTIONSANLAGEN DER INDUSTRIE 4.0  
Entwicklung und Untersuchung von Methoden und Basistechnologien

---

ZWB-Nr. 1804/00056



SACHSEN-ANHALT



EUROPÄISCHE UNION  
**EFRE**  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

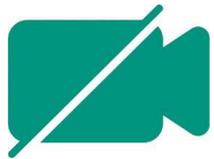
Dieses Projekt wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert. Projektträger ist die Investitionsbank des Landes Sachsen-Anhalt.

---

# ETIKETTE FÜR ONLINE-MEETINGS

---

Max Mustermann



- Verwenden Sie bitte Ihren richtigen und vollständigen Namen.
- Stellen Sie Ihr Mikrofon stumm, wenn Sie nicht sprechen.
- Deaktivieren Sie die Kamera.
- Wortmeldungen bitte per Handzeichen.

# AGENDA

- Einführung, Zeitrahmen, Vorgehensweise / Architektur
- Ergebnisse des Projektes mit Video
- Kommunikation / Architektur – FTF
- VINCENT + Analyse-Pipeline
- Elbedome, Live-Stream 360 Grad über YouTube
- Diskussion (Anwendungspotential und Ideen)



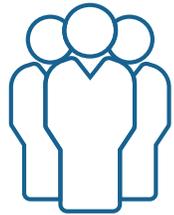
# Das Fraunhofer IFF Forschung für die Praxis



An zwei Standorten in Magdeburg entwickeln exzellente Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Technologien, Verfahren und Produkte von der Idee bis zur Serienreife und überführen diese zusammen mit ihren Wirtschaftspartnern in die Praxis.



# Das Fraunhofer IFF in Zahlen



**191**

Mitarbeiterinnen  
und Mitarbeiter

Unsere Beschäftigten kommen unter anderem aus den Ingenieurwissenschaften, der Informatik und Mathematik, den Wirtschaftswissenschaften und den Humanwissenschaften.

**114** wissenschaftliche  
Hilfskräfte (hinzukommend)



**20,7**  
Mio. Euro  
Gesamthaushalt

**500** Tausend Euro  
Investitionshaushalt

**5,6** Mio. Euro  
Wirtschaftserträge

**10,0** Mio. Euro  
öffentliche, EU und  
sonstige Erträge

**5,1** Mio. Euro  
institutionelle  
Förderung



**2**  
Standorte in  
Magdeburg,  
Sachsen-Anhalt

**9.100** qm  
Nutzfläche mit  
Büros, Laboren  
und Technikum

Stand 31.12.2019

# Das Fraunhofer IFF

## Technologiepartner für angewandte Forschung



**Wir gestalten Systeme, in denen Mensch und Maschine gemeinsam arbeiten.**



**Wir verbinden diese Arbeitssysteme zu effizienten Produktions- und Logistiksystemen.**



**Wir vernetzen diese Systeme über intelligente Infrastrukturen untereinander und mit ihrer Umgebung.**



**Wir fokussieren auf ein Digital Engineering entlang des Lebenszyklus von Produkten und Produktionssystemen.**



**Wir begleiten Unternehmen auf ihrem Weg zu Industrie 4.0.**

# Motivation: Planung und Entwicklung der Produktionsanlagen

## ■ Ist-Stand

- Sequentiell
- Nutzung verschiedenster Tools separat in den einzelnen Fachdomänen
- Bezogen auf einzelne Maschinen und Module der Produktionsanlage

## ■ Potential für:

- Fehlkommunikation
- Integrationsschwierigkeiten
- Datenabfall

## ■ Industrie 4.0

- Ergebnisse eines Engineering-Arbeitsschritts sind effizient und mit möglichst wenig Aufwand weiterverwendbar
- Beispiel: die Nutzung von CAD-Modellen aus der Konstruktion für die virtuelle Inbetriebnahme sowie als Grundlage der technischen und organisatorischen Prozesse bei Planung, Errichtung und Betrieb der Anlage.

# Projektziel

- **Das Projekt verfolgt das Ziel, neue grundlegende Methoden und Basistechnologien für die Realisierung des „Digitalen Zwillings“ von komplexen Produktionsanlagen beispielhaft zu entwickeln, diese bezüglich ihres Anwendungspotentials zu untersuchen und entsprechendes Knowhow zu verbreiten sowie unternehmensneutral für Firmen aus Sachsen-Anhalt zur Verfügung zu stellen**
  - Konzepterstellung und deren frühzeitige Bewertung
  - Integration und Interaktion von unterschiedlichen Komponenten in einem digitalen Modell
  - Effiziente Abstimmung zwischen Planung und Detailentwicklung
  - Digitales geometrisches und funktionales Modell der gesamten Produktionsanlage
  - Einsatzpotential bis zur Produktionsplanung und -steuerung

# Konzept

- Verknüpfung digitaler Zwillinge über Material- und Informationsflüsse
  - Einfache Komponenten - Gray-Box-Modell
  - Industrie 4.0 Anlage – Digitaler Zwilling / CPPS
- Anbindung neuartiger Logistik-Lösungen wie ein fahrerloses Transportsystem (FTS)
- Nutzung neuartiger kollaborativer Test- und Arbeitsumgebungen (Elbedome des IFF)
  - Vermittlung unterschiedlicher Modellarten und Detaillierungsgrade in dem Gesamtkontext
  - Realitätsnahe Visualisierung im Maßstab 1:1
  - hohe Rechenressourcen für verteilte und komplexe Echtzeit-Simulationen
- Erforschung von Infrastruktur- und Interaktionsmethoden

# Forschungsschwerpunkte

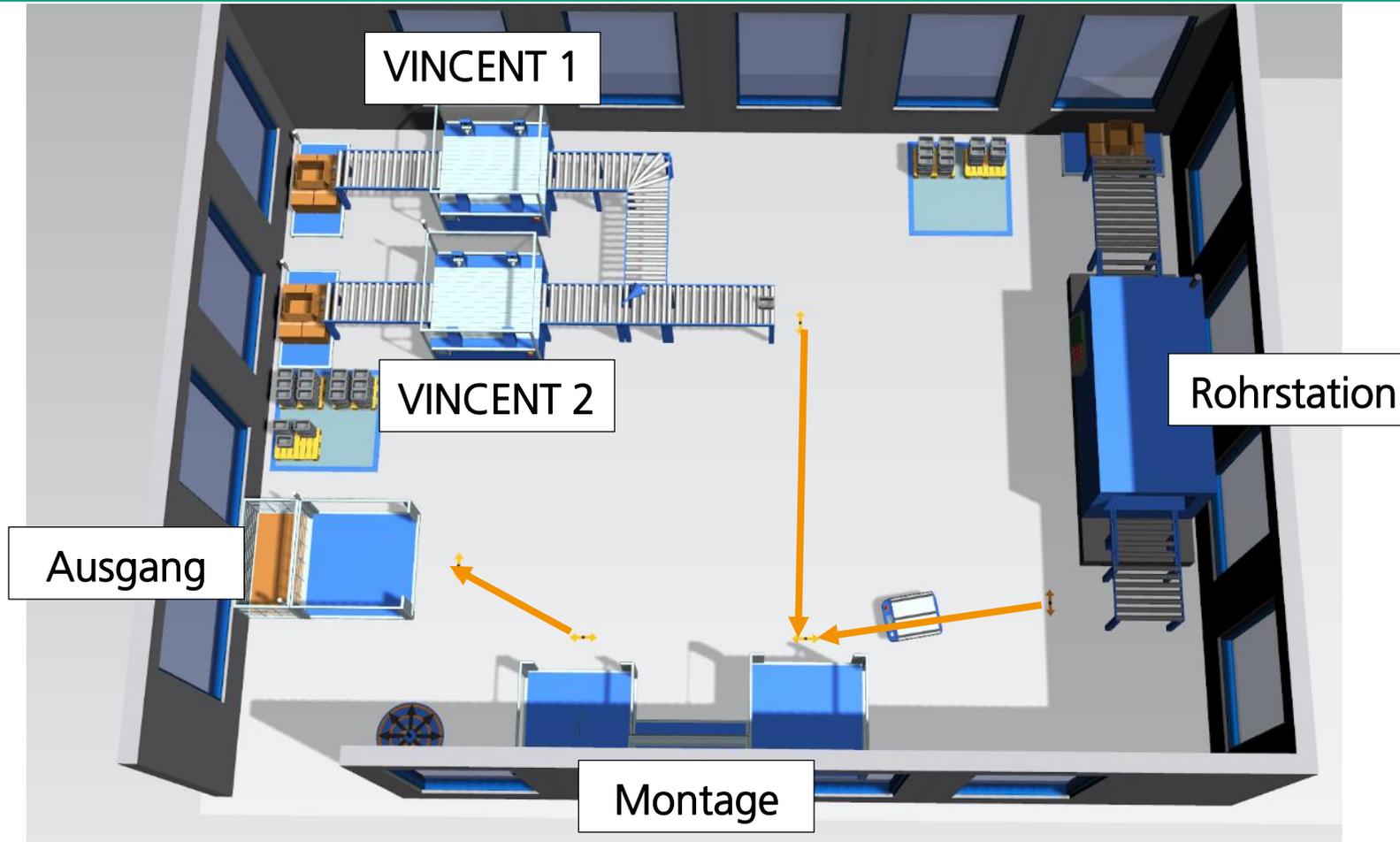
- Skalierbare Datenmodelle für Layout, Materialfluss und Anlagen
- Horizontale und vertikale Verknüpfung der digitalen Zwillinge mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden
- Ansätze zur Integration von automatisierten Materialflusssystemen
- Kopplung von Simulationstools sowie realer Steuerungssysteme
- Skalierbare Echtzeitverfahren für parallelen, synchronen Betrieb mehrerer Anlagenmodule auf Infrastruktur des Elbedome und realitätsnahe 360-Grad-Projektion.

# Projektplanung

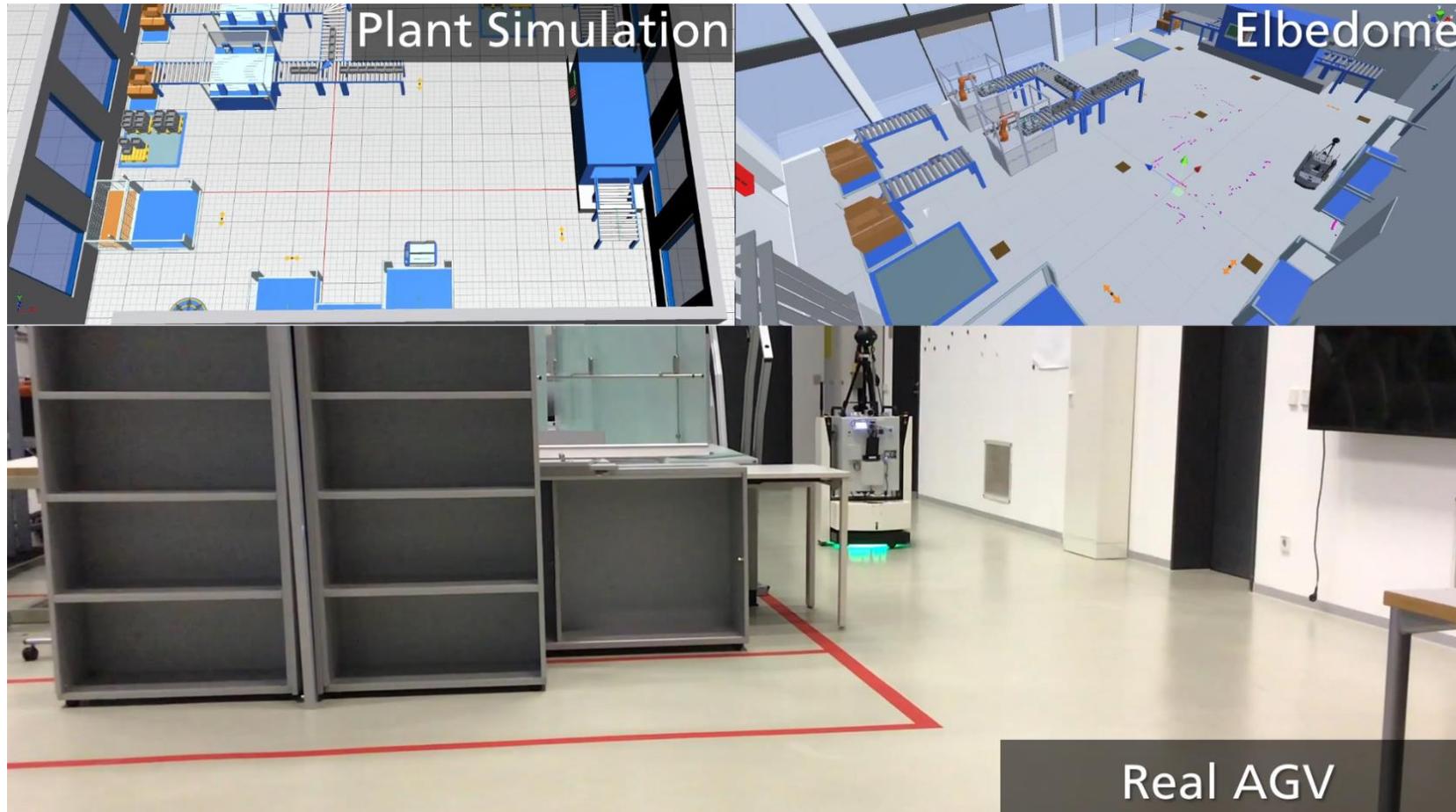
## ■ Projektzeitrahmen: 01.11.2018 - 31.10.2020

AP	Titel	Jahr 1				Jahr 2				MM
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
1	Wissenschaftliche Recherche und Detailplanung	■								3
2	Kommunikation	■	■	■						8
3	Digitaler Zwilling			■	■	■				
3.1	Integration in Fabrikplanung			■	■	■				6
3.2	FTS			■	■	■				6
3.3	Anlagenmodelle			■	■	■				6
4	Demonstrator Produktionssteuerung					■	■	■	■	
4.1	Aufbau					■	■			5
4.2	Methoden zum Vergleich von Prozessketten						■	■	■	11
<b>Meilensteine</b>										45
M1	Basisplattform liegt vor			◆						
M2	Intersystemkommunikation vorhanden und erprobt					◆				
M3	Demonstrator liegt vor								◆	

# DEMONSTRATOR



# DEMONSTRATOR - VIDEO



---

# ARCHITEKTUR

---

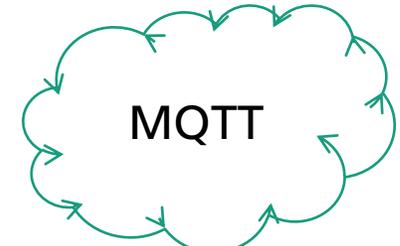
# Architektur – Zusammenfassung

- Nachrichtenorientierte Architektur auf Basis von MQTT
  - Lose Kopplung über Communication Hub
  - „Digitale Kleber“ in Node-RED
- Abstraktion realer Komponenten über digitale Zwillinge
- Die Schnittstellen für Materialflussmodell, fahrerlose Transportsysteme und Maschinen
  - Die Umsetzungen sind potentiell austauschbar
  - Anbindung Plant Simulation oder eines nachrichtenorientierter Simulators
  - Maschinenzwillinge in VINCENT
- Spezifikation der Schnittstellen mittels AsyncAPI
- VR-Visualisierung auf Elbedome Cluster
- Echtzeit-Analyse-Pipeline mit Visualisierung in Grafana und webbasierten Schnittstelle

# Architektur - Digitale Zwillinge

- Rolle des digitalen Zwillings einer Fabrikkomponente
  - Abstraktion der realen Komplexität
  - Simulation und Beobachter des realen Zustands
  - Umsetzung einheitlicher Kommunikation

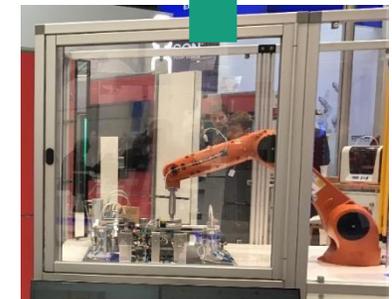
Communication Hub



Digitale Zwilling



Reale Komponente



---

# MATERIALFLUSSSIMULATION

---

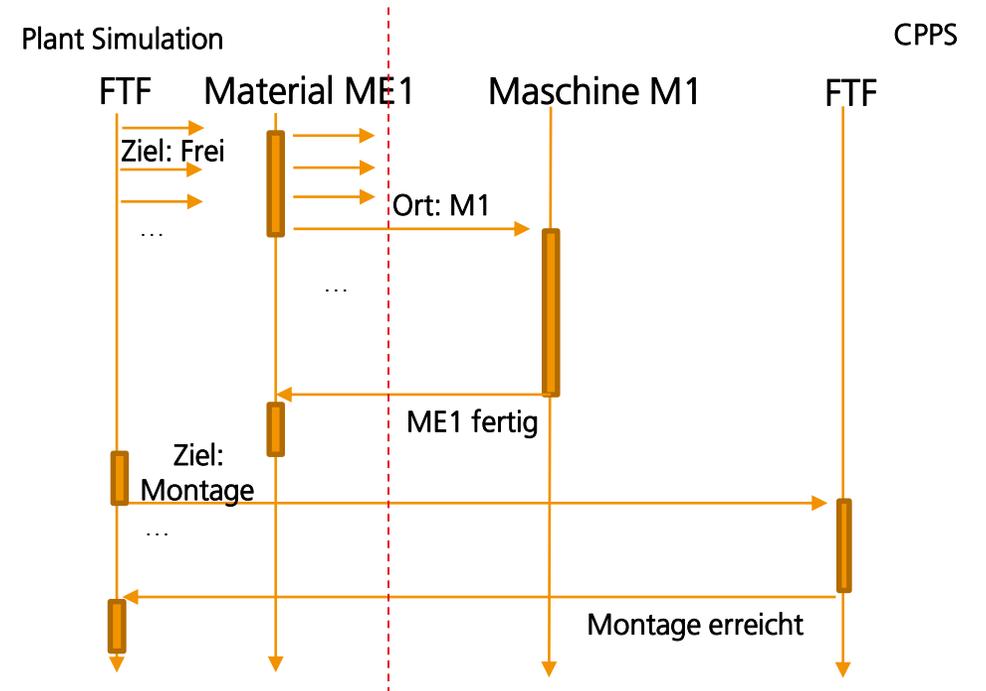
# Plant Simulation

- Verbreitete kommerzielle Software für Materialflussplanung
- Export 3D-Modell in JT-Format für Transfer in die Visualisierung
- Interface Package für die Integration mit externen Tools



# Materialflussschnittstelle – Integration der Fabrikkomponente

- Konzept: Synchronisation über Fertigmeldungen
- Logistik-Modell überträgt zyklisch den Zustand
- Digitale Zwillinge verfolgen den Zustand vom Logistik-Modell
  - Simulation: ausgeführte Aktion wird erkannt und Bearbeitung angefangen
  - Reale Komponente: Vorgang startet Out-of-Band
- Eingebundene Komponenten senden Fertigmeldungsereignisse



---

# FAHRERLOSES TRANSPORTSYSTEM

---

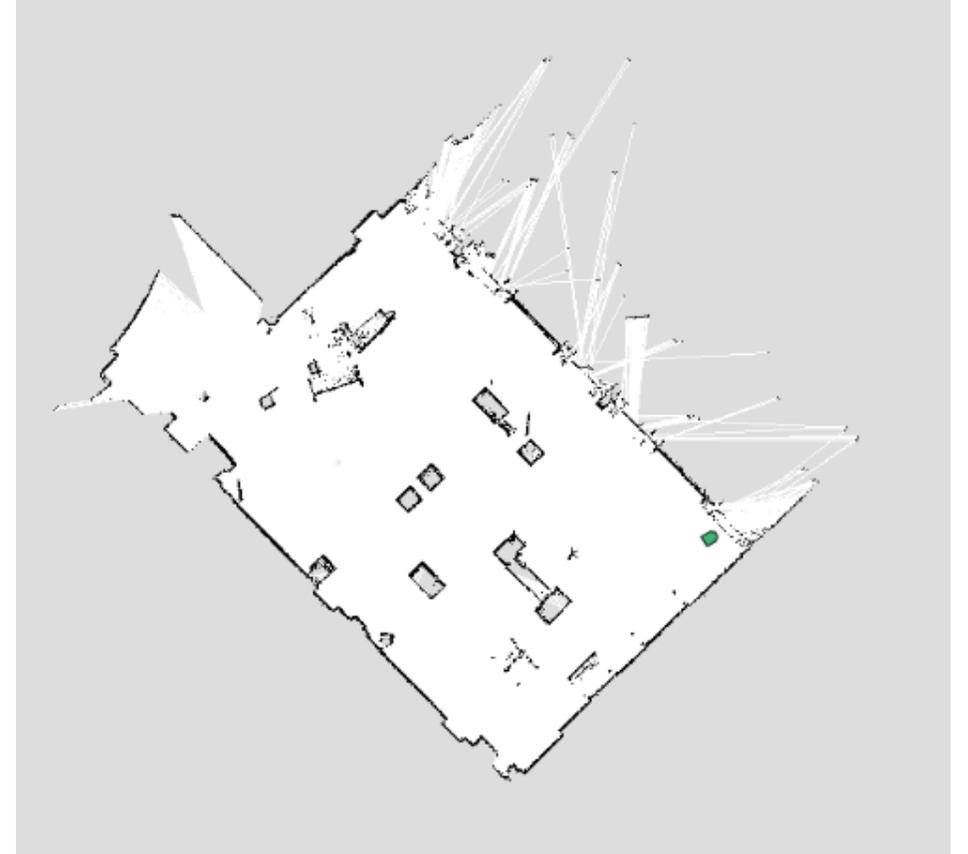
# Fahrerloses Transport System

- Fahrzeug
  - proANT 436 der Firma InSystems Automation
  - Navigation:
    - 2D Laserscanner (LIDAR)
    - ein Odometriesystem
  - Bestimmt die Position und Orientierung des Fahrzeugs zu jedem Zeitpunkt
  - Umgebungserfassung als 2D-Karte und LIDAR-Messungen
- Steuerung
  - ROS (Robot Operating System) Websocket Schnittstelle ermöglicht Datenaustausch
  - Ansteuerung der Schnittstelle durch NodeRED Knoten



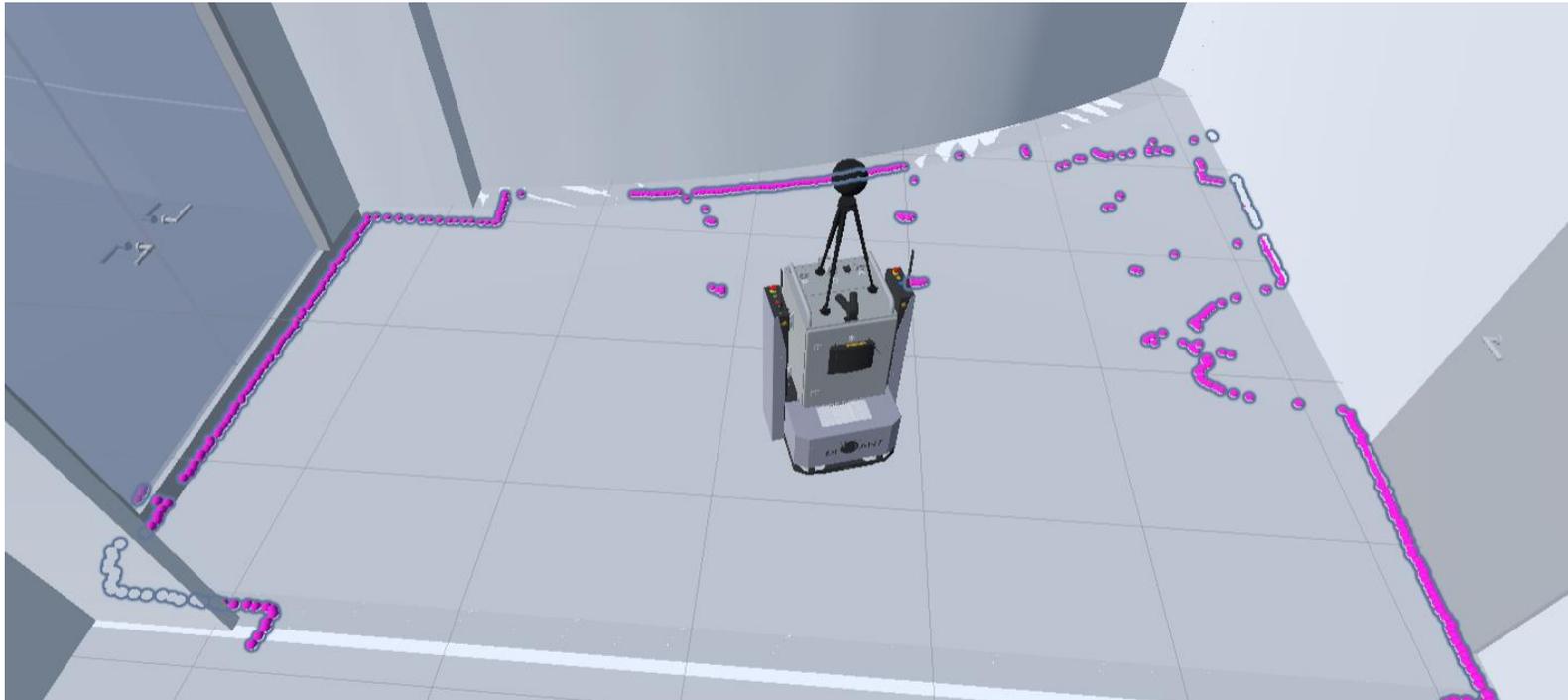
# FTS – 2D-Umgebungserfassung

- Erstellen der 2D-Karte durch Befahren der Produktionsflächen
- Potentiell nutzbar als Hilfsmittel für die Layoutplanung



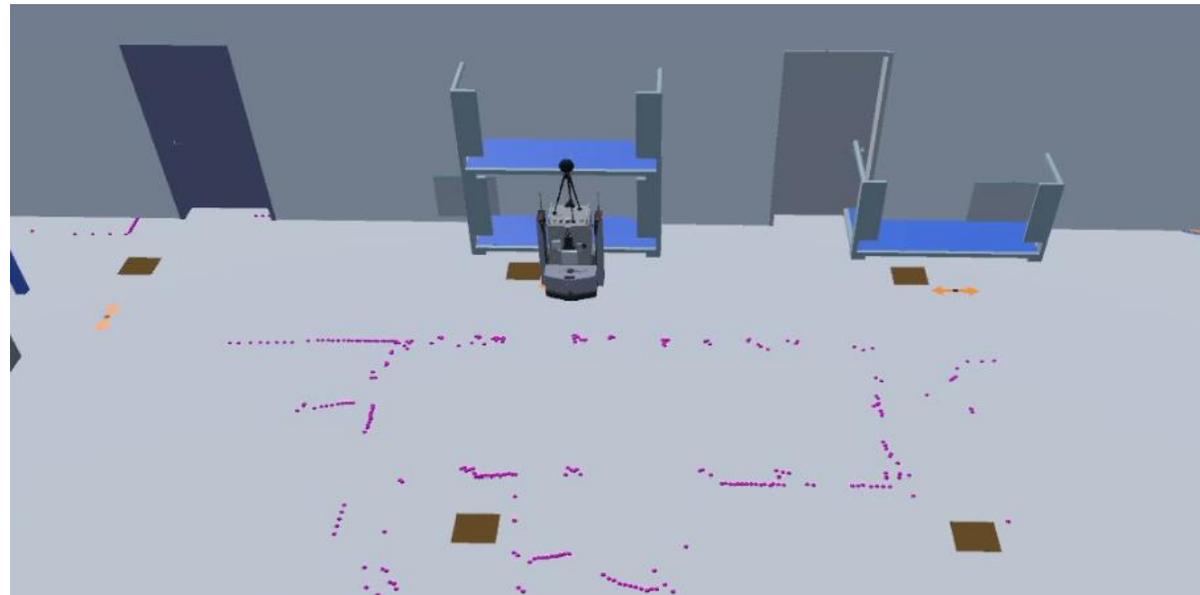
# FTS – 3D-Umgebungserfassung

- Darstellen der LIDAR-Punkte in 3D-Visualisierung des Fabrikmodells:
  - Abgleich der 3D-Daten und Koordinatensysteme durch Live-Daten



# FTS – Anlernen der Wegmarker

- Anlernen von Wegpunkten mit Hilfe der grafischen Oberfläche des FTS Herstellers
- Visueller Abgleich der Punkte im Modell und in der Realität nach der Anbindung möglich



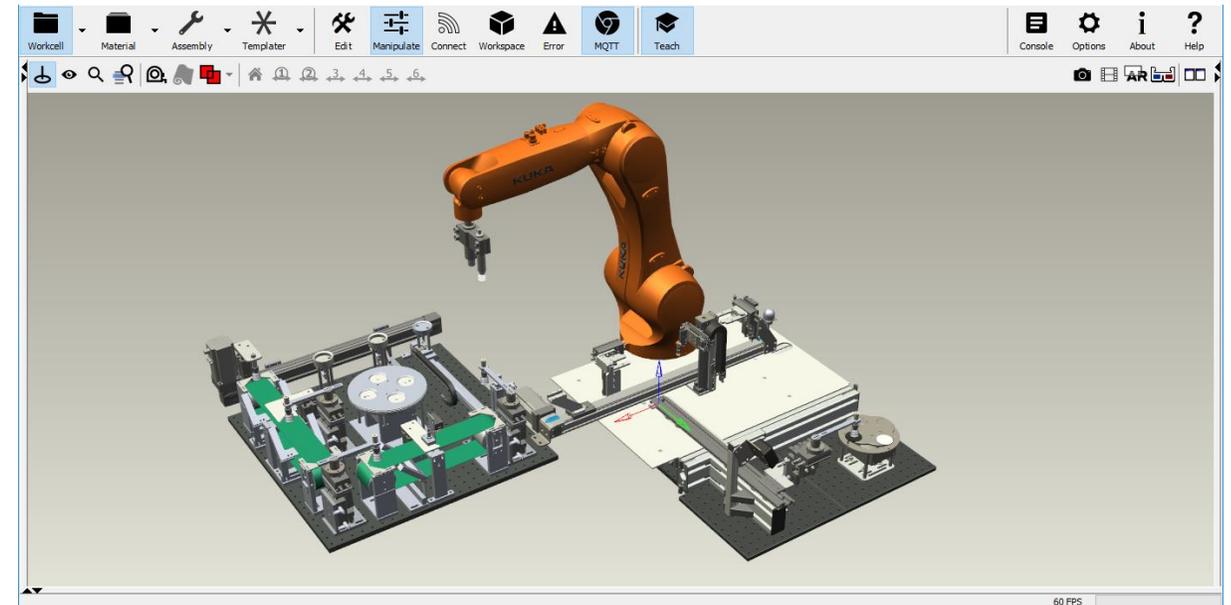
---

# MASCHINEN

---

# Maschinen - VINCENT

- Umsetzung auf Basis der vom IFF entwickelten Software VINCENT zur Modellierung, Entwicklung und Simulation mechatronischen Anlagen
- Bestehende Schnittstellen für die Anbindung an die reale Maschinen als digitaler Zwilling
- Beispielmodell: Messedemonstrator 2 (MD2)
- Simulation bildet eine virtuelle SPS ab
- Anbindung auf MQTT-Server wurde umgesetzt
- Einbindung in Logistiksimulation durch Maschinenschnittstelle



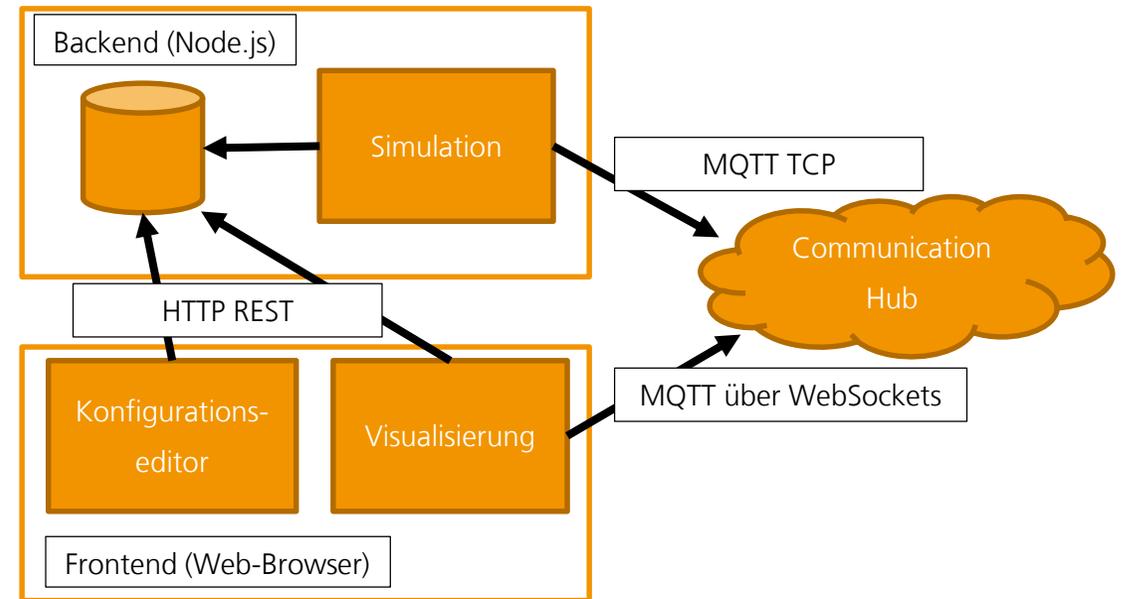
---

# DEPLOYMENT

---

# Bereitstellung – Nachrichtenorientierte Materialflusssimulation

- Ziel: Einfache Bereitstellung und Konfigurationsverwaltung bspw. durch Einsatz von Docker
- In Praxis Plant Simulation nicht für finale Bereitstellung geeignet
  - hohe Lizenzkosten, keine Web-UI, plattformabhängig, hohe Ressourcenanforderungen
- FERKEL (Factory Engineering Rollout Knowledgebase of Entity Logistics)
- Backend (Node.js <https://nodejs.org/> und Express.js <https://expressjs.com/>)
  - Aufbewahrung des Logistik-Modells
  - Durchführung der Materialflusssimulation
- Frontend (React <https://reactjs.org/>, React Material-UI <https://material-ui.com/>, Redux <https://react-redux.js.org/> und Three.js <https://threejs.org/>)
  - UI für die Konfiguration des Logistik-Modells
  - Echtzeit-3D-Visualisierung in Web-Browser

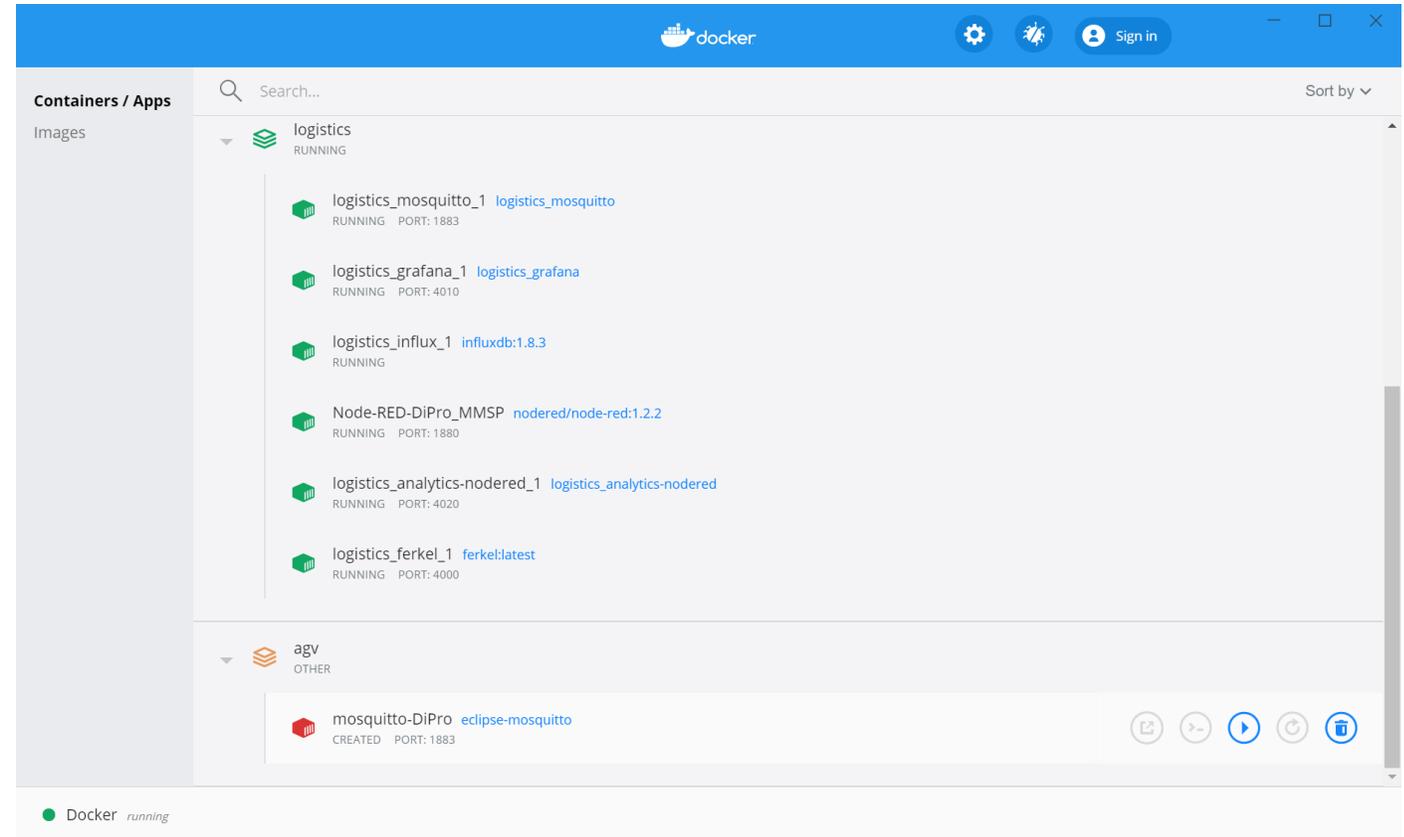


# Bereitstellung – Starten des Demonstrators

- Docker (<https://www.docker.com/>)
- Einfaches Starten des Demonstrators
- Plattformunabhängig

```
ubuntu@ubuntu:~/dev/dipro/logistics$ sudo docker-compose up -d
Starting logistics_mosquitto_1 ... done
Starting Node-RED-DiPro_MMSP ... done
Starting logistics_influx_1 ... done
Starting logistics_nodered_1 ... done
Starting logistics_ferke1_1 ... done
Starting logistics_grafana_1 ... done
ubuntu@ubuntu:~/dev/dipro/logistics$ sudo docker ps -a
CONTAINER ID        IMAGE               COMMAND                  CREATED
163e424df00e       ferke1:latest      "/docker-entrypoint.s..." 55 seconds ago
a221cb3a4b7b       logistics_nodered  "/entrypoint.sh"         55 seconds ago
61dcd1e9ab77       logistics_grafana  "/run.sh"                 55 seconds ago
f4b88a751745       influxdb:1.8.3     "/entrypoint.sh infl..." 57 seconds ago
62d42571f7c8       nodered/node-red:latest "npm start --cache /..." 57 seconds ago
9dc863635092       logistics_mosquitto "/docker-entrypoint..." 57 seconds ago
```

- Niedrige Rechenressourcenanforderungen auf dem Server



NAME	CPU %	MEM USAGE
logistics_ferke1_1	1.42%	82.66MiB /
logistics_analytics-nodered_1	7.74%	130.9MiB /
Node-RED-DiPro_MMSP	0.00%	80.58MiB /
logistics_grafana_1	0.03%	27.91MiB /
logistics_influx_1	1.71%	173.2MiB /
logistics_mosquitto_1	0.26%	17.95MiB /

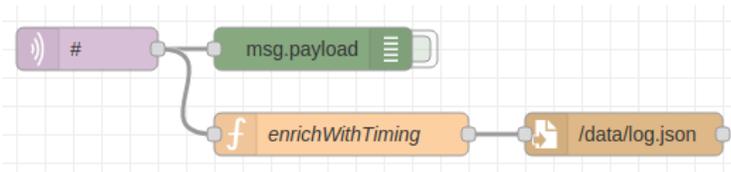
---

# ANALYSE-PIPELINE

---

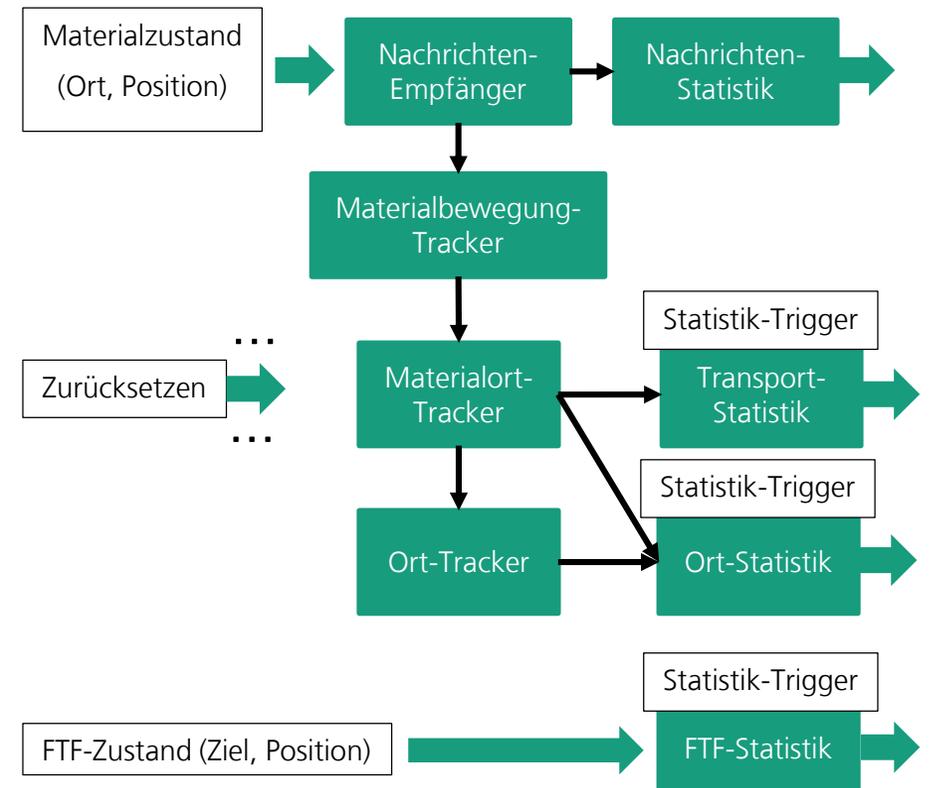
# Analyse – Ansatz

- Online-Analyse: Statistiken in Echtzeit (Daten schneller sichtbar)
- Der Haupteinsatzmodus der entwickelten Architektur ist die **Analyse der Abläufe dynamischer Simulation des hybriden Modells einer Fabrik mit Einbeziehung realen Verhaltens der komplexen Fabrikkomponenten in Echtzeitgeschwindigkeit.**
- Perspektivisch: Modellidentifikation für beschleunigte Berechnung der Statistiken
- Offline-Analyse immer möglich. Prototypisches Aufnehmen des Nachrichtenverkehrs



# Analyse-Pipeline

- Unabhängige Transformationseinheiten verbunden über Nachrichtenflüsse
- Transformationseinheit empfängt ein oder mehrere Typen von Nachrichten und verschickt die abgeleiteten Nachrichten
- Verarbeitet die eingehenden Nachrichten von Materialflusssimulation und FTF
- Einzelne Werkstücke werden auf ihrem Weg durch die Produktion verfolgt
- Viele flussorientierte und ereignisorientierte Statistiken pro Werkstück, Pfad oder Ort möglich



# DEMO: Analyse-Pipeline – Auswertung in Grafana

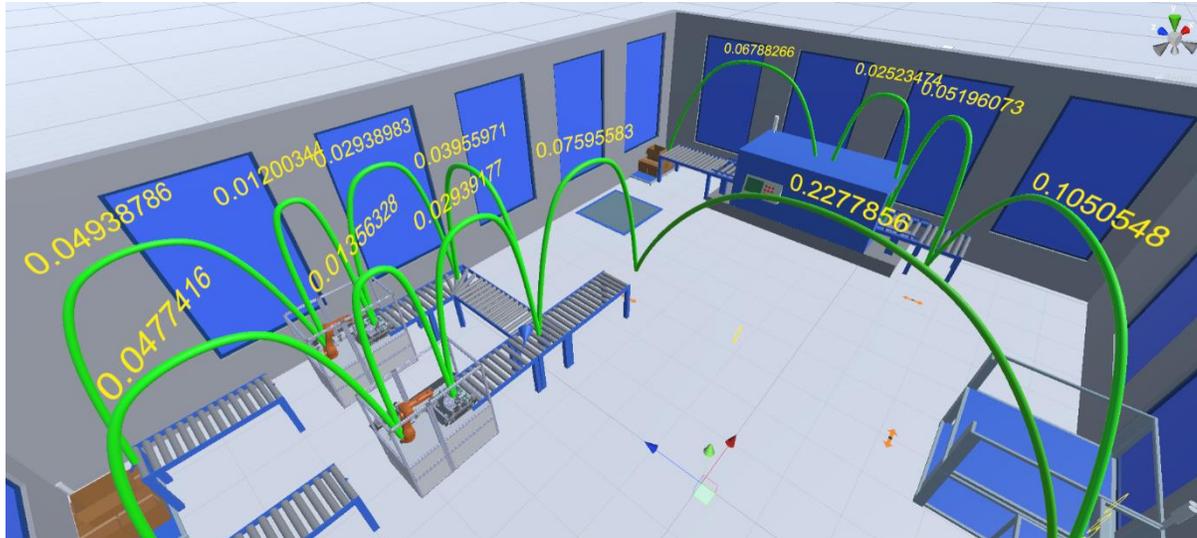
- Ausgewählte Werte können in Grafana (<https://grafana.com/>) auf Dashboard ausgewertet werden
- Statistiken konvergieren an einem asymptotischen Wert



# DEMO: Visualisierung der Analyse-Werte in 3D

- Die Beziehungen der Zahlen mit dem Produktionsablauf sichtbar
- Die Visualisierung der Analyse-Ergebnisse in 3D-Modell wurde beispielhaft in Elbedome-Visualisierung und FERKEL-Frontend umgesetzt

## Transportintensitäten



## Besetzungszeiten



# Elbedome – Virtuelle Welten erleben

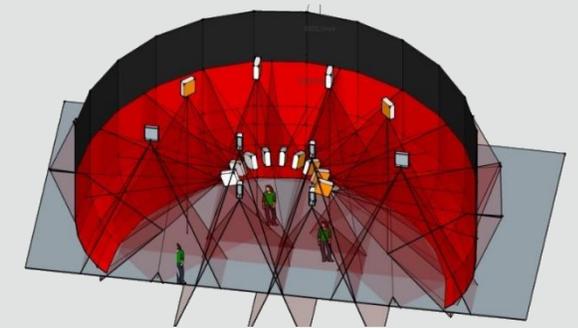
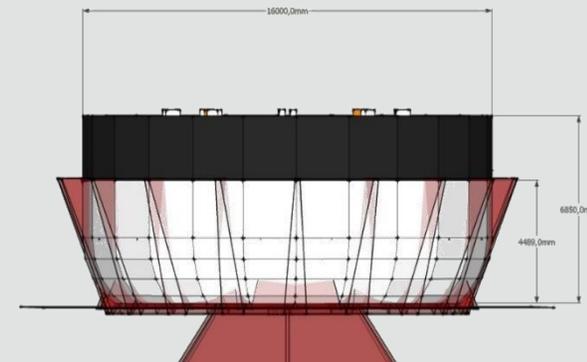
ELBEDOME



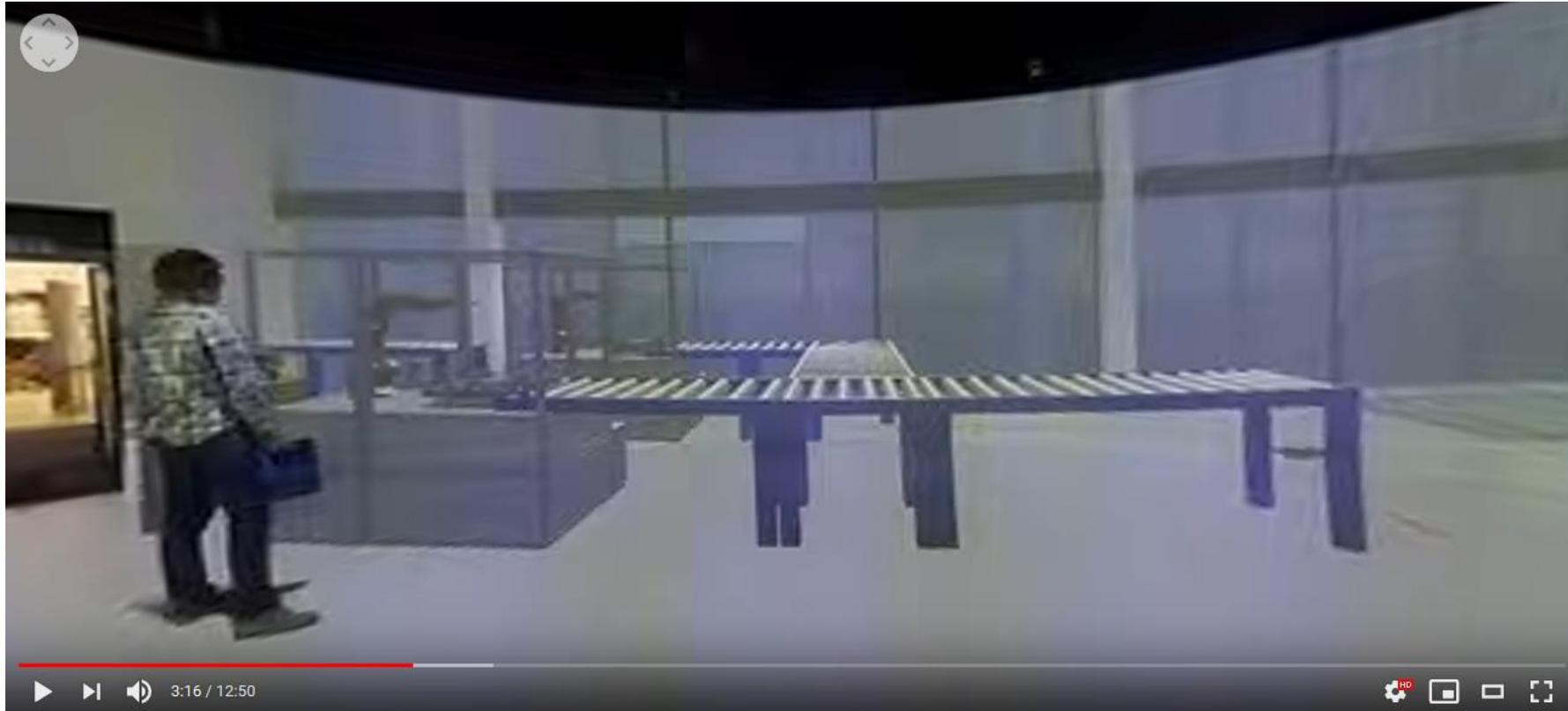
Virtual und Mixed Reality  
als Schnittstelle zum  
Digitalen Zwilling

Kreativ-, Lern- und Erlebnis-  
raum für industrielle  
Anwendungen

- 360° Mixed-Reality-Projektionssystem
- Zylindrische Projektionsfläche mit Boden
- Holographische Darstellung von 3D-Modellen
- Platz für über 30 Personen und Ausrüstung



# ELBEDOME STREAM



---

# ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

---

- Methoden zur Erstellung und beispielhafte Umsetzung der nachrichtenorientierten Architektur für komplexe Produktionsanlagen der Industrie 4.0 mit Einbeziehung der Modelle unterschiedlicher Detaillierungsgrade und realer Komponenten auf Basis von MQTT
- Beispielhafte Spezifikation und Umsetzung der Schnittstellen zur Kopplung der Materialflusssimulation, digitaler Maschinenzwillinge und FTS
- Beispielhafte Umsetzung der Anbindung von Plant Simulation über Interface Package und einer alternativen nachrichtenorientierten Materialflusssimulation
- Validierung des Ansatzes auf Basis von Demonstrator-Szenario mit Anbindung eines realen FTS
- Beispielhafte Umsetzung integrierter VR-Visualisierung und Bereitstellung des Szenarios in Elbedome
- Untersuchung der Nutzungspotentiale für Vergleich der Konfigurationen durch beispielhafte Umsetzung einer Echtzeit-Analyse-Pipeline mit Visualisierung und Vergleich der Statistiken in 3D und auf Dashboard

---

# DISKUSSION

---

# Potentielle Anwendungen

Fabrik- und  
Produktionsplanung

Entwicklung  
intelligenter  
Fabriksteuerung  
und -komponente

Digitaler  
Fabrikzwilling

Visuelle  
Kommunikation

Forschung

Assistenzsysteme

# Weitere Informationen

## Folgen sie uns

Fraunhofer IFF Website

<https://www.iff.fraunhofer.de/en.html>

Elbedome Website

<http://www.elbedome.de/>

Social Media



<https://www.youtube.com/user/fraunhoferiff>



[https://twitter.com/fraunhofer\\_iff](https://twitter.com/fraunhofer_iff)



<https://www.linkedin.com/company/fraunhoferiff/>



[https://www.instagram.com/fraunhofer\\_iff/](https://www.instagram.com/fraunhofer_iff/)

