



HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

KI-BASIERTER DIGITALER ZWILLING

SIMULATION INDUSTRIELLER PRODUKTIONSANLAGEN MITTELS METHODEN DER KI

FÖRDERPROJEKT DER CARL ZEISS STIFTUNG
FÖRDERPROGRAMM „TRANSFER“ FÜR HOCHSCHULEN FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN -
WISSENSCHAFTLICHE DURCHBRÜCHE MIT KÜNSTLICHER INTELLIGENZ IN DER PRODUKTION

INSTITUT FÜR DIGITALEN WANDEL (IDW)
@RAVENSBURG-WEINGARTEN UNIVERSITY

www.rwu.de/idw
www.rwu.de
info@rwu.de



KI trifft auf Digitalen Zwilling



Grundlegende Herausforderungen Digitaler Zwillinge bzw. Simulation

- » Komplexität des Gesamtsystems oftmals schwer beherrschbar
- » Modellierung des Gesamtsystems sehr aufwendig und komplex





Künstliche Intelligenz zur Modellierung des Systemverhaltens

- » Erkennung übergreifender Muster für gesamten Produktionsprozess erfordert aussagekräftiges Gesamtmodell (zur Einordnung der Erkenntnisse)
- » KI-Modelle sind in der Regel nicht selbsterklärend und die Interpretation der Ergebnisse ist schwierig

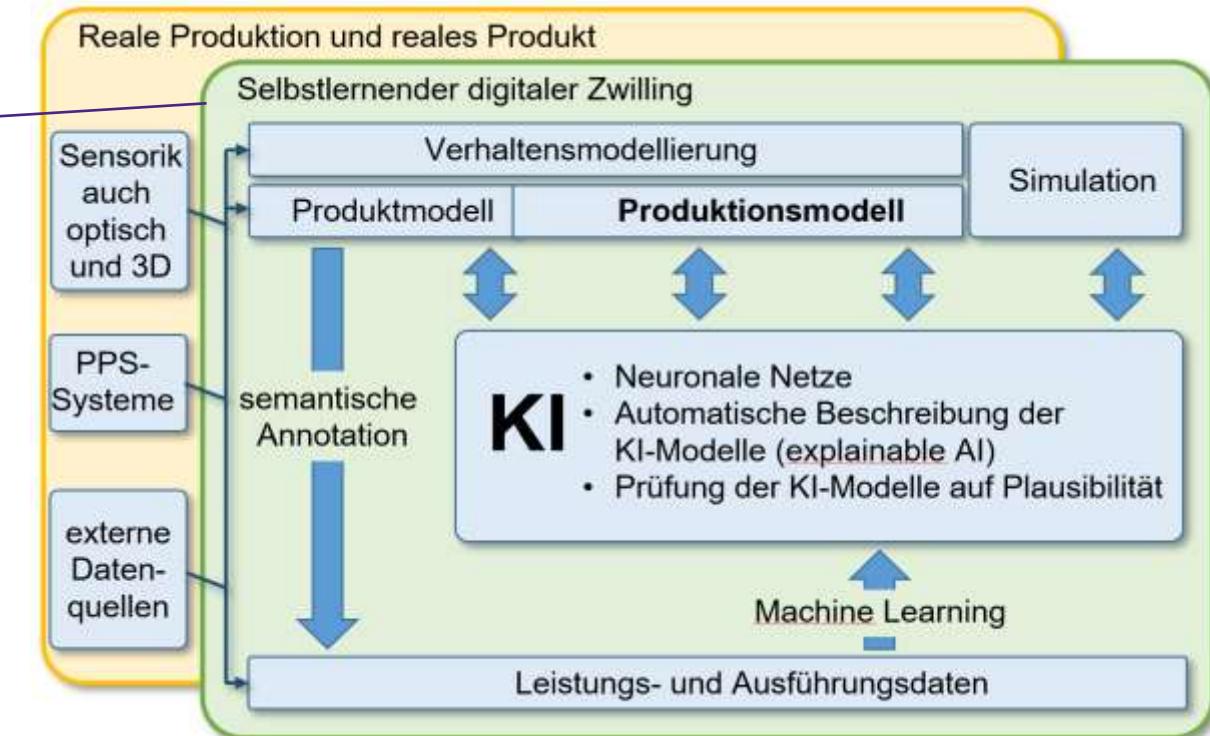
Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

Lernt das Systemverhalten **mittels** KI aus Leistungs- und Ausführungsdaten

Passt sich **automatisch** an das reale Systemverhalten an

Stellt **jederzeit** optimales Abbild des Produktionsprozesses dar

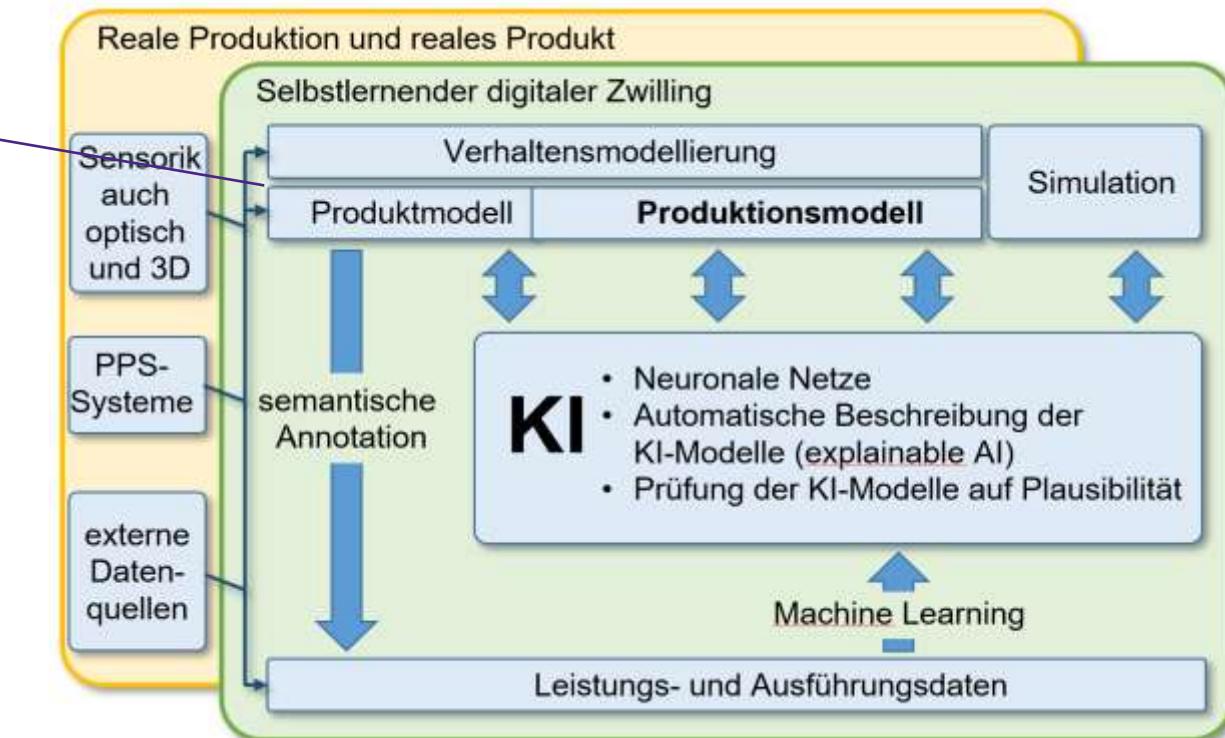


Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

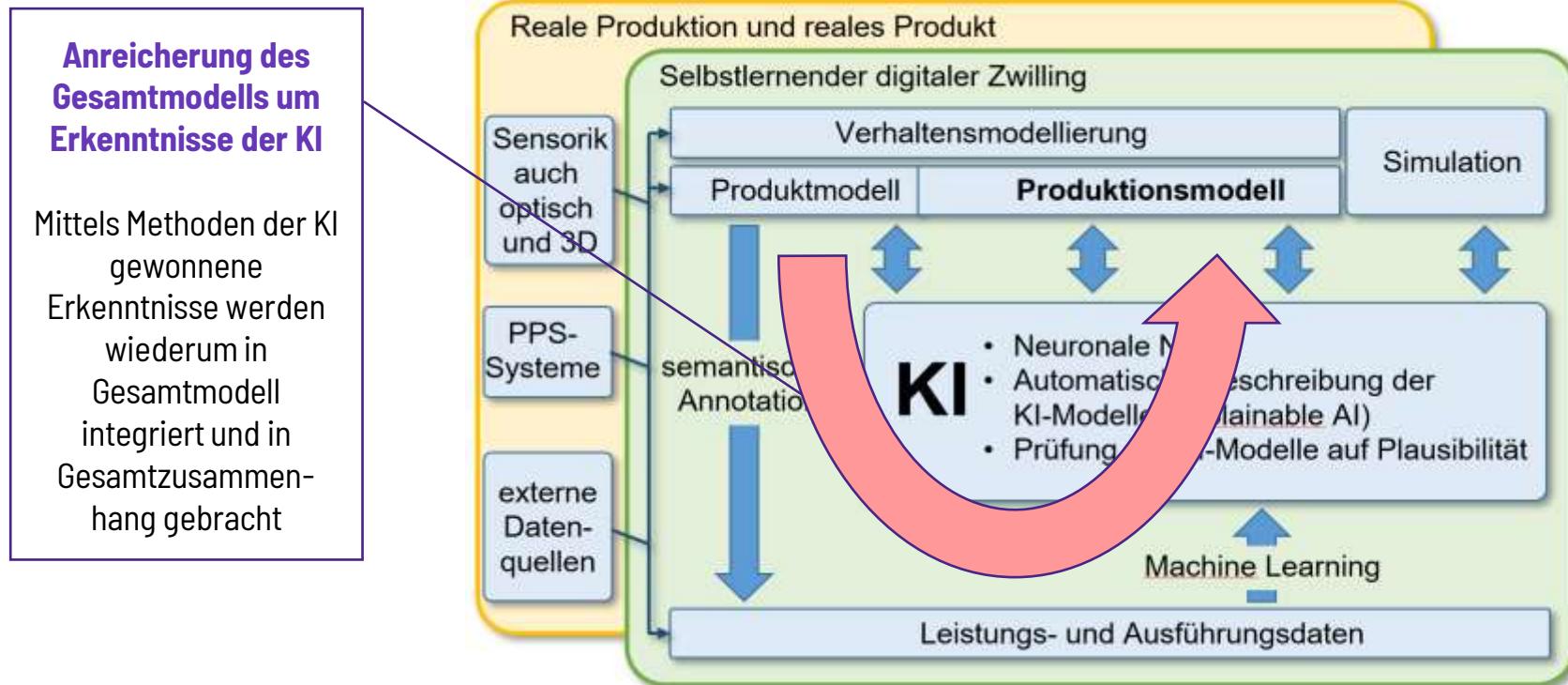
Kernelement
ausdrucksstarkes
Gesamtmodell des
Produktionsprozesses

Bildet **Funktion**,
Verhalten und
Produktgeometrie ab
und erweitert diese um
semantische Aspekte
(Domänenontologie)



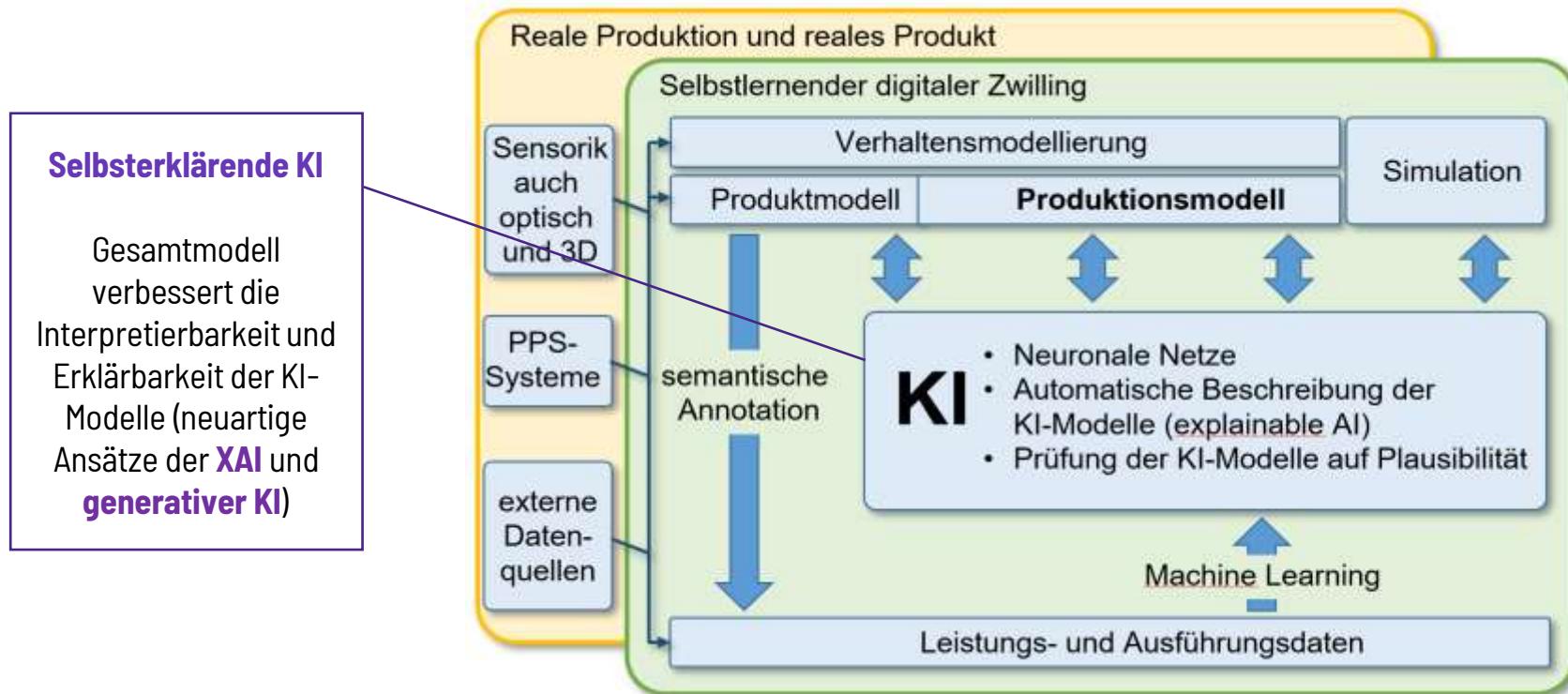
Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling



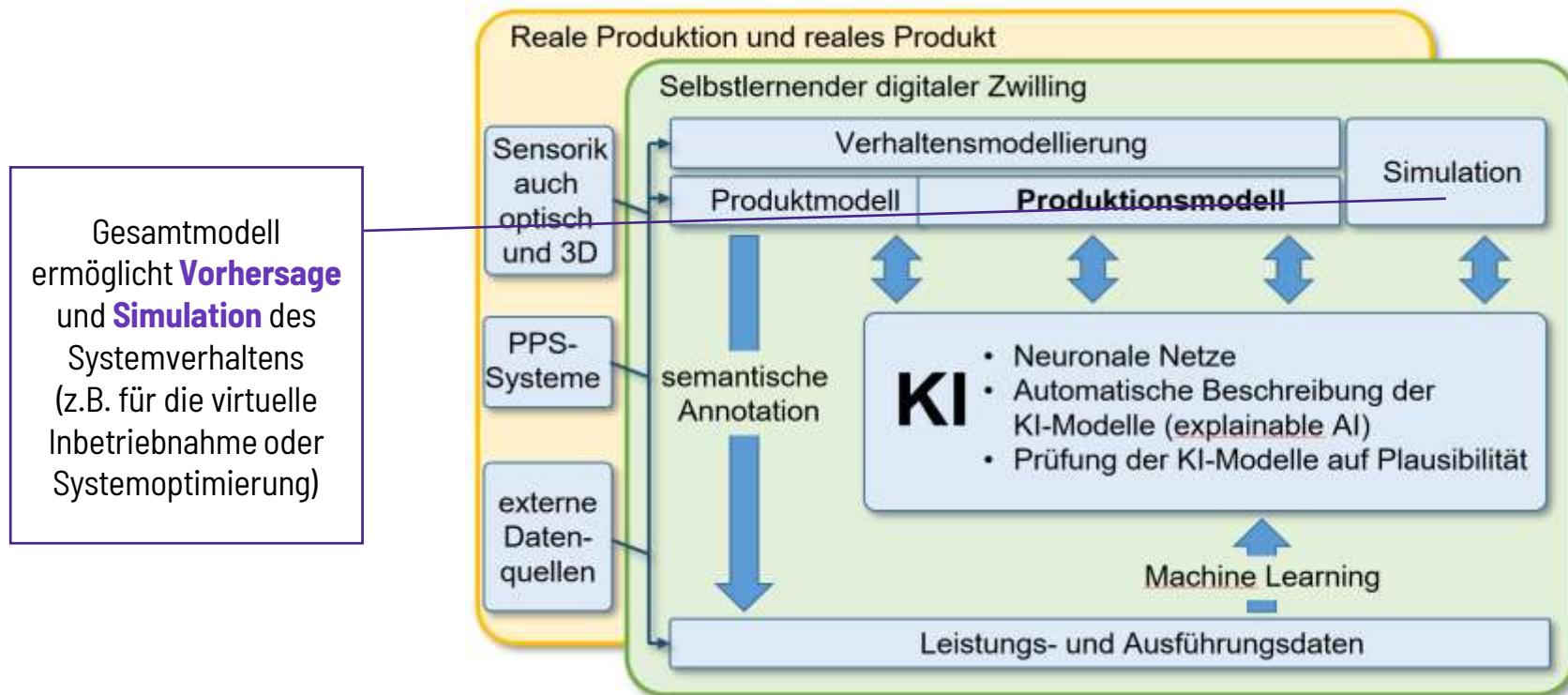
Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

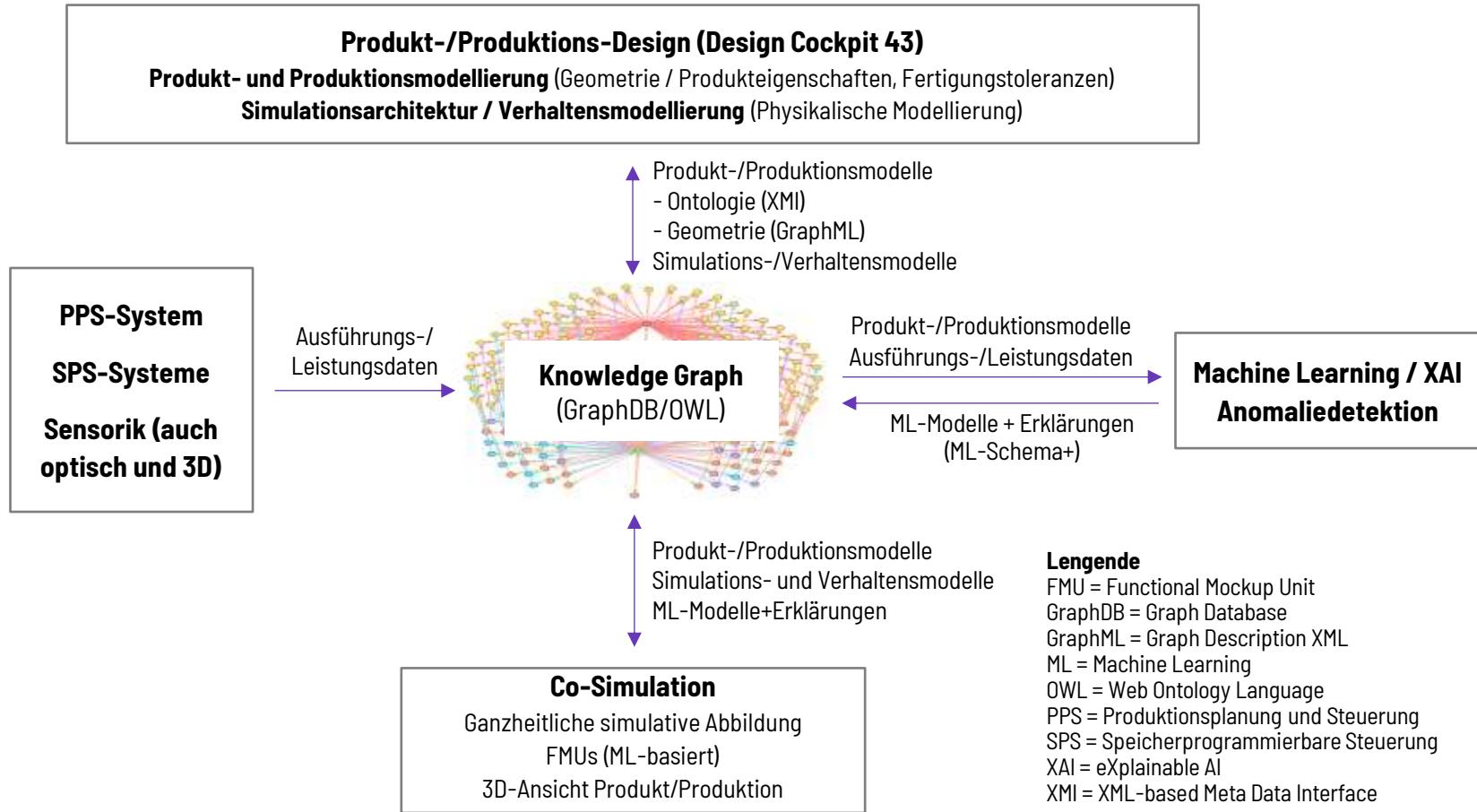


Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

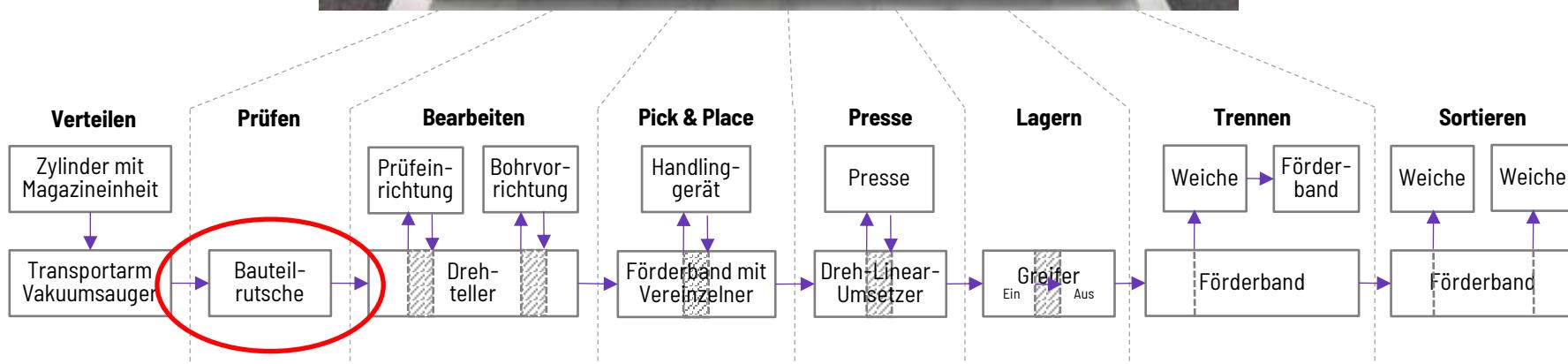


Architectural Blueprint



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Zerlegung einer Anlage in simulierbare Teilsysteme (FMUs)



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Zerlegung einer Anlage in simulierbare Teilsysteme (FMUs)

FMU - Bauteilrutsche

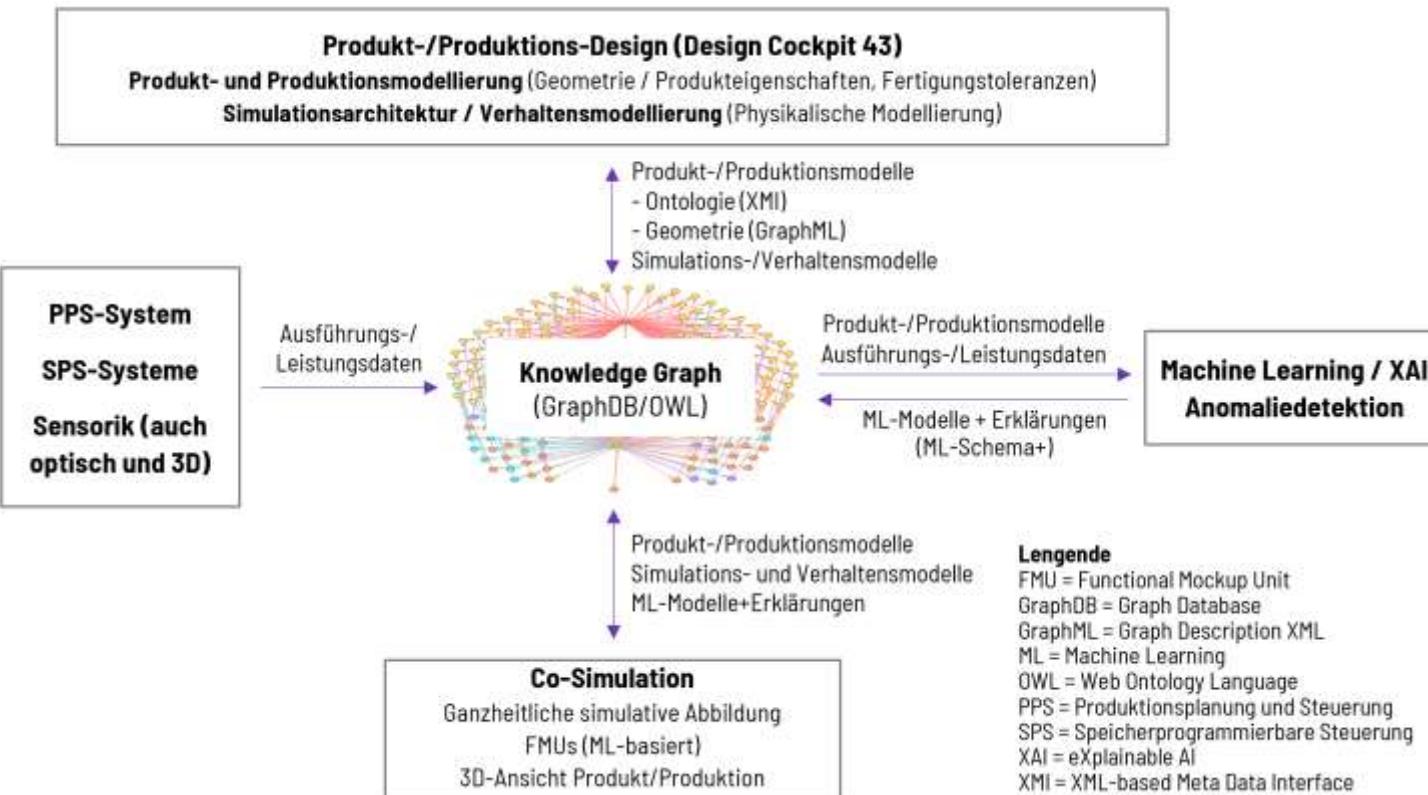


Grundlegende Idee

- » **Lernen** des Rutschverhaltens aus Ausführungs- und Leistungsdaten mittels Methoden der **KI**
- » **Vorhersage** und **Simulation** des Rutschverhaltens auf Basis relevanter **Einflussgrößen** (Material, Gewicht und Form des Bauteils, Luftdruck der Rutsche)
- » **Erklärung** des Systemverhaltens mittels Methoden der **explainable AI** und **LLMs**

Showcase FESTO-Produktionsanlage

Komponenten der Architektur



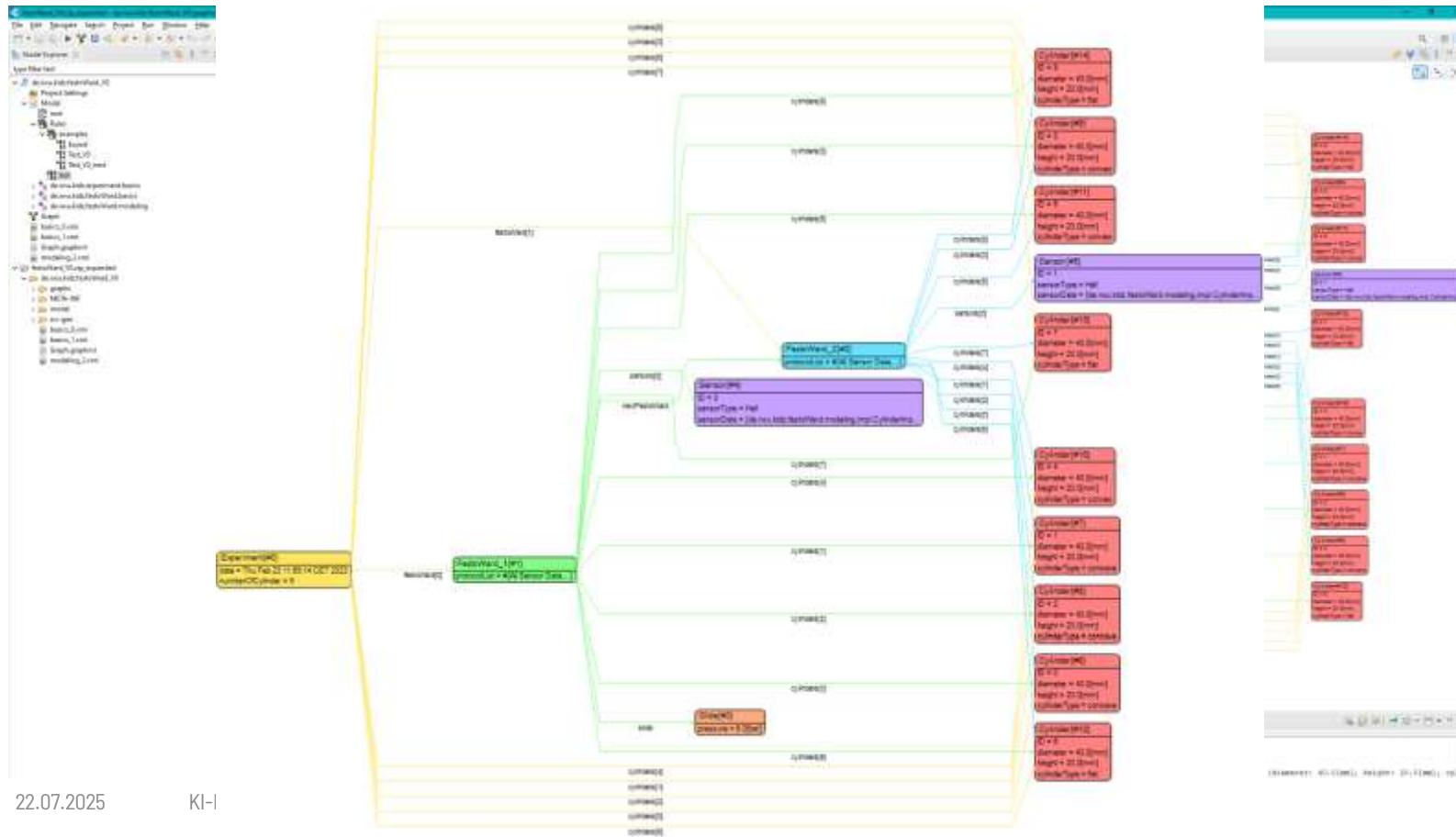
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Entwurf Produkt/Produktionsmodell im Design Cockpit 43



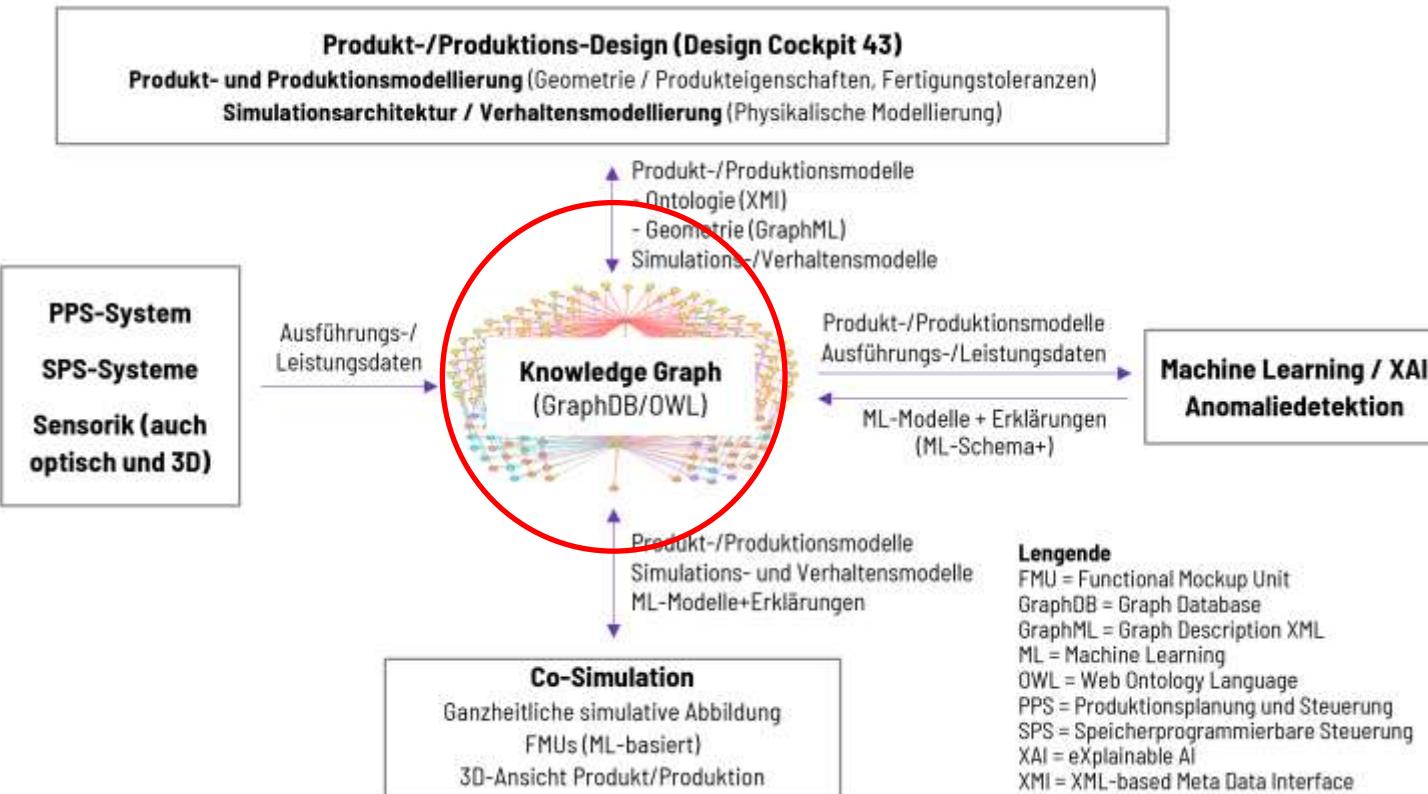
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Entwurf Produkt/Produktionsmodell im Design Cockpit 43



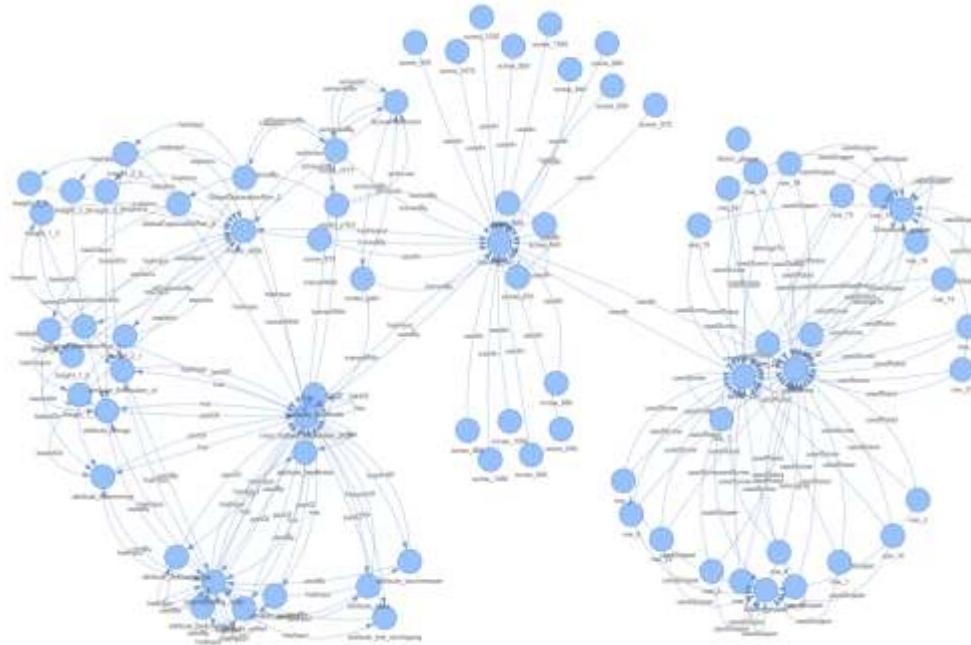
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Überführung DC 43 Modelle in Knowledge Graph



Showcase FESTO-Produktionsanlage

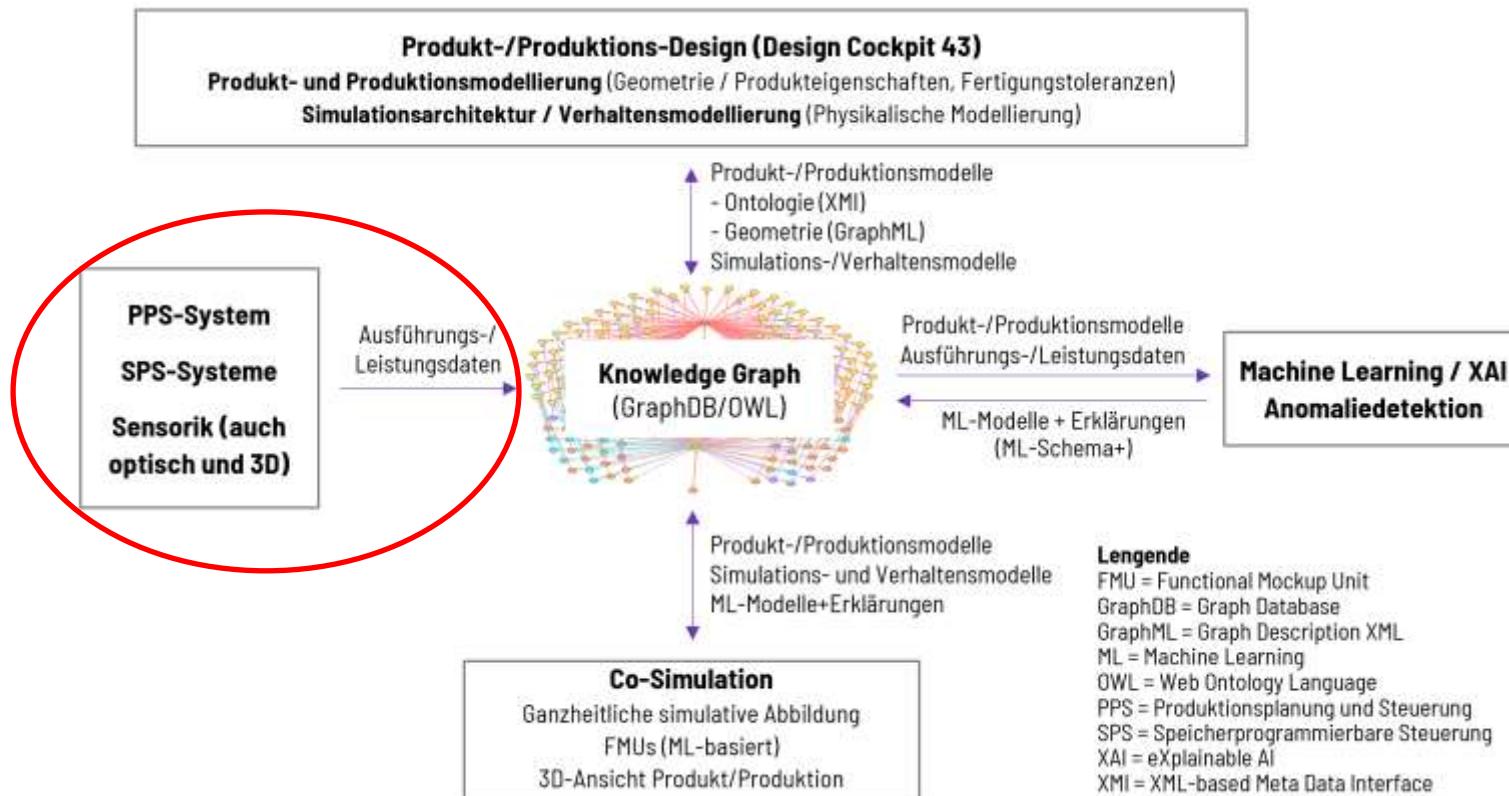
Überführung DC 43 Modelle in Knowledge Graph



Produkt-/Produktionsmodell als Domänen-Ontologie
OWL/RDF-Triple-Struktur für flexible Datenablage und Datenzugriff

Showcase FESTO-Produktionsanlage

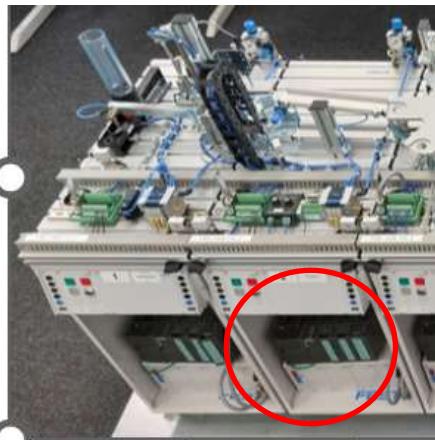
Import Ausführungs-/Leistungsdaten



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Import Ausführungs-/Leistungsdaten

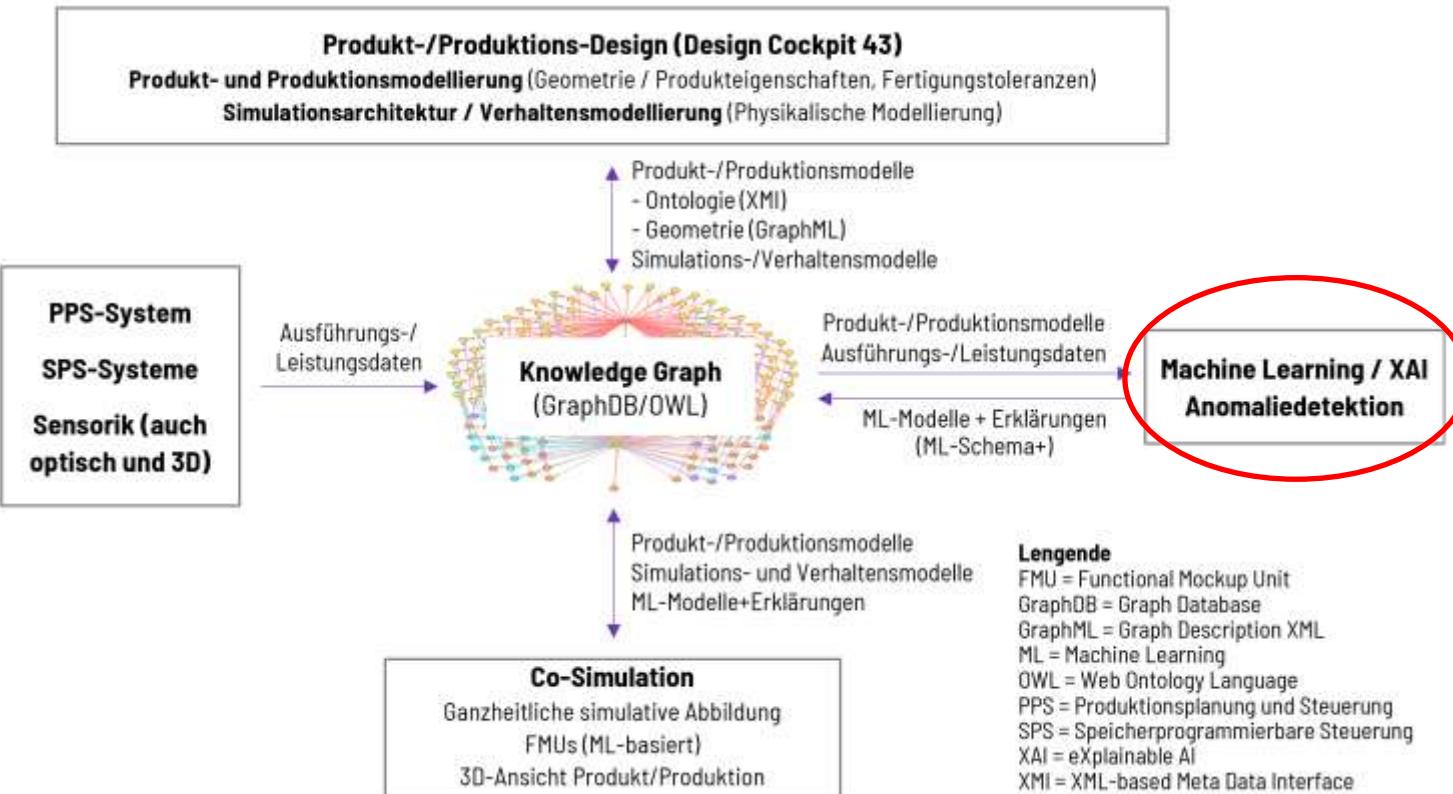
Extraktion relevanter Sensordaten via SPS der FESTO-Module



Row No.	part_id	weight	surface	material	friction	comments	pressure	angle	source	time ↑
29	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	1.500	0.140	8	339
43	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	1.500	0.140	8	340
53	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	4	0.140	8	341
304	10	36	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik orange	2.750	0.140	8	341
31	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	2	0.140	8	343
32	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	2.250	0.140	8	343
33	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	2.500	0.140	8	343
55	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	6	0.140	8	344
294	10	36	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik orange	3.750	0.140	8	344
47	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	2.500	0.140	8	345
49	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	3	0.140	8	346
296	10	36	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik orange	5	0.140	8	346
297	10	36	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik orange	6	0.140	8	346
46	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	2.250	0.140	8	347
293	10	36	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik orange	3.500	0.140	8	347
40	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	5	0.140	8	348

Showcase FESTO-Produktionsanlage

Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

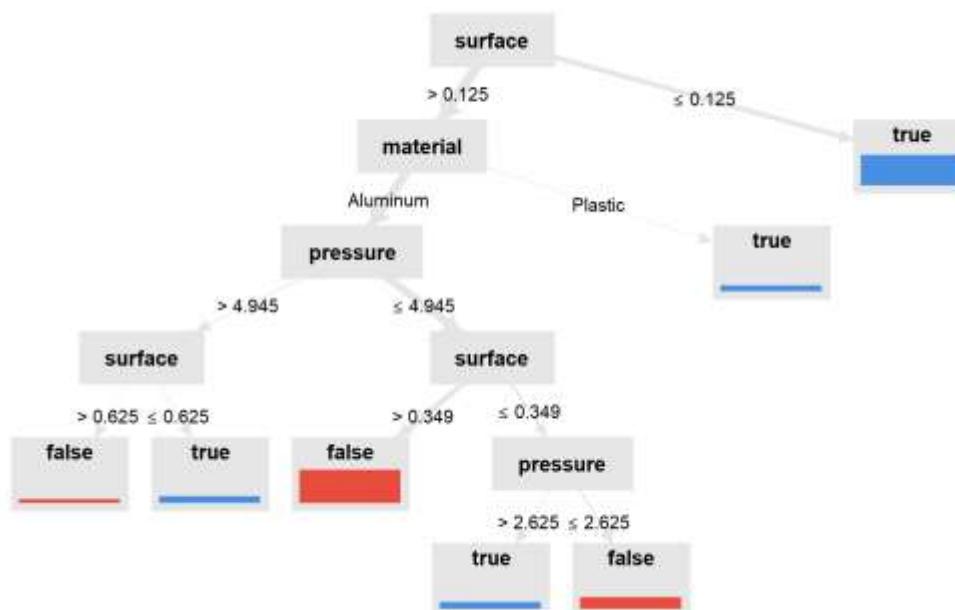


Showcase FESTO-Produktionsanlage

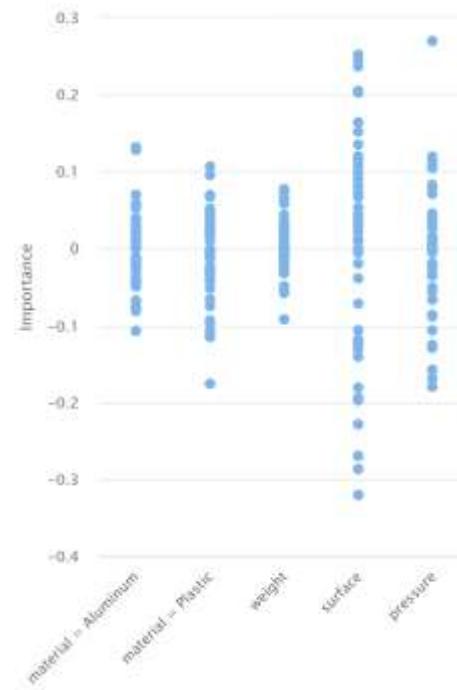
Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

Entscheidungsbaum zur Vorhersage und Erklärung des Rutschverhaltens

(Accuracy: 95,10%; Kappa: 0,896)

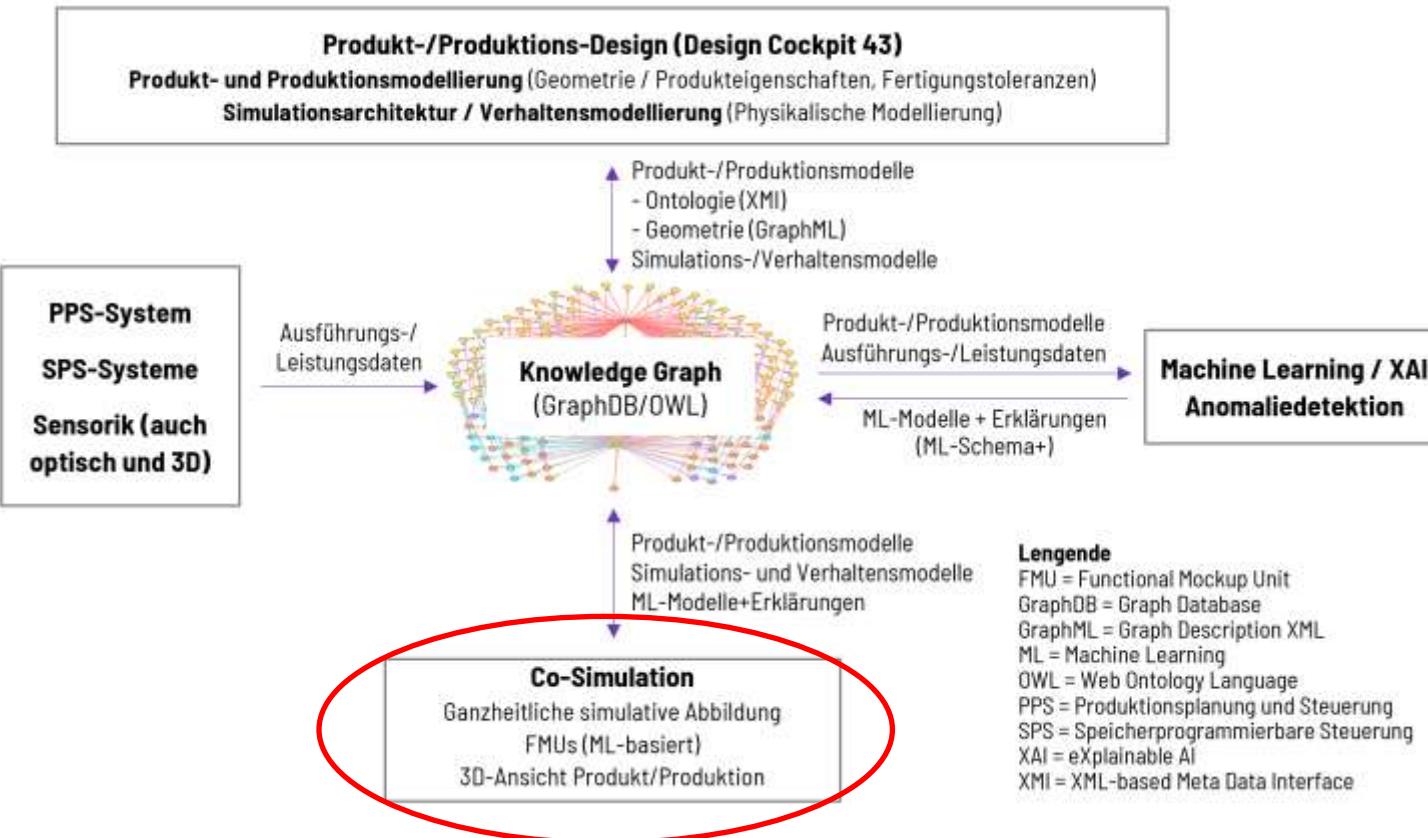


SHAP-Werte zur Erklärung der Einflussfaktoren



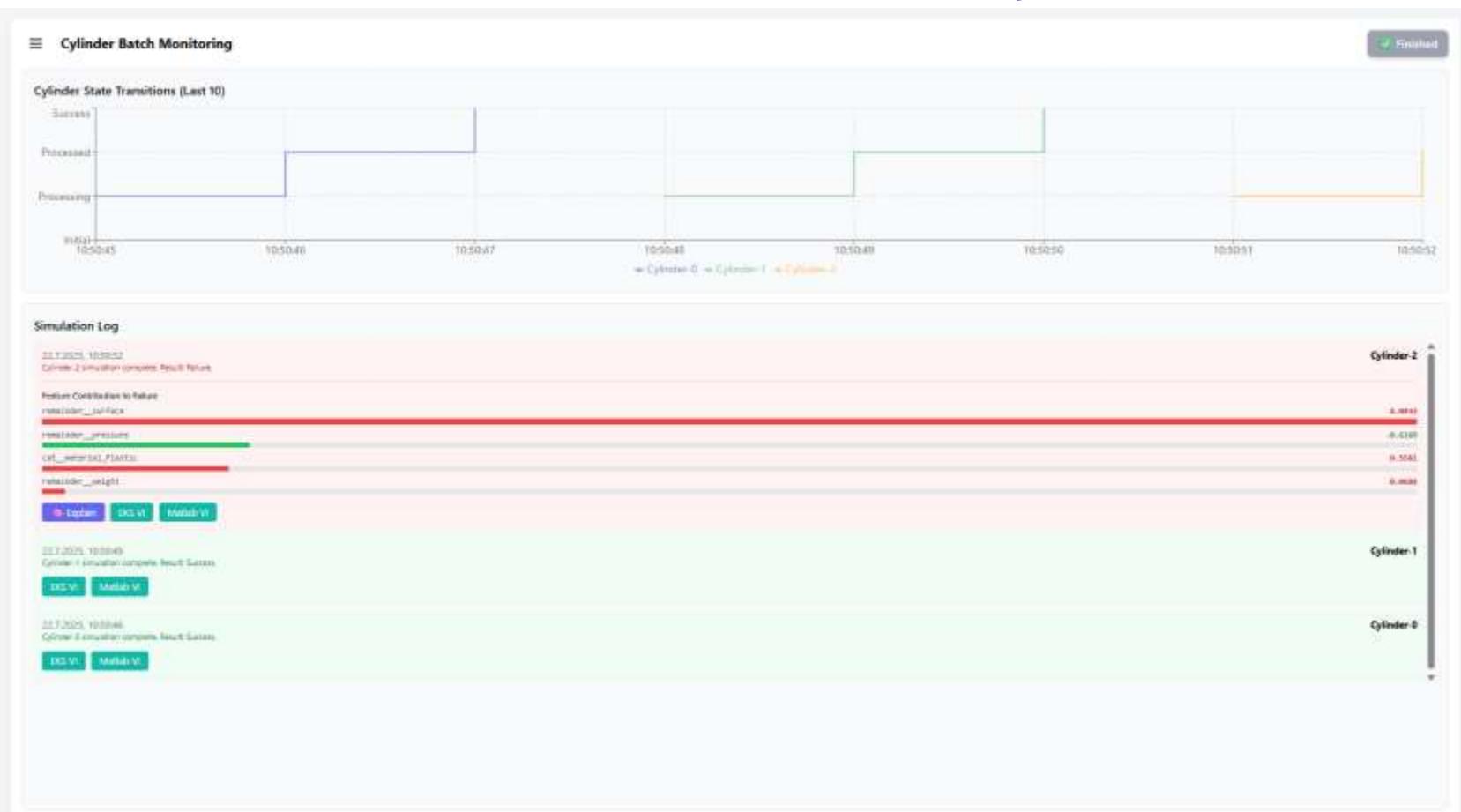
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



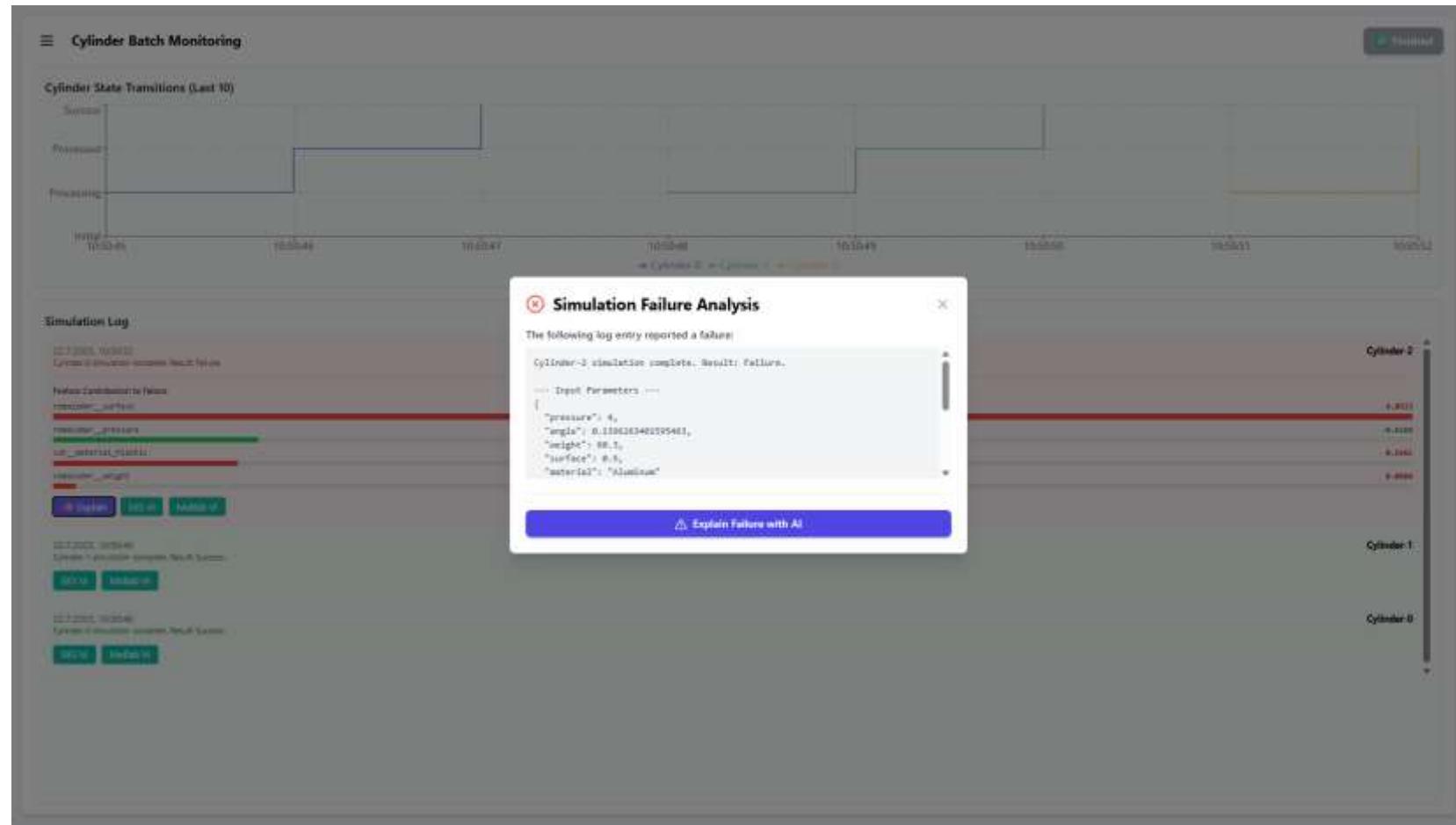
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

The screenshot shows a software interface for cylinder monitoring and simulation analysis. The main window displays a timeline of cylinder state transitions for the last 10 seconds, showing a sequence from 'Initial' to 'Processing' and then to 'Processed'. Below this is a 'Simulation Log' section with several entries, some of which are highlighted in red. A central modal window titled 'Simulation Failure Analysis' provides details about a failure in the 'Cylinder-2' simulation. It shows the following log entry:

```
Cylinder-2 simulation complete. Result: failure.
```

Input Parameters ...

```
{"pressure": 4.0, "angle": 0.19634981105463, "weight": 86.3, "surface": 0.5, "material": "aluminum"}
```

AI Assistant Explanation

1. The main purpose of the cylinder_gboard.mir model is to evaluate whether a cylinder design will function successfully under specified conditions.
2. The most likely reason for the failure is that the 'surface' parameter (value: 0.5) had the largest negative impact on the result, suggesting that the surface area is too small for the given conditions, making the design unusable.
3. To achieve a 'Successful' result, consider increasing the 'surface' parameter to provide more stability or support, and ensure that the material choice and other parameters are appropriate for the design's intended purpose.

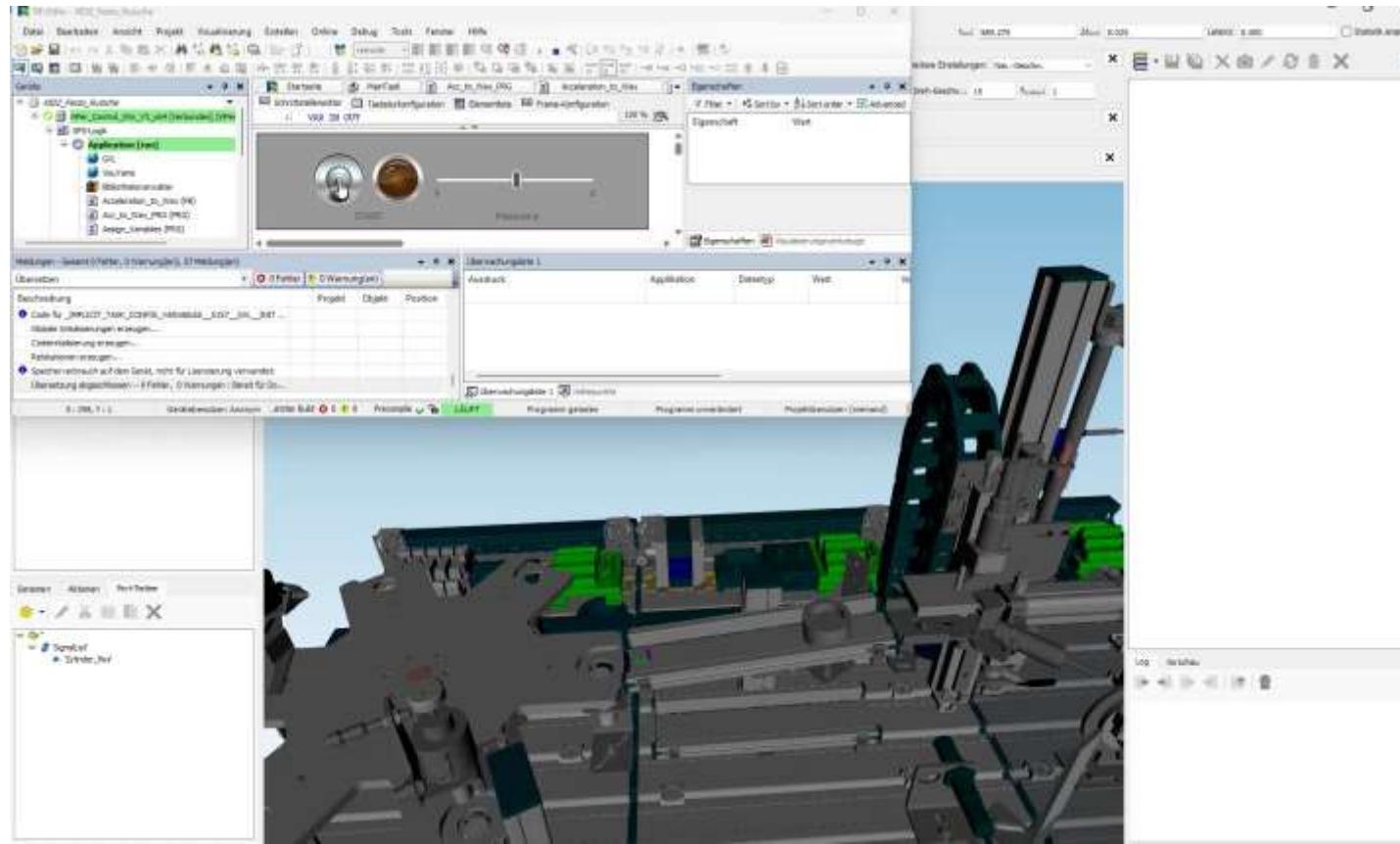
[Continue Conversation in Explain LLM](#)

The background of the interface shows three columns of cylinder status information for 'Cylinder 1', 'Cylinder 2', and 'Cylinder 3', with various metrics like pressure and weight displayed.

Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Graphische Simulation des Systemverhaltens mittels Viper und Yams

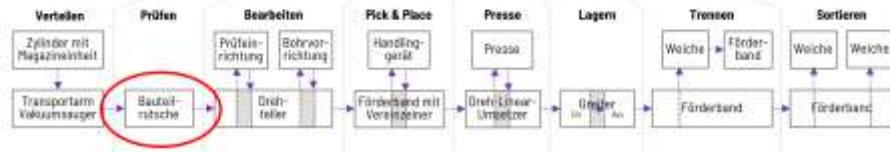


Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Flexibler Ansatz der Co-Simulation

- » Jede FMU wird **einzelν simuliert** und aus Input-/Output-Beziehungen ergibt sich das Gesamtsystemverhalten
- » Jede FMU kann auf unterschiedliche Weise simuliert werden
 - » Klassisch **mathematisch/physikalisch**, definiert/modelliert im DC 43
 - » **ML-basiert**, automatisch gelernt aus Ausführungs- und Leistungsdaten
 - » Hybrid – **Physics Informed ML**
 - » Hierbei können im KG beliebig viele Modelle bereitgestellt und wahlweise für die Simulation verwendet werden (**plug-and-play**)



Showcase FESTO-Produktionsanlage

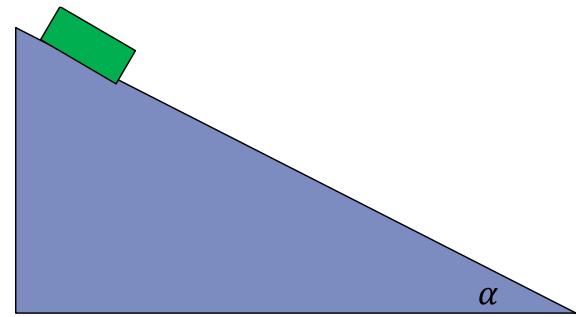
Physics Informed Machine Learning

- » Physikalisches Gesetz (Bewegung auf schiefer Ebene mit Reibung)

$$x(t, \alpha, \kappa, p, w) = \frac{1}{2}g(\sin \alpha - \mu(\kappa, p, w) \cos \alpha)t^2$$

$$\mu(\kappa, 0, w) = \mu_0$$

$$\mu(\kappa, p_{max}, w) = 0$$



- » PINN: Lerne $\mu(\kappa, p, w)$ durch ein neuronales Netz mit zusätzlichen Verlustfunktionen

- » Verlustfunktionen

1. Supervised: Reibungskoeffizienten μ aus 298 Experimenten
2. Randwerte: Druck = 0 bzw. Druck $> p_{max}$
3. Bedingungen an erste/zweite partielle Ableitungen
Beispiel Druck κ

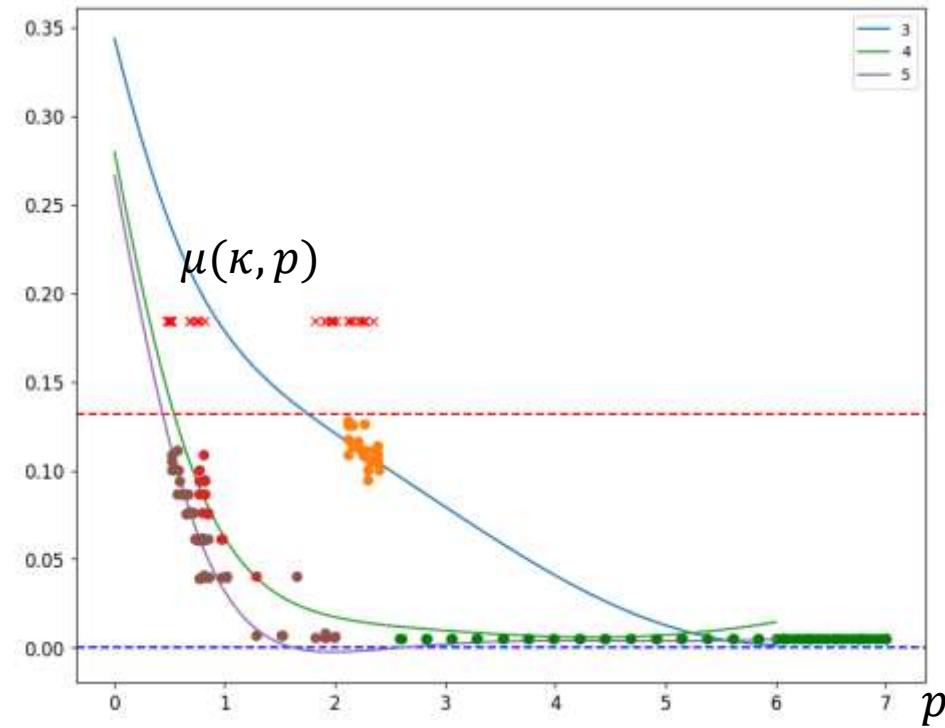
$$\frac{\partial \mu}{\partial p}(\kappa, p, w) \leq 0$$

$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial p^2}(\kappa, p, w) \neq 0 \text{ for } 0 < p < p_{crit}$$

Showcase FESTO-Produktionsanlage

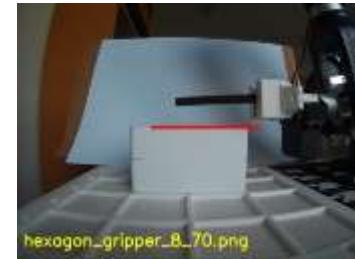
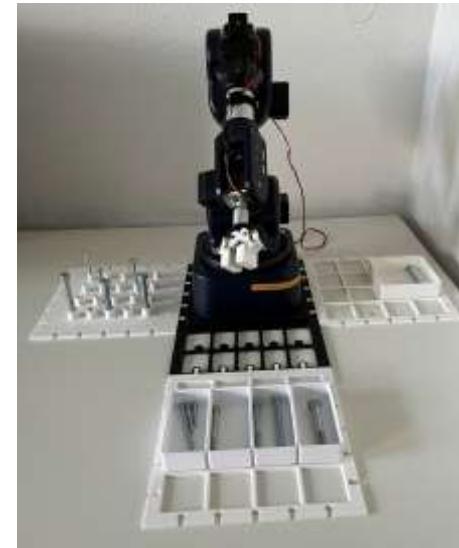
Physics Informed Machine Learning

Ergebnis für verschiedene Krümmungen κ der Oberfläche in Abhängigkeit des Drucks p



Showcase Roboterarm

Pick & Place



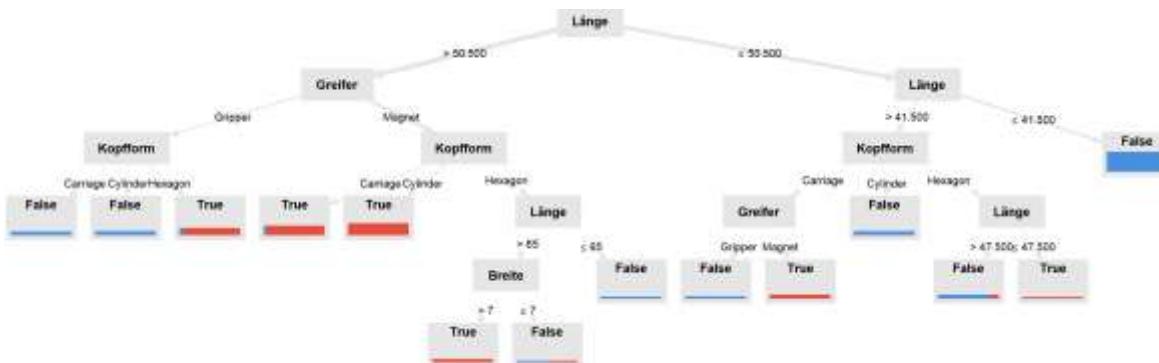
- » Analyse und Vorhersage von Fehlerfällen in Abhängigkeit des Greifers und unterschiedlicher Schraubenparameter
- » KI-basierte Steuerung des Einsortievorgangs zur Vermeidung von Fehlerfällen

Showcase Roboterarm - Pick and Place

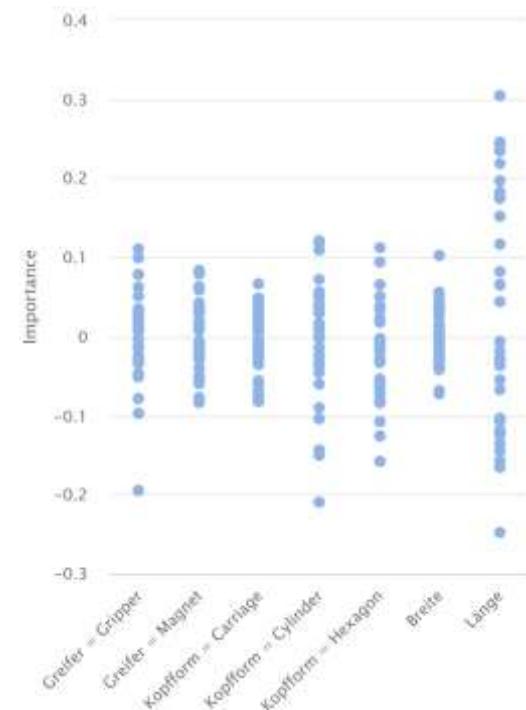
Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

Entscheidungsbaum zur Vorhersage und Erklärung des Systemverhaltens

(Accuracy: 92,35%; Kappa: 0,847)



SHAP-Werte zur Erklärung der Einflussfaktoren



Showcase Roboterarm - Pick and Place

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Niryo Screw Placement

Start Prediction

Robot Arm Parameters

Gripper Type: Gripper

Head Type: Hexagon

Wide (mm): 6

Length (mm): 70

Prediction Result

Predicted Outcome: Failure

Feature Contribution to Failure	Value
remainder_length	2.3138
cat_Gripper_Hexet	-3.2588
cat_head_hexagon	0.7128
cat_head_cylinder	0.3499
remainder_wide	0.3493

Explain Failure with AI

Process Smart Process

Showcase Mehrkörper-Kinematik

KI auf synthetischen Simulationsdaten

Simulation generiert synthetische Ausführungsdaten

Vorteile

- » Zeitersparnis: Zeitaufwendige Simulationsläufe werden durch Anwendung des ML-Modells ersetzt
- » Interaktive Optimierungen der Konfiguration möglich
- » Einflussfaktoren auf den Simulationsverlauf können mittels XAI identifiziert und erklärt werden

Produkt-/Produktions-Design (Design Cockpit 43)

Produkt- und Produktionsmodellierung (Geometrie / Produkteigenschaften, Fertigungstoleranzen)
Simulationsarchitektur / Verhaltensmodellierung (Physikalische Modellierung)

- Produkt-/Produktionsmodelle
- Ontologie (XMI)
- Geometrie (GraphML)
Simulations-/Verhaltensmodelle



- Produkt-/Produktionsmodelle
Ausführungs-/Leistungsdaten
ML-Modelle + Erklärungen (ML-Schema+)

Machine Learning / XAI
Anomaliedetektion

Lengende
FMU = Functional Mockup U
GraphDB = Graph Database
GraphML = Graph Descriptio
ML = Machine Learning
OWL = Web Ontology Langu
PPS = Produktionsplanung und Steuerung

Co-Simulation
Ganzheitliche simulative Abbildung FMUs (ML-basiert)
3D-Ansicht Produkt/Produktion

Simulation wird mathematisch/ physikalisch modelliert

ML-Modell lernt Systemverhalten auf Basis der synthetischen Ausführungsdaten

Durchführung einer Vielzahl an Simulationsläufen wird durch ML-Modell ersetzt

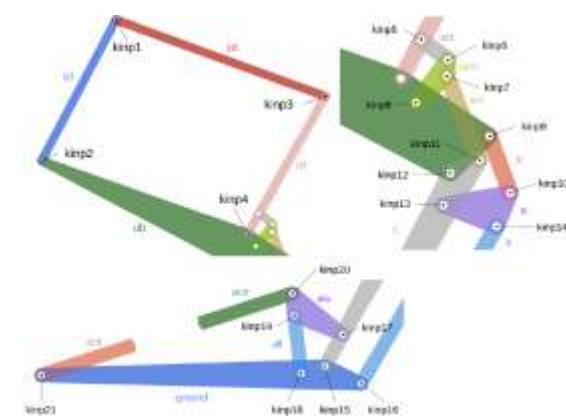
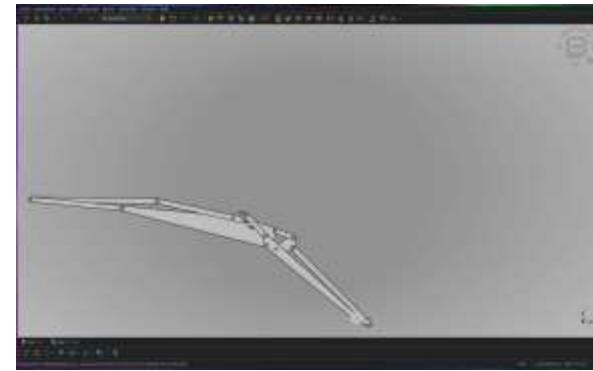
Showcase Mehrkörper-Kinematik

Generierung synthetischer Ausführungsdaten

Datengenerierung

- » Datensatz mit 1.000 Simulationsläufen
- » Zufällige Variation der Anfangsposition pro Gelenk

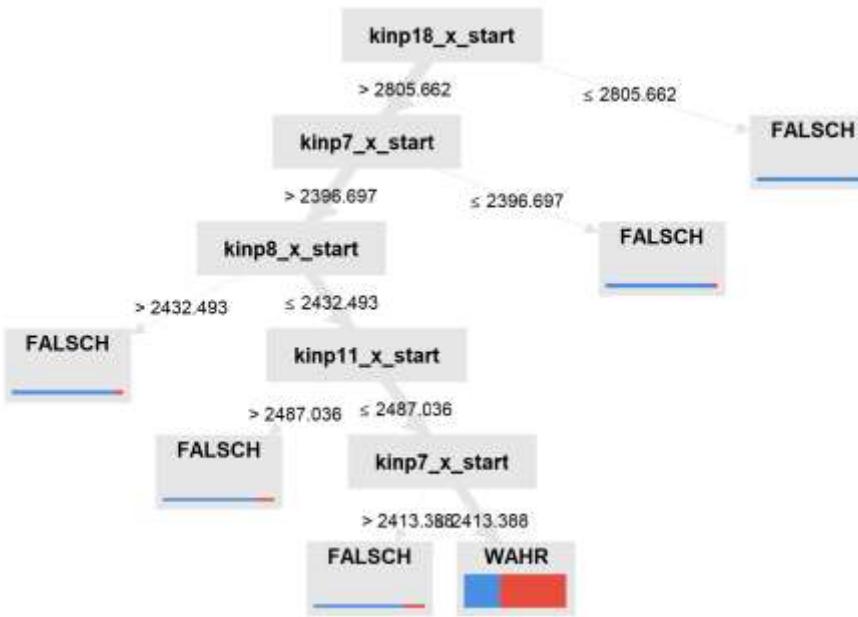
kinp18_x_st...	kinp18_y_st...	kinp19_x_st...	kinp19_y_st...	kinp20_x_st...	kinp20_y_st...	OverallSuccess
2811.200	506.060	2740.170	523.620	2714.580	562.820	FALSCH
2810.200	500.060	2730.170	540.620	2717.580	564.820	FALSCH
2804.200	503.060	2741.170	534.620	2706.580	552.820	FALSCH
2812.200	513.060	2739.170	538.620	2705.580	553.820	FALSCH
2819.200	497.060	2731.170	533.620	2709.580	554.820	FALSCH
2815.200	511.060	2727.170	537.620	2714.580	562.820	FALSCH
2808.200	497.060	2739.170	521.620	2720.580	549.820	FALSCH
2823.200	506.060	2732.170	539.620	2713.580	553.820	FALSCH
2811.200	500.060	2732.170	535.620	2709.580	549.820	FALSCH



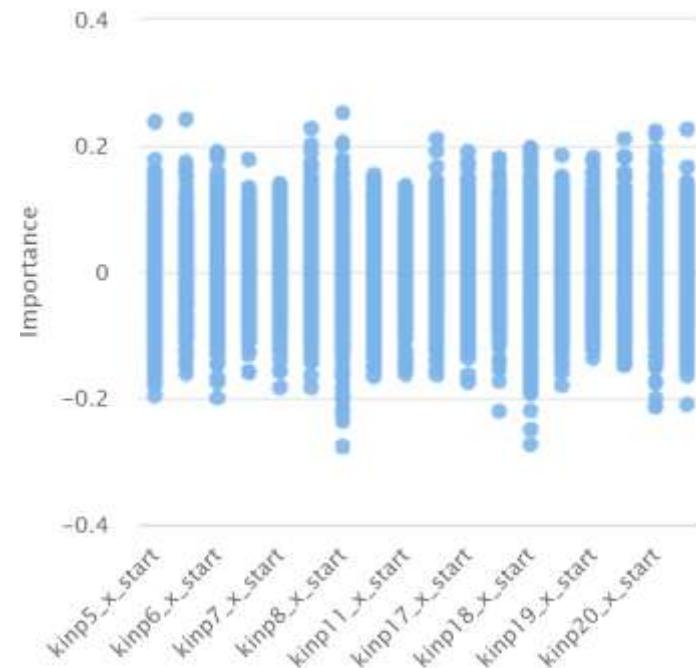
Showcase Mehrkörper-Kinematik

Vorhersage & Erklärung des Simulationslaufs

Entscheidungsbaum



SHAP-Werte



Showcase Mehrkörper-Kinematik

Vorhersage des Simulationslaufs

Machine Learning Modelle

- » Entscheidungsbaum
 - » Accuracy: 72,45%
 - » Kappa: 0,449
- » Logistische Regression
 - » Accuracy: 70,53%
 - » Kappa: 0,411
- » Neuronales Netz
 - » Accuracy: 86,60%
 - » Kappa: 0,521

ROC-Plot

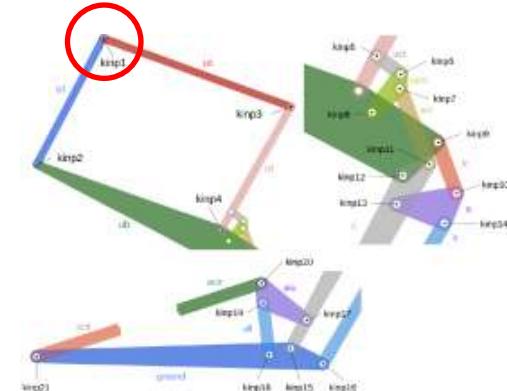


Showcase Mehrkörper-Kinematik

Vorhersage einzelner Endpositionen

Neuronales Netz

Gelenkpunkt	ANN RMSE	ANN MNAE	ANN SC
kinp14_y_end	16.291	0.070	0.990
kinp3_y_end	43.347	0.108	0.985
kinp3_x_end	43.028	0.344	0.915



Lineare Regression

Gelenkpunkt	Attribute	Coefficient	Std. Error	Std. Coefficient	Tolerance	t-Stat	p-Value	Code
kinp14_x_end	kinp7_y_start	2.357	0.664	0.092	0.999	3.548	0.000	***
kinp1_x_end	kinp17_x_start	-3.752	0.621	-0.155	1.000	-6.039	0.000	***
kinp2_y_end	kinp17_y_start	6.000	0.634	0.241	0.995	9.459	0	***
kinp2_x_end	kinp18_x_start	16.241	0.634	0.657	1.000	25.615	0	***
	kinp18_y_start	2.278	0.656	0.089	0.999	3.488	0.001	***
	kinp19_x_start	-3.254	0.648	-0.130	0.991	-5.023	0.000	***
	kinp19_y_start	-4.563	0.652	-0.180	0.997	-6.999	0.000	***
	kinp20_x_start	-7.028	0.677	-0.268	1.000	-10.386	0	***
	kinp20_y_start	4.094	0.642	0.163	0.994	6.374	0.000	***
	kinp6_x_start	1.534	0.673	0.059	0.998	2.278	0.023	**
(Intercept)		-11058.740	4553.912	?	?	-2.428	0.016	**
kinp5_x_start		-1.286	0.713	-0.047	1.000	-1.805	0.072	*

Showcase Mehrkörper-Kinematik

Co-Simulation - FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

☰ Roof Kinematic Coordinates Analysis

Kinematics Overview
Click an image to enlarge.

Automatic Prediction is Active
Adjust shims to start a new prediction.

Find Solution Quick Solve Reset All

Overall

Dome

Lower Mech.

Upper Mech.

Adjust Point Coordinates

Point	X	Y	Z
Knp5	2348.86	928.93	876.01
Knp6	2306.13	926.52	841.15
Knp7	2404.48	928.38	546.84
Knp8	2425.98	926.52	841.15
Knp11	2475.04	926.52	546.84
Knp17	2507.96	546.84	546.84
Knp18	2525.96	546.84	546.84
Knp19	2558.96	546.84	546.84
Knp20	2581.96	546.84	546.84

Adjust Shims

Overall

Dome

Lower Mech.

Upper Mech.

Find Solution Quick Solve Reset All

Showcase Mehrkörper-Kinematik

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Showcase Mehrkörper-Kinematik

Co-Simulation - FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Roof Kinematic Coordinates Analysis

Kinematics Overview

Obtain image to enlarge

Kinematics Overview

Roof Kinematic Coordinates Analysis

Actor Force or Design Space Violation

Stage 2 Prediction: Failed (Value: 0)
Probability (Successful): 42.98
Probability (Failed): 57.02

Features Used by Model:

- "Kmp5_x_start": 2349.89
- "Kmp5_y_start": 998.93
- "Kmp5_z_start": 2289.49

AI Assistant Explanation

1. "Main Purpose of the Model": The 'Actor Force & Design Space Model' evaluates whether the input design parameters result in a feasible and functional design within the defined constraints.

2. "Most Likely Reason for Failure": The value is most likely due to the parameter "Kmp5_x_start", which had the highest impact score (0.1330) pushing the result towards failure. This suggests that the value of "Kmp5_x_start" is outside the acceptable range or is causing instability in the design.

3. "General Advice for Adjusting Input Parameters": Focus on adjusting the value of "Kmp5_x_start" to bring it closer to a more stable range, as it had the largest negative impact. Additionally, consider fine-tuning "Kmp5_y_start", "Kmp5_z_start", and "Kmp17_z_start", as they

Continue Conversation In Explain LLM

View Simulate Close

Adjust Point Coordinates

Kmp5

X: 2349.89

Y: 998.93

Kmp8

X: 2425.99

Y: 876.21

Kmp11

X: 2307.56

Y: 546.54

Kmp12

X: 2444.54

Y: 1044.15

Kmp17

X: 2404.43

Y: 820.38

Kmp20

X: 2444.54

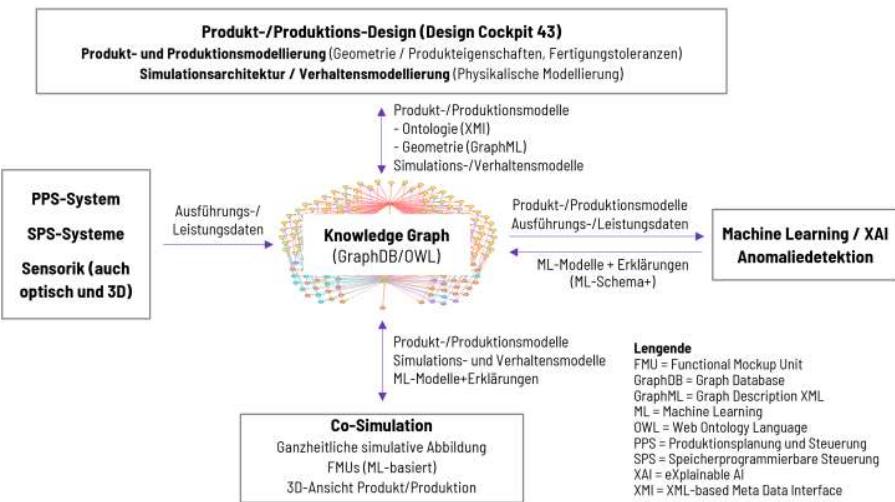
Y: 1044.15

40

KIDZ – Praktische Verwertbarkeit

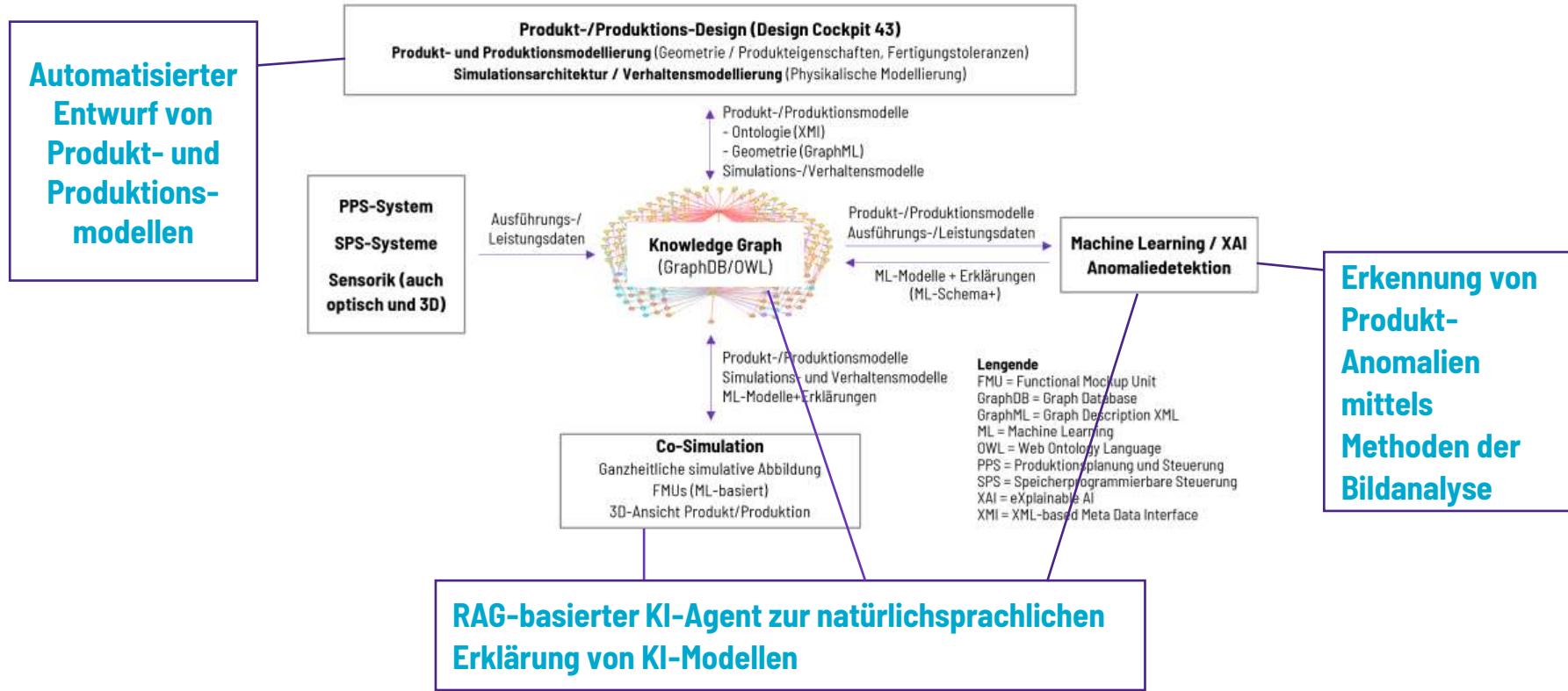
Innovativer Framework

- » **Ausdrucksstarke** Modellierung im **Design Cockpit 43 (FMU-basierte Simulationsarchitektur)**
- » Zentraler **Knowledge Graph**
 - » Aufnahme Ausführungs-/Leistungsdaten
 - » Anreicherung um **ML/XAI-Modelle**
- » **KI-basierter Simulator**
 - » FMU-basierte Vorhersage und Simulation des Systemverhaltens (inkl. 3D-Ansicht)
 - » Erklärung des Systemverhaltens mittels **XAI-Techniken** und **KI-Agent (LLM)**



KIDZ - Wissenschaftliche Vertiefungsthemen

Neuartige Ansätze für den Einsatz von KI



Projektstatus

Publikationen (veröffentlicht)

- » Arff, B., Haasis, J., Thomas, J., Bonenberger, C., Höpken, W., Stetter, R. (2023). Analysis and Visualization of Production Bottlenecks as Part of a Digital Twin in Industrial IoT. *Applied Sciences*, 13, 3525. <https://doi.org/10.3390/app13063525>.
- » Grüble, T., Stetter, R., Schuchter, T., Till, M., Rudolph, S. (2023). Graph-based Design Languages for the Development of a Robotic Cell with Compliant Grippers. *56th International Symposium on Robotics (ISR Europe)* | September 26-27.
- » Nandakumar, N., Eberhardt, J. (2023). Overview of Synthetic Data Generation for Computer Vision in Industry. *8th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research (ICMERR)*. IEEE.
- » Stetter, R (2023). Resilient Design of Product Service Systems with Automated Guided Vehicles. *Vehicles*, 5(3):780-801. <https://doi.org/10.3390/vehicles5030043>.

Projektstatus

Publikationen (veröffentlicht)

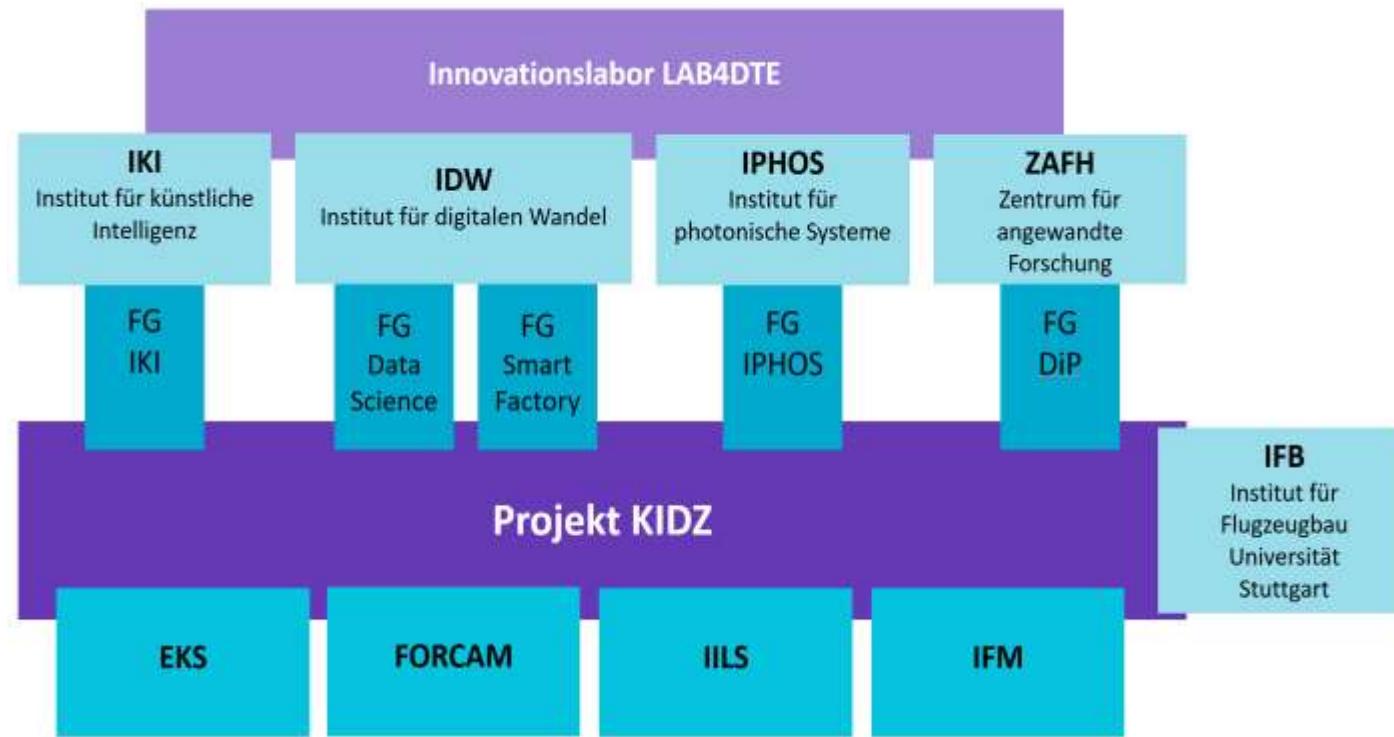
- » Saft, P., Pfeil, M., Stetter, R., Till, M., Rudolph, S. (2024). Integration of geometry modelling and behaviour simulation based on graph-based design languages and functional mockup units. *Procedia CIRP* 2024, 128, pp. 310–315, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.06.025>.
- » Grüble, T., Stetter, R., Schuchter, T., Till, M., Rudolph, S. (2024). Combined Geometric and Kinetic Data Model in Model-Based Systems Engineering of Robotic Cells. *Procedia CIRP* 2024, 128, pp. 156–161, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.03.005>.
- » Stetter, R., Till, M. (2024). A Concept for an Integrated Framework for Abstract Physics Modelling (IF4APM). *Procedia CIRP* 2024 128, pp. 168–173, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.03.006>.
- » Höpken, W., Stetter, R., Pfeil, M., Bayer, T., Michelberger, B., Schuchter, T., Lohr, A. (2025): Digitaler Zwilling mittels semantischer Modellierung und KI. *Industry 4.0 Science*, 41. Jg., Nr. 2, S.30–36. <https://doi.org/10.30844/I4SD.25.2.30>.

Projektstatus

Publikationen (in Arbeit)

- » Schuchter, T., Breckle, T., Till, M., Stetter, R., Rudolph, S., Derksen, P. (angenommen): Conception of an Automated, Graph-Based Assembly System Development Process for a Balanced Two-wheel Scooter. 10th CARV Conference.
- » Schuchter, T., Saft, P., Stetter, R., Pfeil, M., Höpken, W., Till, M., Rudolph, S. (eingereicht): Application of artificial intelligence in model-based systems engineering of automated production systems. CIRP 2025.
- » Schuchter, T., Till, M., Stetter, R., Rudolph, S. (eingereicht): Digital Integrated Design and Assembly Planning Processes for Sports Vehicles. MDPI Vehicles.
- » Lohr, A., Michelberger, B., Bayer, T., Höpken, W. (in Arbeit): Explaining Knowledge Graphs with Large Language Models: A Quantitative and Qualitative Evaluation Using the Question Bank for Explainable Artificial Intelligence. EDOC 2025 – 29th International Conference on Enterprise Design, Operations, and Computing.
- » Höpken, W., Lohr, A., Stetter, R., Schuchter, T., Michelberger, B., Bayer, T., Till, M., Pfeil, M. (in Arbeit). Artificial intelligence based digital twin for industrial production processes.
- » Nandakumar, N., and Jörg Eberhardt. J. (in Arbeit). Synthetic Data Generation for Object Detection in Industry. IEEE Transactions on Industrial Informatics.

Projektgruppe





HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

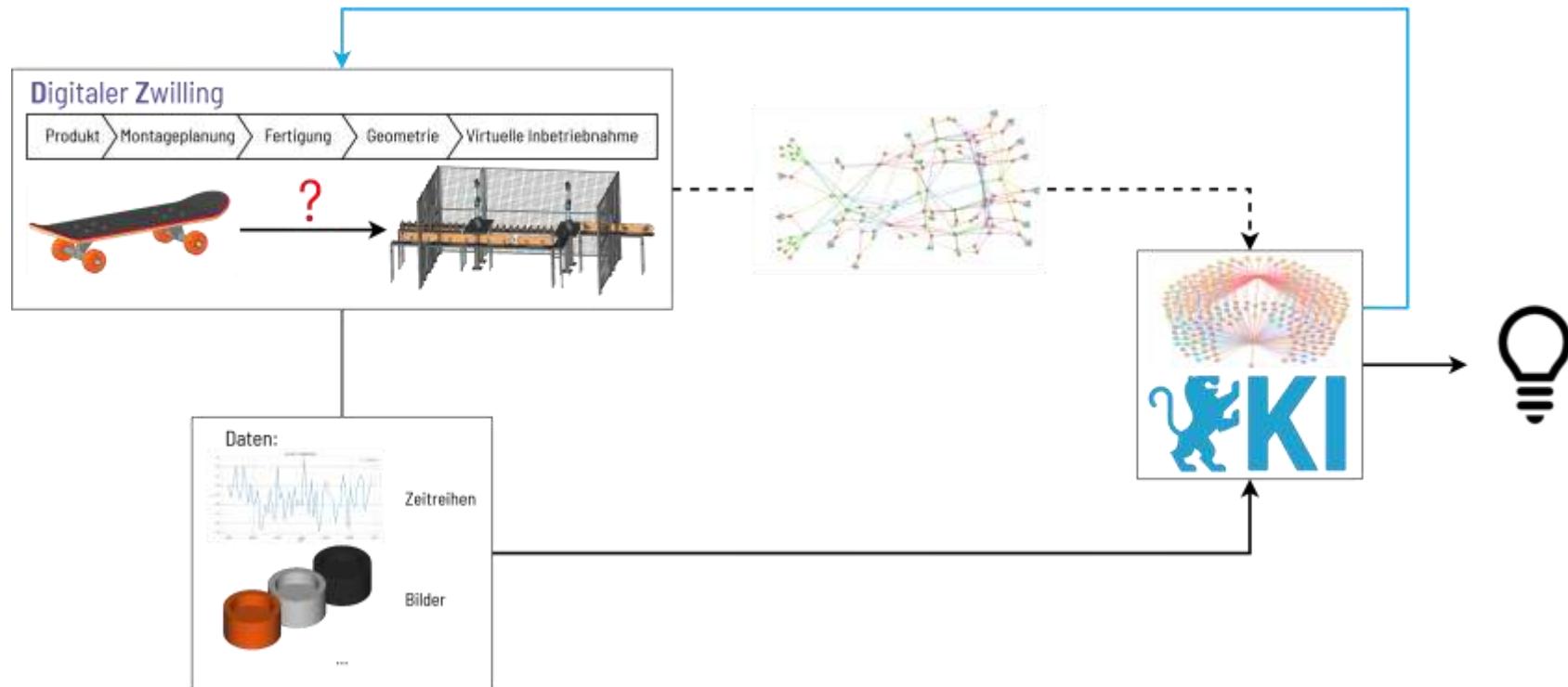
AUTOMATISIERTER ENTWURF VON PRODUKT- UND PRODUKTIONSMODELLEN

TIMO SCHUCHTER M. SC. / PROF. DR. RALF STETTER

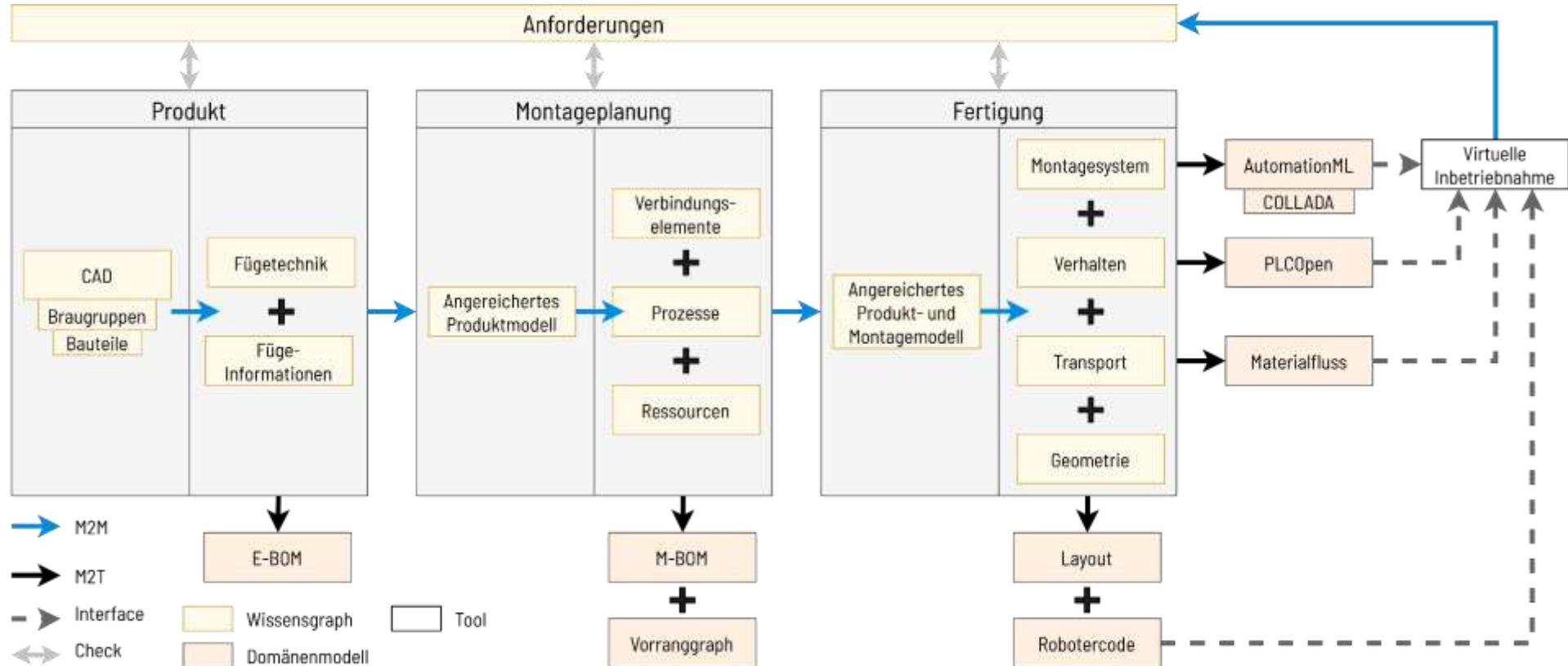
www.rwu.de/idw
www.rwu.de
info@rwu.de

Problemstellung

Digitaler Zwilling

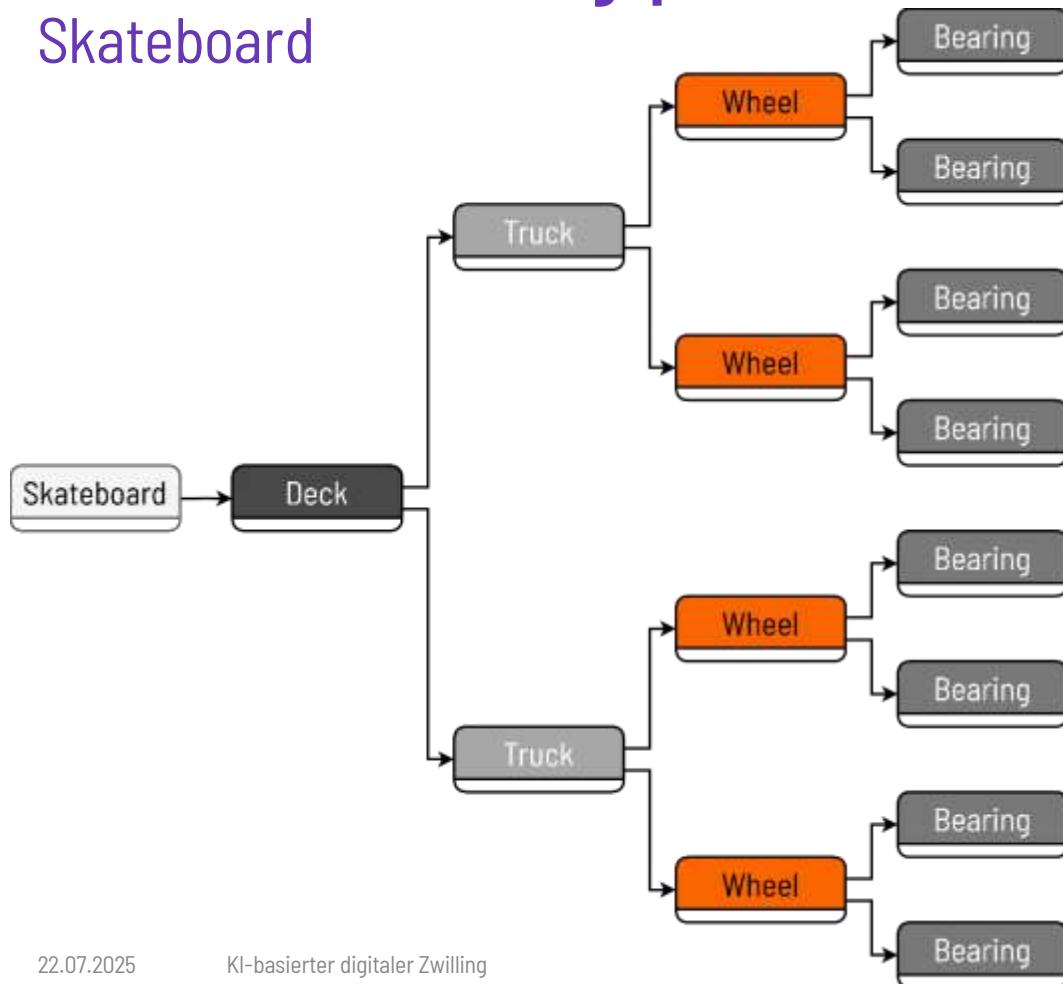


Modelltransformationen



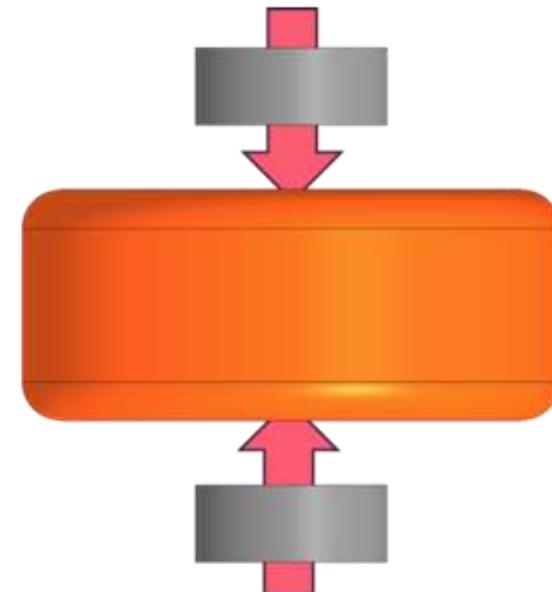
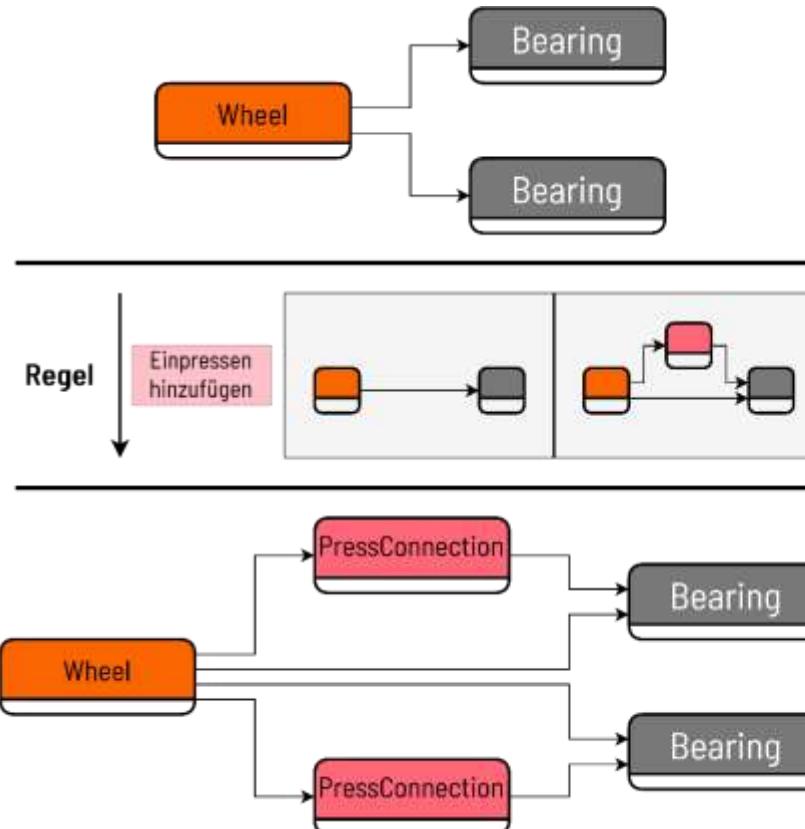
Produktmodell mit Fügepartner

Skateboard

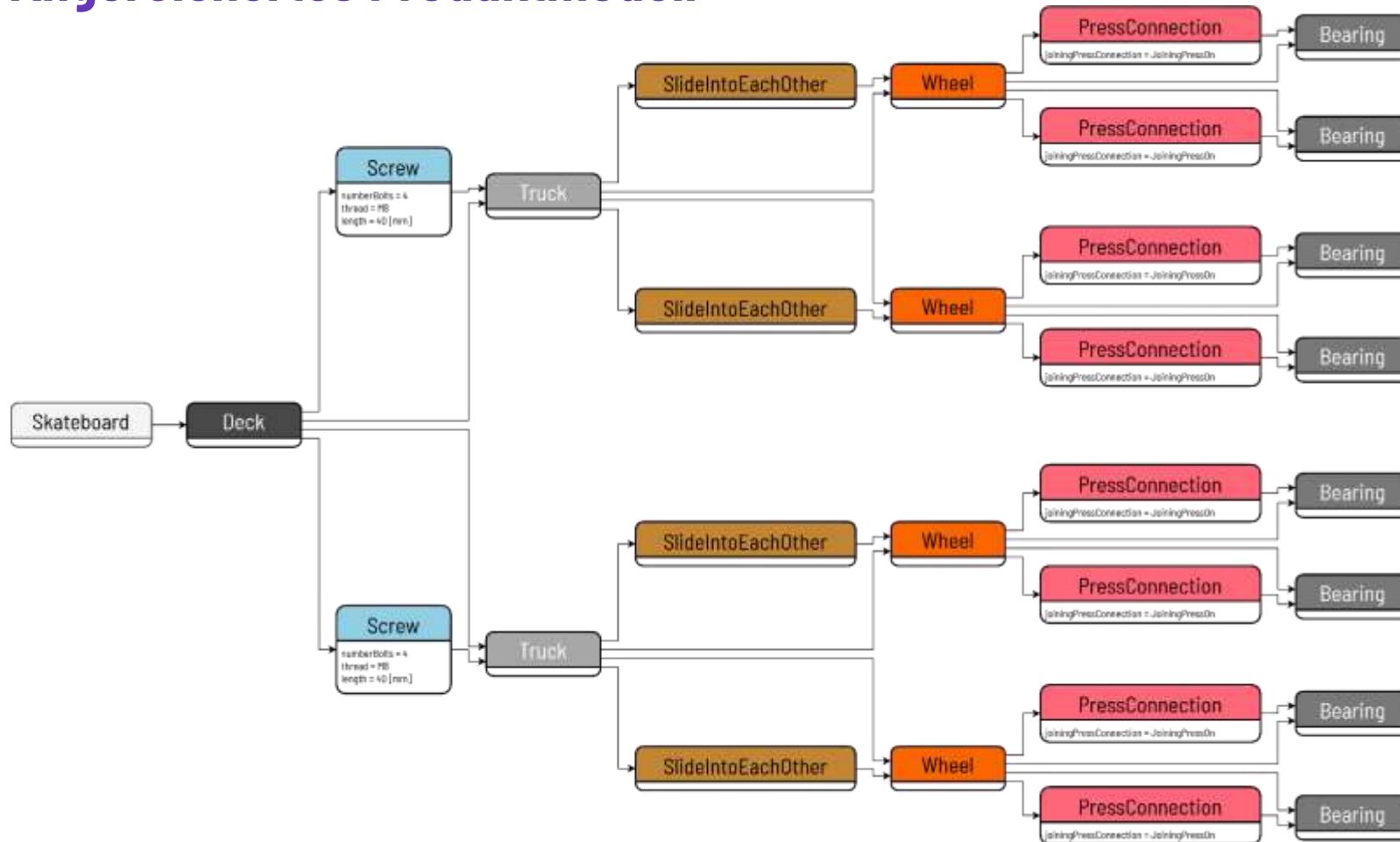


Produktmodell

Regel: Einpressen der Lager



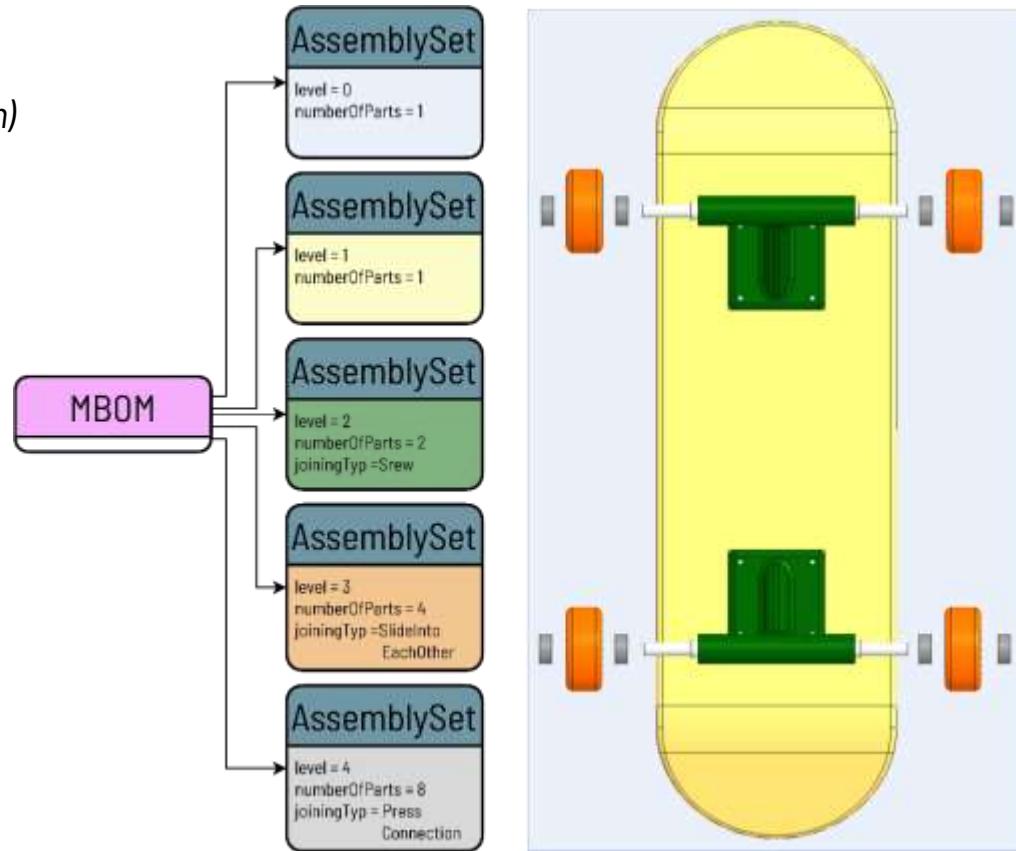
Angereichertes Produktmodell



Montagemodell

Assembly-Sets

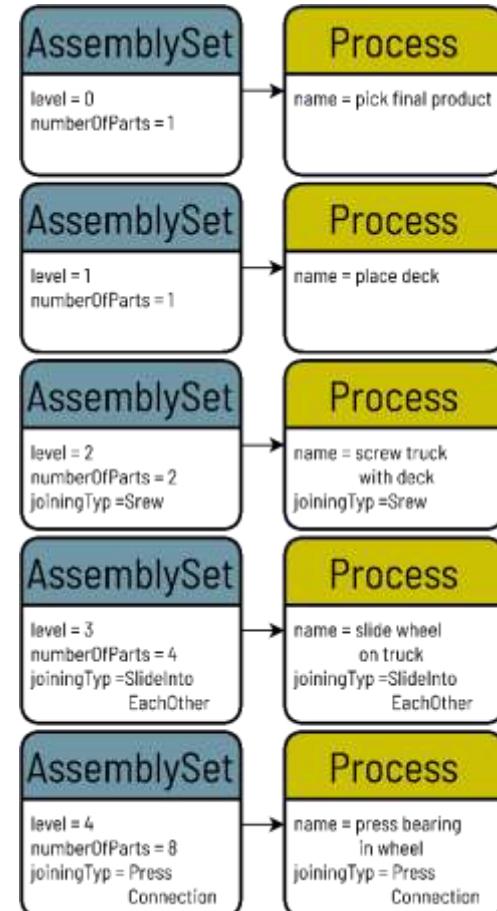
- » Breitensuche (breadth-first search)
 - » Vollähnlich
 - » Teilähnlich
- » Ähnliche Montagen finden



Montageplanung

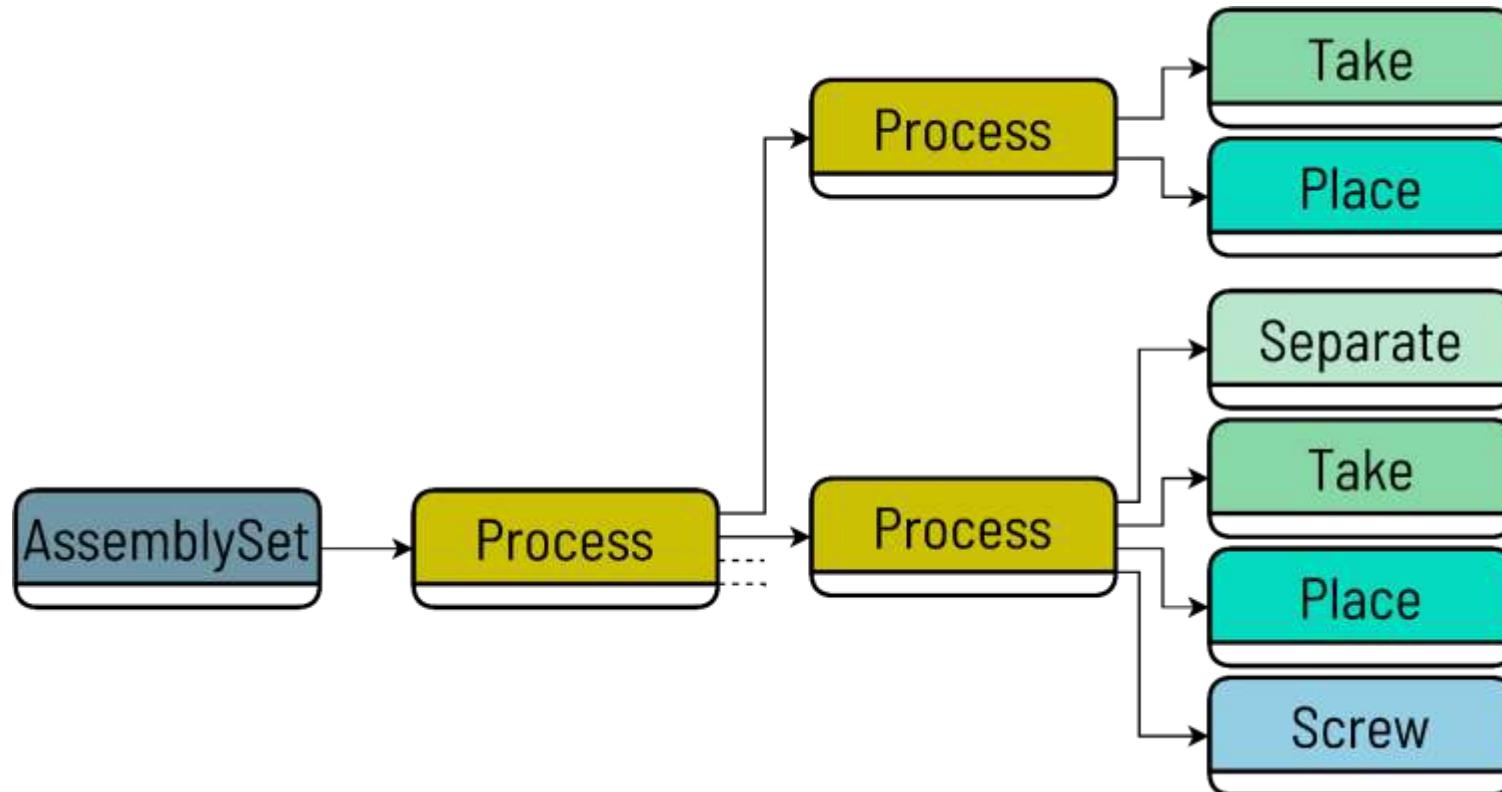
Process

- » Aus den Fügetechniken lassen sich die Prozesse für die AssemblySets ableiten
 - » Process
 - Nur Process als Assoziation
 - Kann aufgeteilt werden
 - Allgemeine Beschreibung
 - Mit Handhaben und/oder joining als Assoziation
 - Muss vollständig ausgeführt werden



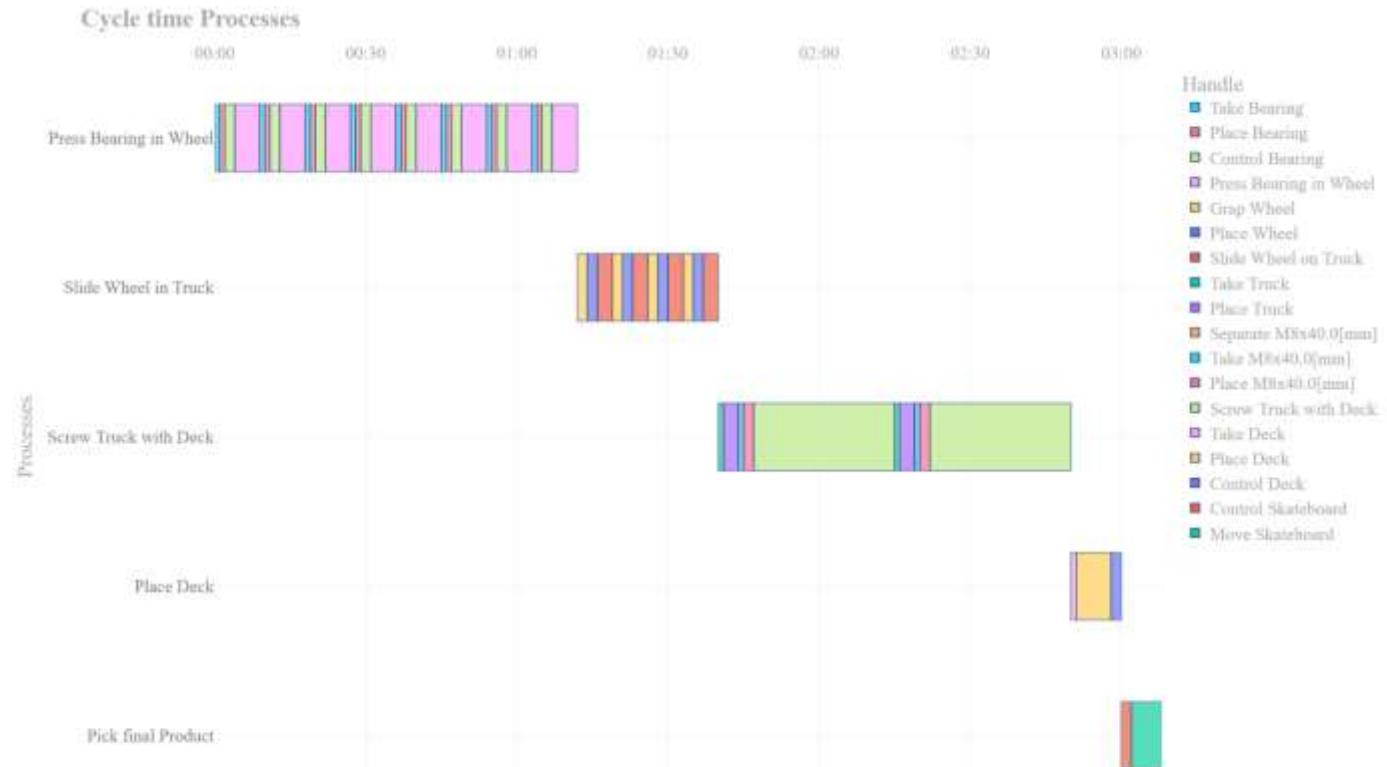
Prozessplanung

Anreicherung der Prozesse

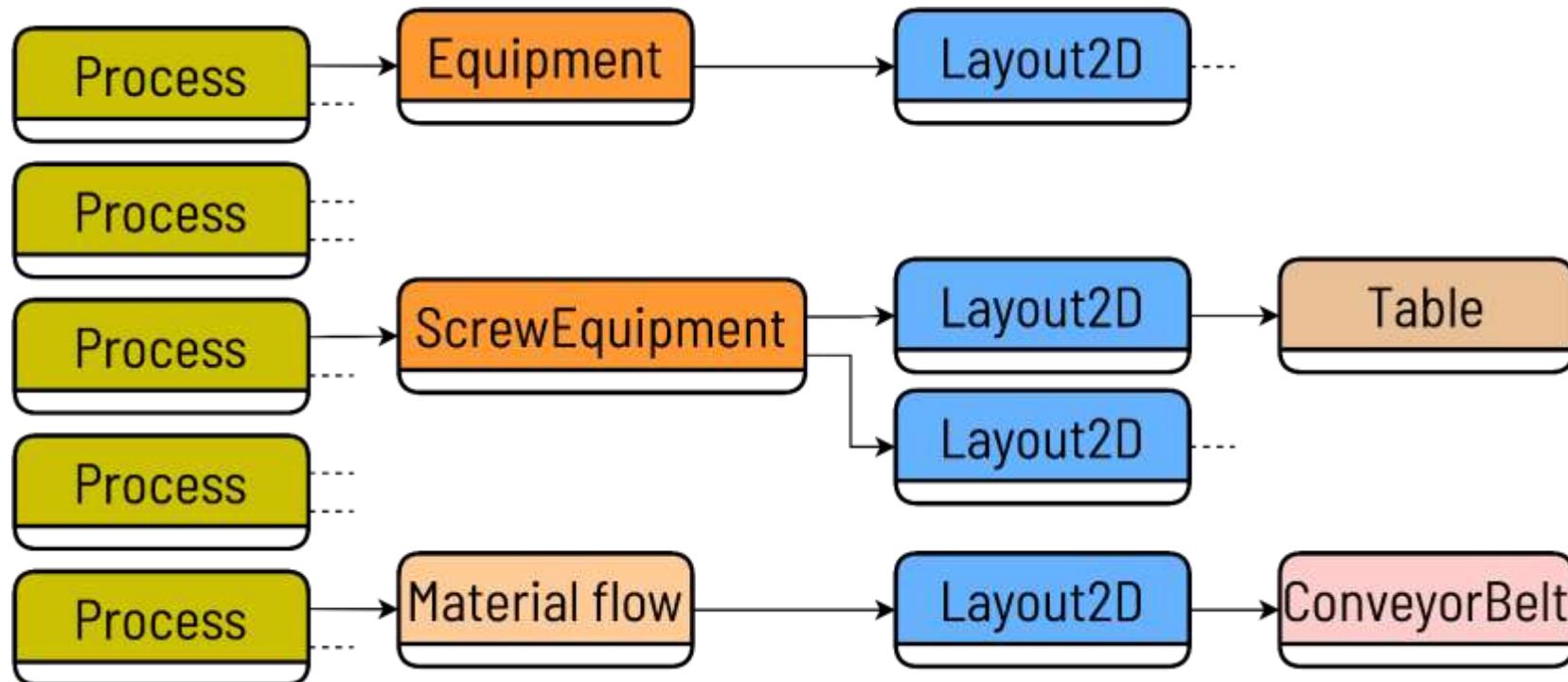


Prozessplanung

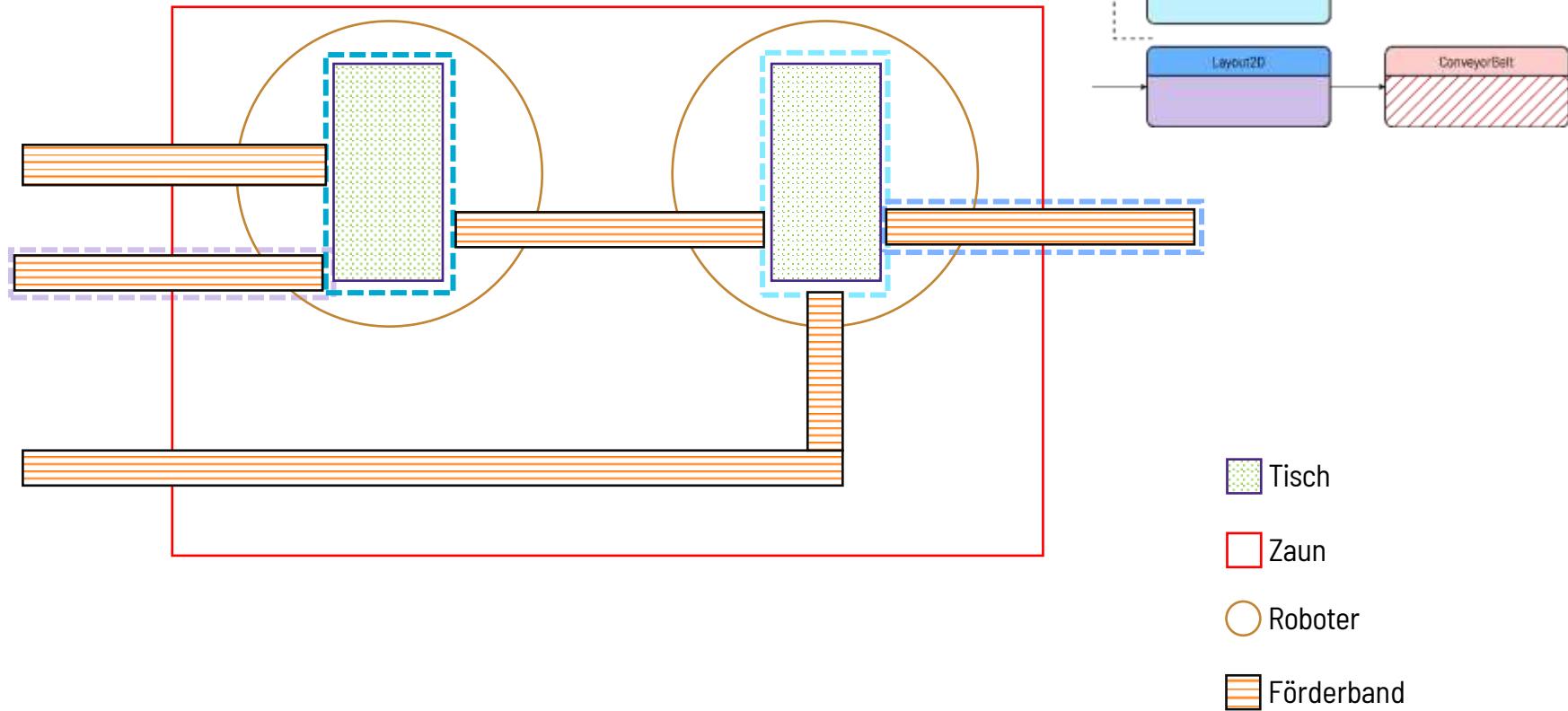
Taktzeit-Diagramm



Prozessanreicherung mit 2D-Layout und Technologieauswahl

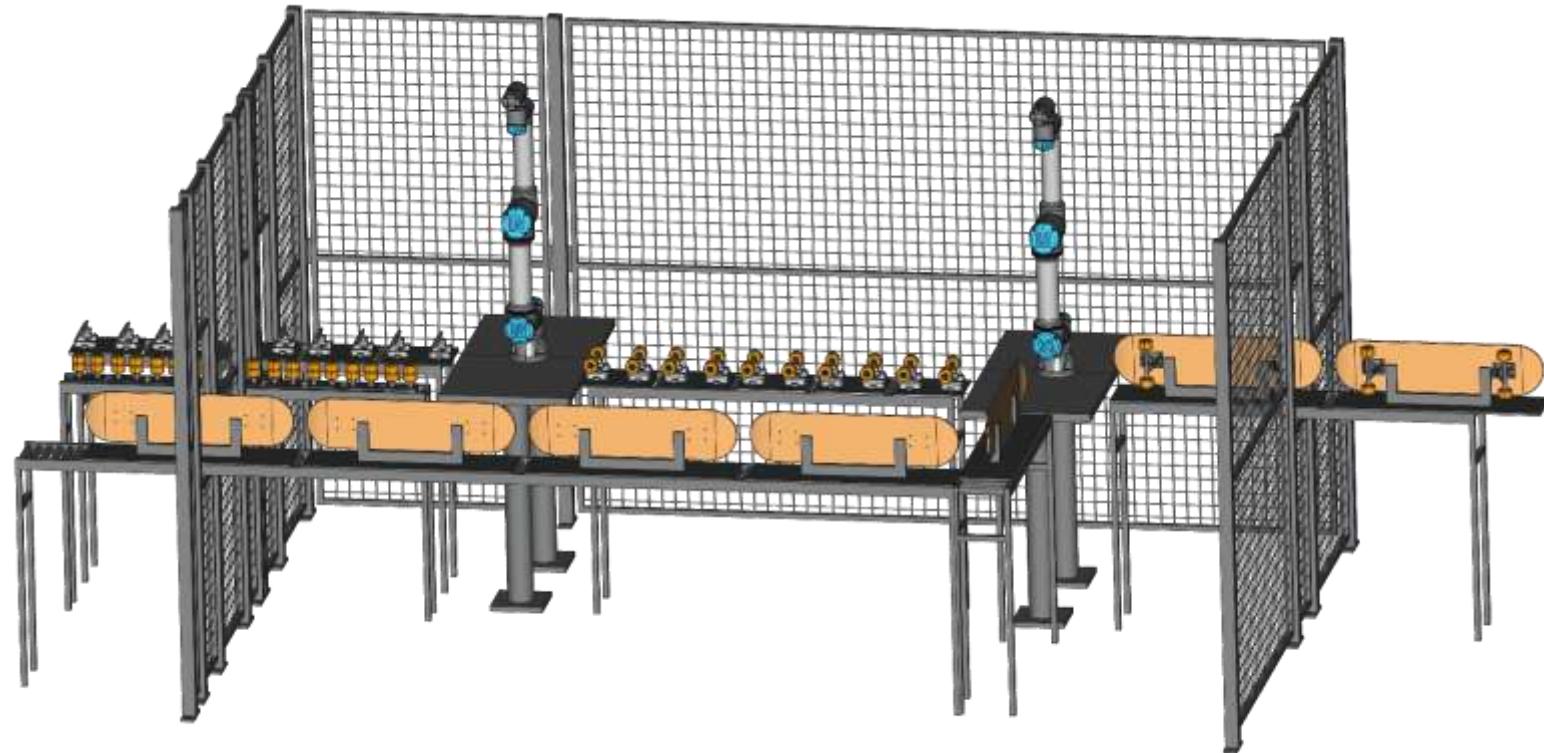


Layout 2D

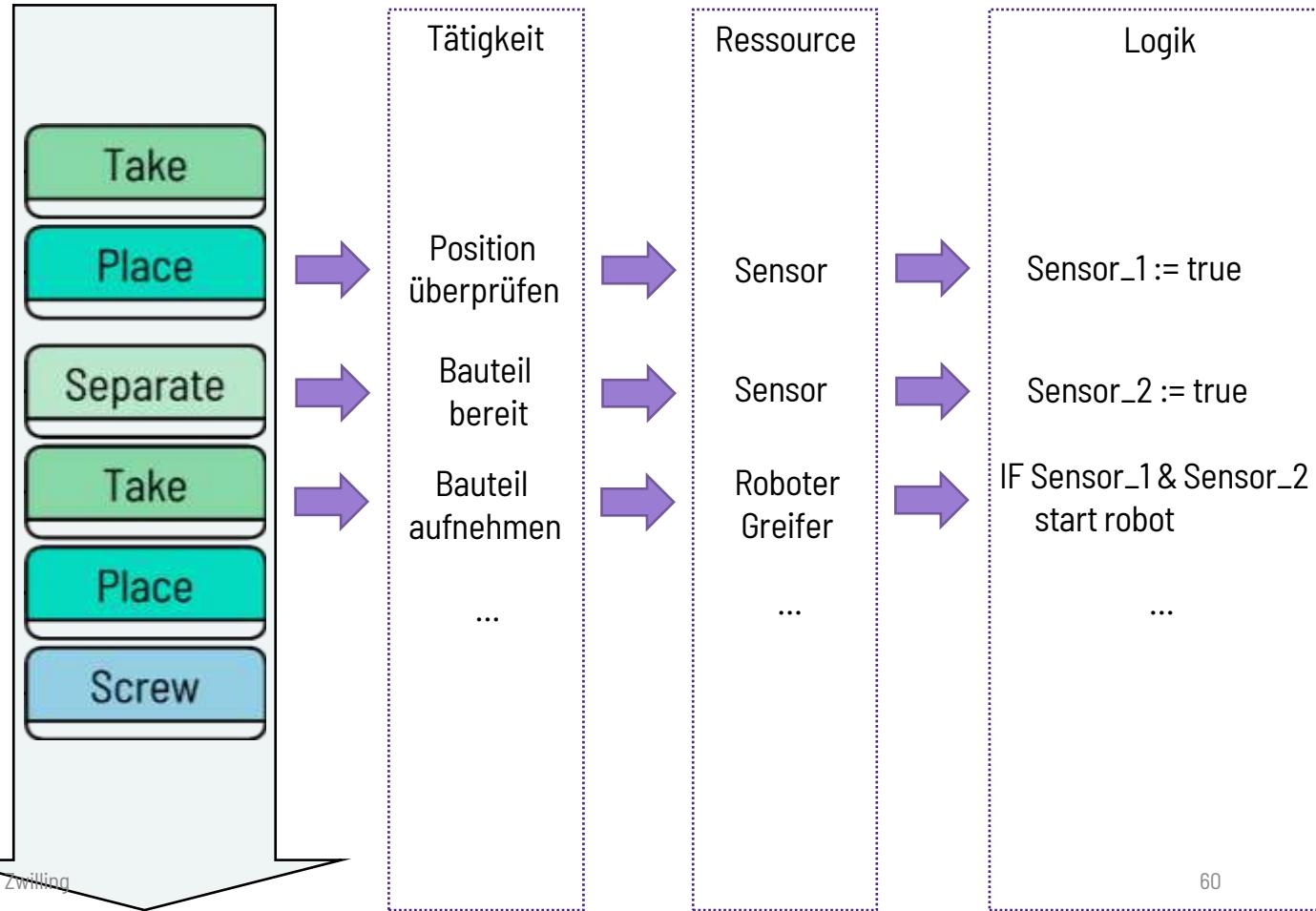
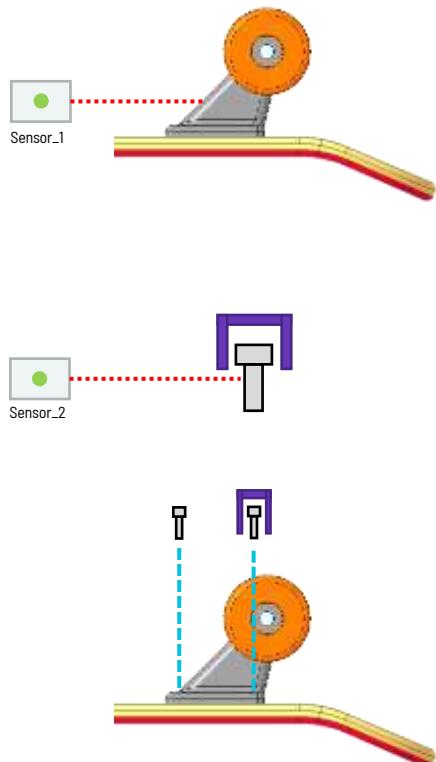


Layout

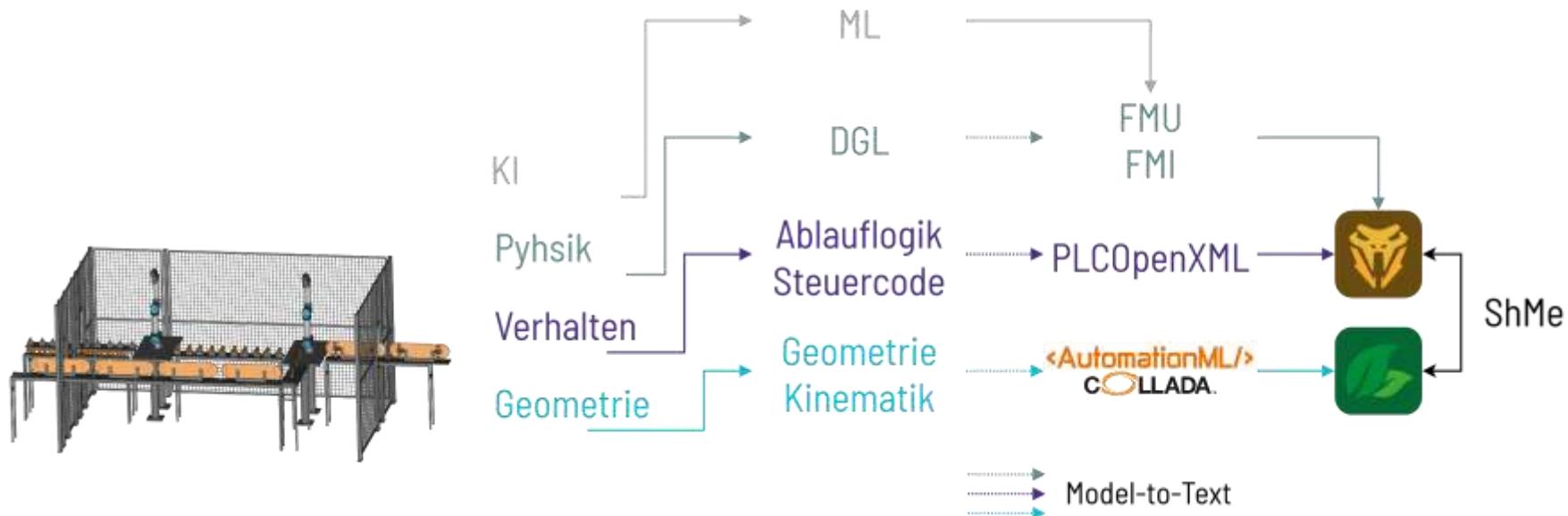
3D



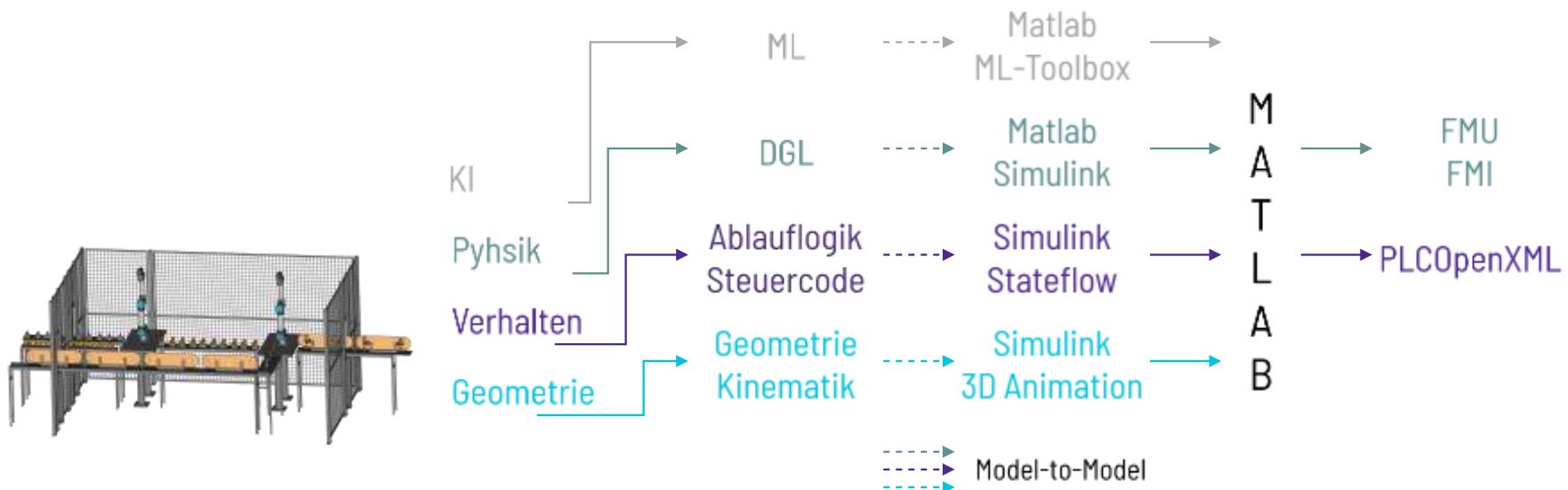
Generierung der Ablauflogik



EKS Architektur: Virtuelle Inbetriebnahme

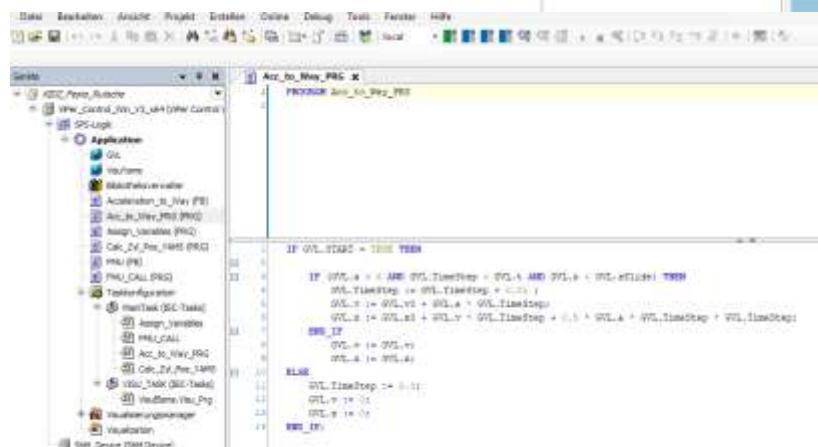


Matlab Architektur: Virtuelle Inbetriebnahme

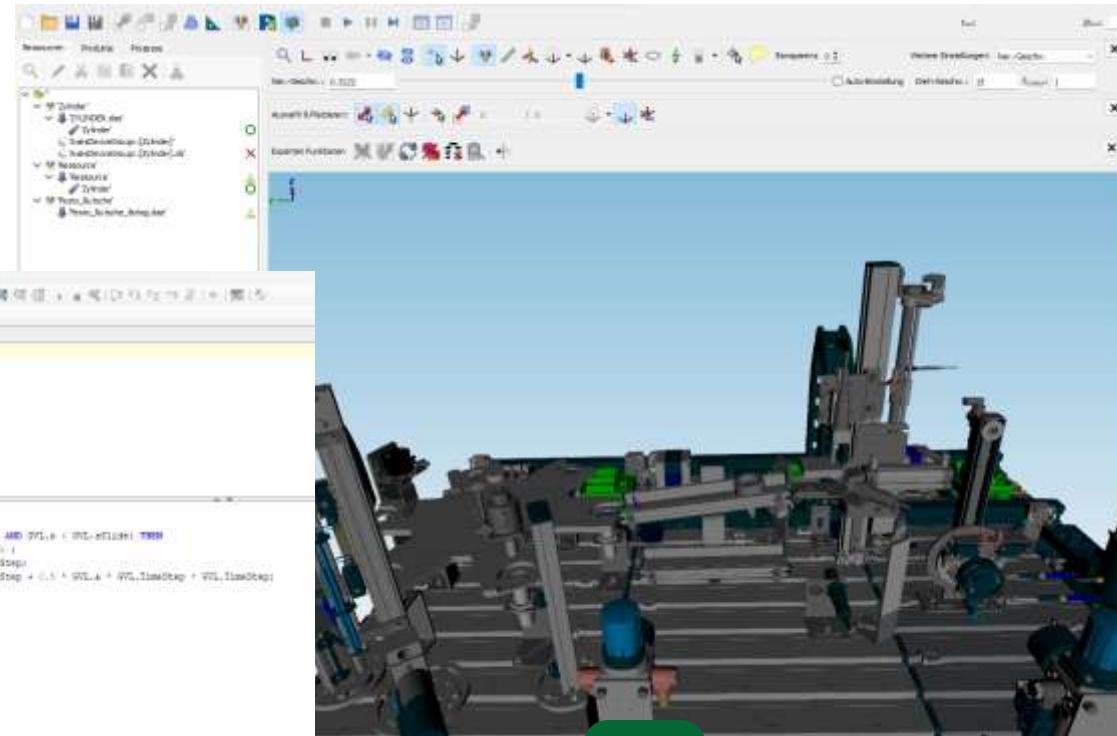


Virtuelle Inbetriebnahme mit RF::Suite von EKS InTec GmbH

Festo-Anlage



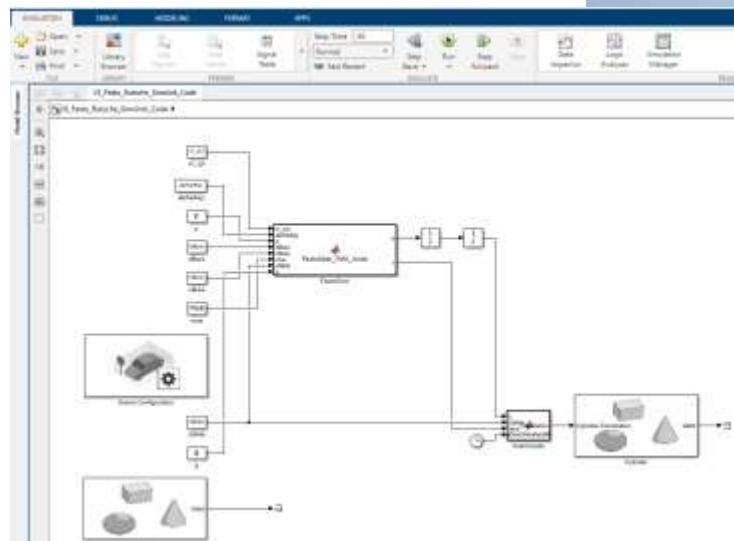
RF::ViPer



RF::YAMS

Virtuelle Inbetriebnahme mit Matlab MathWorks

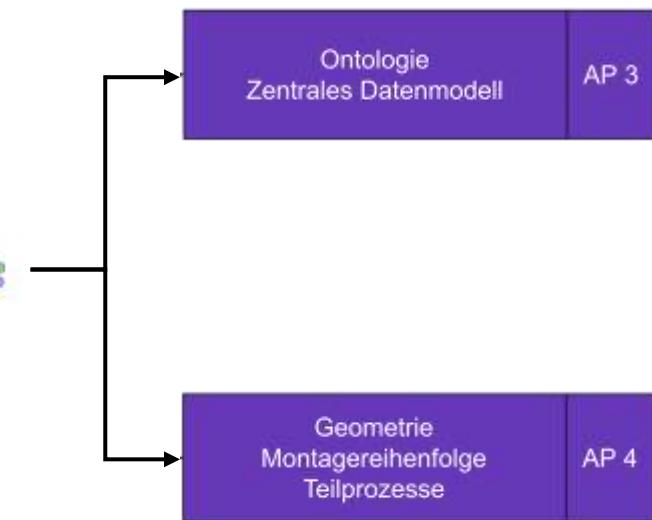
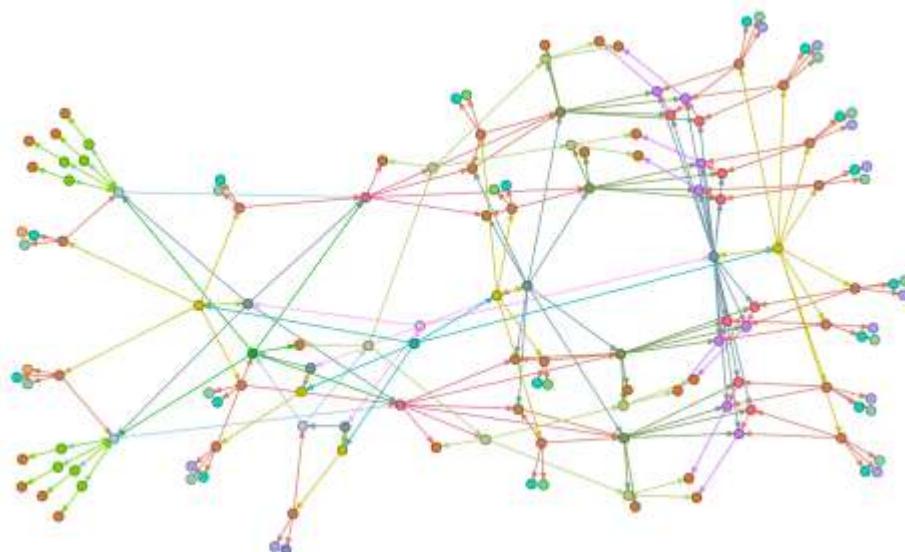
Festo-Anlage



MATLAB®
&SIMULINK®

Ergebnisse

- » Digitaler Zwilling
- » Zentrales Datenmodell





HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

AUTOMATIC GENERATION OF TRAINING DATA FOR CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

NISHANTH NANDAKUMAR M. SC. / PROF. DR. JÖRG EBERHARDT

www.rwu.de/idw
www.rwu.de
info@rwu.de

Automatic Generation of Training Data for CNN

Problem Statement

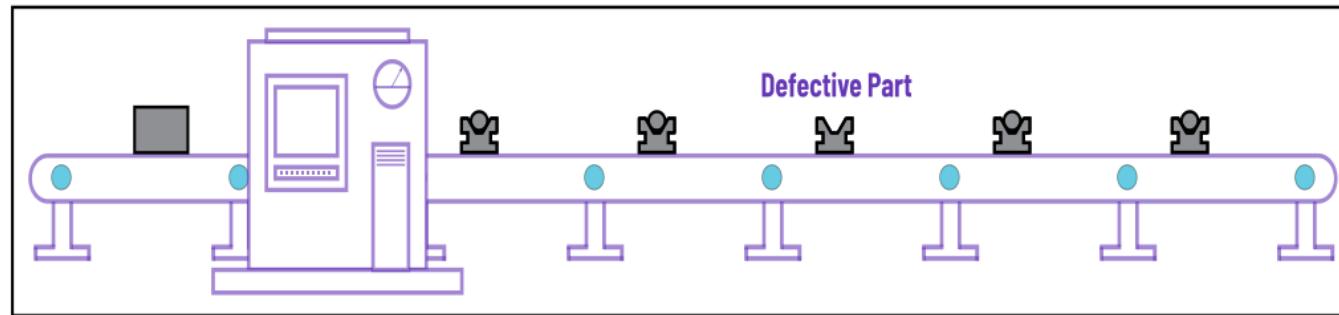


Fig1: Traditional Manufacturing of Parts in Industries

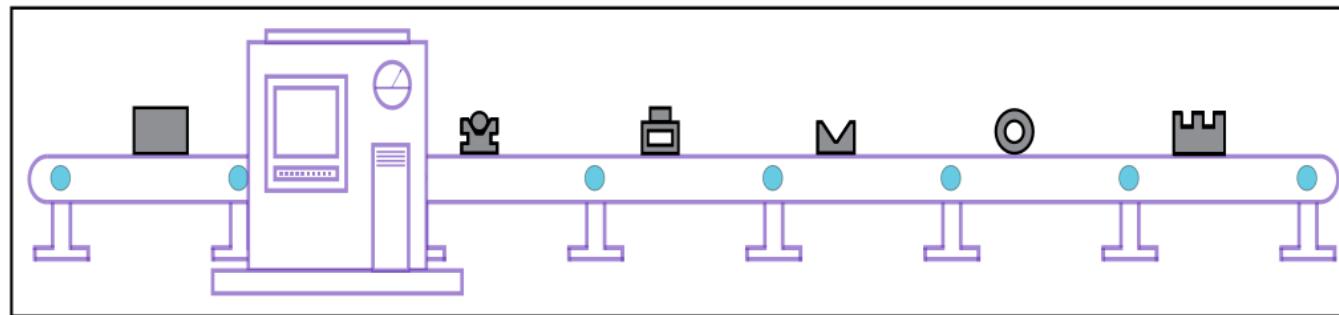
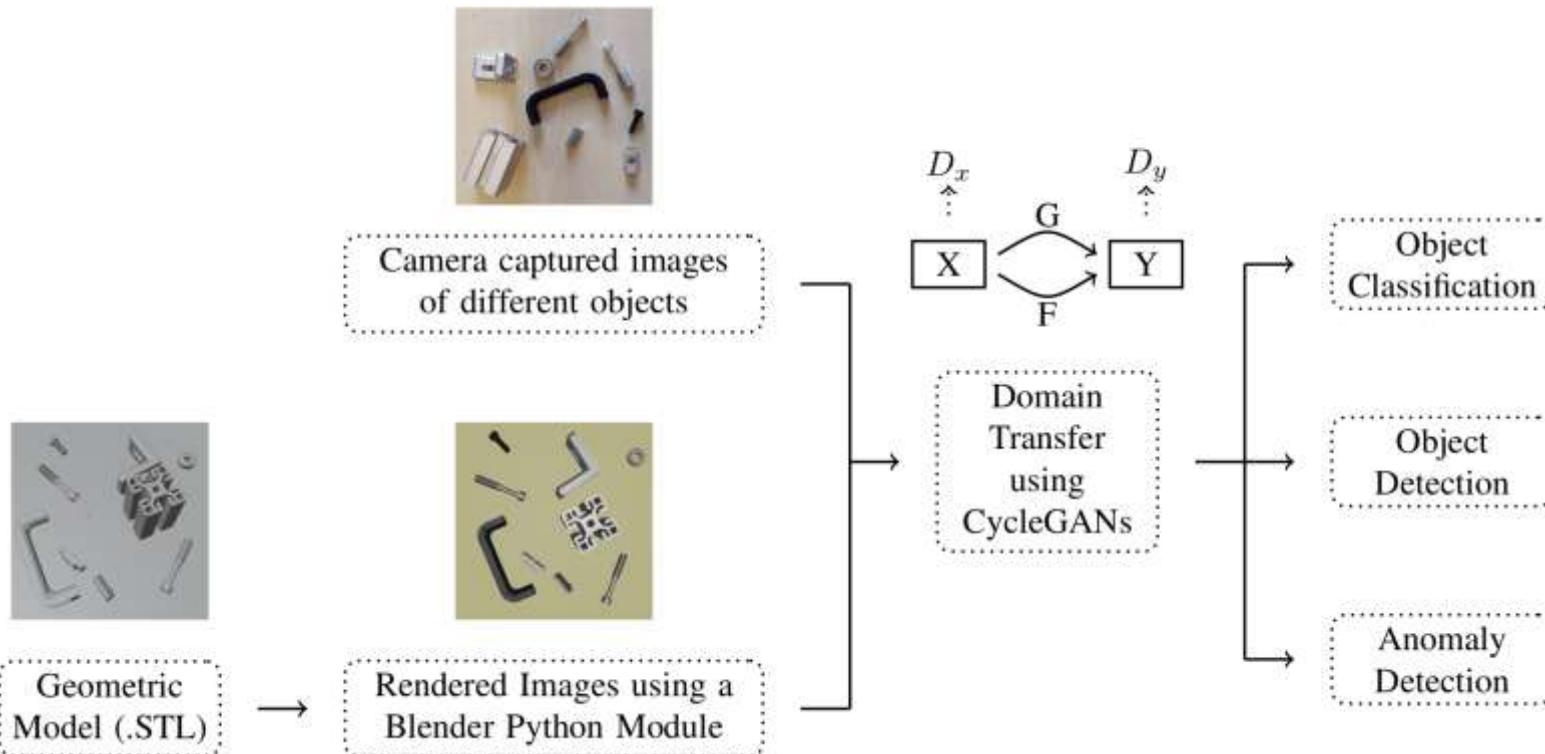


Fig2: Batch-Size-of-One Manufacturing of Parts in Industries

Synthetic Data Generation Pipeline

Generating Synthetic Data for Training



Synthetic Data Generation

Domain Transfer with Similar Objects



Realistic Camera
captured image



Rendered image using
Blender python module



CycleGAN domain
transferred image trained
for 400 epochs

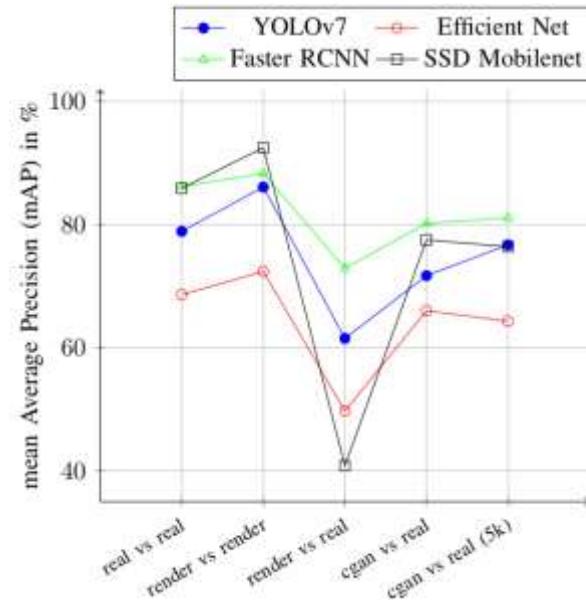


CycleGAN domain
transferred image trained
for 5000 epochs

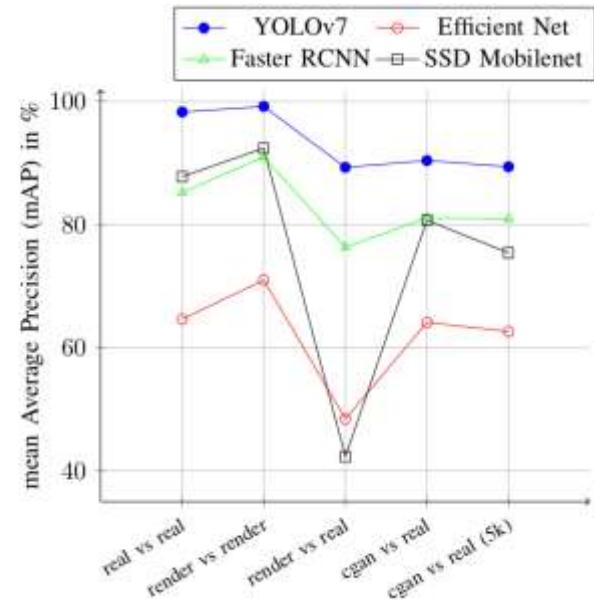
Synthetic Data Generation

Evaluation - Domain Transfer with Similar Objects

- » The generated datasets are evaluated using mean Average Precision.
- » The results vary and are based on,
 - » The model architecture
 - » The domain
 - » Number of training data



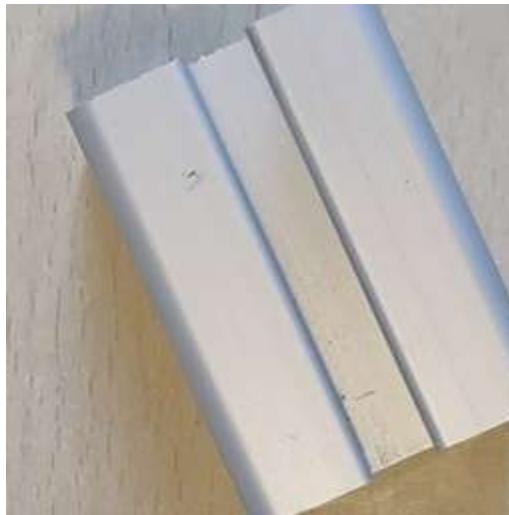
mean Average Precision (mAP) at 0.5-0.95 using 50 training images



mean Average Precision (mAP) at 0.5-0.95 using 400 training images

Synthetic Data Generation

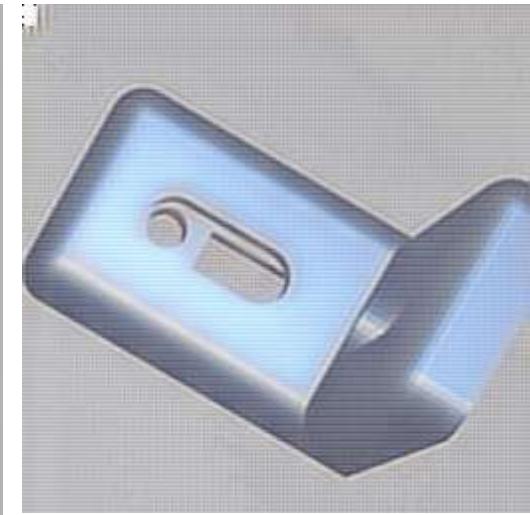
Domain Transfer with Different Objects



Realistic Camera
captured image



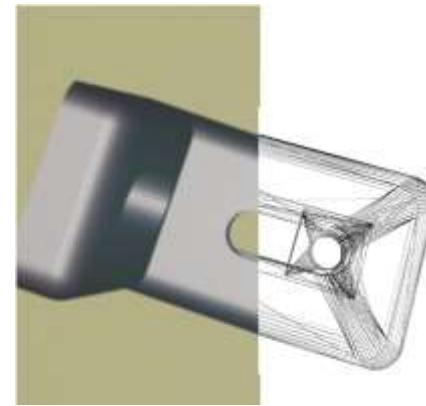
Rendered image using
Blender python module



CycleGAN domain
transferred image

Synthetic Data Generation

Evaluation - Domain Transfer with Different Objects

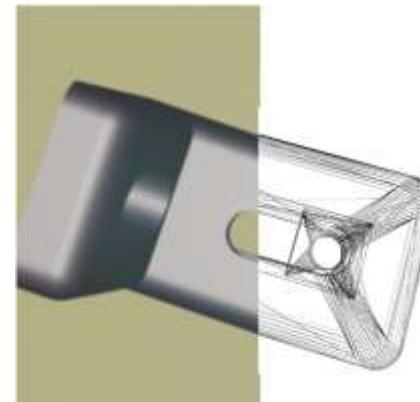


True / Predicted	Real	Rendered
Real	100	0
Rendered	0	100

Confusion Matrix for Classification on Camera captured Images

Synthetic Data Generation

Evaluation - Domain Transfer with Different Objects

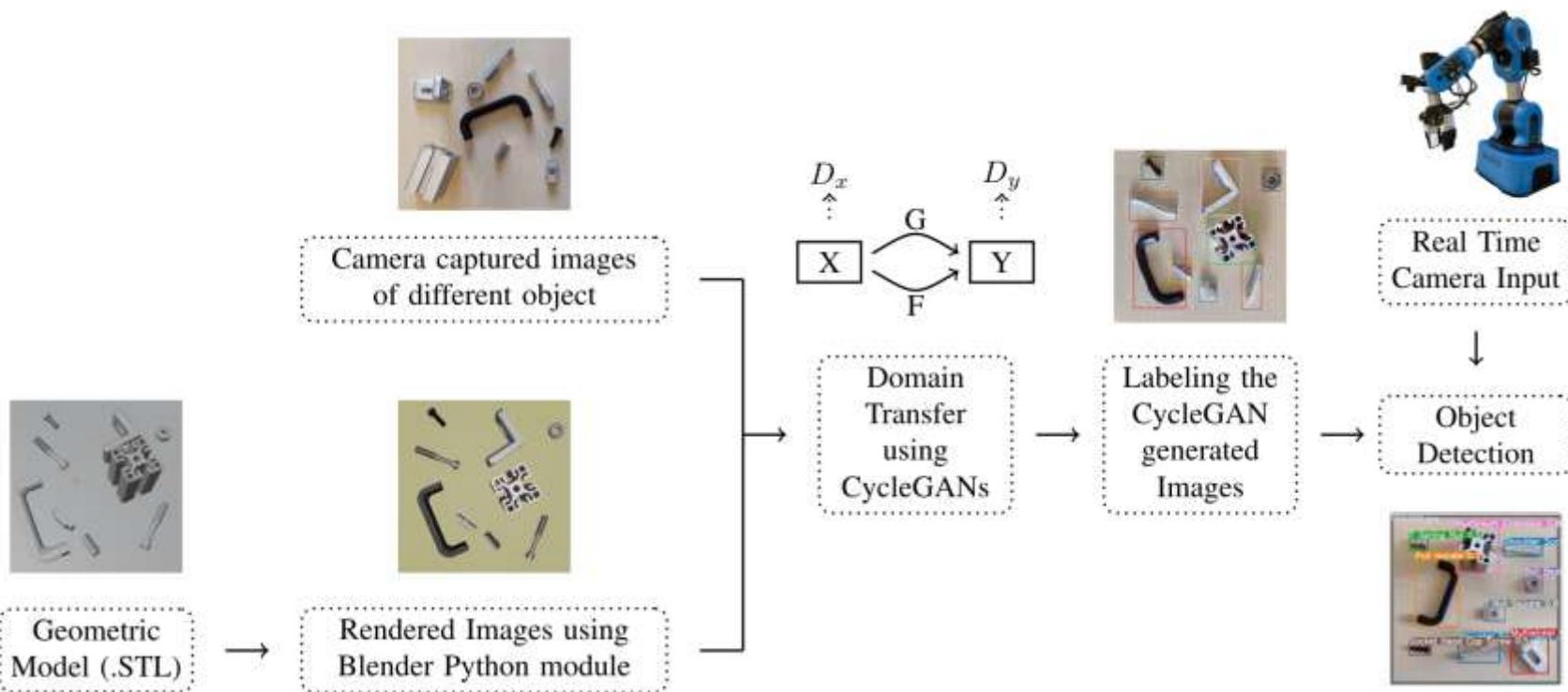


True / Predicted	Real	Rendered
Real	67	33
Rendered	0	100

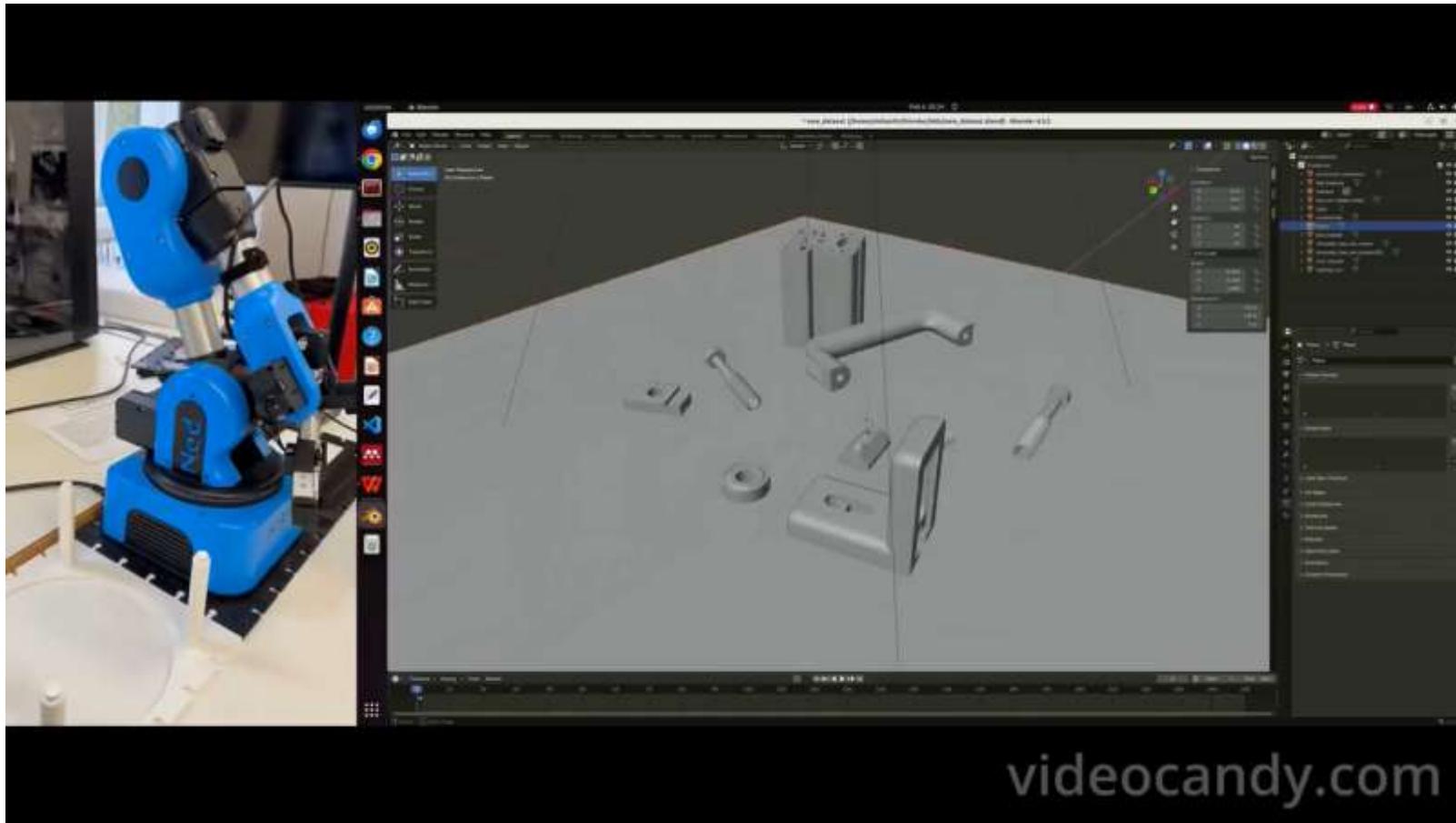
Confusion Matrix for Classification on CycleGAN Generated Images

Niryo Robot - Object Detection Pipeline

Architecture

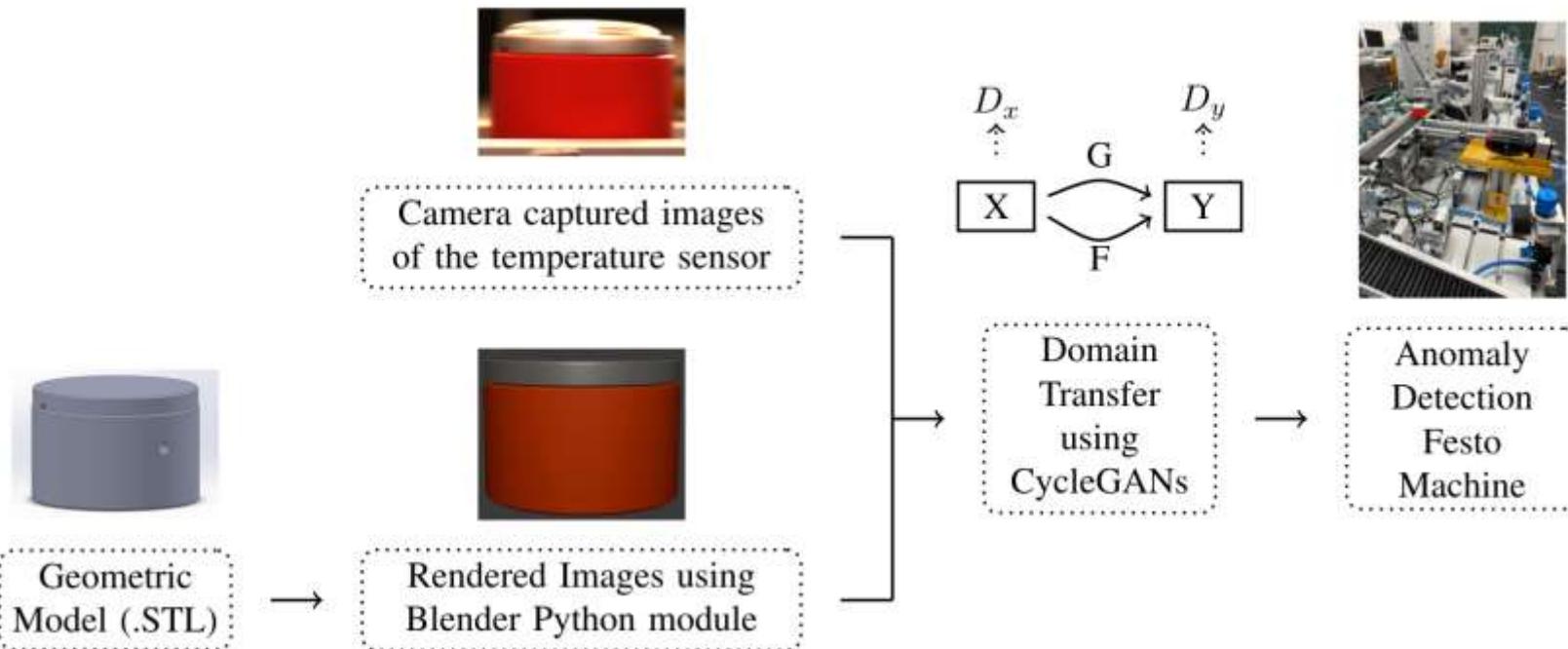


Niryo Robot - Object Detection Pipeline

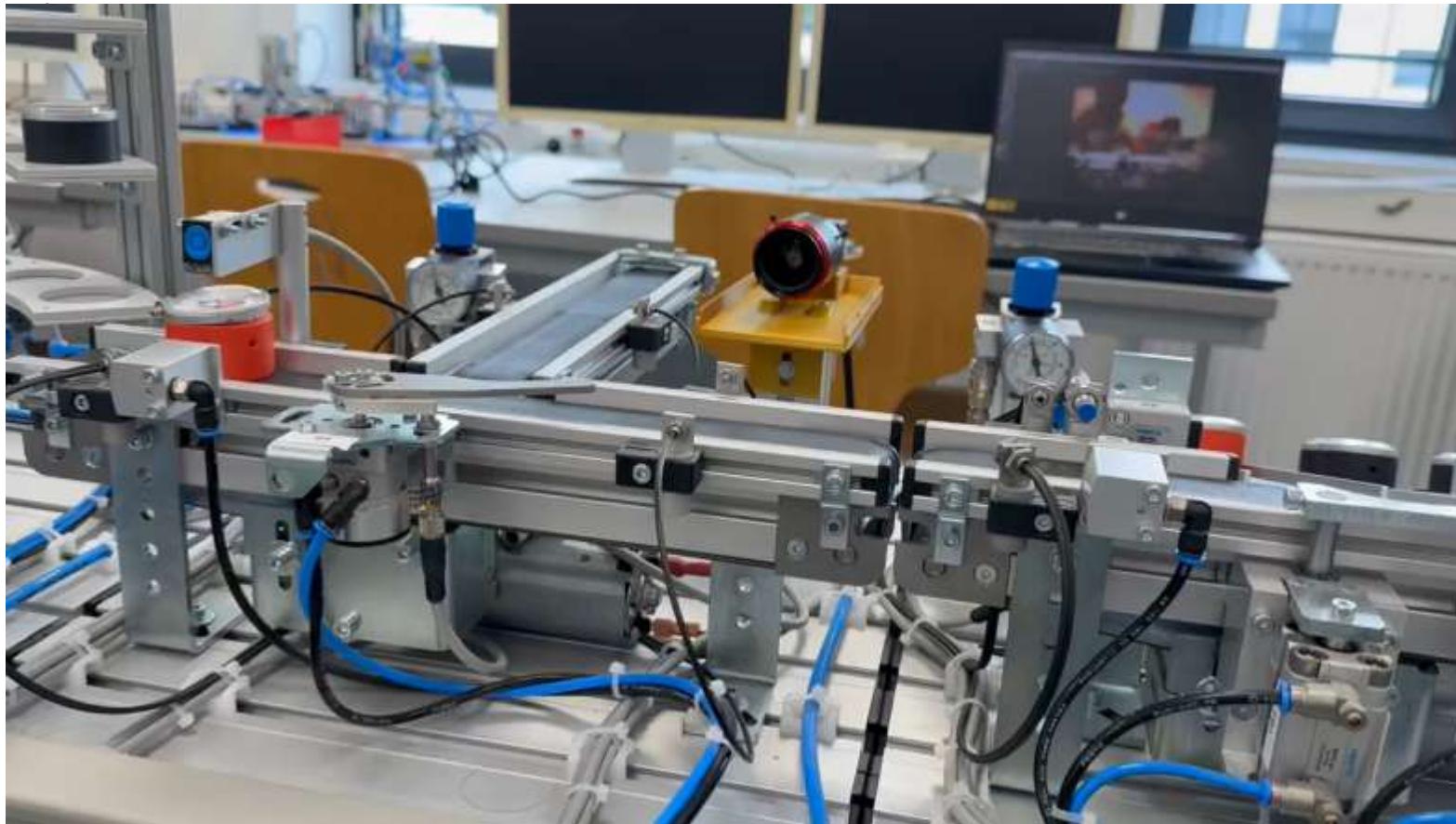


Festo Machine - Anomaly Detection Pipeline

Architecture



Festo Machine - Anomaly Detection Pipeline



Synthetic Data Generation

Limitations of the pipeline



Pull Handle disappearing geometry and missing Bolt



Pull Handle geometry change and disappearing Bolts

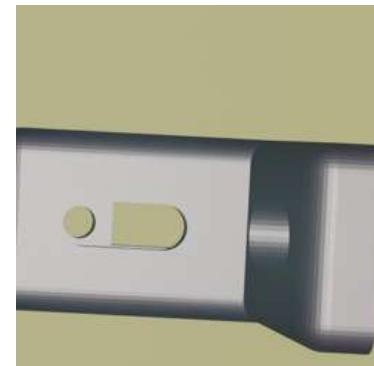


Synthetic Data Generation

Limitations of the pipeline



Background not good and hallucinations in terms of holes



Some hallucinations of light bubbles on the surface





HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

RAG-BASIERTER KI-AGENT ZUR NATÜRLICHSPRACHLICHEN ERKLÄRUNG VON KI- MODELLEN

ALEXANDER LOHR M.SC. / PROF. DR. WOLFRAM HÖPKEN

www.rwu.de/idw
www.rwu.de
info@rwu.de

RAG-basierter KI-Agent & Knowledge Graph

Zielsetzung

Problemstellung

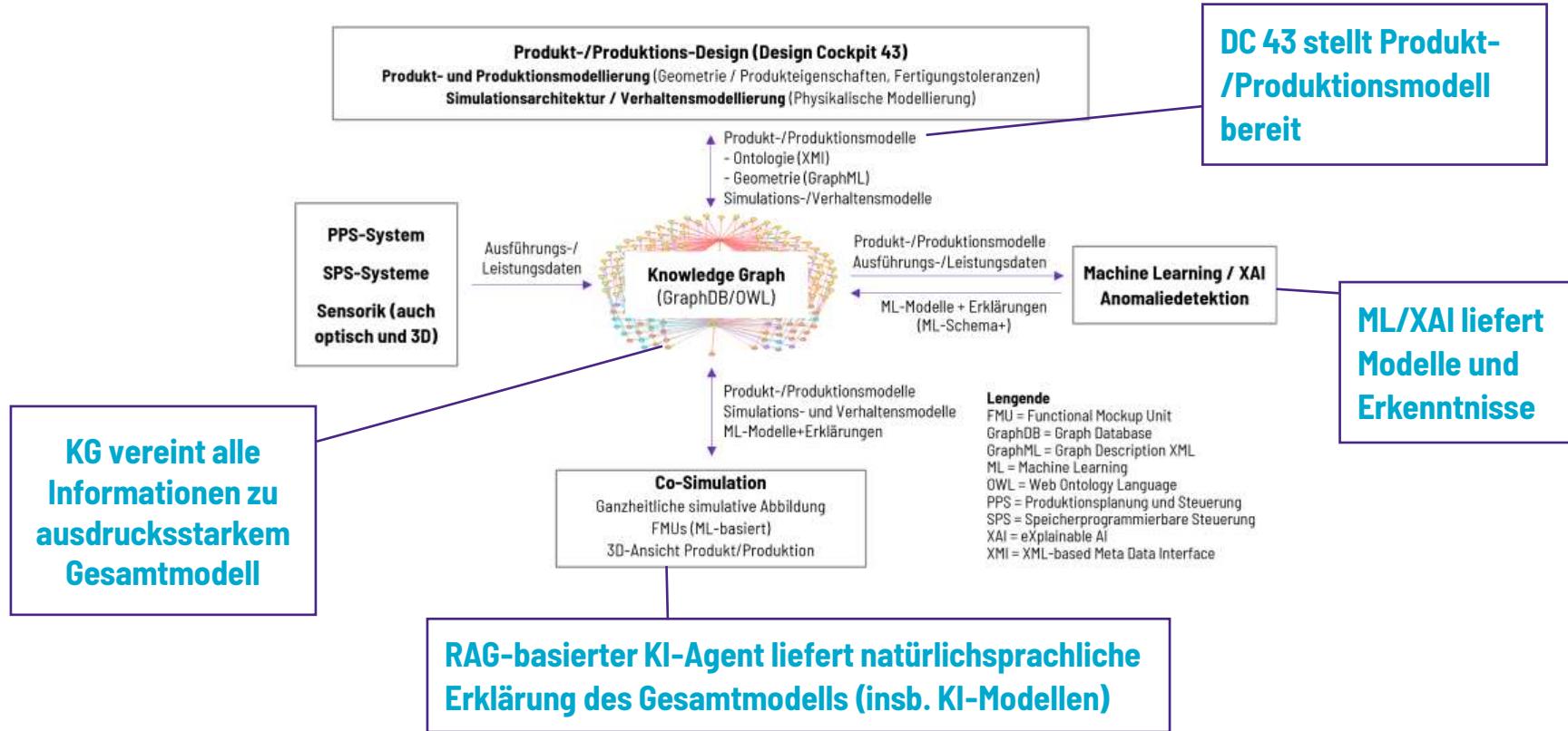
- » Eingeschränkte **Verständlichkeit** der ML-Modelle verhindert **Akzeptanz** insb. in kritischen Einsatzgebieten wie der Produktion
- » **Komplizierte Nutzerschnittstellen** digitaler Zwillinge oder Simulationssysteme erschweren den Zugang für breitere Nutzerschichten

Zielsetzung - Automatische natürlichsprachliche Erklärung der ML/XAI-Modelle

- » Rückführung der **ML/XAI-Modelle** und Erkenntnisse in den **Knowledge Graph**
- » **Extraktion** relevanter Informationen aus dem **Knowledge Graph** als Input für die Generierung von Beschreibungen und Erklärungen des Domänenmodells und der ML/XAI-Modelle
- » **Generierung natürlichsprachlicher Erklärungen** bzw. Beantwortung natürlichsprachlicher Fragen in Form eines Dialogsystems (**Chatbot**)

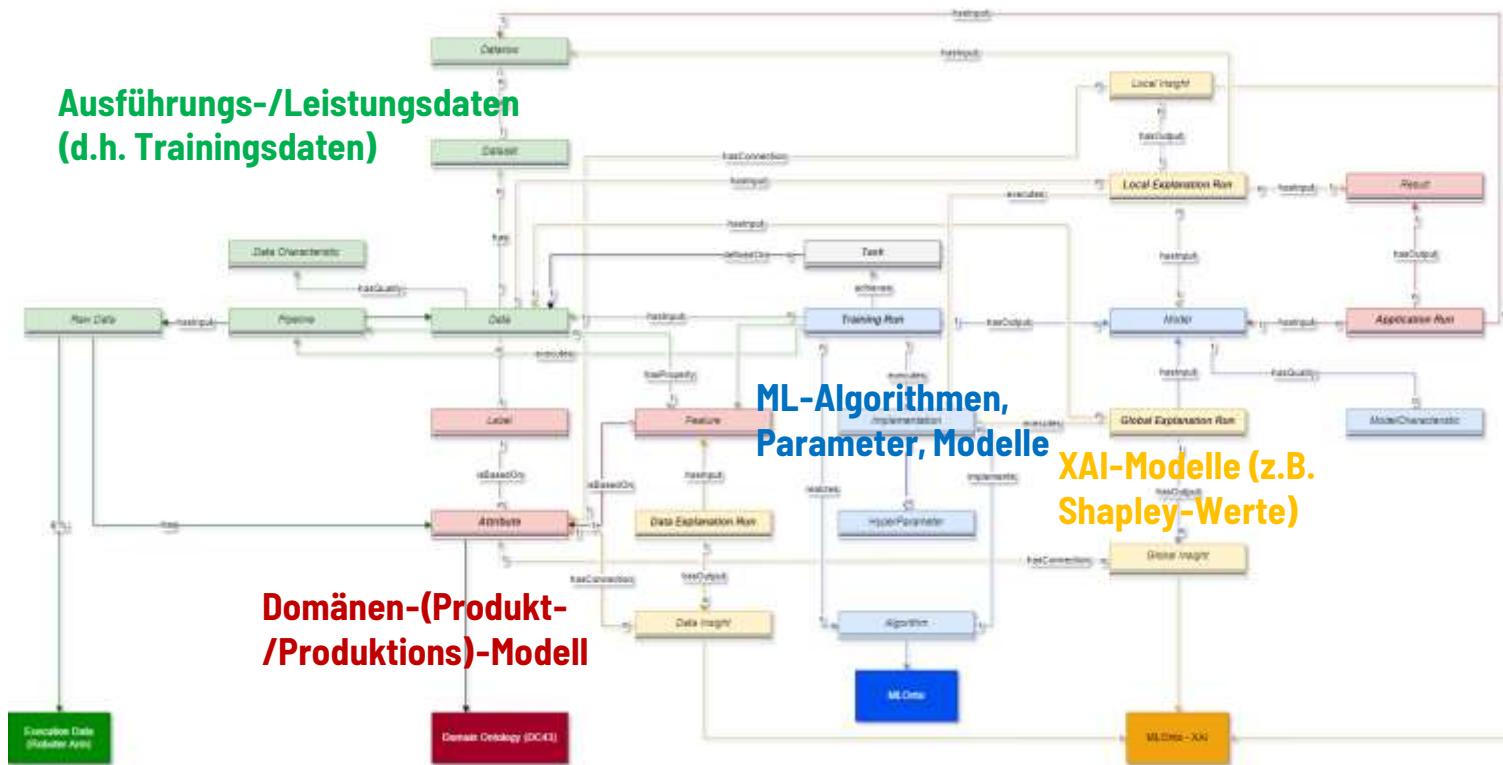
RAG-basierter KI-Agent & Knowledge Graph

Grundlegender Ansatz



Knowledge Graph

Anreicherung Knowledge Graph mit ML/XAI-Erkenntnissen



Natürlichsprachliche Erklärung gewonnener Erkenntnisse

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

The screenshot shows a 'Cylinder Processing Monitor' interface. On the left, a 'Cylinder State Transitions (Last 10)' chart tracks the status of cylinders over time. In the center, a 'Simulation Log' table lists entries for cylinders 2, 3, 4, and 5, with cylinder 3 showing a 'Failure' status. A prominent 'Simulation Failure Analysis' dialog box is open, detailing the failure of 'Cylinder-3 simulation complete. Result: Failure.' It provides 'Input Parameters' (pressure: 4, angle: 0.1296263481559482, weight: 46.3, surface: 0.5, material: 'Aluminum') and an 'AI Assistant Explanation' with the following points:

1. The main purpose of the 'cylinder_egboost_01' model is to evaluate whether a cylinder design will function successfully under specified conditions.
2. The most likely reason for the failure is that the 'surface' parameter value (0.5) had the largest negative impact on the result, suggesting that the surface area is too small for the given conditions, leading to instability or failure.
3. To achieve a 'successful' result, consider increasing the 'surface' parameter to provide more stability and ensure the material choice is appropriate for the design (e.g., avoid materials like Plastic if Aluminum is more suitable). Additionally, review the weight and pressure to ensure they align with the design's physical limits.

[Continue Conversation in Explain LLM](#)

XAI mittels Large Language Model und KG

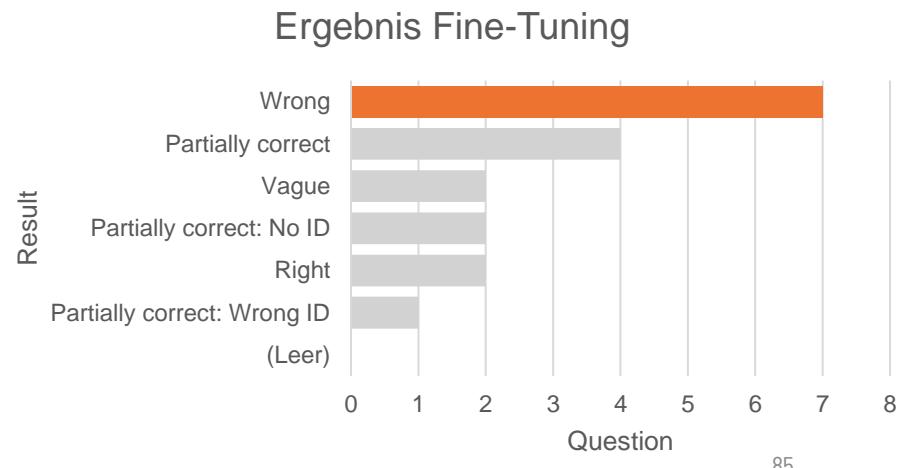
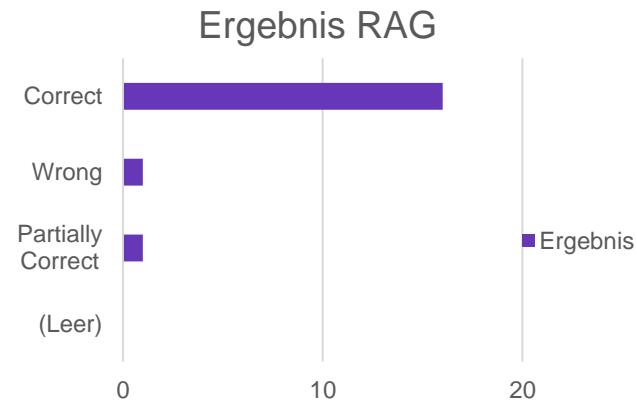
Vergleich RAG und Fine-Tuning

RAG (Retrieval Augmented Generation)

- » Extraktion relevanter Informationen und Bereitstellung im Prompt
- » Geeignet zur Abfrage konkreter oder aktueller Informationen

Fine-Tuning

- » Geeignet generelles Wissen dem LLM beizubringen
- » Gewichte des LLM werden auf konkrete Aufgabenstellung/Domäne angepasst



Natürlichsprachliche Erklärung gewonnener Erkenntnisse

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

- » **Ein Nutzer stellt eine Anfrage:**



- » „How does other models perform on the task of model a23b?“

- » **Mithilfe eines KI-Agenten wird das notwendige Wissen (die gewonnenen Erkenntnisse) dem LLM (Z.B. ChatGPT) zur Verfügung gestellt.**



- » **Das LLM nutzt die Informationen und generiert eine Antwort**

- » “The quality that is typically or optimally achieved for the "ScrewPlacement" task by models using a DecisionTree algorithm is an accuracy of around 0.9 to 0.95768, with Model a23b achieving the highest accuracy of 0.95768”

Natürlichsprachliche Erklärung gewonnener Erkenntnisse

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

- » Ein Nutzer stellt eine Anfrage:



- » „How does other models perform on the task of model a23b?“

- » Mithilfe eines KI-Agenten wird das notwendige Wissen (die gewonnenen Erkenntnisse) dem LLM (Z.B. ChatGPT) zur Verfügung gestellt.



- » **Jetzt stellt sich aber die Frage: Wie wird dieses Wissen dem LLM zur Verfügung gestellt?**

- » Das LLM nutzt die Informationen und generiert eine Antwort



- » “The quality that is typically or optimally achieved for the "ScrewPlacement" task by models using a DecisionTree algorithm is an accuracy of around 0.9 to 0.95768, with Model a23b achieving the highest accuracy of 0.95768”

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

Grundlegender Ansatz

LLM extrahiert selbstständig relevante Information aus Knowledge Graph

- » LLM wird darauf **trainiert**, auf **Knowledge Graph** zugreifen und Informationen **abzufragen**
- » LLM beschafft sich **selbstständig** notwendige Informationen aus Knowledge Graph
- » LLM **generiert** entsprechende **Abfrage** an Knowledge Graph, **Retriever** führt diese aus, übergibt LLM Informationen und fordert es auf, falls notwendig **weitere** notwendige Informationen abzufragen
- » Dieser Prozess wird **iterativ** fortgeführt bis das **LLM der Meinung ist**, alle Informationen zur Beantwortung der Frage vorliegen zu haben
- » **LLM beantwortet** dann die gestellte Frage

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

Selbständige Informationsbeschaffung

Prompt mit Anweisung zur Beschaffung relevanter Informationen aus Knowledge Graph

» **Retriever:** You are given a starting node, which is part of an ontology. Your job is to **traverse the ontology** to gather enough information to answer given questions. Every node is connected to other nodes. You can find the connections under "\Connections\" in the form of "\Connections": <name of the edge> <name of the connected node>. For example \Connections: trainedWith data_1. **You can request new nodes.** To do so write [name of the requested node], for example [data_1]. You can ask for more than one instance this way. For example [data_1, data_2]. As long as you search for new information, only use this syntax, don't explain yourself. Use the exact name of the instance and don't use the edge. Your job is to gather enough information to answer given questions. To do so, traverse through the ontology. **If you think you have enough information, write "BREAK".** Use this class level ontology to orientate yourself [...]: 'How does other models perform on the task of model a23b?'

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

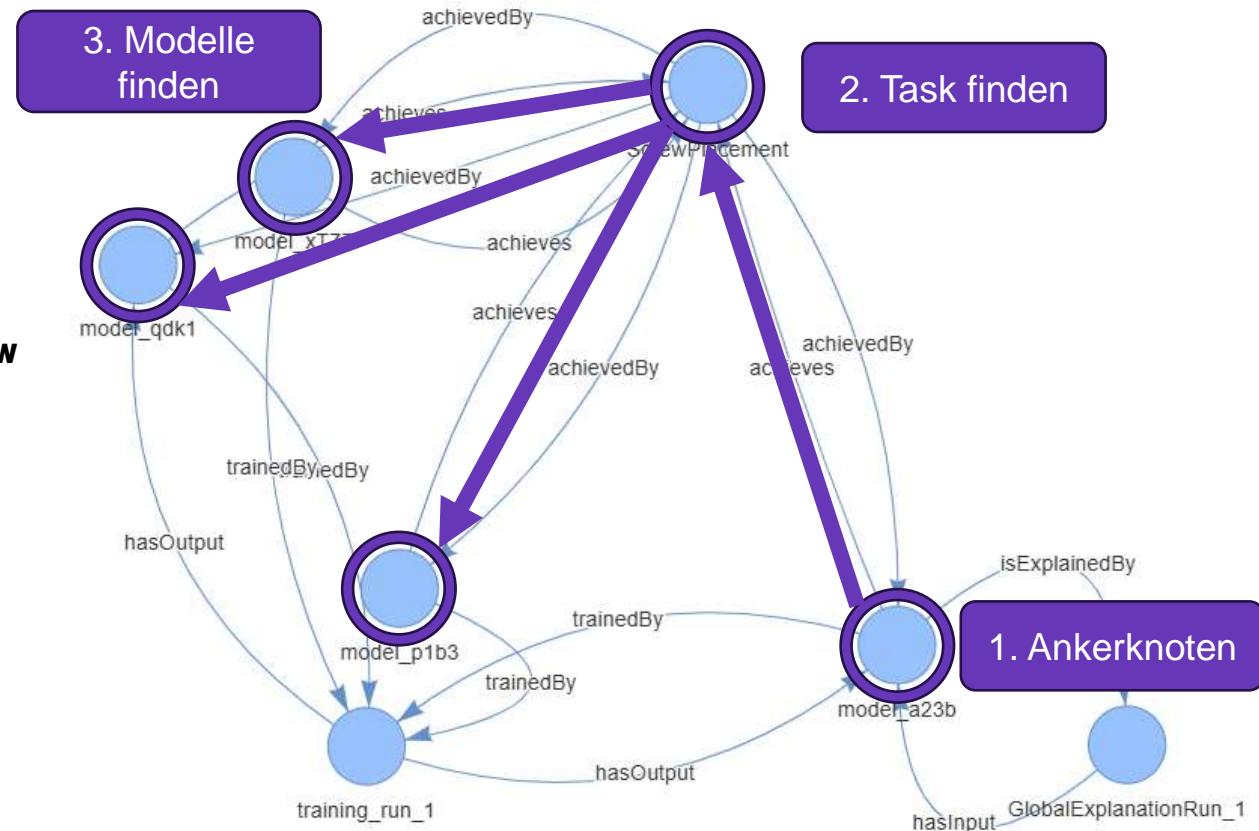
Selbständige Informationsbeschaffung

- » **ChatGPT:** [niryo_dataset_september_2024, training_run_1, ScrewPlacement, GlobalExplanationRun_1]
- » **Retriever:** This is the result to your query: [...{'Node': 'ScrewPlacement', 'Explanation': '...', 'Connections': 'achievedBy model_a23b, achievedBy model_xT77, achievedBy model_p1b3, achievedBy model_qdk1', 'Annotations': ['usecase', 'This Task is part of a non-critical research experiment to demonstrate the capabilities of a training robot.']}],....]. **If you need more information, use another query, otherwise write BREAK.**"]
- » **ChatGPT :** [model_qdk1, model_xT77, model_p1b3]
- » **Retriever:** This is the result to your query: [{ 'Node': 'model_qdk1', 'Connections': 'trainedWith niryo_dataset_september_2024, achieves ScrewPlacement', 'Annotations': [('algorithm', 'Decision Tree'), ('accuracy', 0.92)] }, { 'Node': 'model_xT77', 'Connections': 'trainedWith niryo_dataset_september_2024, achieves ScrewPlacement', 'Annotations': [('algorithm', 'Neural Net'), ('accuracy', 0.91)], ... }], If you need more information, use another query, otherwise write BREAK
- » **ChatGPT :** BREAK

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

How does other models perform on the task of model a23b?

- » **Anker finden**
 - » Model a23b
- » **Welchen Task erfüllt Model a23b?**
 - » Screw Placement
- » **Welche Modelle erfüllen Screw Placement?**
 - » **Model xT77**
 - » **Model qdk1**
 - » **Model p1b3**
 - » **Model a23b**



Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

Antwort generieren

- » Die beschafften Informationen werden genutzt, um eine Antwort zu generieren
- » Die beschafften Informationen werden pro Session abgelegt und müssen nicht erneut beschafft werden
- » Ebenfalls wird die Gesprächshistorie serverseitig abgelegt, um ein kontinuierliches Gespräch mit Nachfragen zu ermöglichen

How does other models perform on the task of model a23b?

Based on the ontology information provided, the task of "ScrewPlacement" is achieved by multiple models, including **model_a23b**, **model_xt77**, **model_p1b3**, and **model_qdk1**. Here's a comparison of their performance:

Model Performance Overview

1. **model_a23b**:

- **Algorithm**: DecisionTreeClassifier
- **Accuracy**: 0.934 (highest among all models)
- **Precision**: Class 0: 0.95, Class 1: 0.96
- **Recall**: Class 0: 0.94, Class 1: 0.97
- **F1 Score**: Class 0: 0.95, Class 1: 0.96
- **Gini Index**: 0.042

Type your message here... Send

Large Language Model (LLM) basierter KI-Agent (Chatbot)

☰ Natural Language Explainer

Which Model achieves the Screw Placement Task?

The model that achieves the **Screw Placement Task** is identified as `robotarm_model_xgb_001`

Key Details:

- **Task Achieved:** Screw Placement
- **Algorithm Used:** XGBClassifier
- **Dataset Used:** 'niryo_robot_screws'
- **Processed Attributes:**

- 'Gripper_Magnet'
- 'Head_Cylinder'
- 'Head_Hexagon'
- 'Wide'
- 'Length'

Performance Metrics:

- **Accuracy:** 0.875

Precision:

- Class 0: 0.8667
- Class 1: 1.0

Recall:

- Class 0: 1.0
- Class 1: 0.8333

F1 Score:

- Class 0: 0.8
- Class 1: 0.9091

ROC AUC Score:

- 0.9074

Confusion Matrix:

- [[6, 0], [3, 15]]

- **Training Information:** Trained using sklearn in Python with split validation.

This model is specifically designed and trained to perform the Screw Placement Task effectively.

Type your message here

Send

Showcases

FESTO-Produktionsanlage



Robotarm – Pick & Place



Mehrkörper-Kinematik

