



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](http://www.rwu.de/idw)  
[www.rwu.de](http://www.rwu.de)  
[info@rwu.de](mailto: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



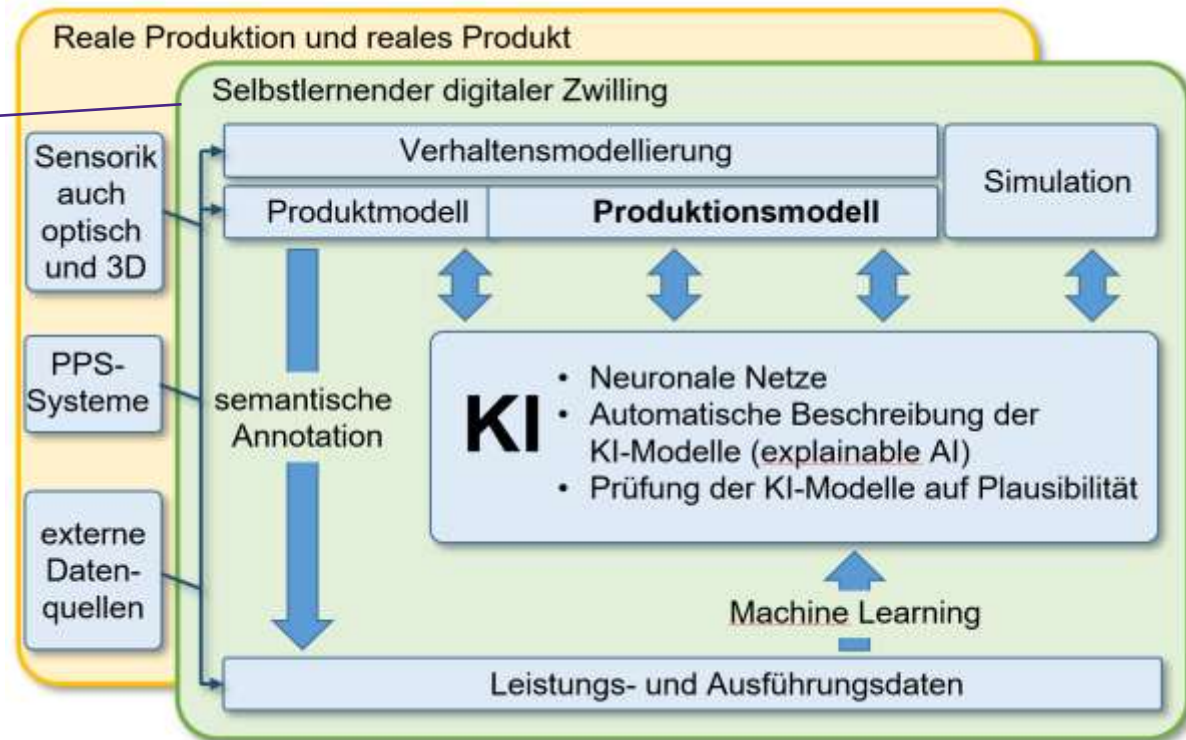
# Zielsetzung

## 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



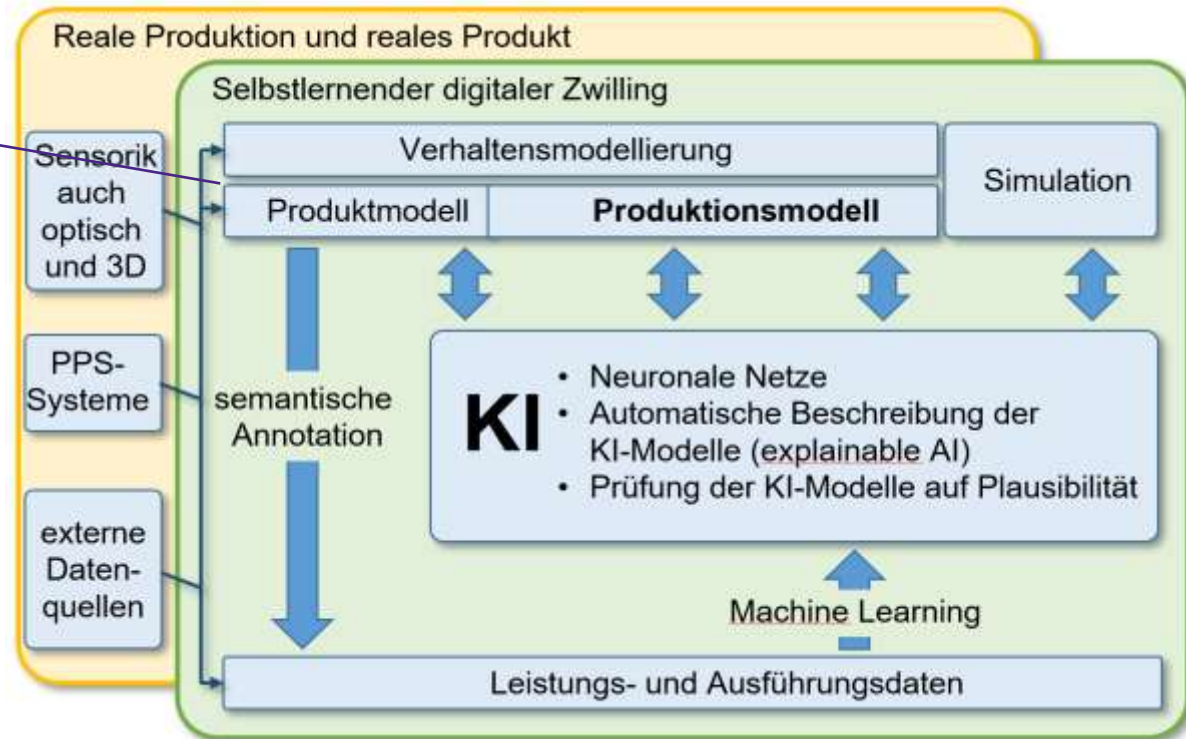


# Zielsetzung

## 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**)



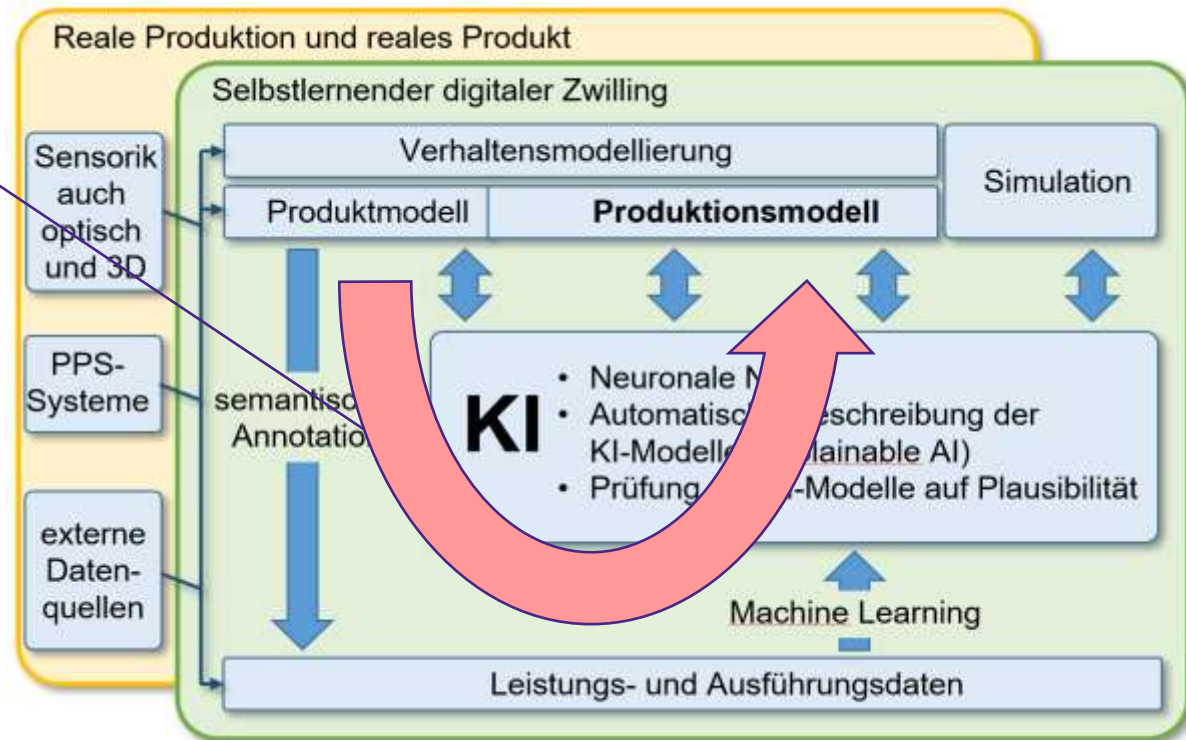


# Zielsetzung

## KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

### Anreicherung des Gesamtmodells um Erkenntnisse der KI

Mittels Methoden der KI gewonnene Erkenntnisse werden wiederum in Gesamtmodell integriert und in Gesamtzusammenhang gebracht



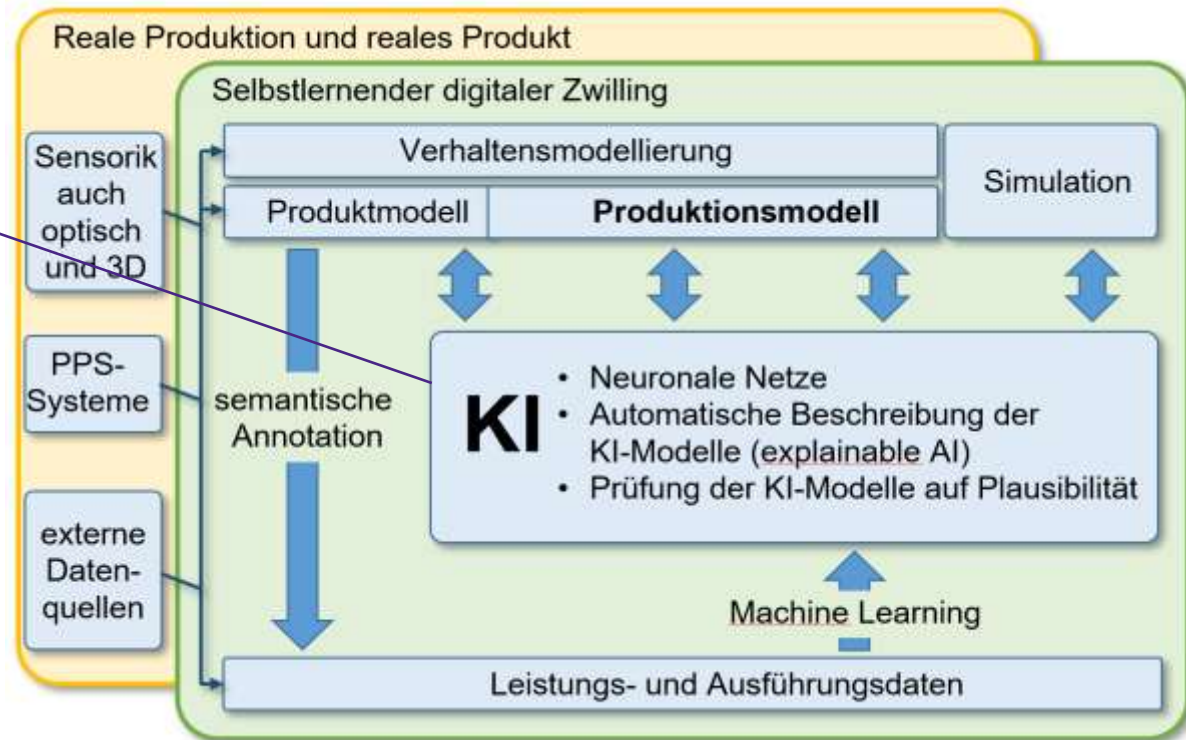


# Zielsetzung

## KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

### Selbsterklärende KI

Gesamtmodell verbessert die Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit der KI-Modelle (neuartige Ansätze der **XAI** und **generativer KI**)

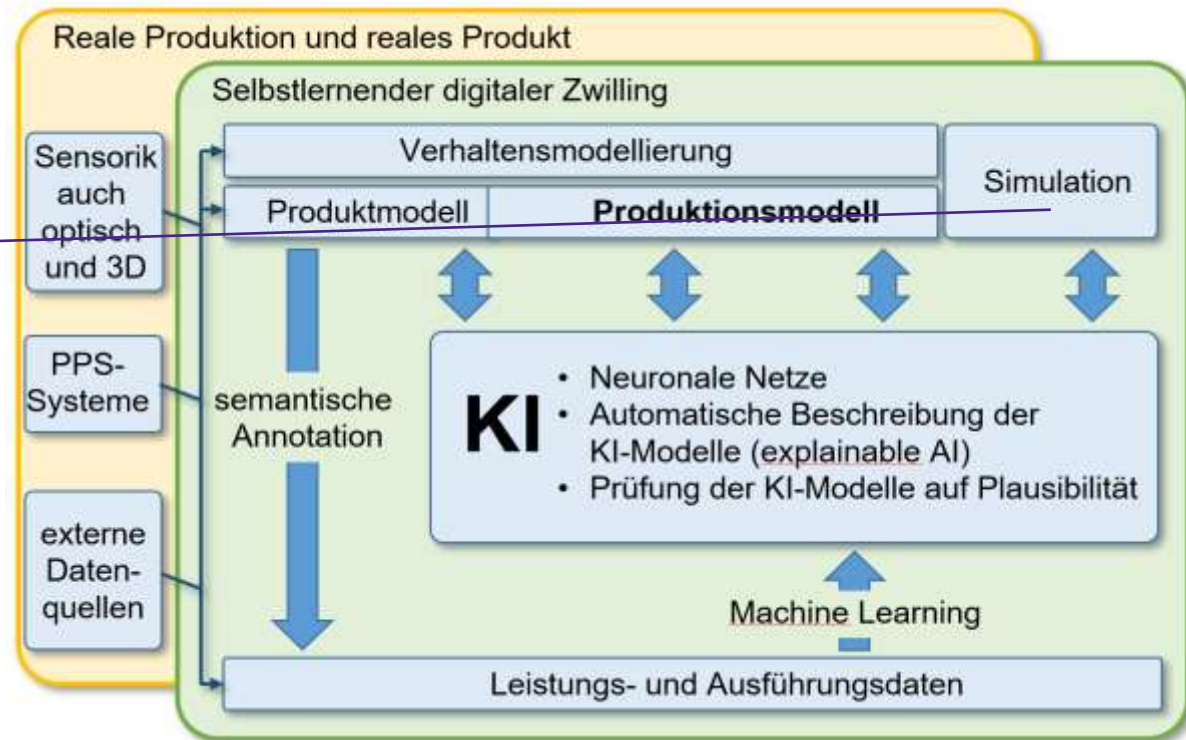




# Zielsetzung

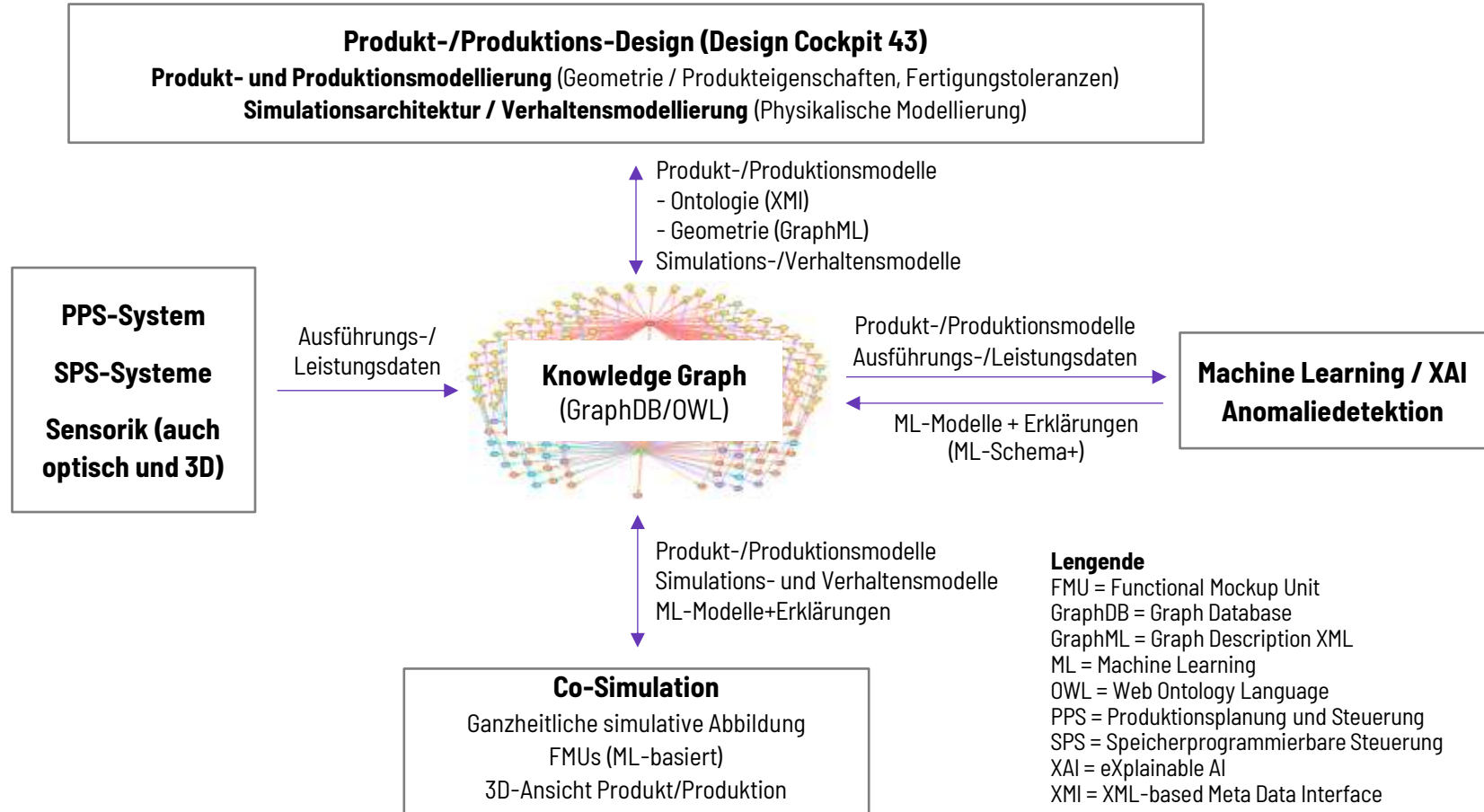
## KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

Gesamtmodell ermöglicht **Vorhersage** und **Simulation** des Systemverhaltens (z.B. für die virtuelle Inbetriebnahme oder Systemoptimierung)





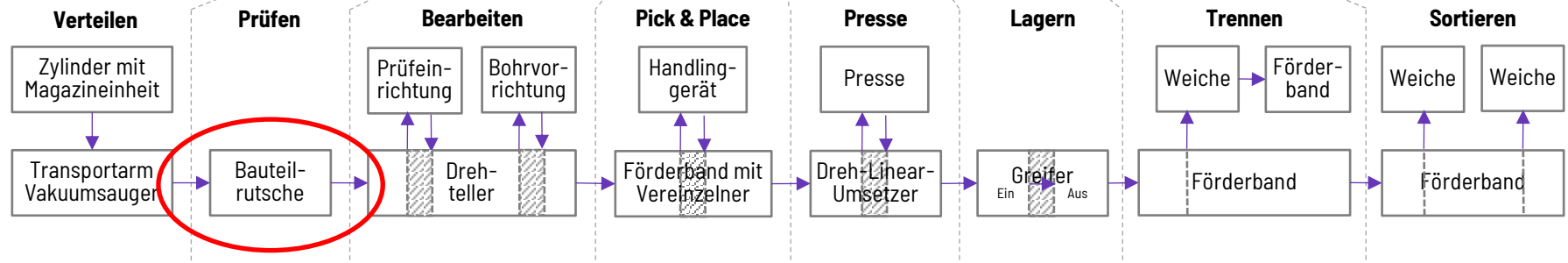
# Architectural Blueprint





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

Zerlegung einer Anlage in simulierbare Teilsysteme (FMUs)





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Zerlegung einer Anlage in simulierbare Teilsysteme (FMUs)

### FMU - Bauteilrutsche



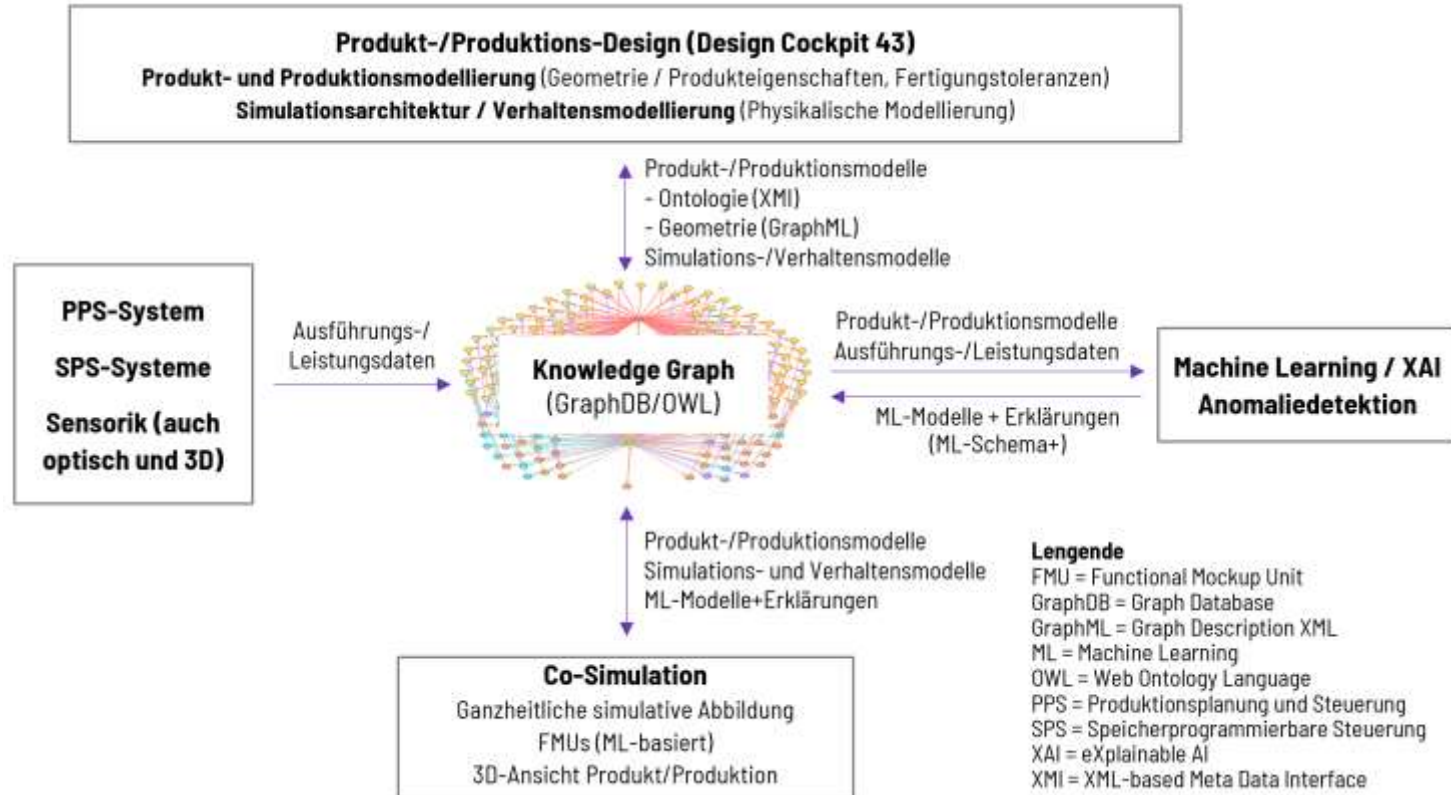
### Grundlegende Idee

- » **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

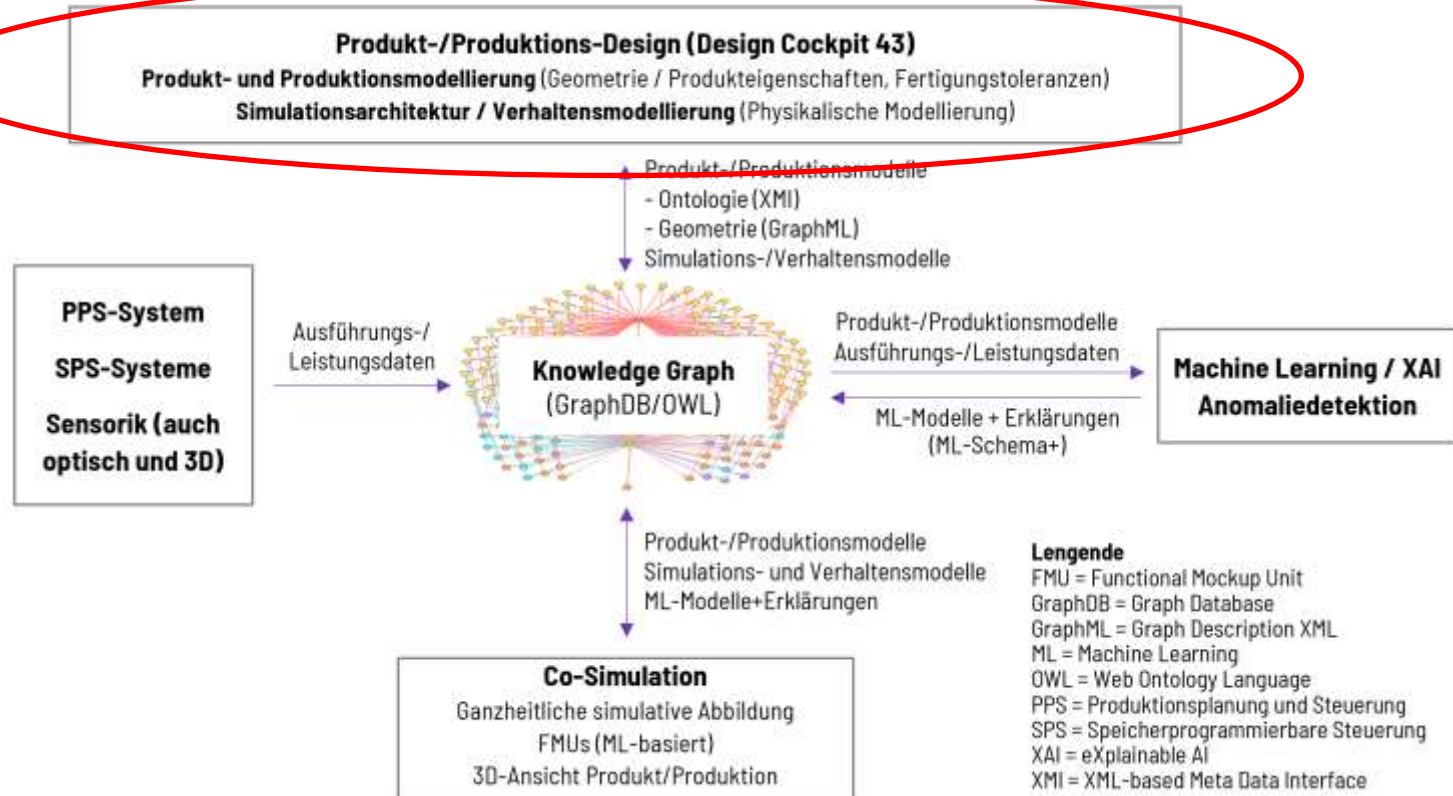
## Komponenten der Architektur





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Entwurf Produkt/Produktionsmodell im Design Cockpit 43





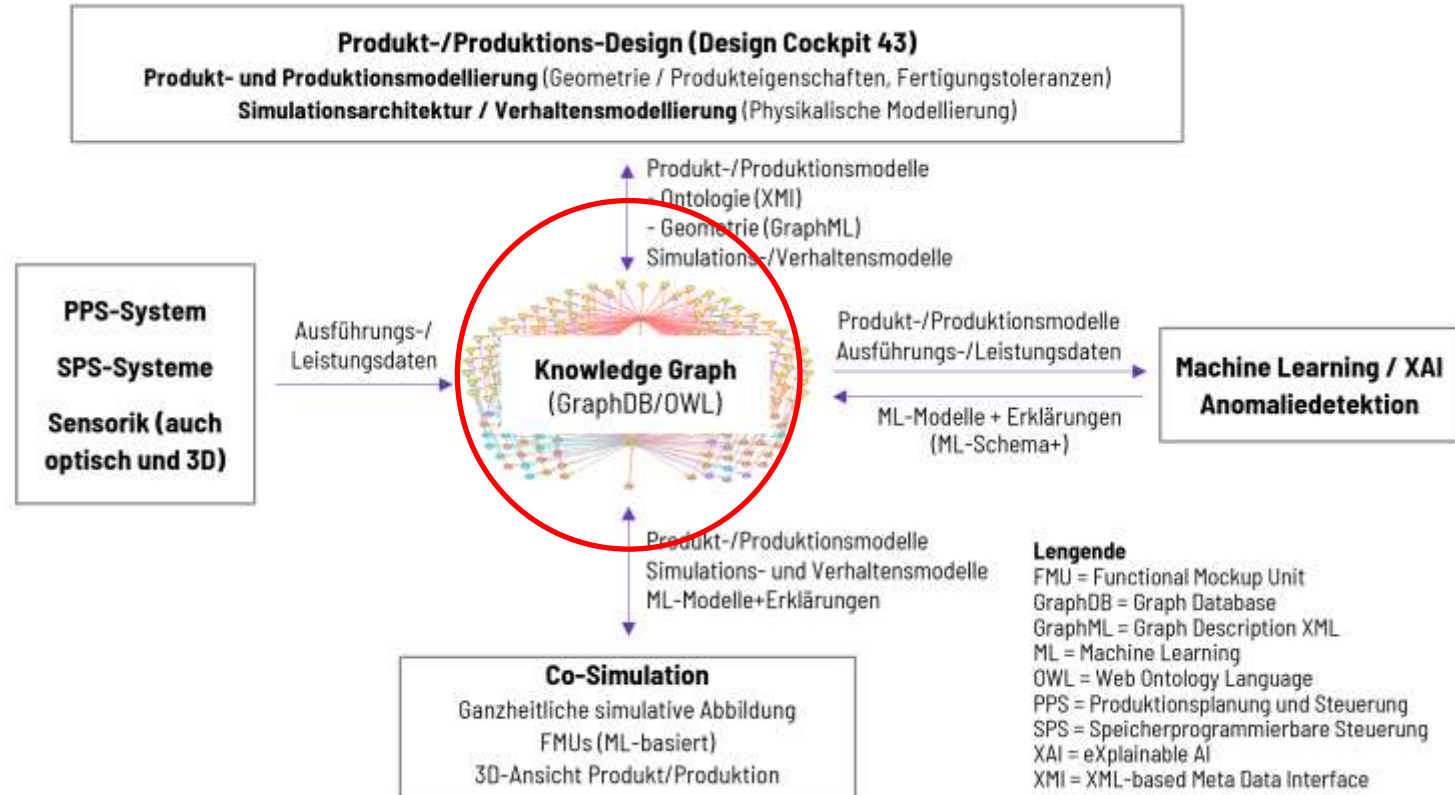
## Entwurf Produkt/Produktionsmodell im Design Cockpit 43





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

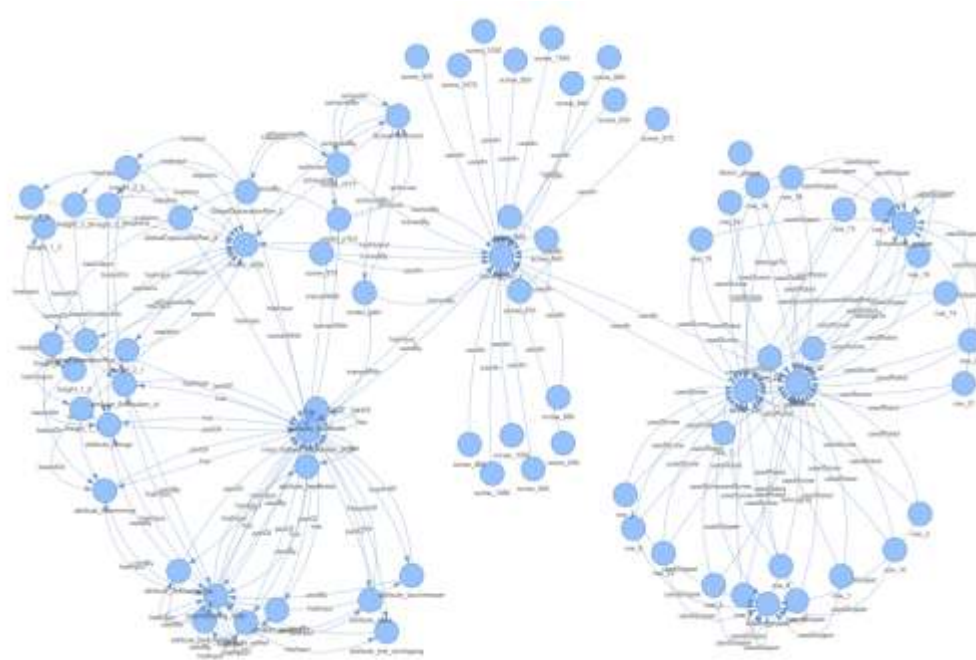
## Überführung DC 43 Modelle in Knowledge Graph





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Überführung DC 43 Modelle in Knowledge Graph

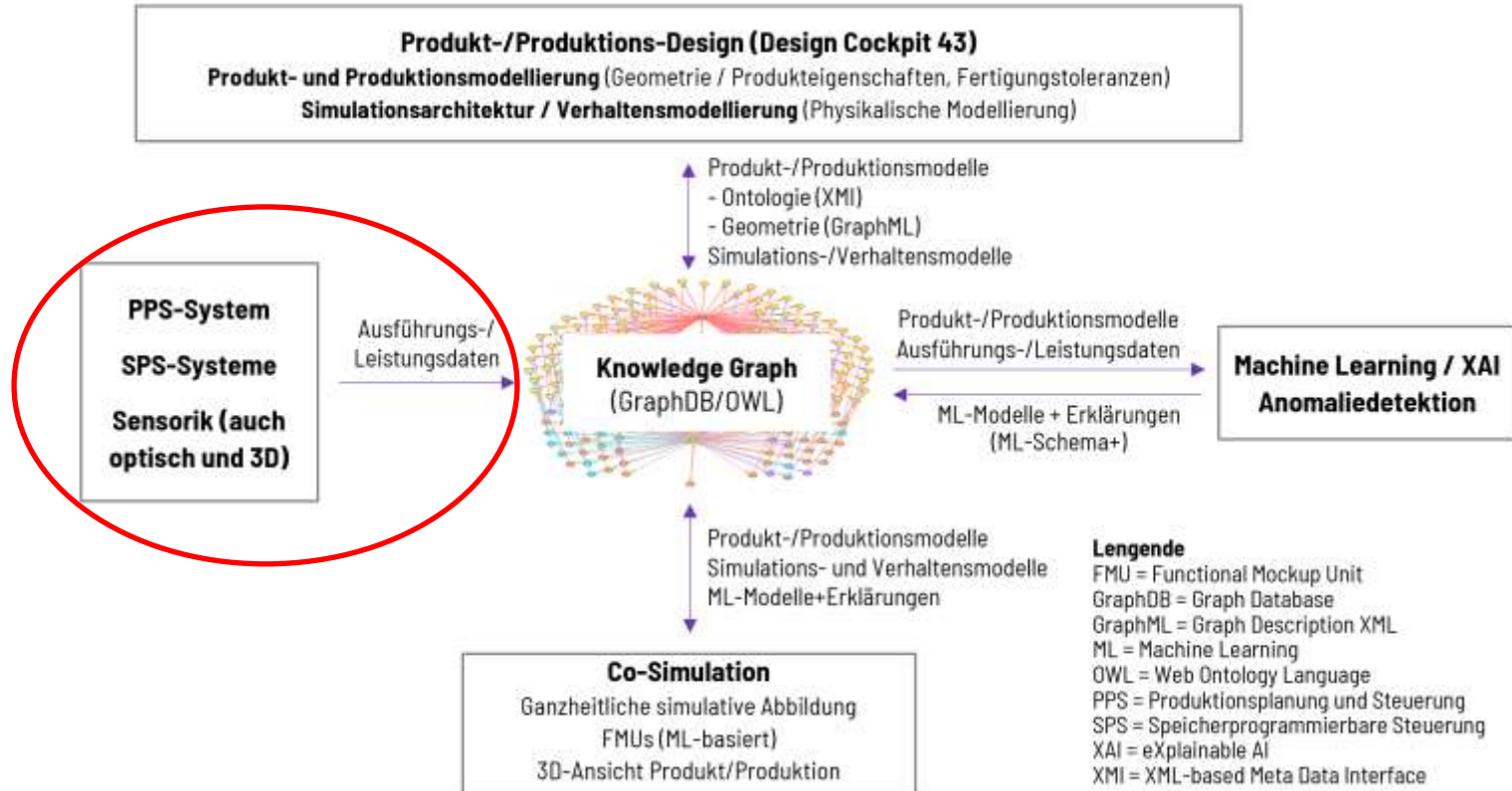


**Produkt-/Produktionsmodell als Domänen-Ontologie**  
 OWL/RDF-Triple-Struktur für flexible Datenablage und Datenzugriff



# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Import Ausführungs-/Leistungsdaten

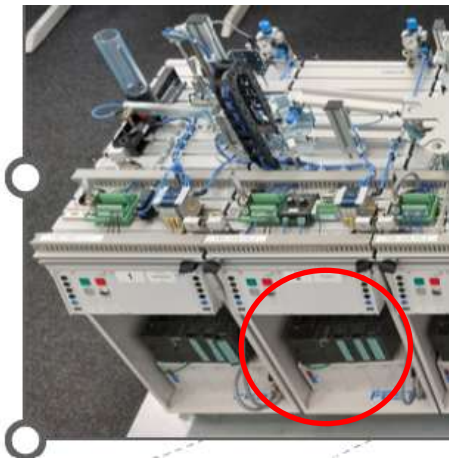




# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Import Ausführungs-/Leistungsdaten

### Extraktion relevanter Sensordaten via SPS der FESTO-Module

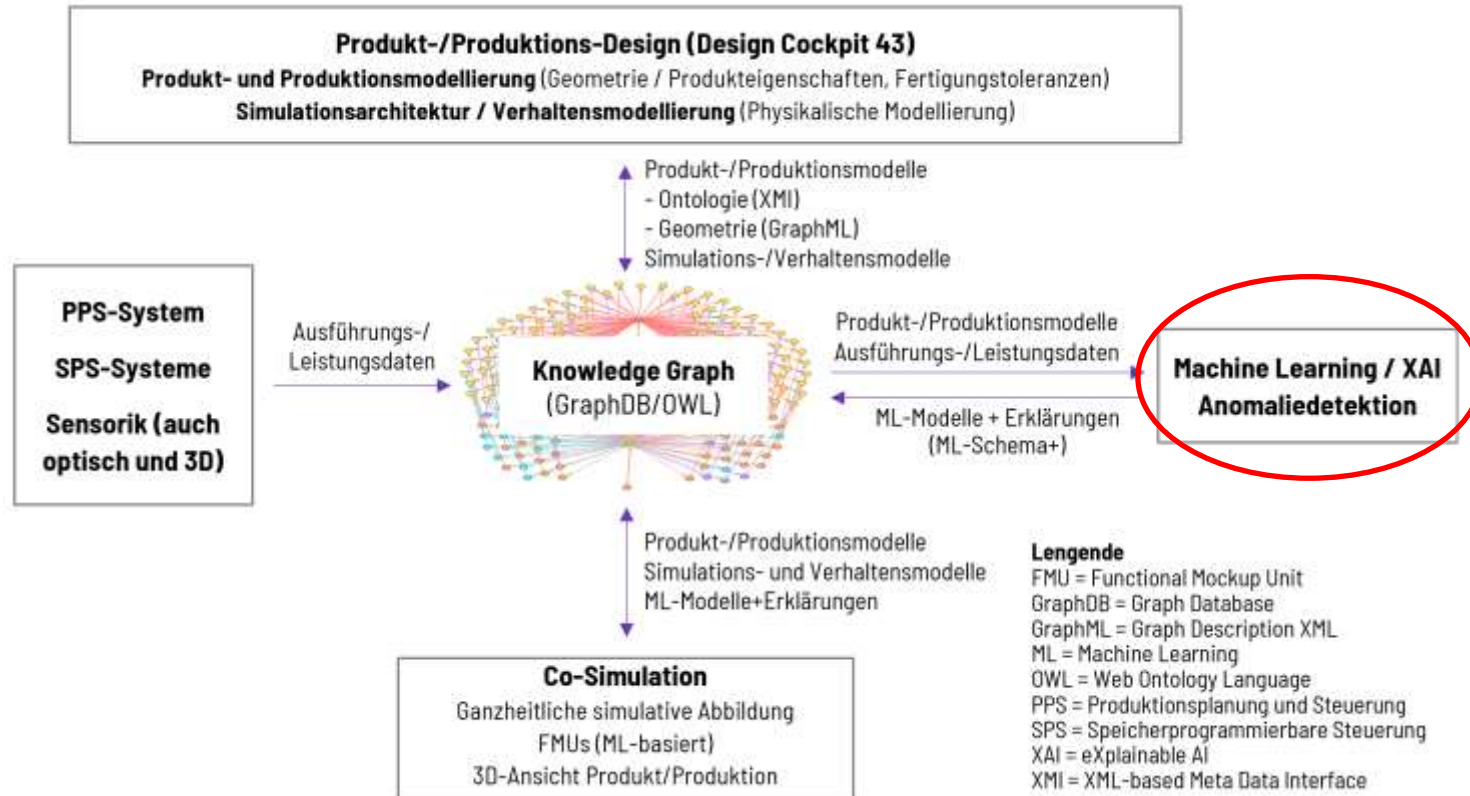


Row No.	part_id	weight	surface	material	friction	comments	pressure	angle	source	time ↑
29	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	1.500	0.140	8	339
43	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	1.500	0.140	8	340
53	11	30	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik schwarz	4	0.140	8	341
304	10	38	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	38	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	38	0	Plastic	0.290	Originalteil Plastik orange	5	0.140	8	346
297	10	38	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	38	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



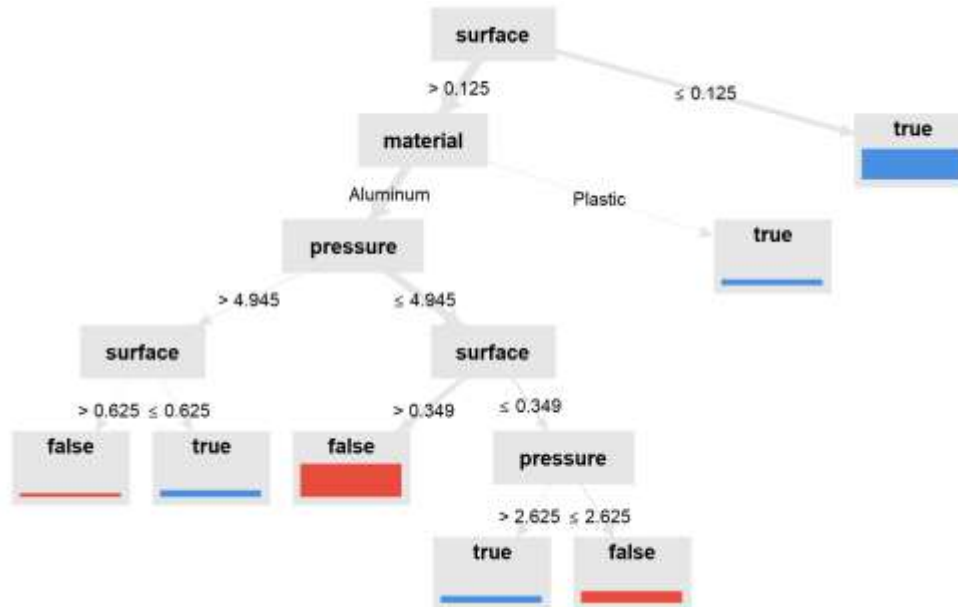


# Showcase FESTO-Produktionsanlage

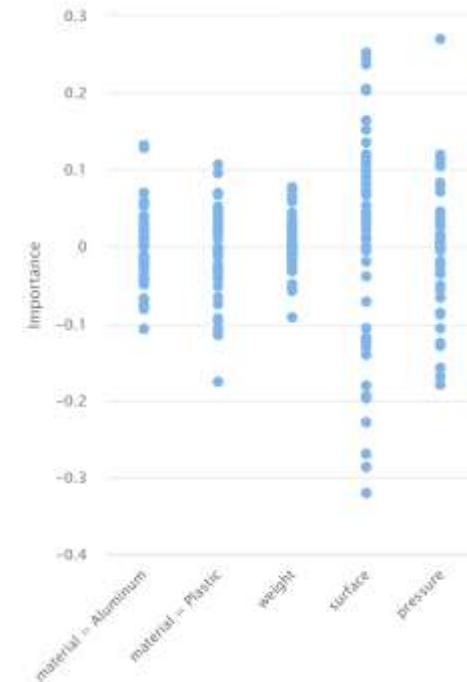
Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

## Entscheidungsbaum zur Vorhersage und Erklärung des Rutschverhaltens

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



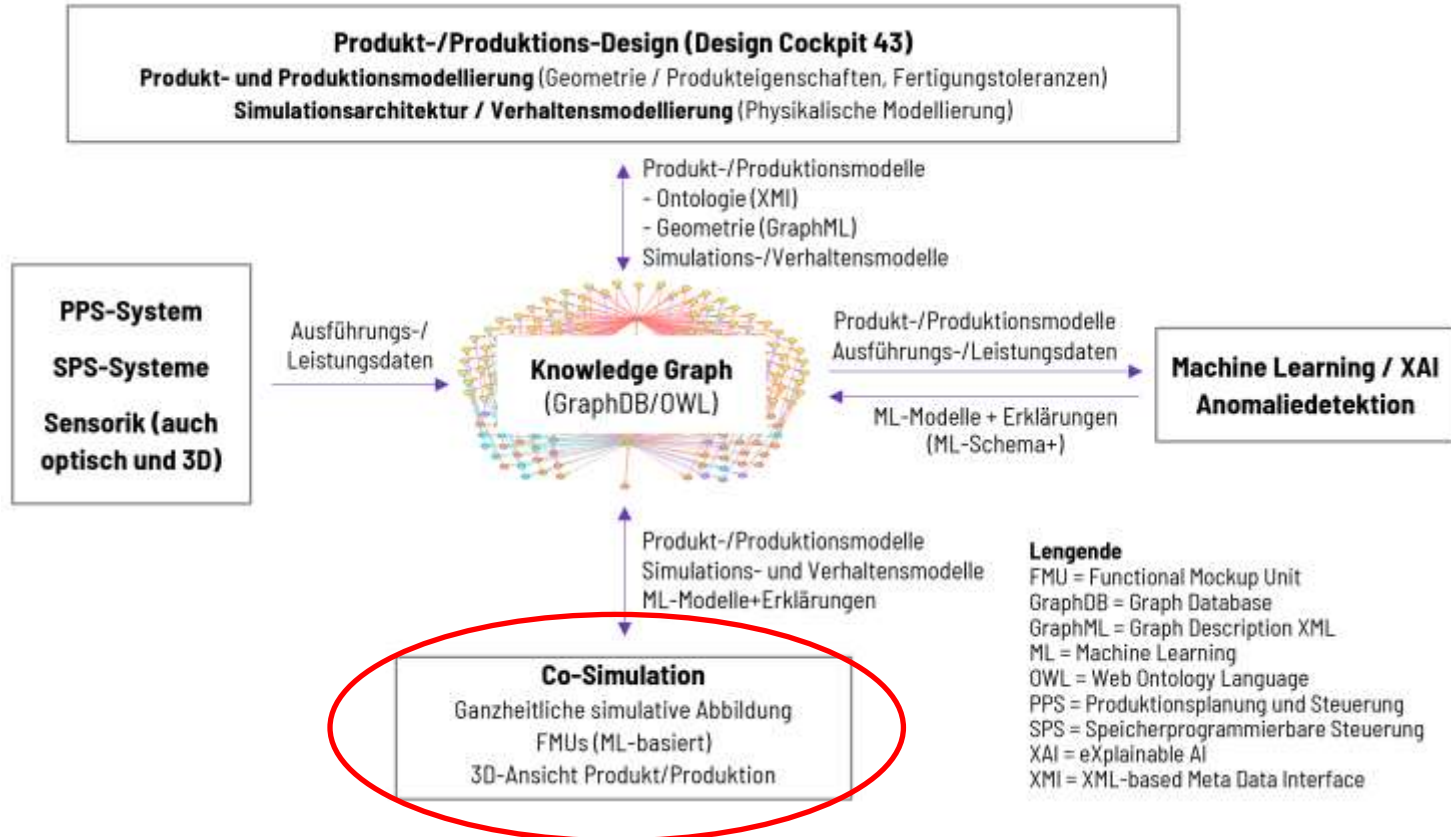
## SHAP-Werte zur Erklärung der Einflussfaktoren





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

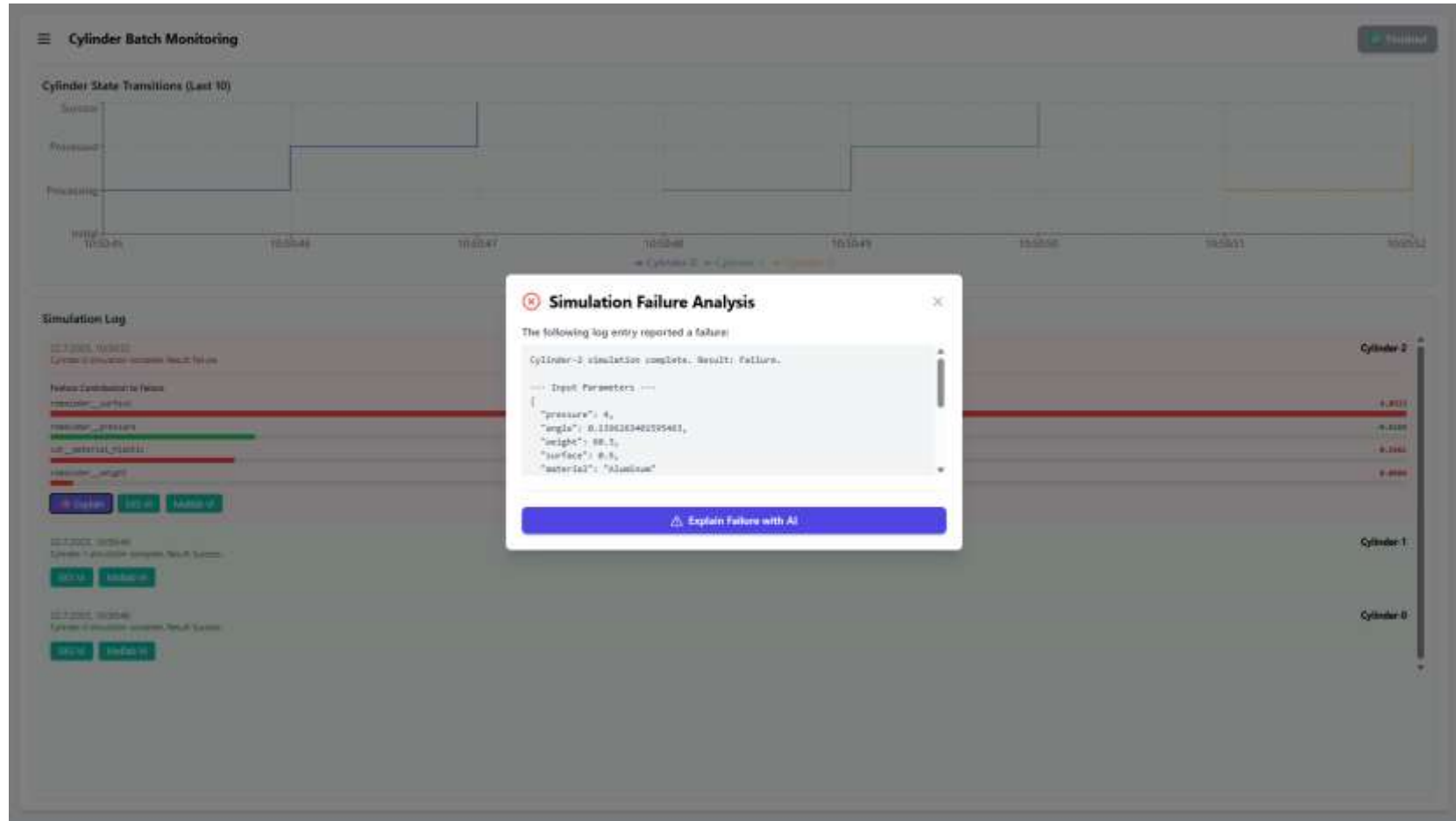
## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

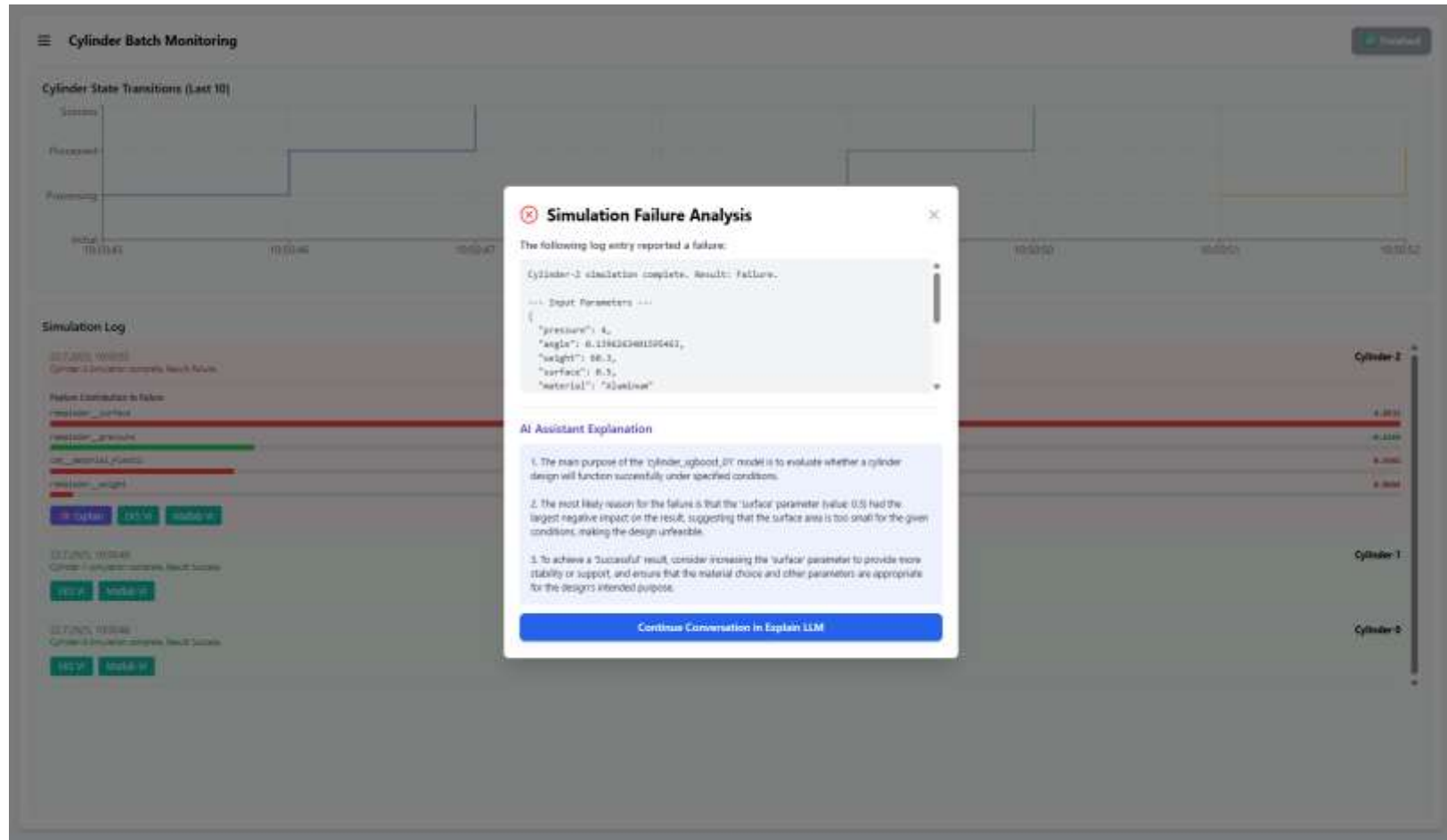
## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens





# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

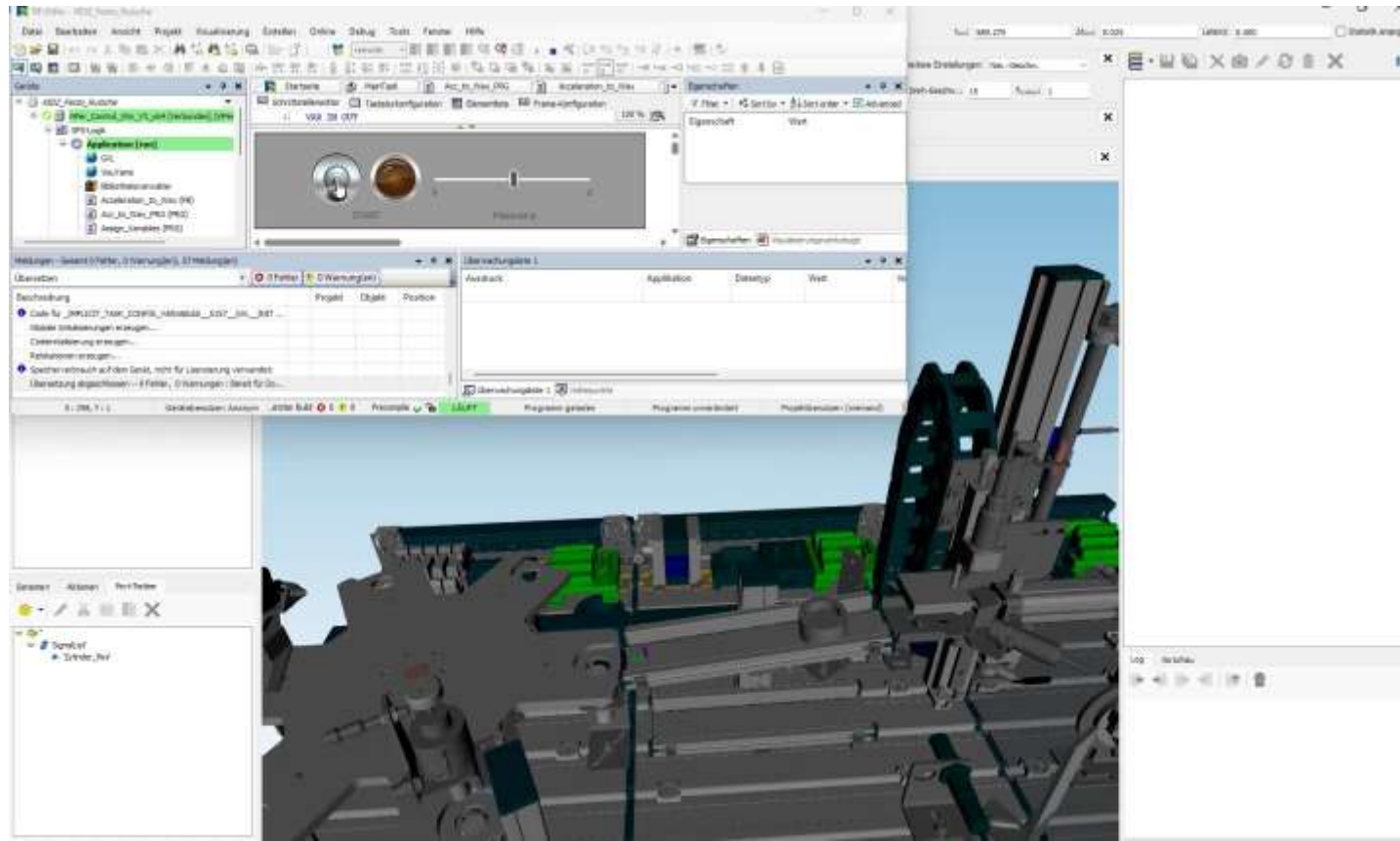




# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

### Graphische Simulation des Systemverhaltens mittels Viper und Yams



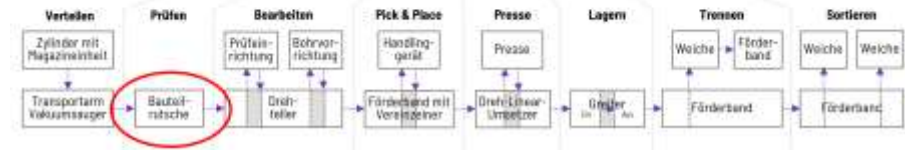


# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

### Flexibler Ansatz der Co-Simulation

- » Jede FMU wird **einzel**n 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

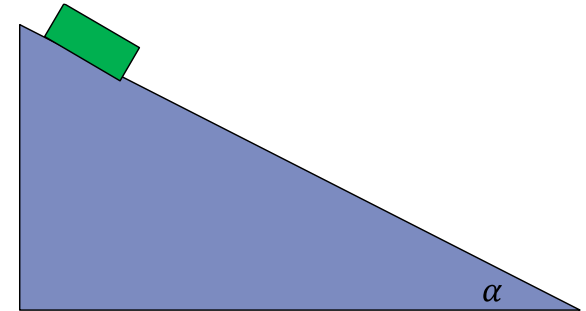
## Physics Informed Machine Learning

- » 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  $\mu$  aus 298 Experimenten
2. Randwerte: Druck = 0 bzw. Druck  $> p_{max}$
3. Bedingungen an erste/zweite partielle Ableitungen  
Beispiel Druck  $\kappa$

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

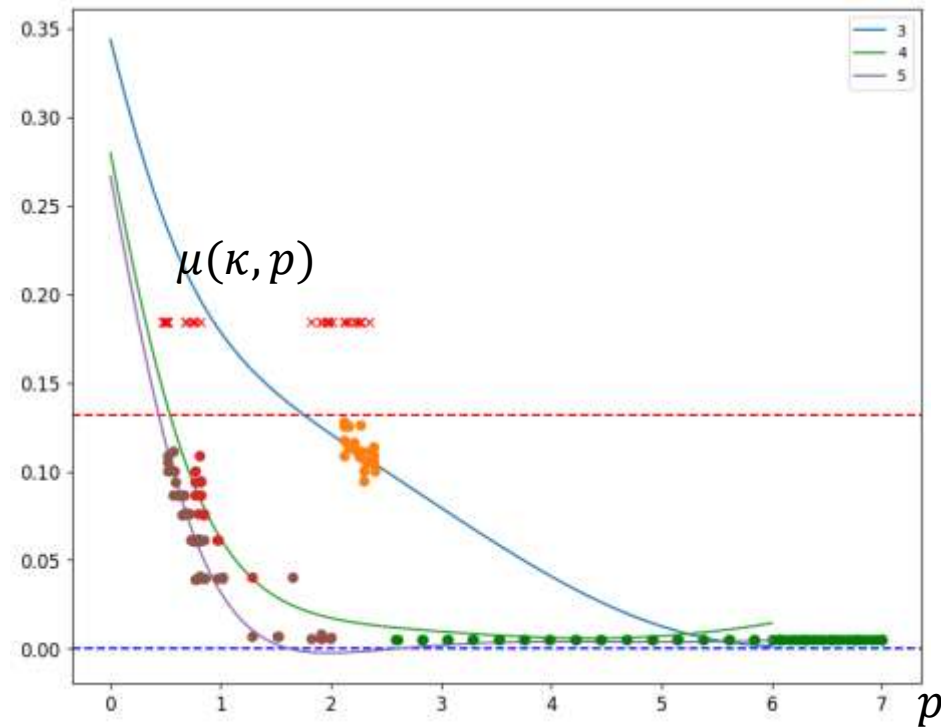
$$\frac{\partial^2 \mu}{\partial p^2}(\kappa, p, w) \neq 0 \text{ for } 0 < p < p_{crit}$$



# Showcase FESTO-Produktionsanlage

## Physics Informed Machine Learning

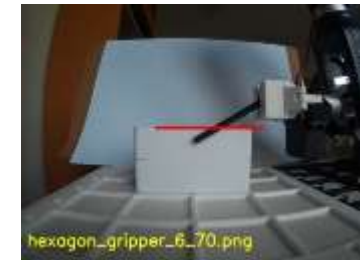
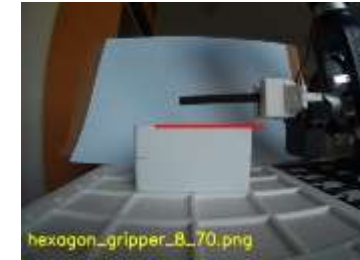
Ergebnis für verschiedene Krümmungen  $\kappa$  der Oberfläche in Abhängigkeit des Drucks  $p$





# Showcase Roboterarm

## Pick & Place



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

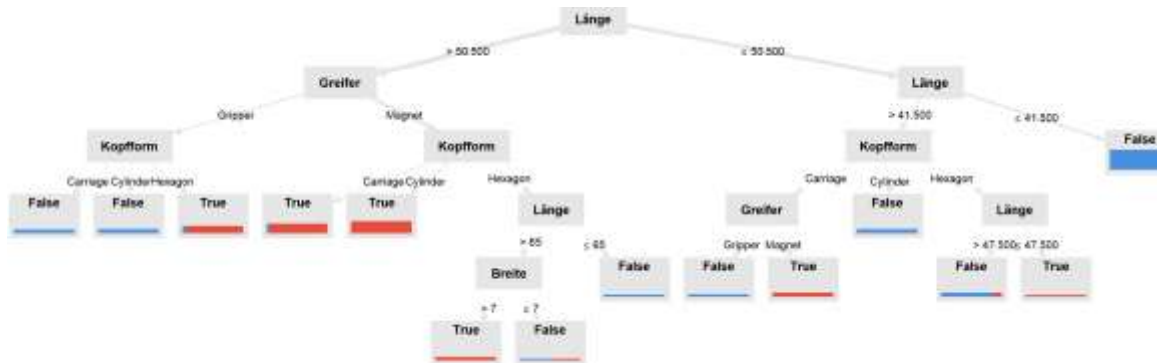


# Showcase Roboterarm - Pick and Place

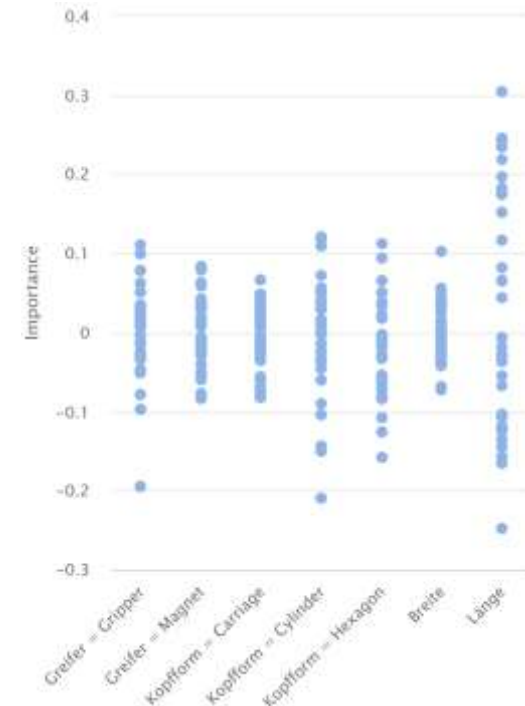
Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

## 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

Head Type

Gripper

Hexagon

Wide (mm)

Length (mm)

6

70

Prediction Result

Predicted Outcome: Failure

Feature Contribution to Failure

remainder\_\_length

cat\_\_gripper\_\_maghet

cat\_\_head\_\_hexagon

cat\_\_head\_\_cylinder

remainder\_\_side

2.3528

-3.2588

0.7128

0.3090

0.3055

Explain Failure with AI

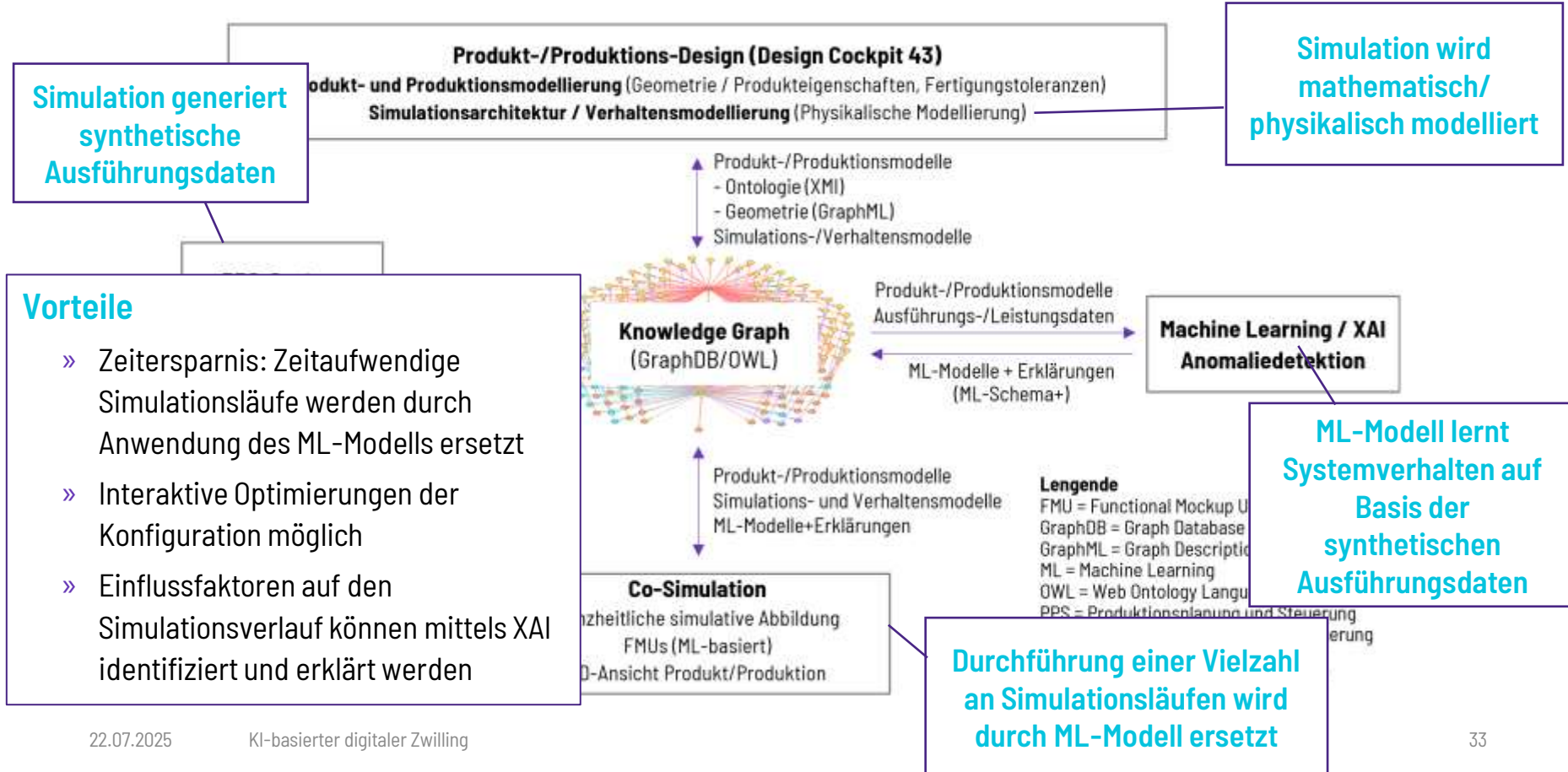
Process

Smart Process



# Showcase Mehrkörper-Kinematik

## KI auf synthetischen Simulationsdaten





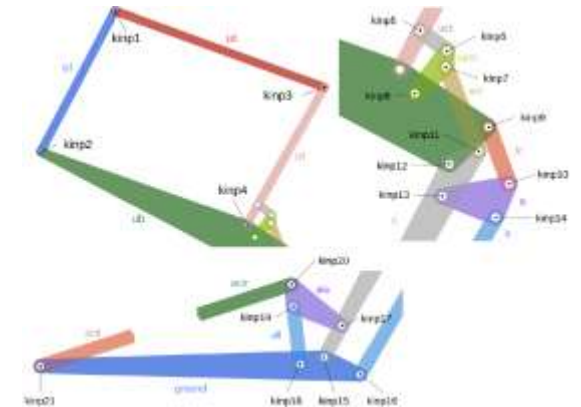
# Showcase Mehrkörper-Kinematik

## 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

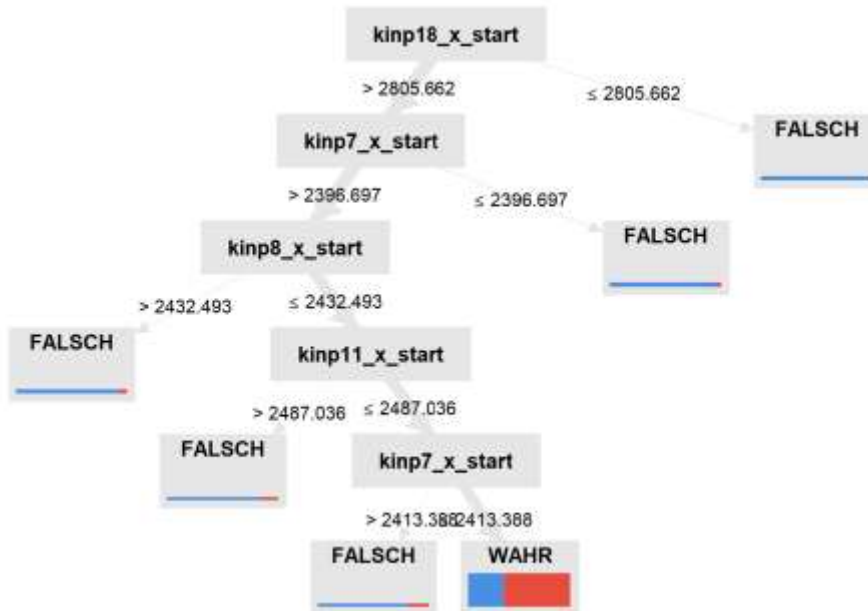




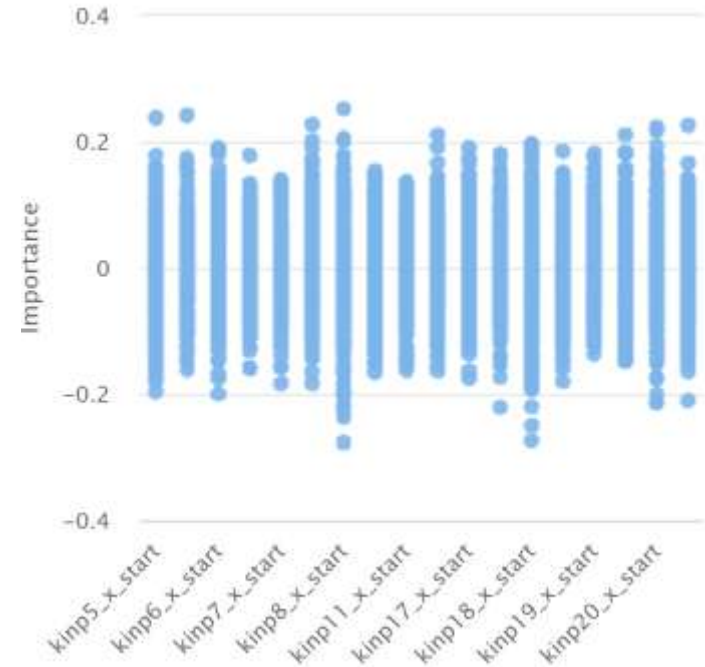
# Showcase Mehrkörper-Kinematik

## Vorhersage & Erklärung des Simulationslaufs

### Entscheidungsbaum



### SHAP-Werte





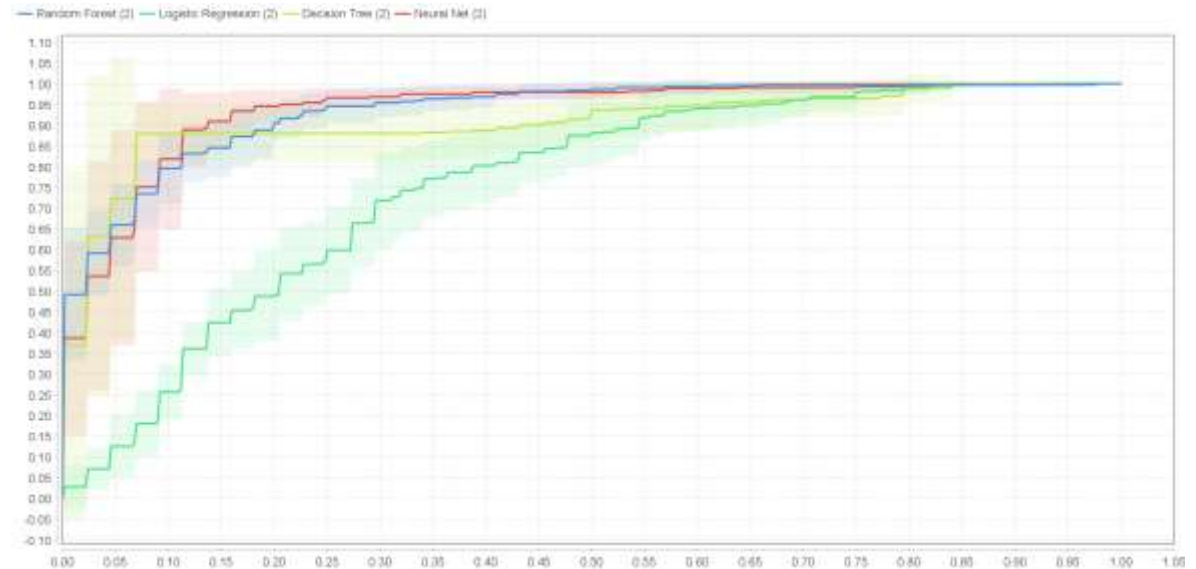
# Showcase Mehrkörper-Kinematik

## 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

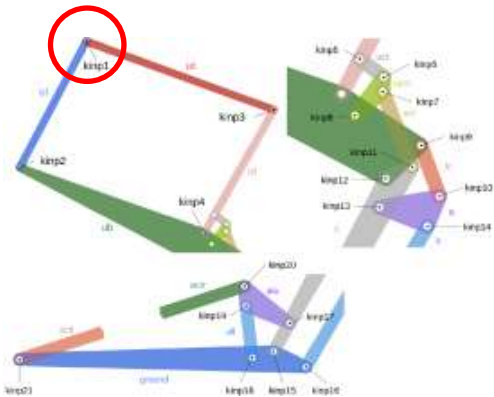
## Vorhersage einzelner Endpositionen

### 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

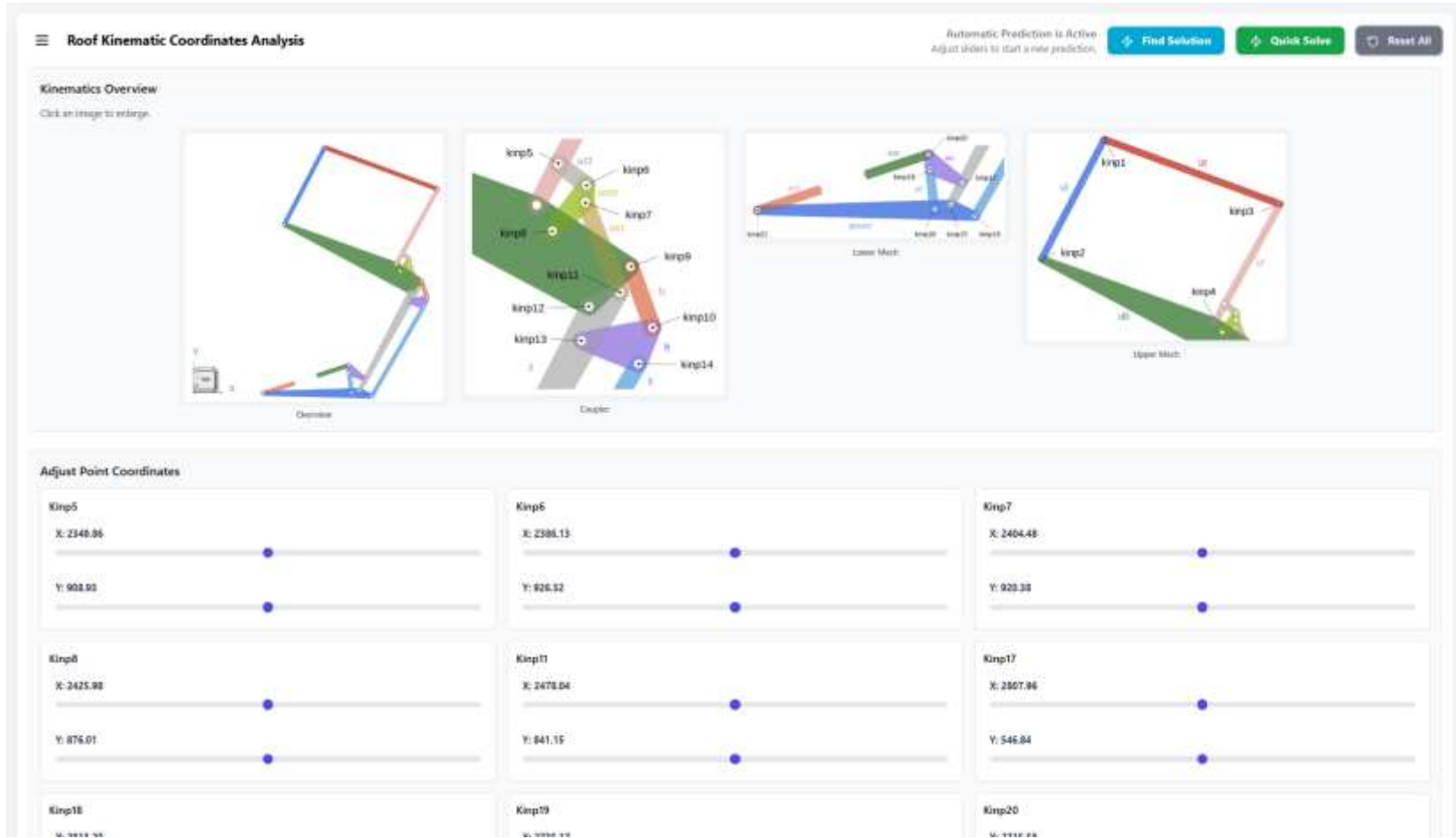
kinp1_y_end	Attribute	Coefficient	Std. Error	Std. Coefficient	Tolerance	t-Stat	p-Value	Code
kinp14_x_end	kinp7_y_start	2.357	0.664	0.092	0.999	3.546	0.000	****
kinp1_x_end	kinp17_x_start	-3.752	0.621	-0.155	1.000	-6.039	0.000	****
kinp2_y_end	kinp17_y_start	6.000	0.634	0.241	0.995	9.459	0	****
kinp2_x_end	kinp18_x_start	16.241	0.634	0.657	1.000	25.615	0	****
	kinp18_y_start	2.276	0.656	0.089	0.999	3.468	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	-7.026	0.677	-0.266	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	2.276	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





# Showcase Mehrkörper-Kinematik


## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Roof Kinematic Coordinates Analysis

Automatic Prediction in Active  
adjust sliders to start a new prediction.

[Find Solution](#) [Quick Solve](#) [Reset All](#)

Kinematics Overview  
Click an image to enlarge.



**✖ Actor Force or Design Space Violation**

Stage 2 Prediction Failed (Value: 0)  
Probability (Successful): 0.00  
Probability (Failed): 0.00

Features Used by Model:

```
[
  "knap_s_start": 2249.84,
  "knap_s_start": 346.93,
  "knap_s_start": 3289.89,
```

[Explain failure with AI](#)

[View](#) [Simulate](#) [Close](#)

Adjust Point Coordinates

Knap1	Knap6	Knap11	Knap17
X: 2340.88	X: 2425.98	X: 2479.94	X: 2807.96
Y: 996.92	Y: 876.01	Y: 847.19	Y: 546.84

Knap7

X: 2494.48

Y: 920.38

Knap18

X: 2888.90

Y: 1118.88

Knap19

X: 2888.90

Y: 1118.88

Knap20

X: 2888.90

Y: 1118.88



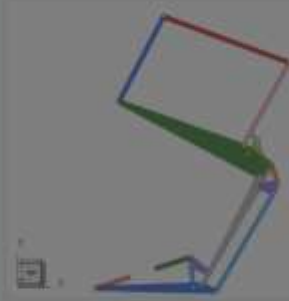
# Showcase Mehrkörper-Kinematik

## Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

### Roof Kinematic Coordinates Analysis

Kinematics Overview

Click an image to enlarge



Automatic Prediction is Active  
Adjust sliders to start a new prediction

[Find Solution](#) [Quick Setup](#) [Reset All](#)

### Adjust Point Coordinates

**Krp5**

X: 2348.68

Y: 306.82

**Krp8**

X: 2425.98

Y: 876.01

**Krp10**

X: 2478.94

Y: 841.18

**Krp7**

X: 2404.48

Y: 920.28

**Krp17**

X: 2387.94

Y: 546.94

**Krp19**

X: 2478.94

Y: 841.18

**Krp20**

X: 2478.94

Y: 841.18

### Actor Force or Design Space Violation

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

Features Used by Model:

```

{
  "krp5_x_start": 2348.68,
  "krp5_y_start": 306.82,
  "krp8_x_start": 2425.98,
}

```

#### 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 failure is most likely due to the parameter 'krp8\_x\_start', which had the highest impact score (0.1330) pushing the result towards failure. This suggests that the value of 'krp8\_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 'krp8\_x\_start' to bring it closer to a more stable range, as it had the largest negative impact. Additionally, consider fine-tuning 'krp5\_x\_start', 'krp17\_x\_start', and 'krp19\_x\_start' as they

[Continue Conversation in Explain LLM](#)

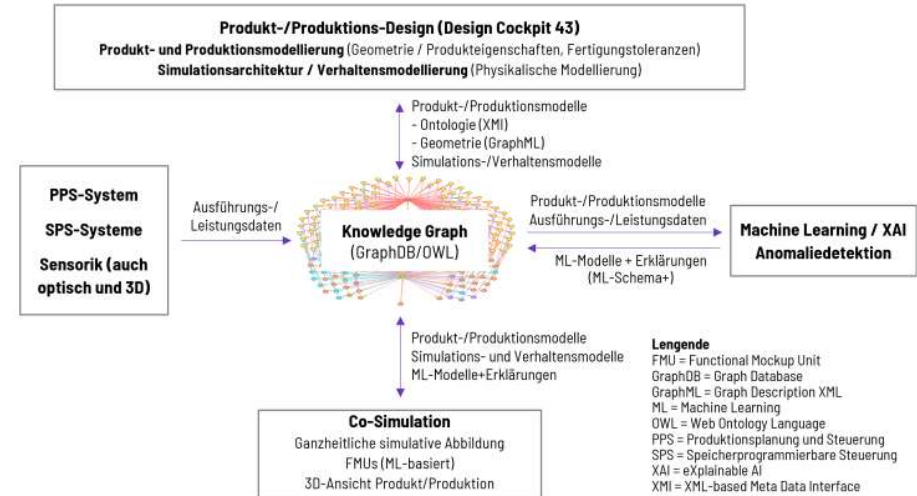
[View](#) [Simulate](#) [Close](#)



# KIDZ – Praktische Verwertbarkeit

## Innovativer Framework

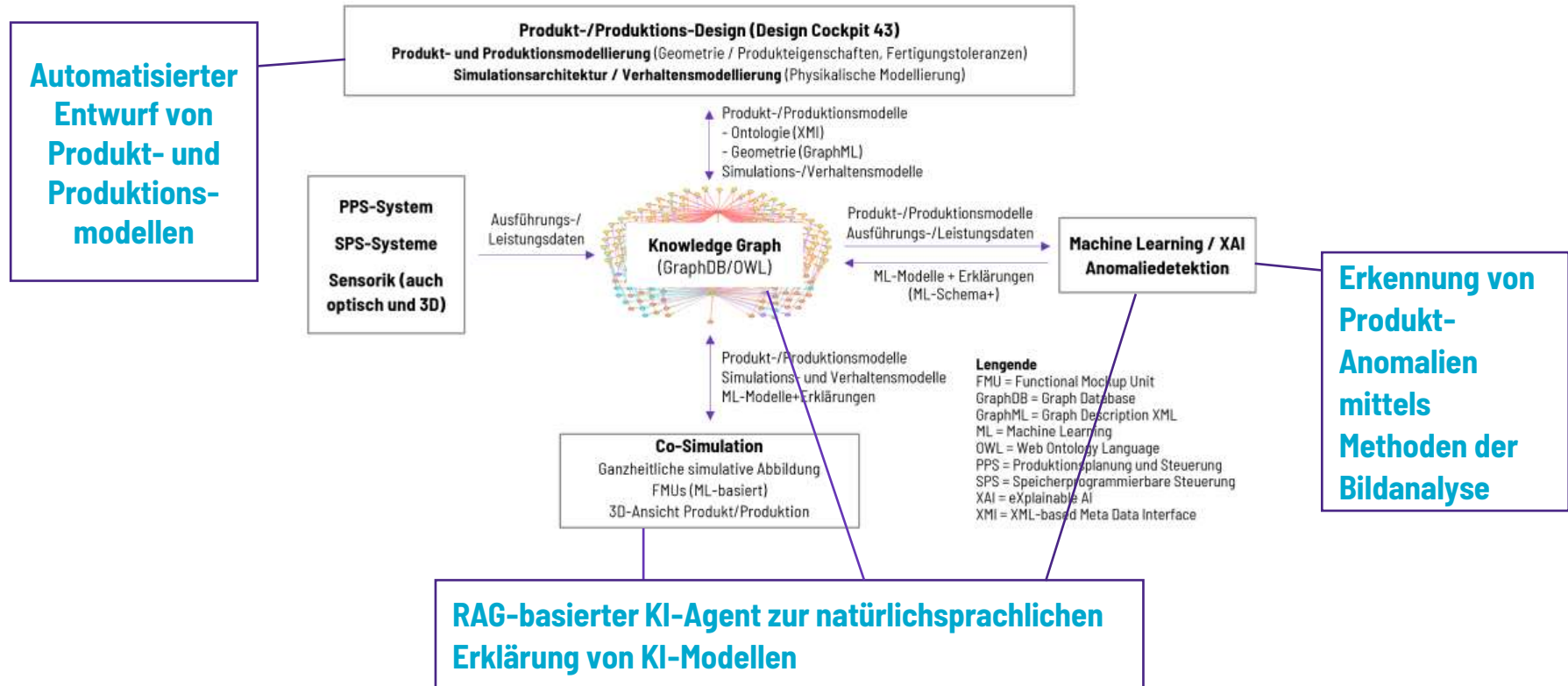
- » **Ausdrucksstarke** Modellierung im **Design Cockpit 43** (FMU-basierte Simulationsarchitektur)
- » Zentraler **Knowledge Graph**
  - » Aufnahme Ausführungs-/Leistungsdaten
  - » Anreicherung um **ML/XAI-Modelle**
- » **KI-basierter Simulator**
  - » FMU-basierte Vorhersage und Simulation des Systemverhaltens (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>.



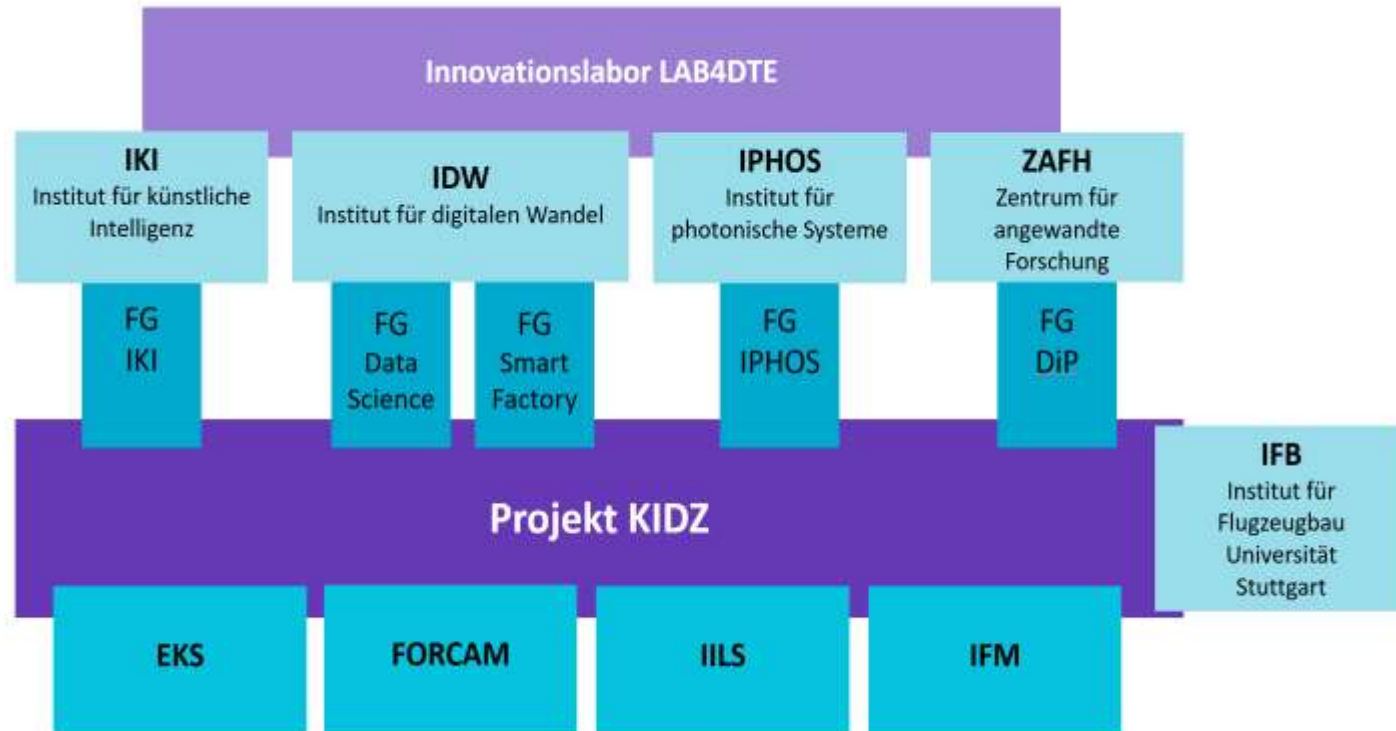
# Projektstatus

## 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](http://www.rwu.de/idw)

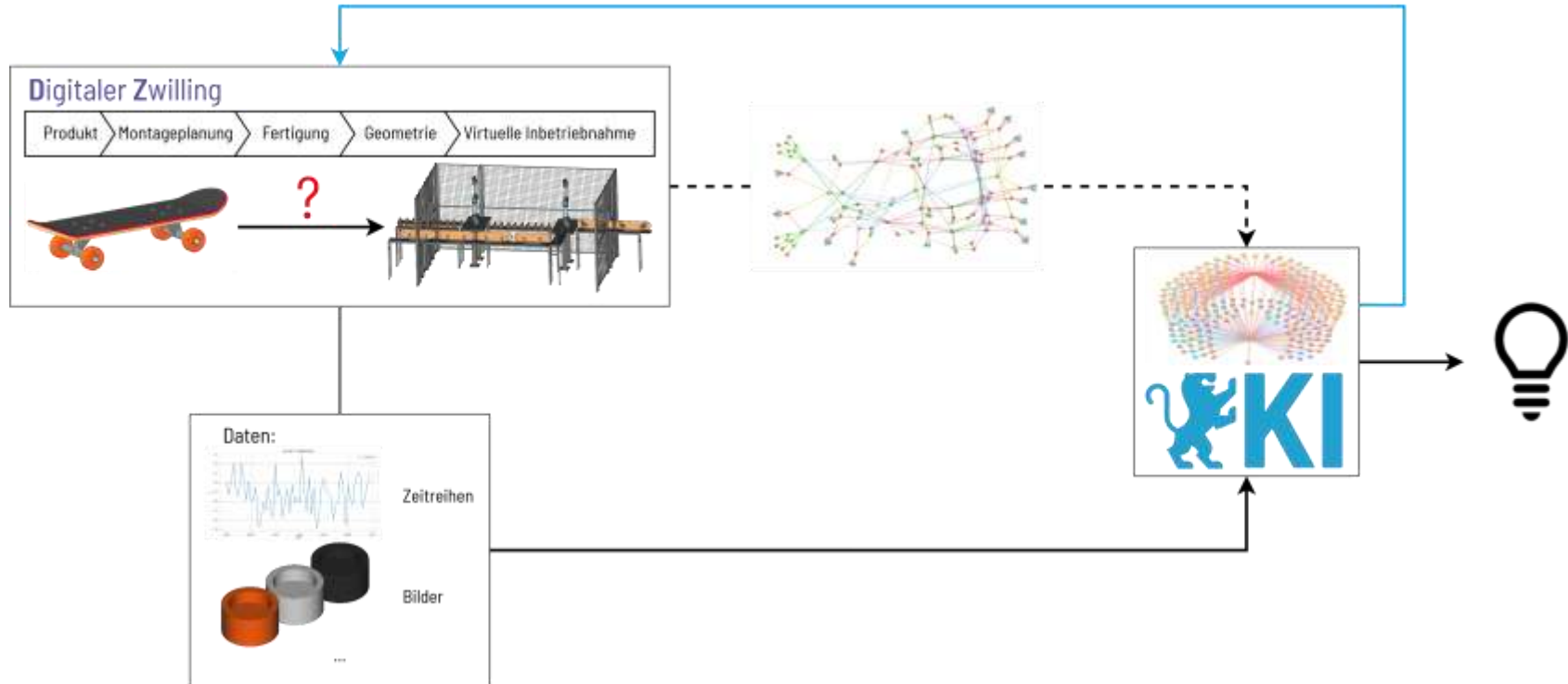
[www.rwu.de](http://www.rwu.de)

[info@rwu.de](mailto:info@rwu.de)



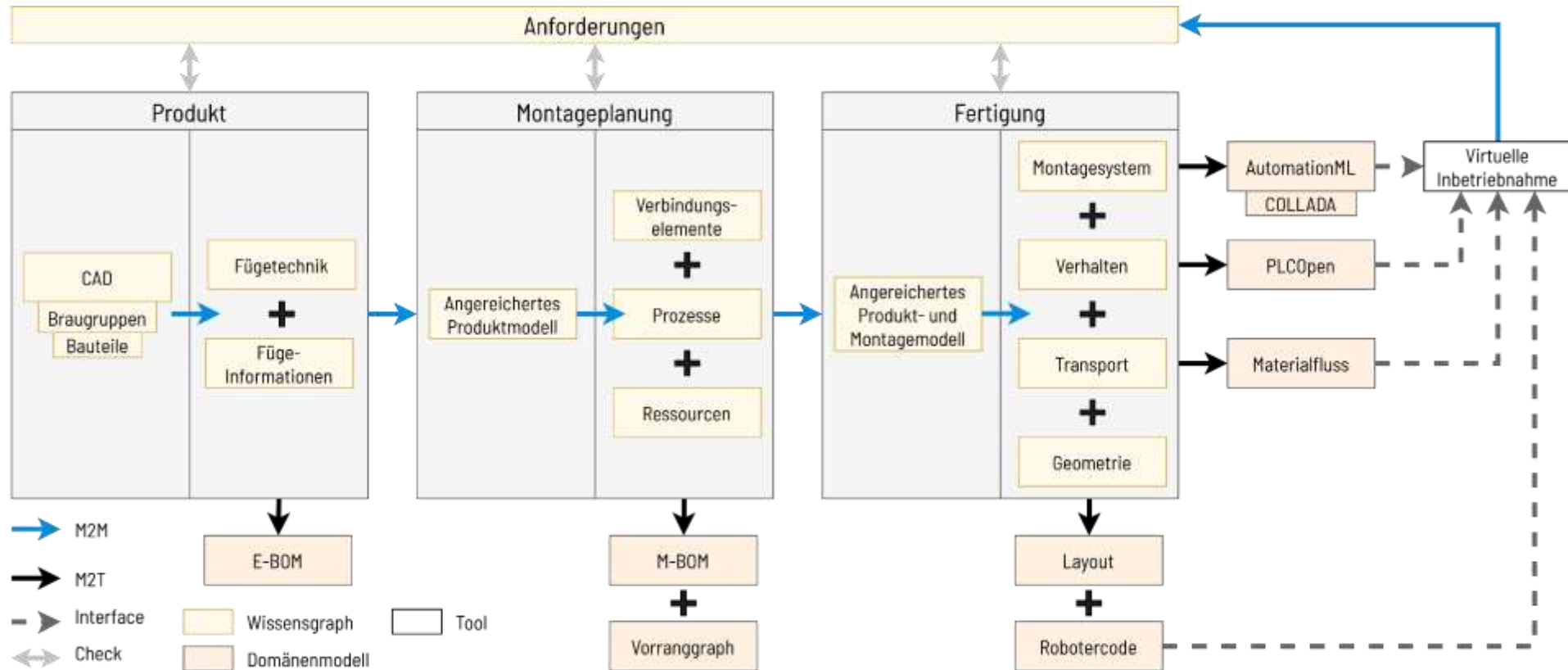
# Problemstellung

## Digitaler Zwilling



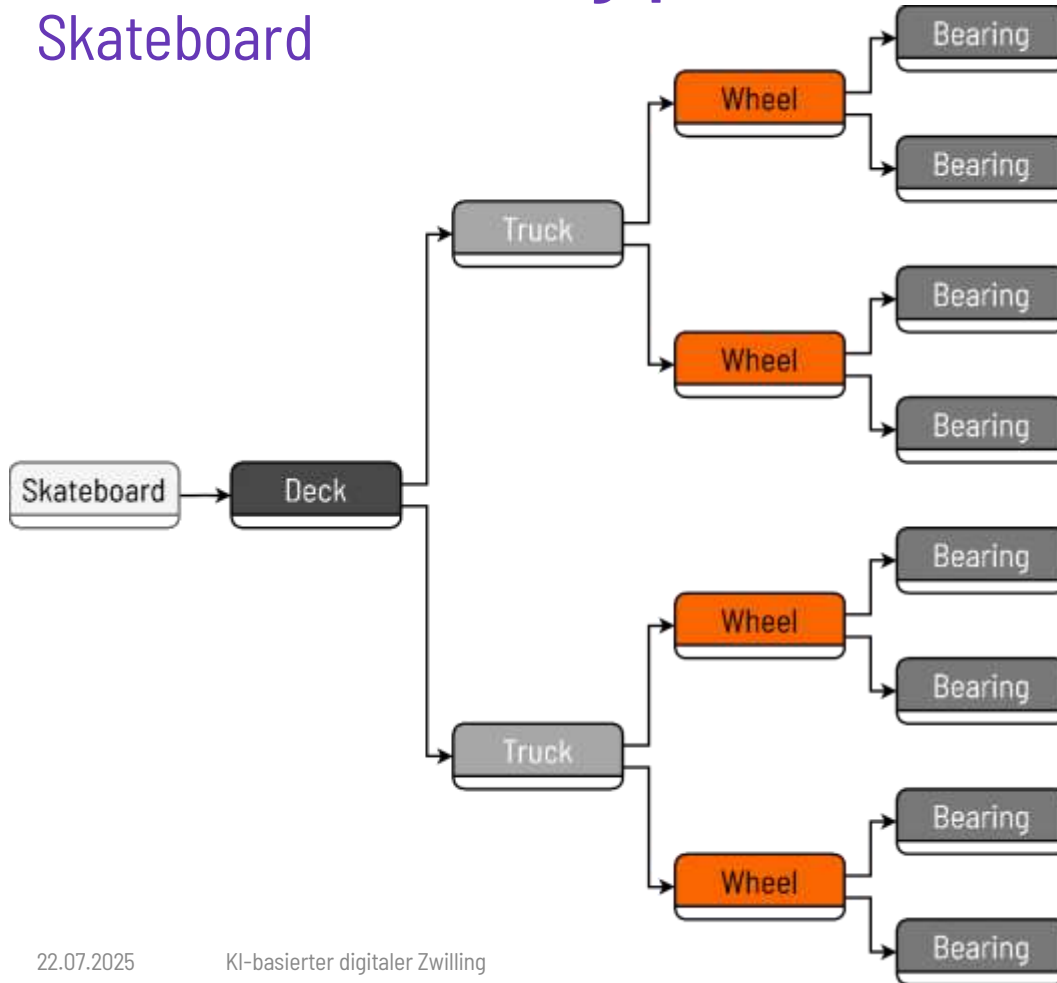


# Modelltransformationen





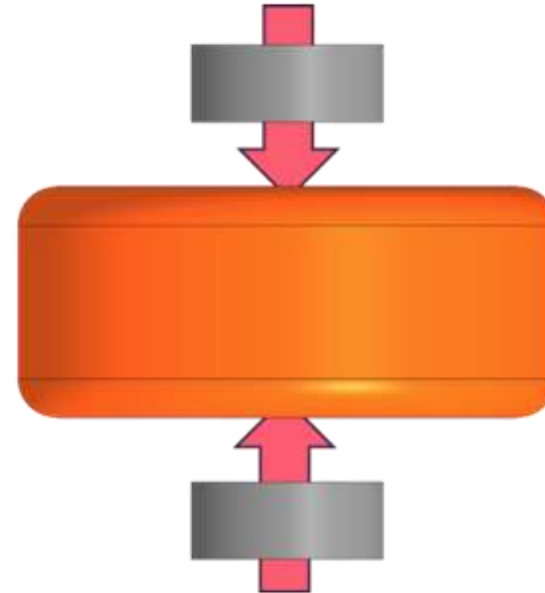
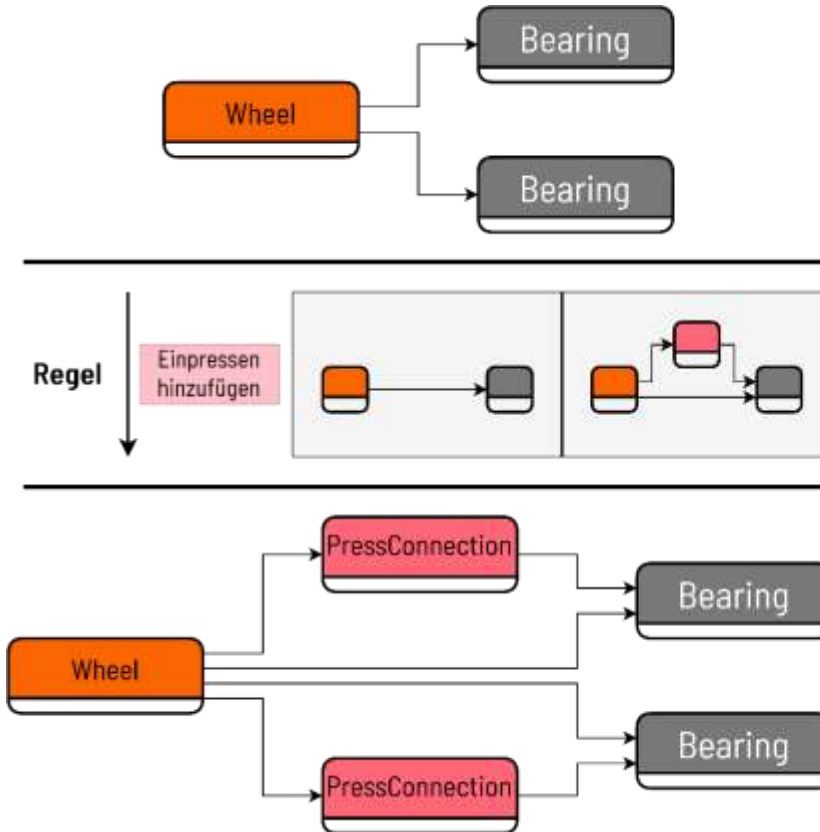
# Produktmodell mit Fügepartner Skateboard





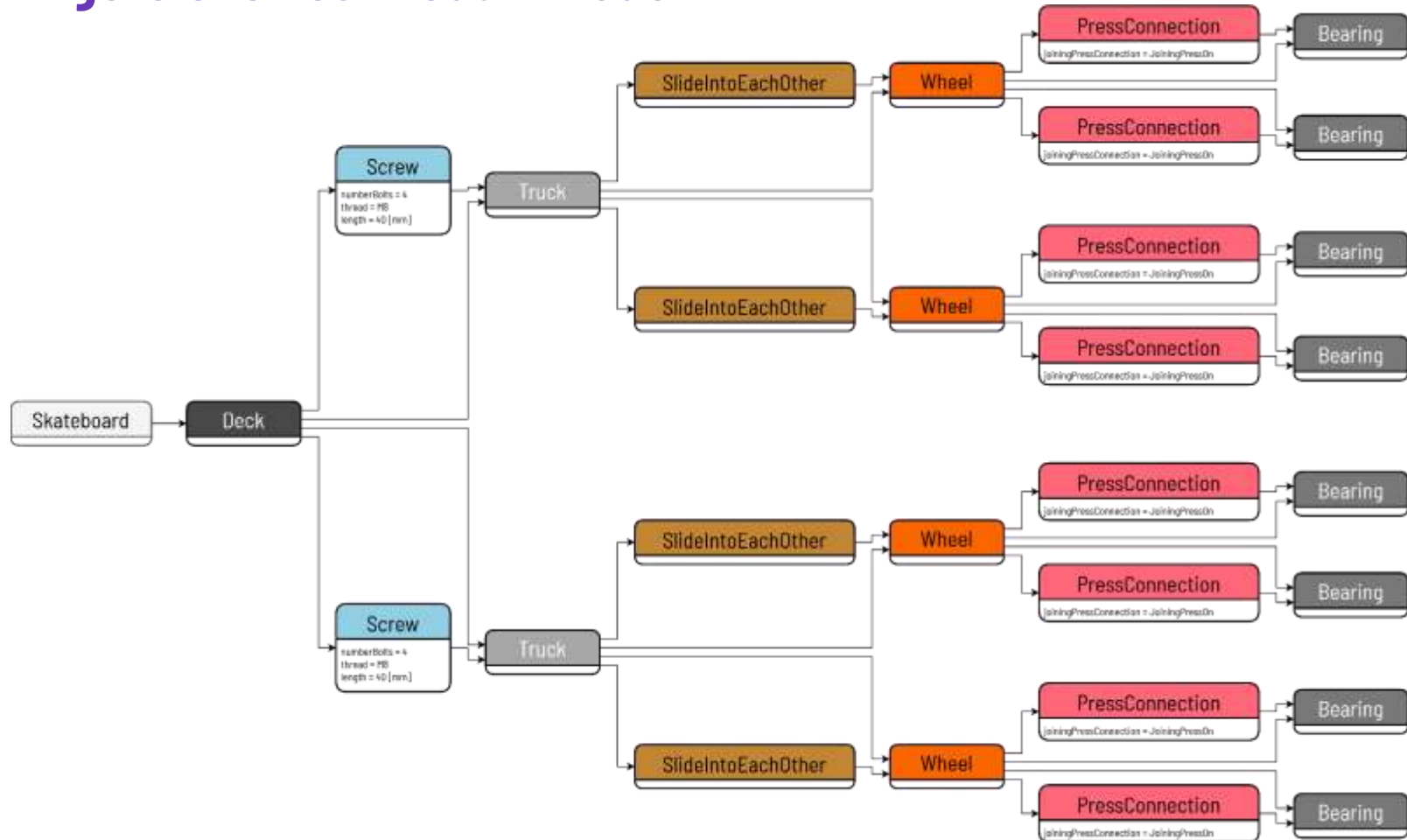
# Produktmodell

Regel: Einpressen der Lager





# Angereichertes Produktmodell

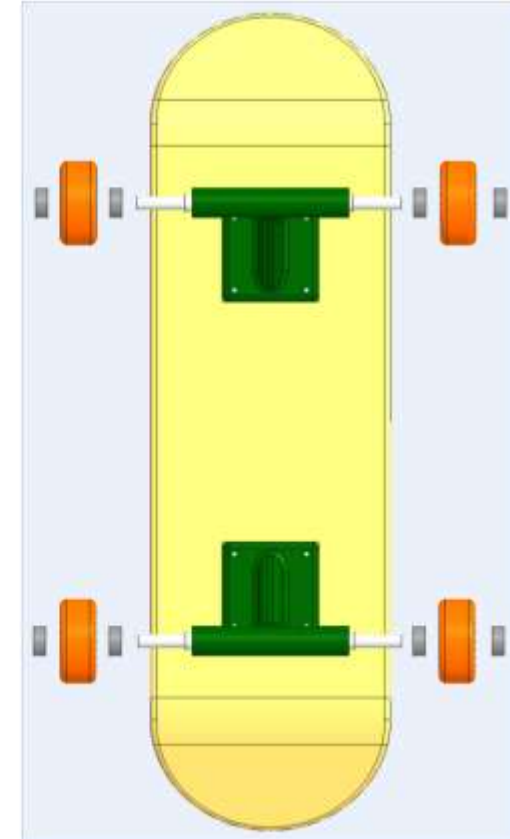
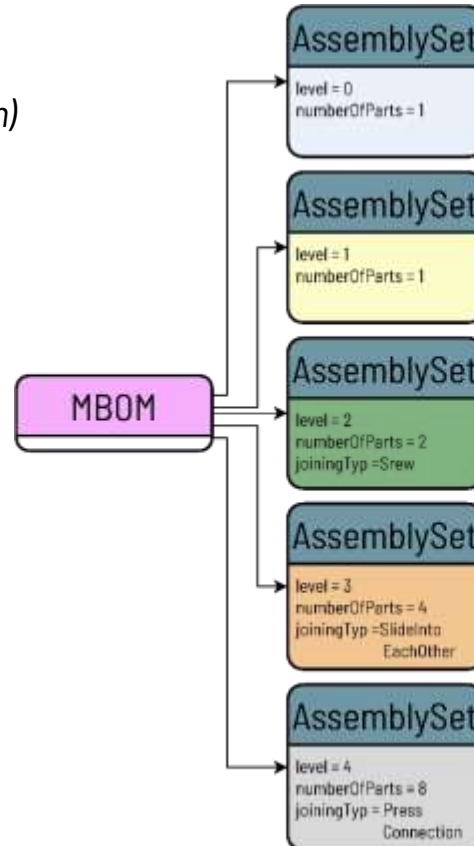




# Montagemodell

## Assembly-Sets

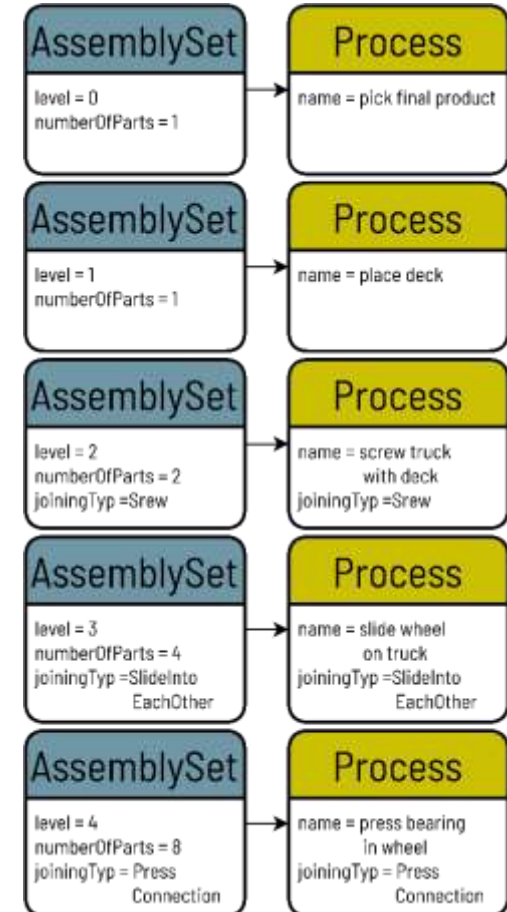
- » *Breitensuche (breadth-first search)*
  - » *Vollähnlich*
  - » *Teilähnlich*
- » Ähnliche Montagen finden





# Montageplanung Process

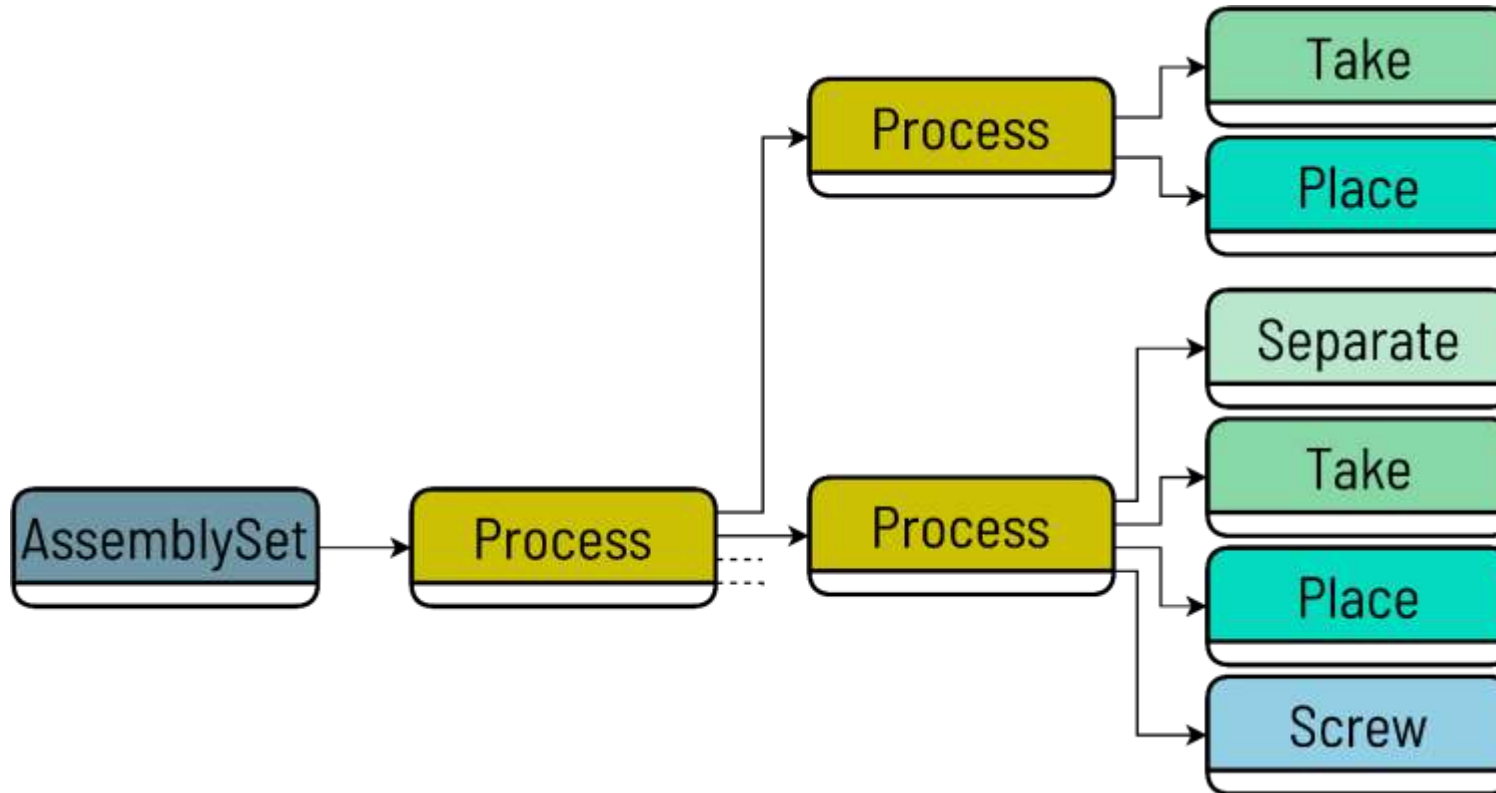
- » Aus den Fügetechniken lassen sich die Prozesse für die AssemblySets ableiten
  - » Process
    - Nur Process als Assoziation
    - Kann aufgeteilt werden
    - Allgemeine Beschreibung
  - Mit Handhaben und/oder joining als Assoziation
    - Muss vollständig ausgeführt werden





# Prozessplanung

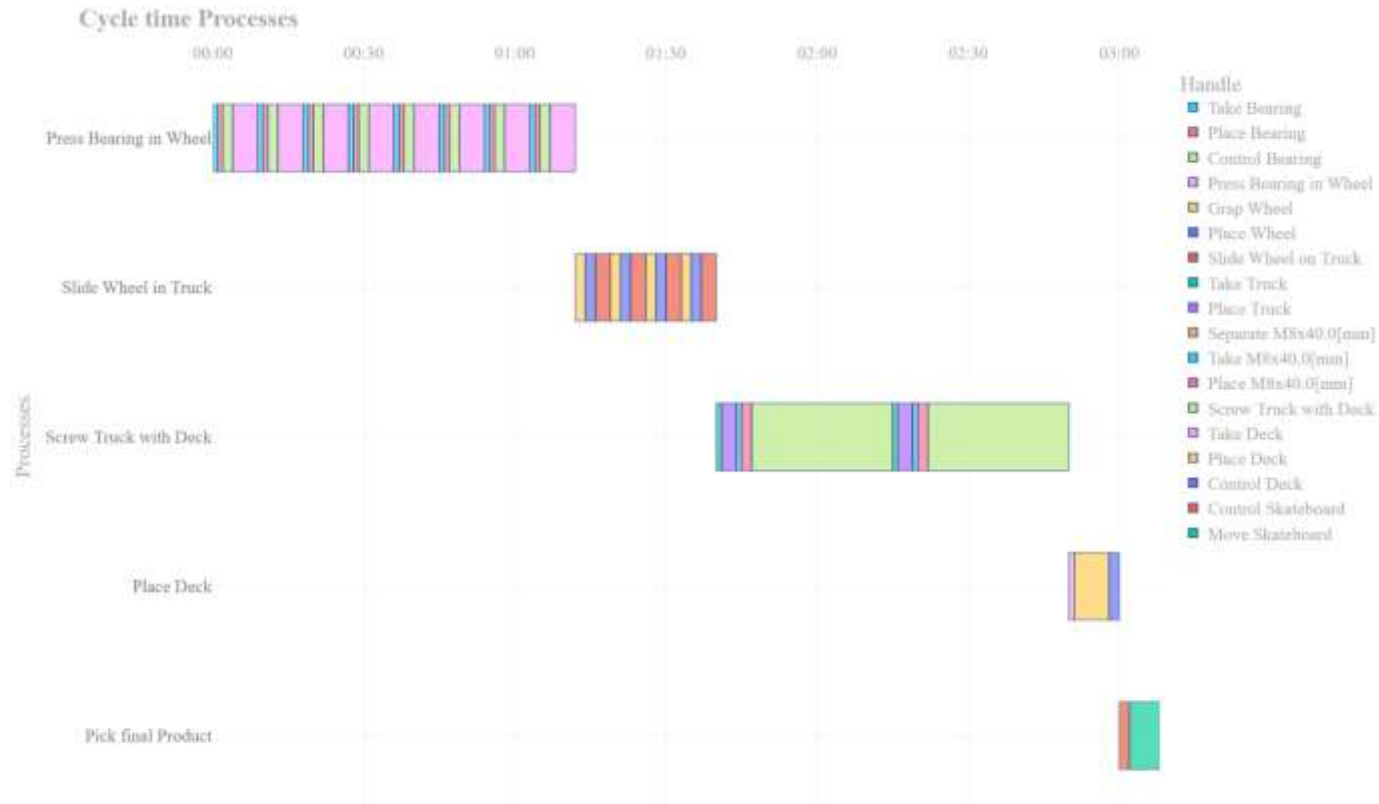
## Anreicherung der Prozesse





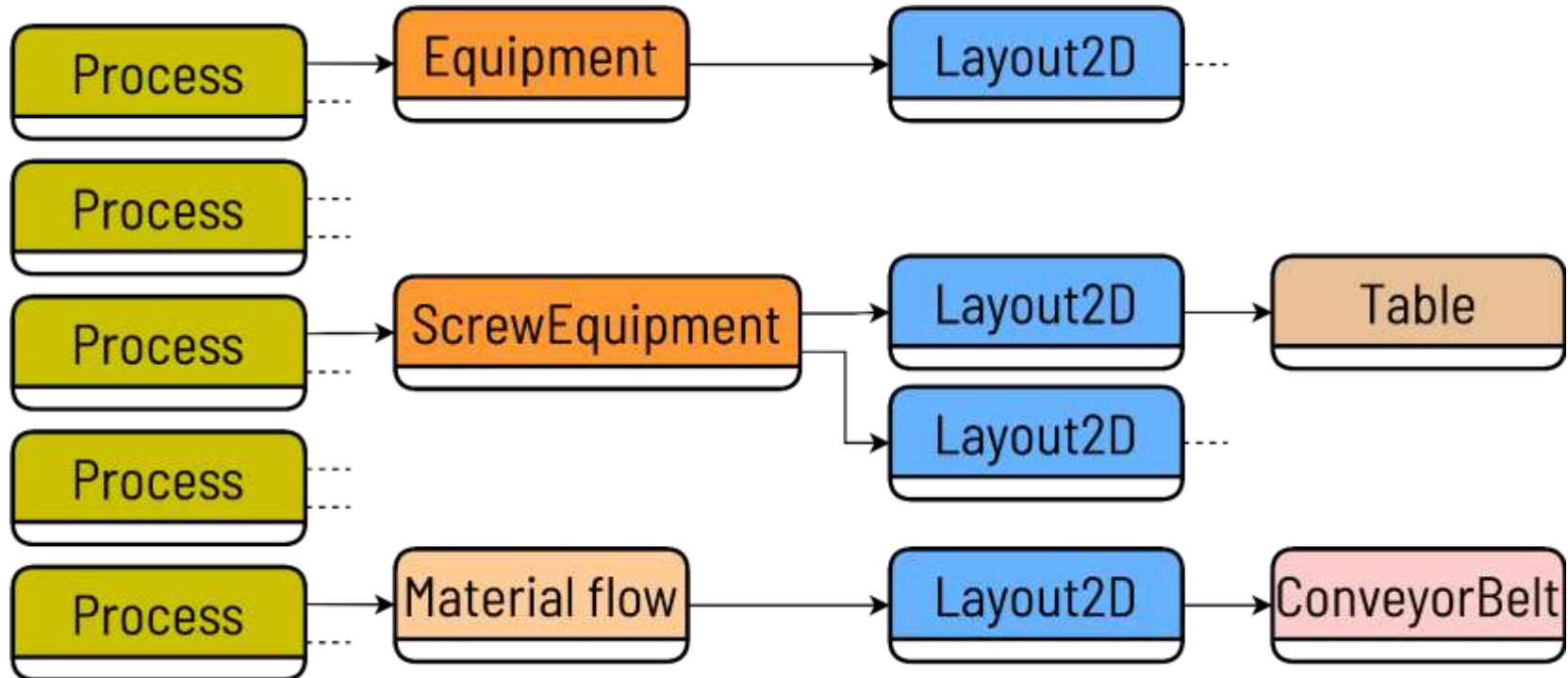
# Prozessplanung

## Taktzeit-Diagramm



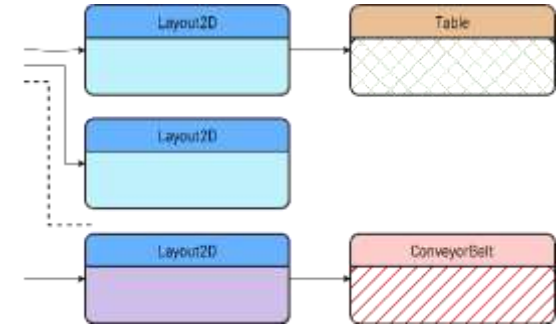
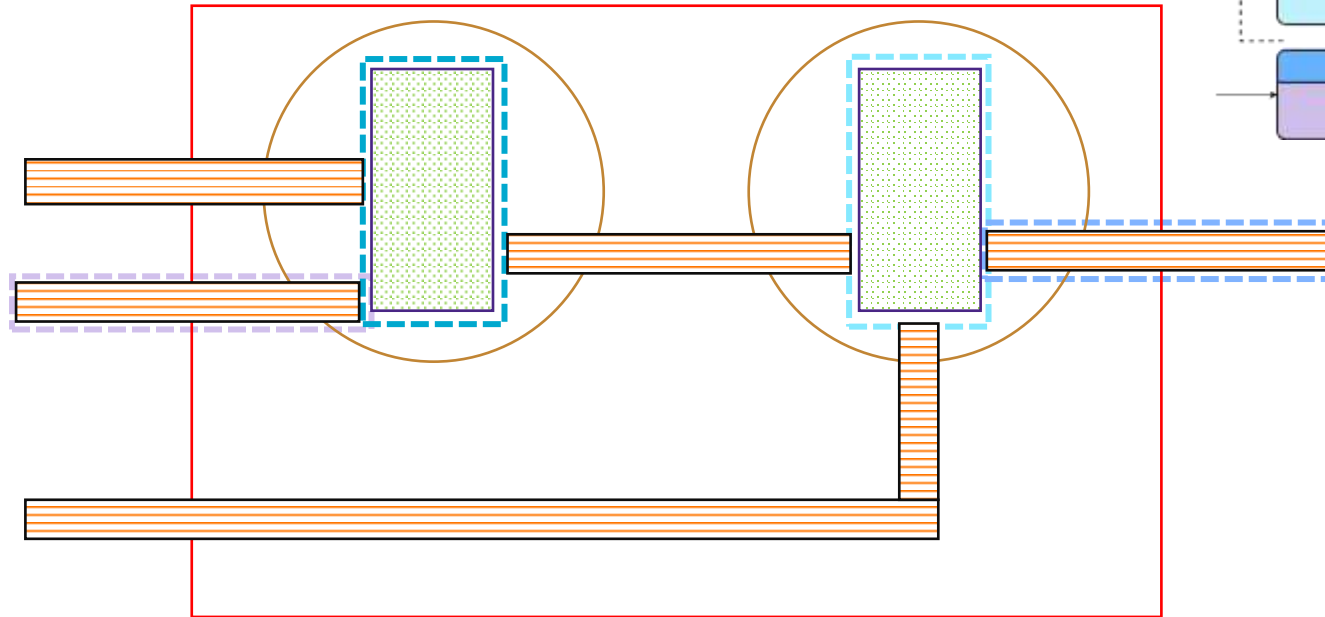


# Prozessanreicherung mit 2D-Layout und Technologieauswahl





# Layout 2D



Tisch

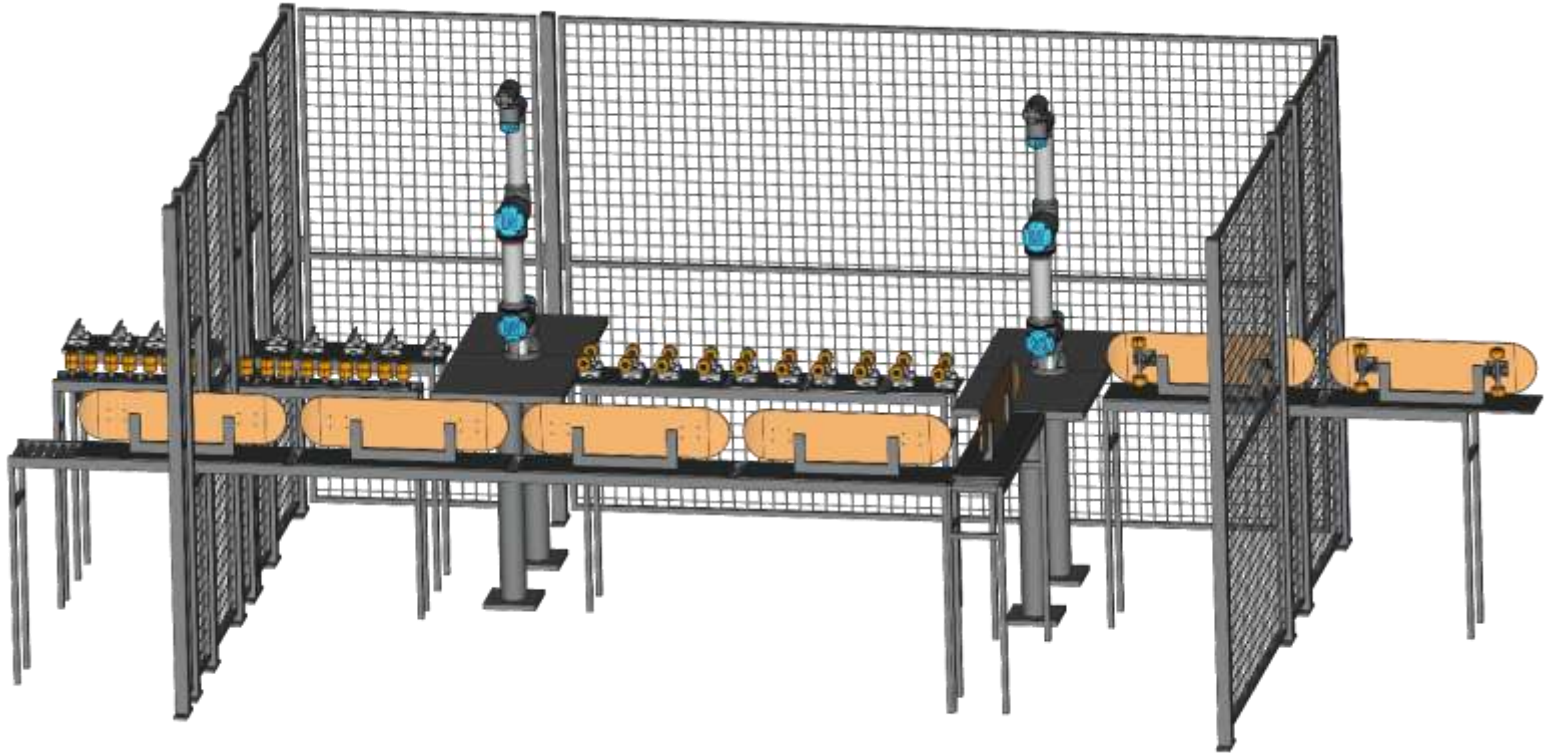
Zaun

Roboter

Förderband

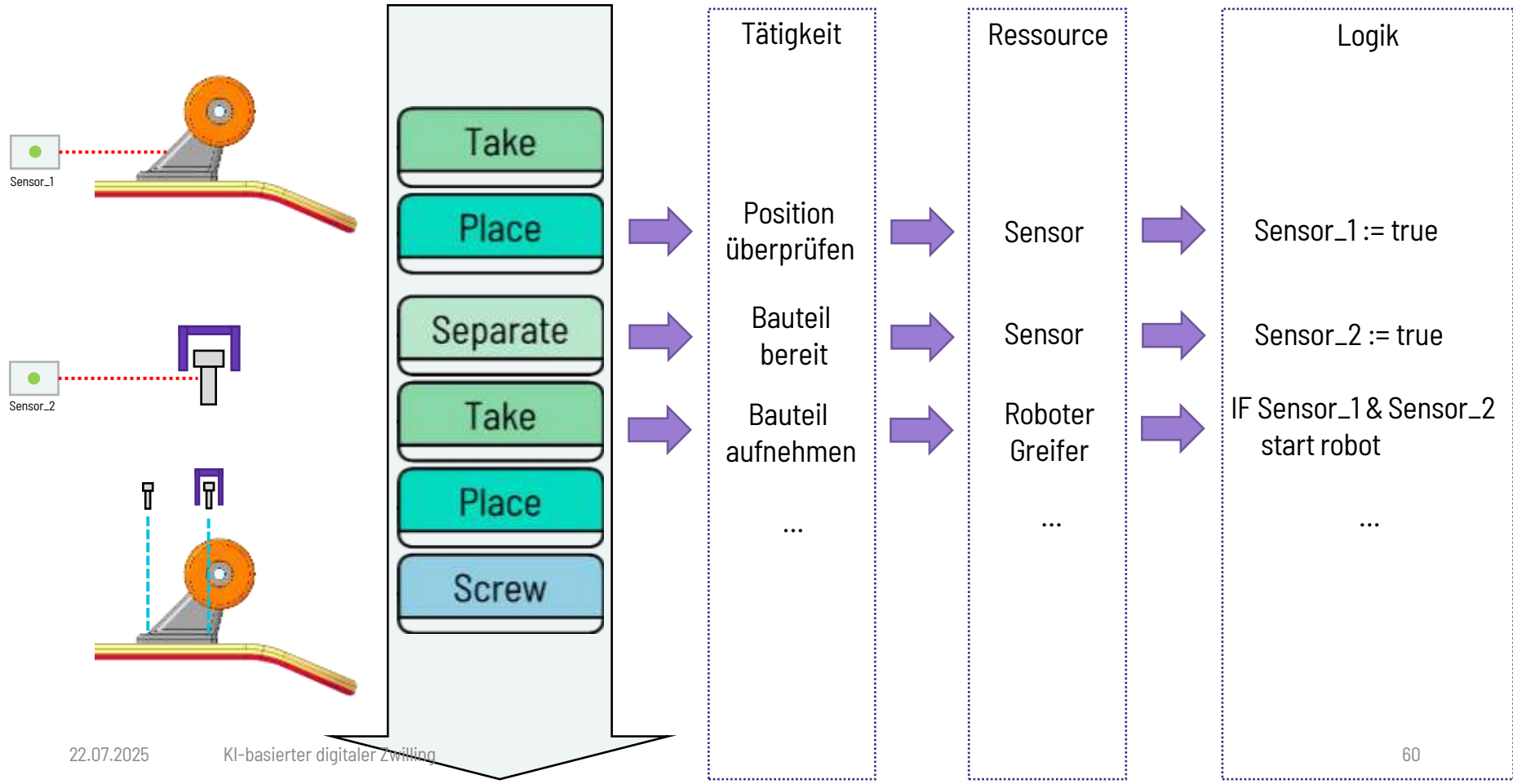


# Layout 3D



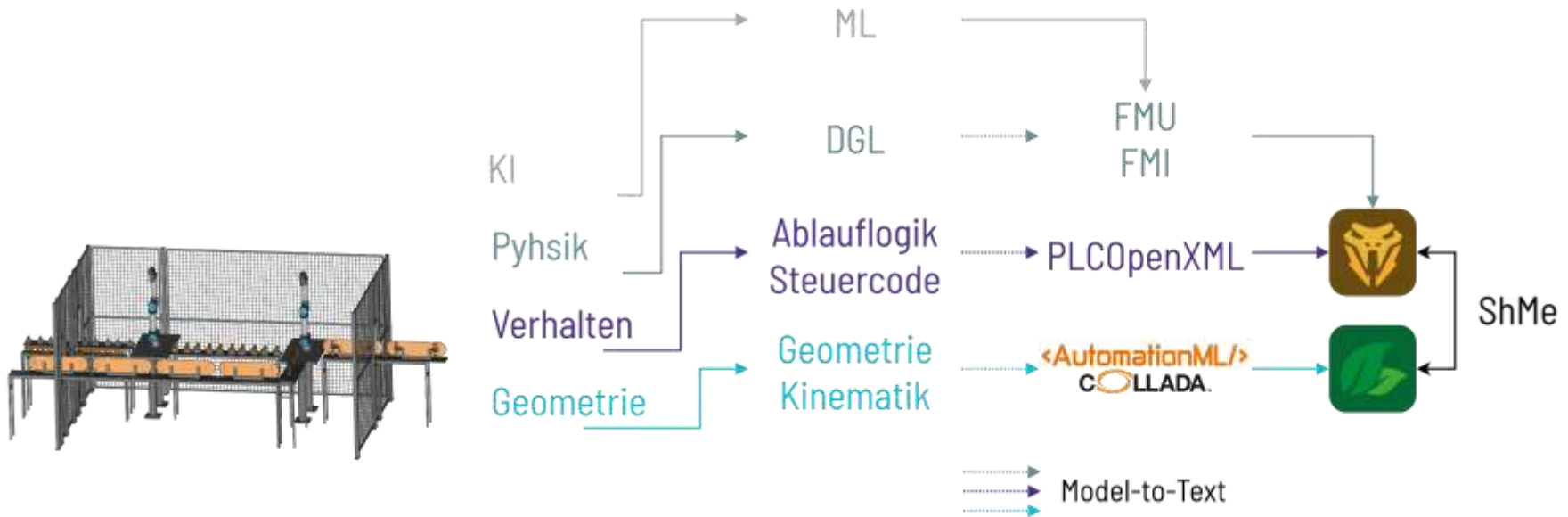


# Generierung der Ablauflogik



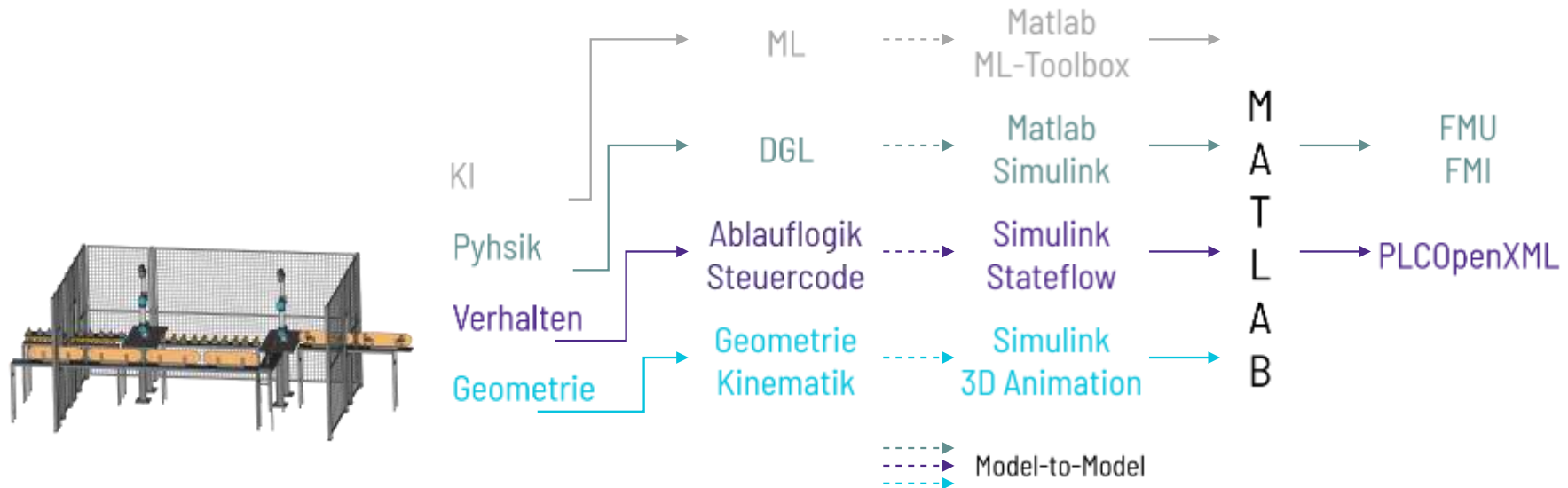


# EKS Architektur: Virtuelle Inbetriebnahme





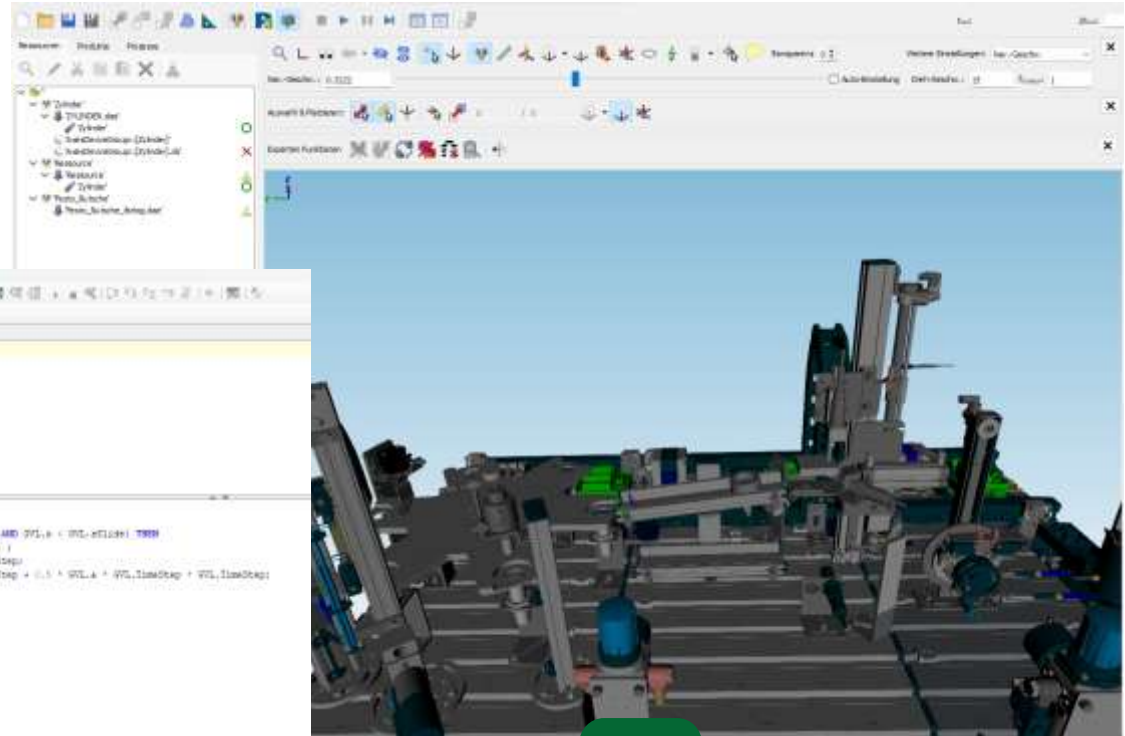
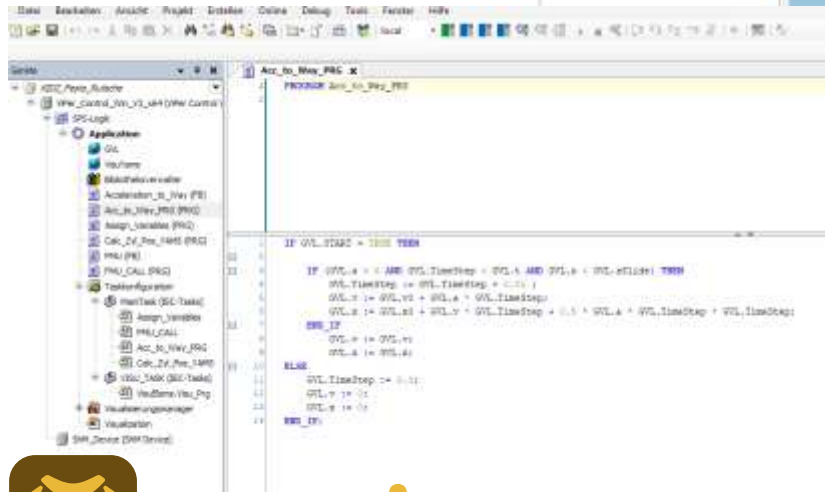
# Matlab Architektur: Virtuelle Inbetriebnahme





# Virtuelle Inbetriebnahme mit RF::Suite von EKS InTec GmbH

## Festo-Anlage



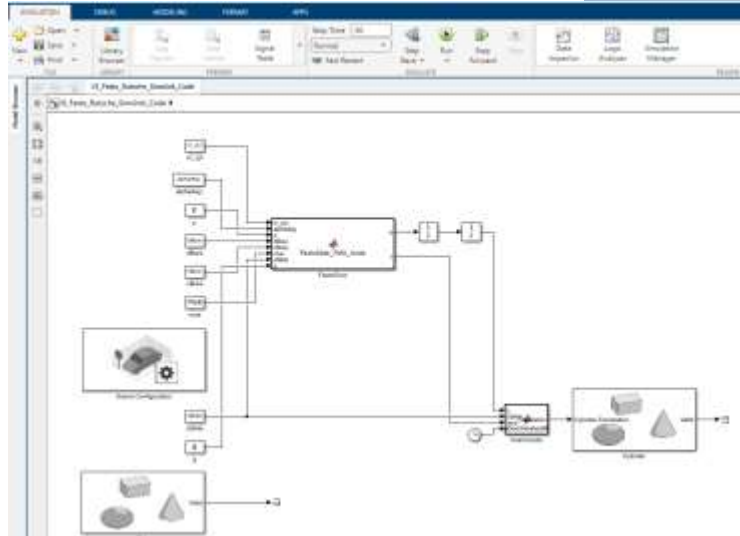
**RF::ViPer**



**RF::YAMS**



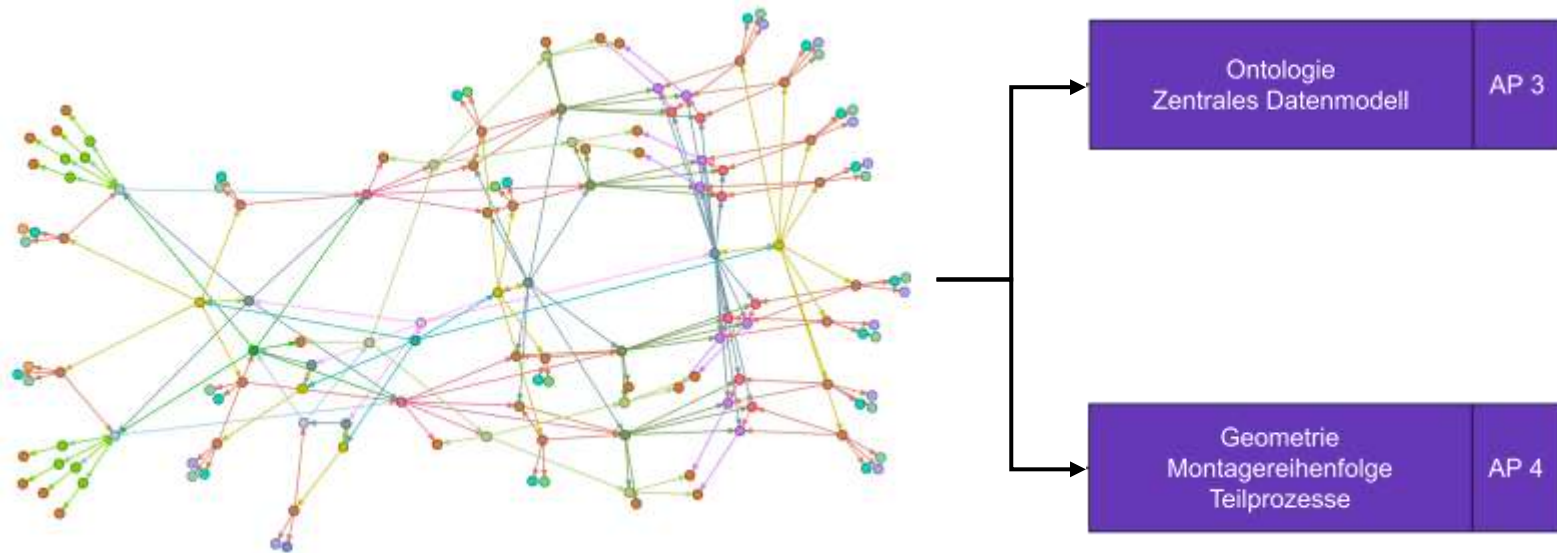
# Festo-Anlage





# 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](http://www.rwu.de/idw)

[www.rwu.de](http://www.rwu.de)

[info@rwu.de](mailto:info@rwu.de)



# Automatic Generation of Training Data for CNN

## Problem Statement

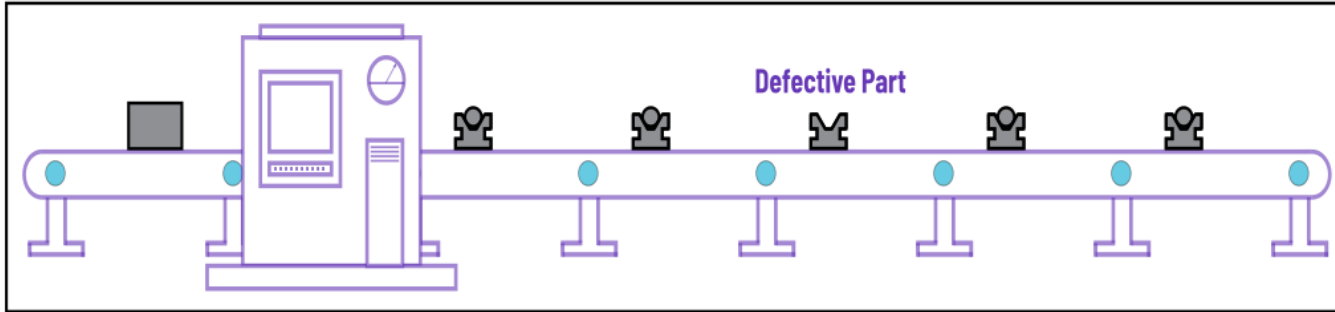


Fig1: Traditional Manufacturing of Parts in Industries

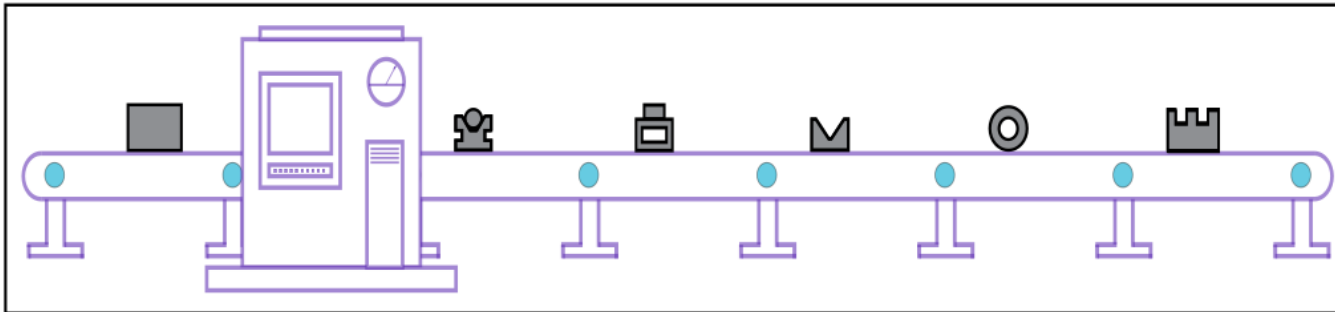
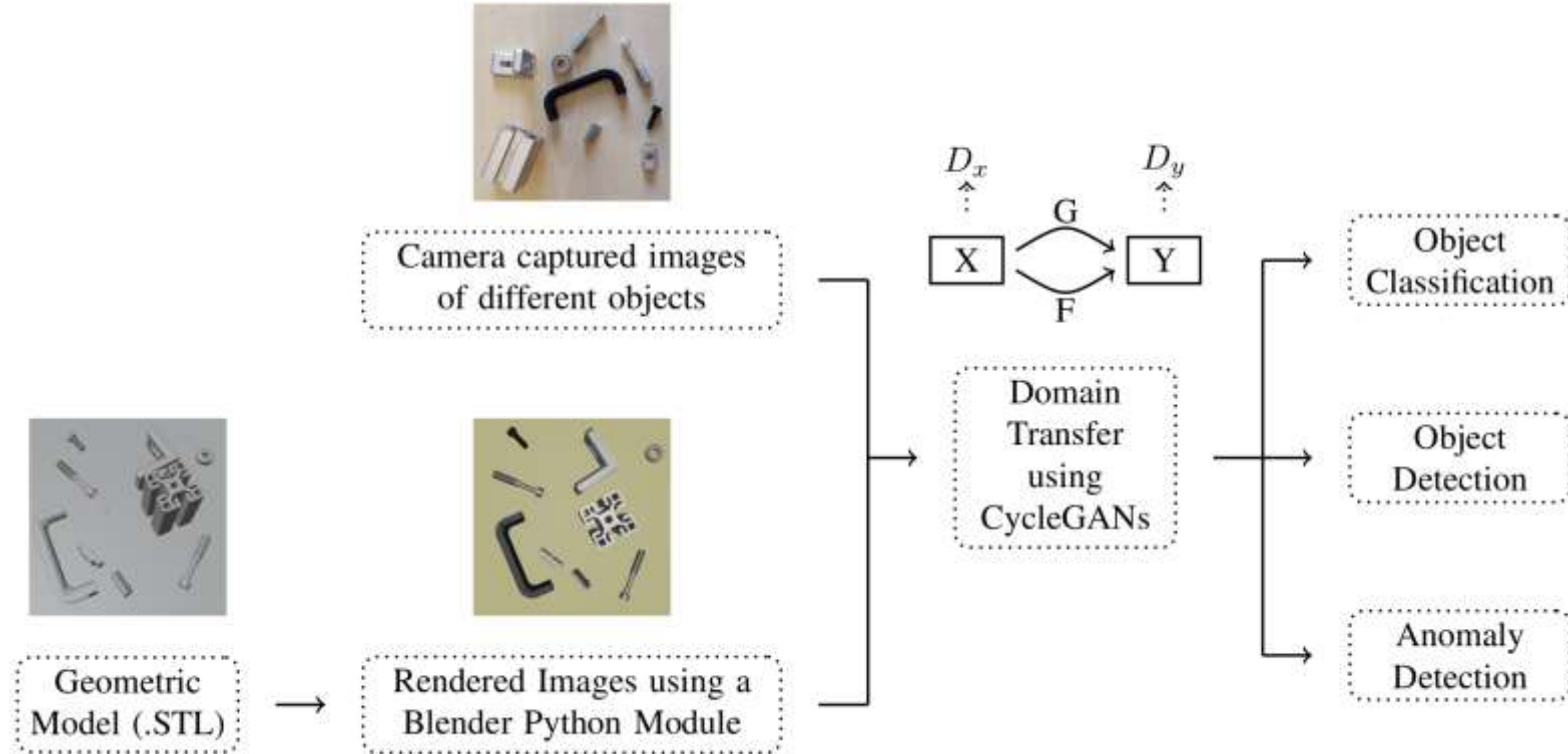


Fig2: Batch-Size-of-One Manufacturing of Parts in Industries



# 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



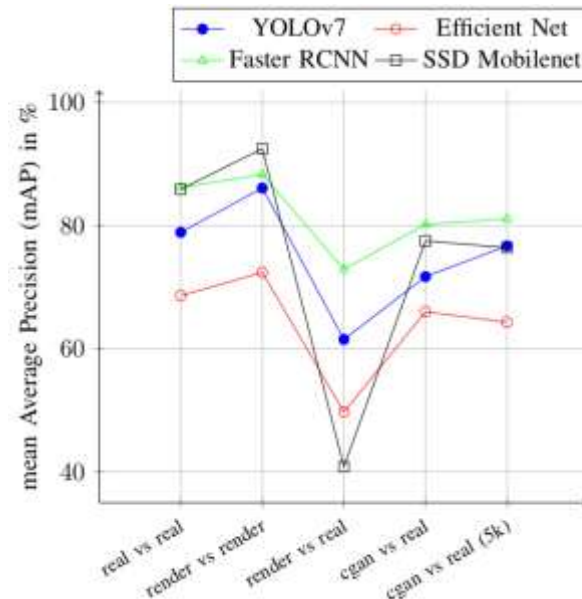
CycleGAN domain  
transferred image trained  
for 5000 epochs



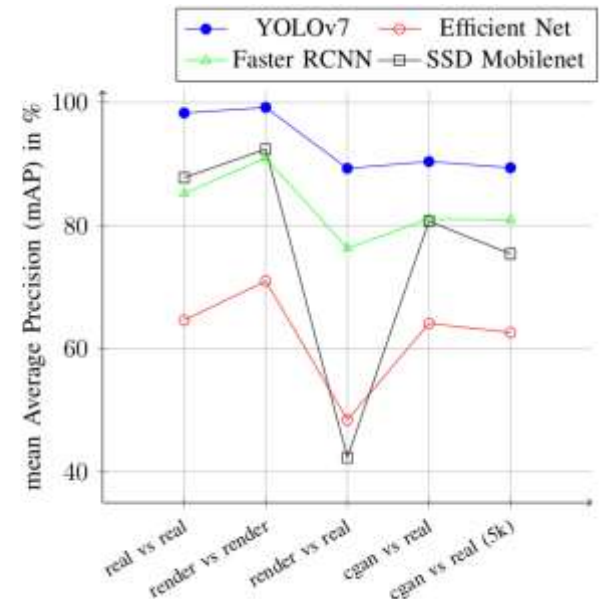
# Synthetic Data Generation

## 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

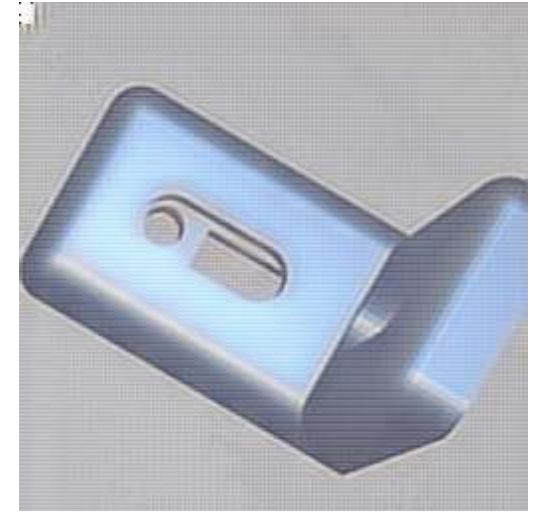
## Domain Transfer with Different Objects



Realistic Camera  
captured image



Rendered image using  
Blender python module

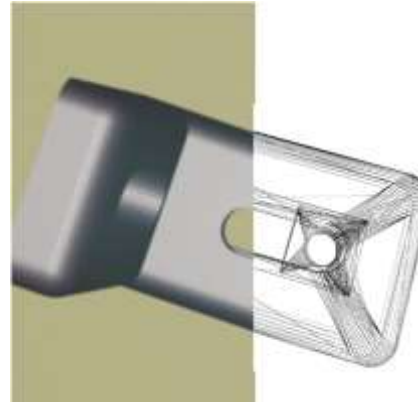


CycleGAN domain  
transferred image



# Synthetic Data Generation

## Evaluation - Domain Transfer with Different Objects



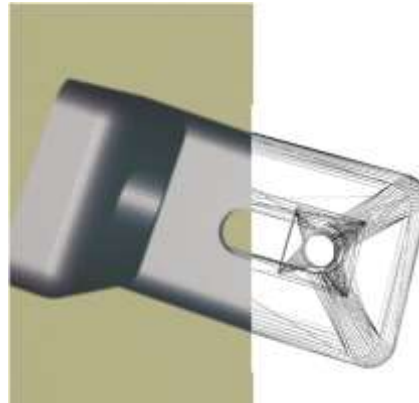
True / Predicted	Real	Rendered
Real	100	0
Rendered	0	100

Confusion Matrix for Classification on Camera captured Images



# Synthetic Data Generation

## Evaluation - Domain Transfer with Different Objects

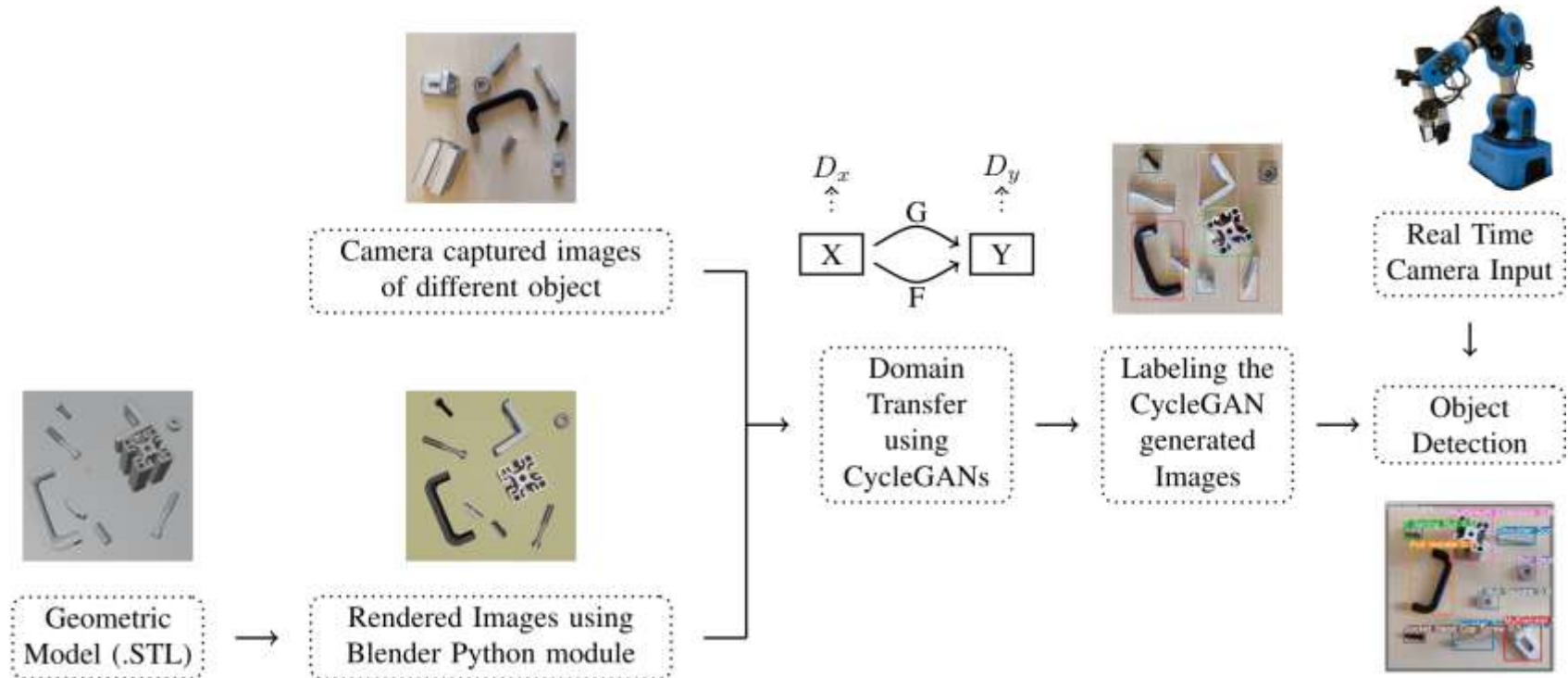


True / Predicted	Real	Rendered
Real	67	33
Rendered	0	100

Confusion Matrix for Classification on CycleGAN Generated Images

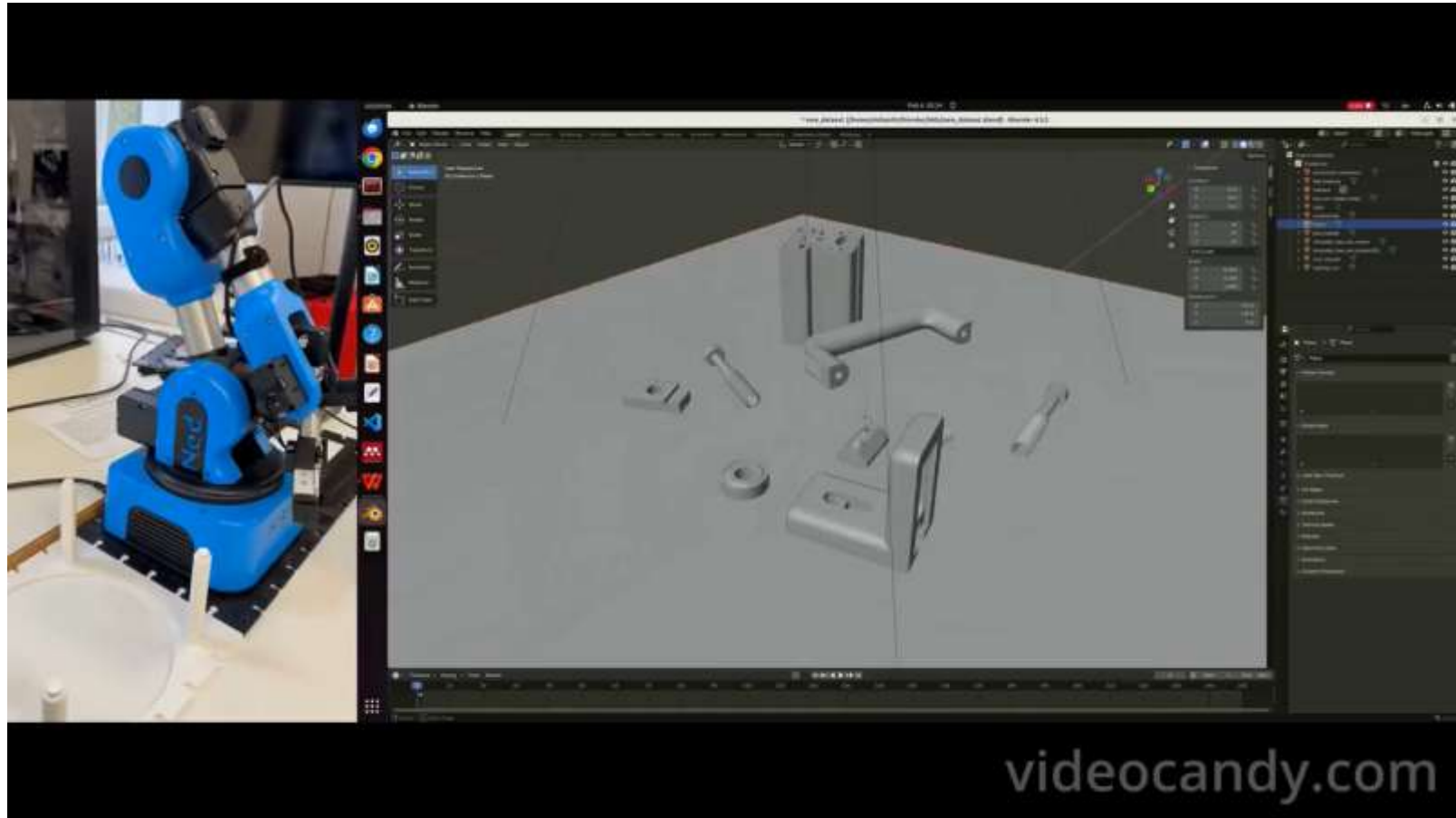


# Niryo Robot - Object Detection Pipeline Architecture



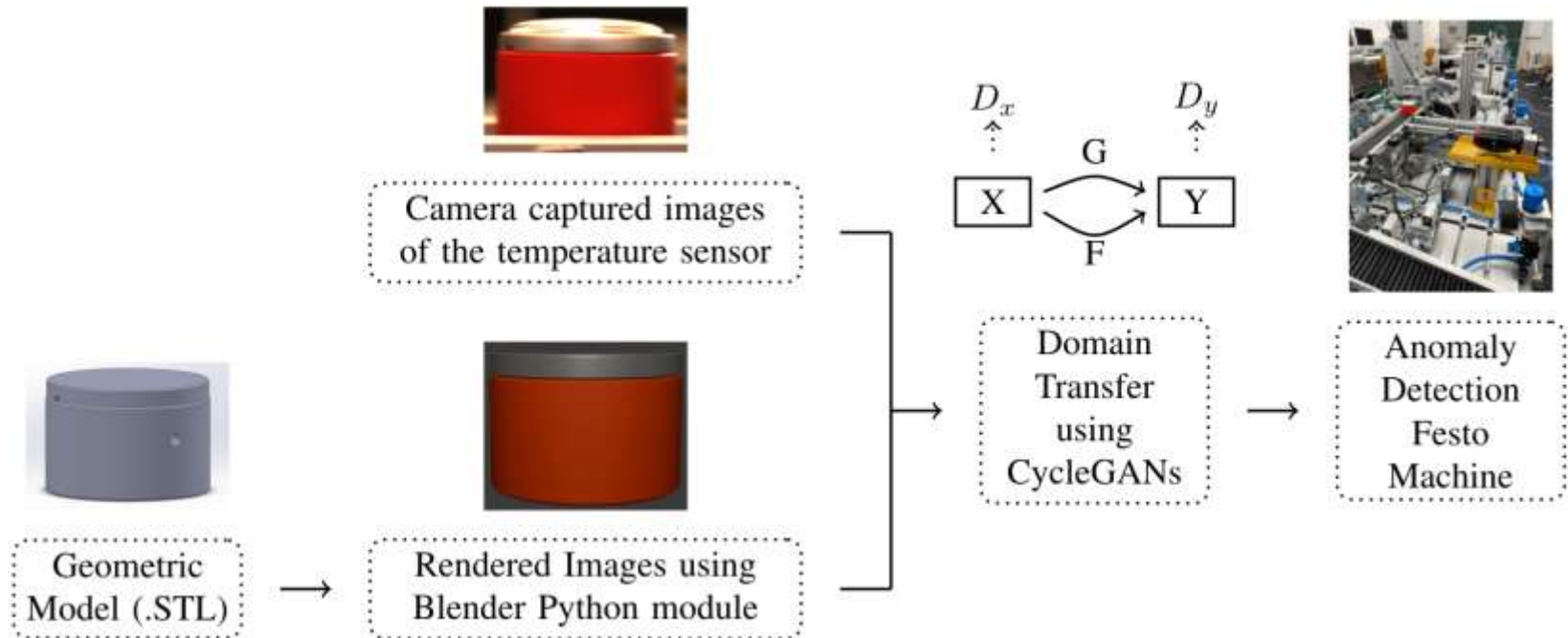


# Niryo Robot - Object Detection Pipeline





# 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

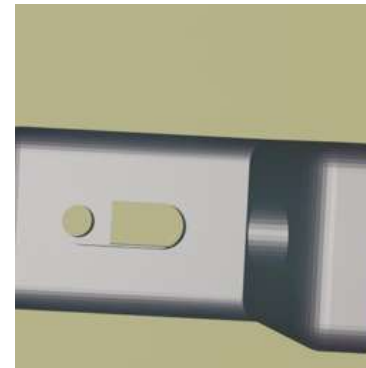


# Synthetic Data Generation

## 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](http://www.rwu.de/idw)

[www.rwu.de](http://www.rwu.de)

[info@rwu.de](mailto: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

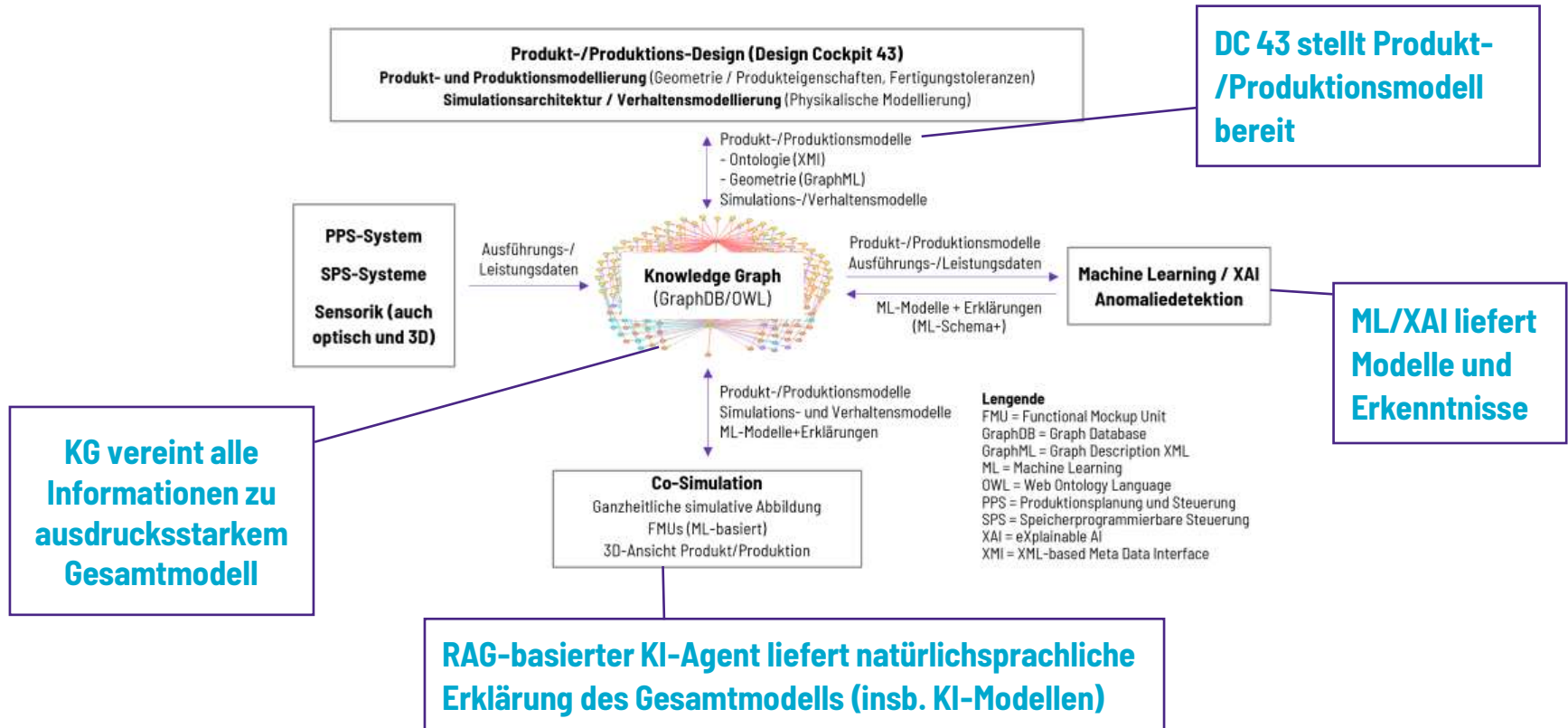
### Zielsetzung - Automatische natürlichsprachliche Erklärung der ML/XAI-Modelle

- » 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





## Anreicherung Knowledge Graph mit ML/XAI-Erkenntnissen



# ML-Algorithmen, Parameter, Modelle

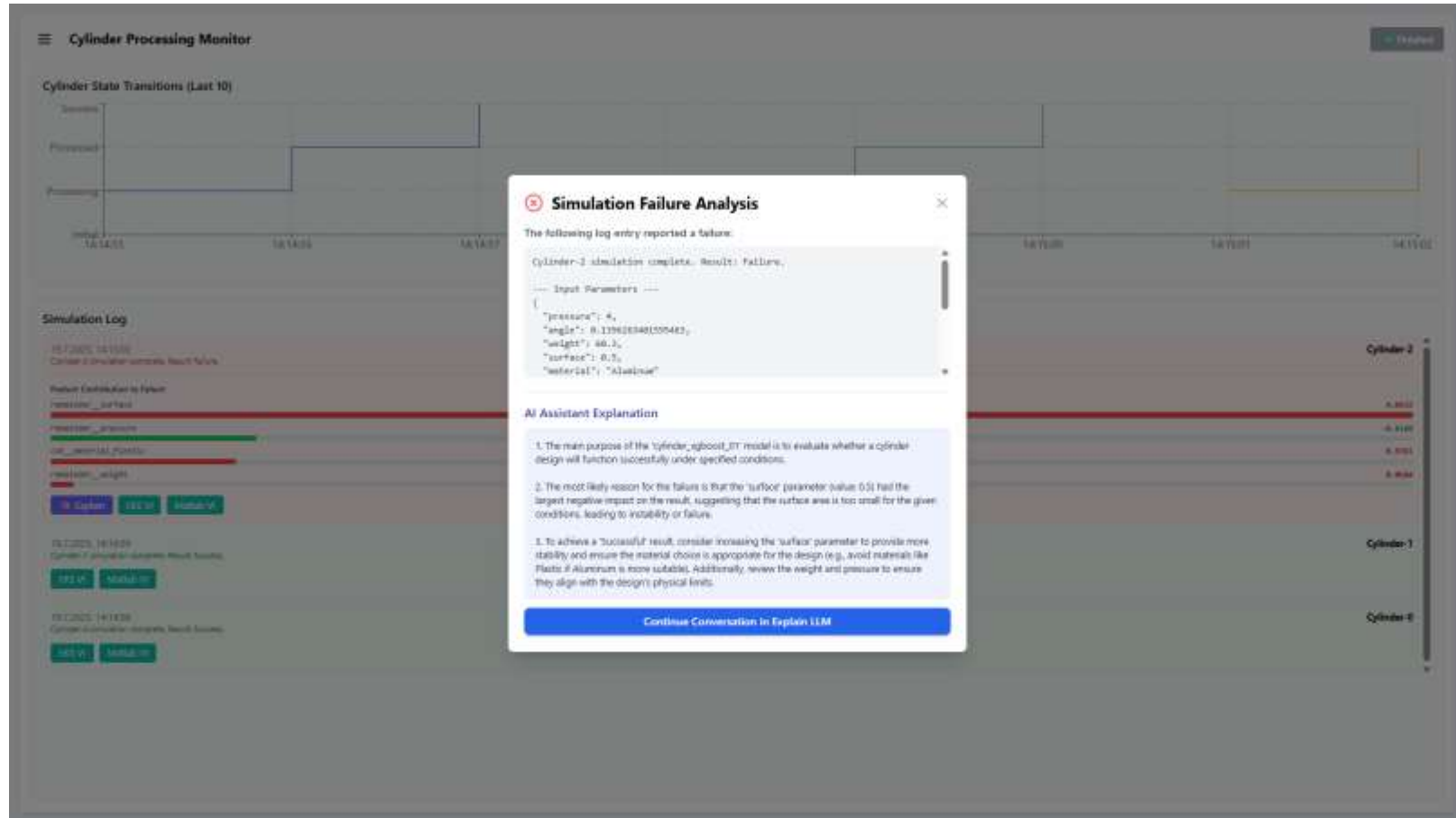
## XAI-Modelle (z.B. Shapley-Werte)

## Domänen-(Produkt-/Produktions)-Modell



# Natürlichsprachliche Erklärung gewonnener Erkenntnisse

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





# XAI mittels Large Language Model und KG

## Vergleich RAG und Fine-Tuning

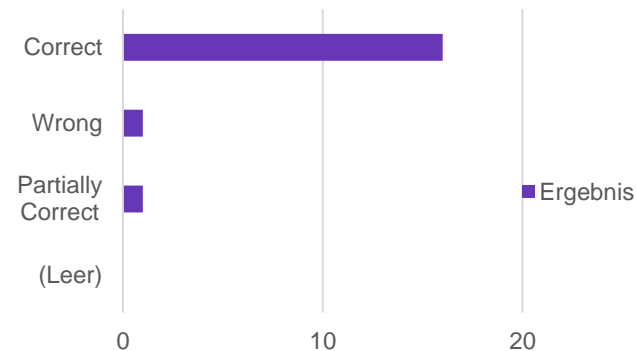
### RAG (Retrieval Augmented Generation)

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

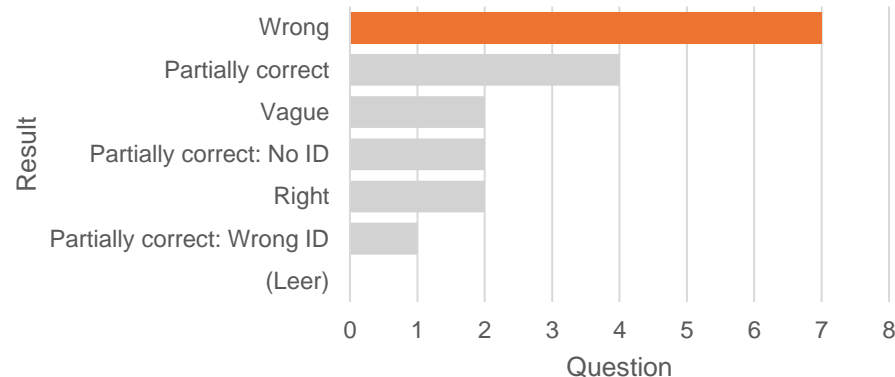
### Fine-Tuning

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

Ergebnis RAG



Ergebnis Fine-Tuning





# 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

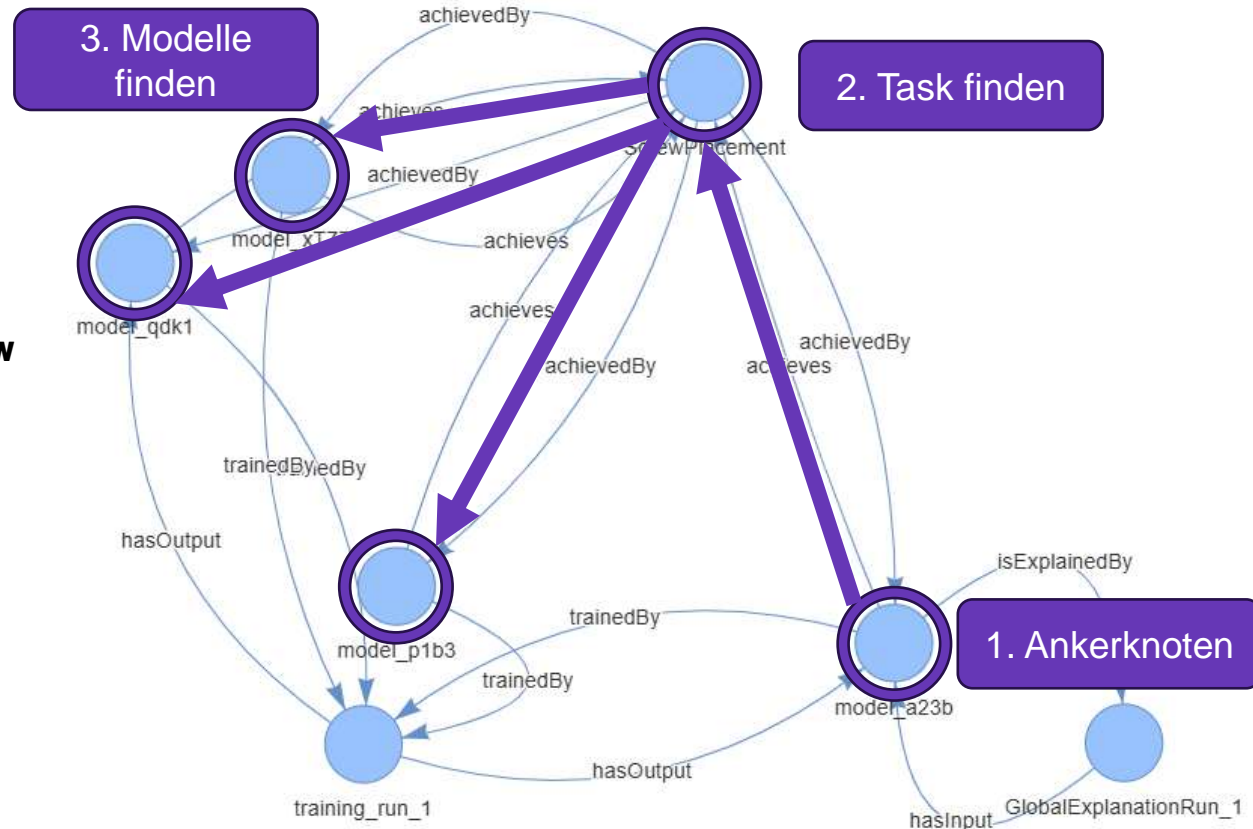
- » **ChatGPT:** `[niryo_dataset_september_2024, training_run_1, ScrewPlacement, GlobalExplanationRun_1]`
- » **Retriever:** This is the result to your query: [...{'Node': 'ScrewPlacement', 'Explanation': '...', 'Connections': 'achievedBy model\_a23b, achievedBy model\_xT77, achievedBy model\_p1b3, achievedBy 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\_La23b**, **model\_xT77**, **model\_p1b3**, and **model\_qdk1**. Here's a comparison of their performance:

Model Performance Overview

1. **model\_La23b:**

- **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:** 0.062

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: 0.6667
    - 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:** 0.9674
  - **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



## Roboterarm – Pick & Place



## Mehrkörper-Kinematik

