



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

22.07.2025

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

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



HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

17:00 – 17:30

Selbstlernender und selbsterklärender Digitaler Zwilling für industrielle Produktionsanlagen – Vision und Projektergebnisse

Prof. Dr. Wolfram Höpken, Leiter IDW@RWU

17:30 – 17:50

Automatisierter Entwurf von Produkt- und Produktionsmodellen

Timo Schuchter M. Sc. / Prof. Dr. Ralf Stetter

17:50 – 18:10

Automatic Generation of Training Data for Convolutional Neural Networks

Nishanth Nandakumar M. Sc. / Prof. Dr. Jörg Eberhardt

18:10 – 18:30

RAG-basierter KI-Agent zur natürlichsprachlichen Erklärung von KI-Modellen

Alexander Lohr M.Sc. / Prof. Dr. Wolfram Höpken

18:30 – 19:00

Live-Demonstration Showcases

19:00

Get-together - Posterpräsentationen & Snacks

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

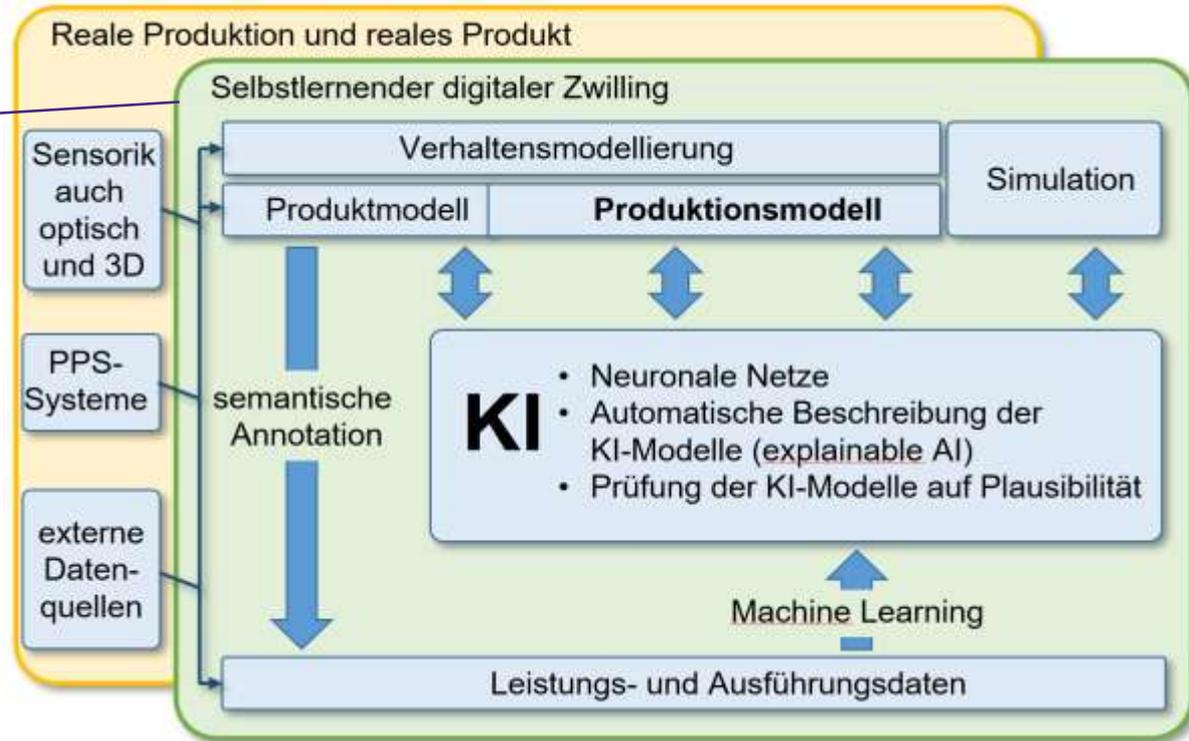
Zielsetzung

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

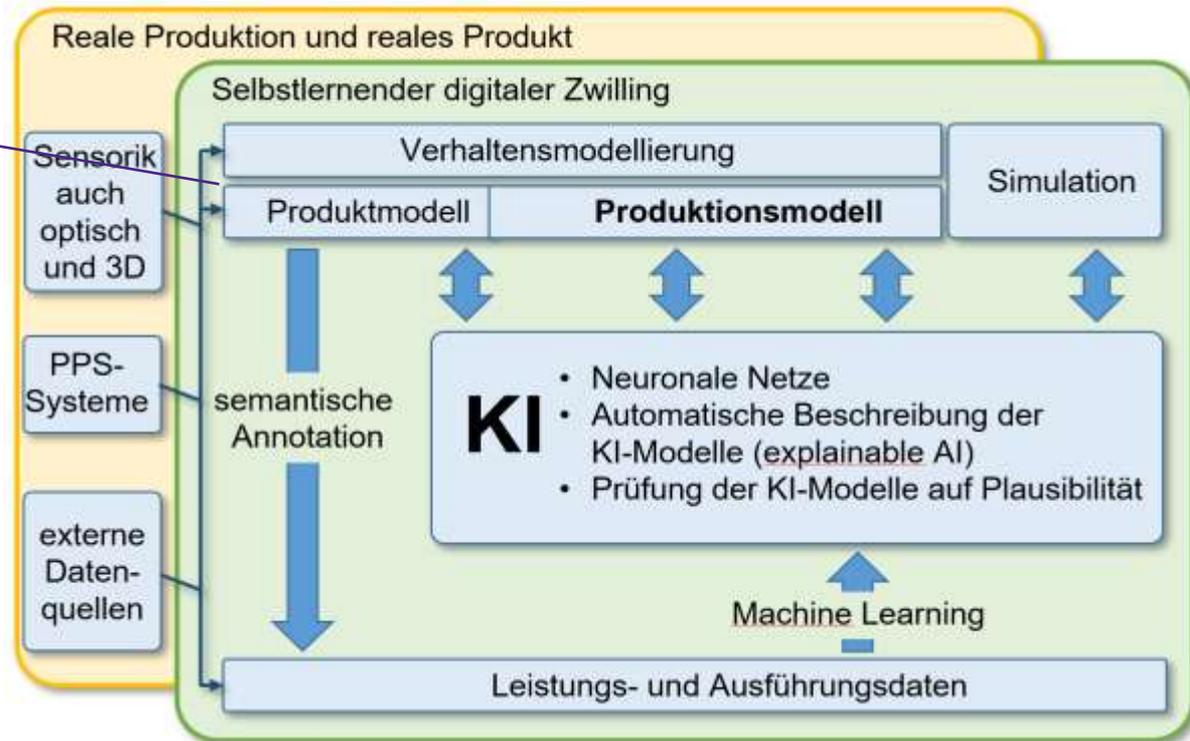


Zielsetzung

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**)

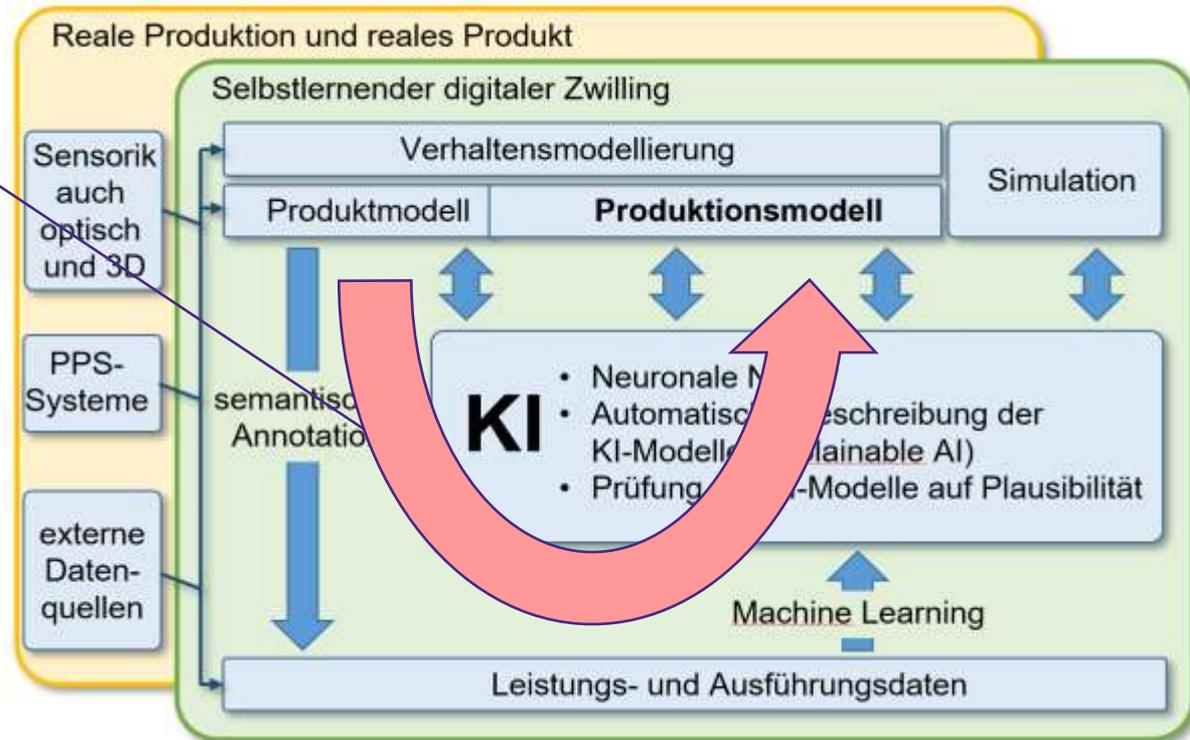


Zielsetzung

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

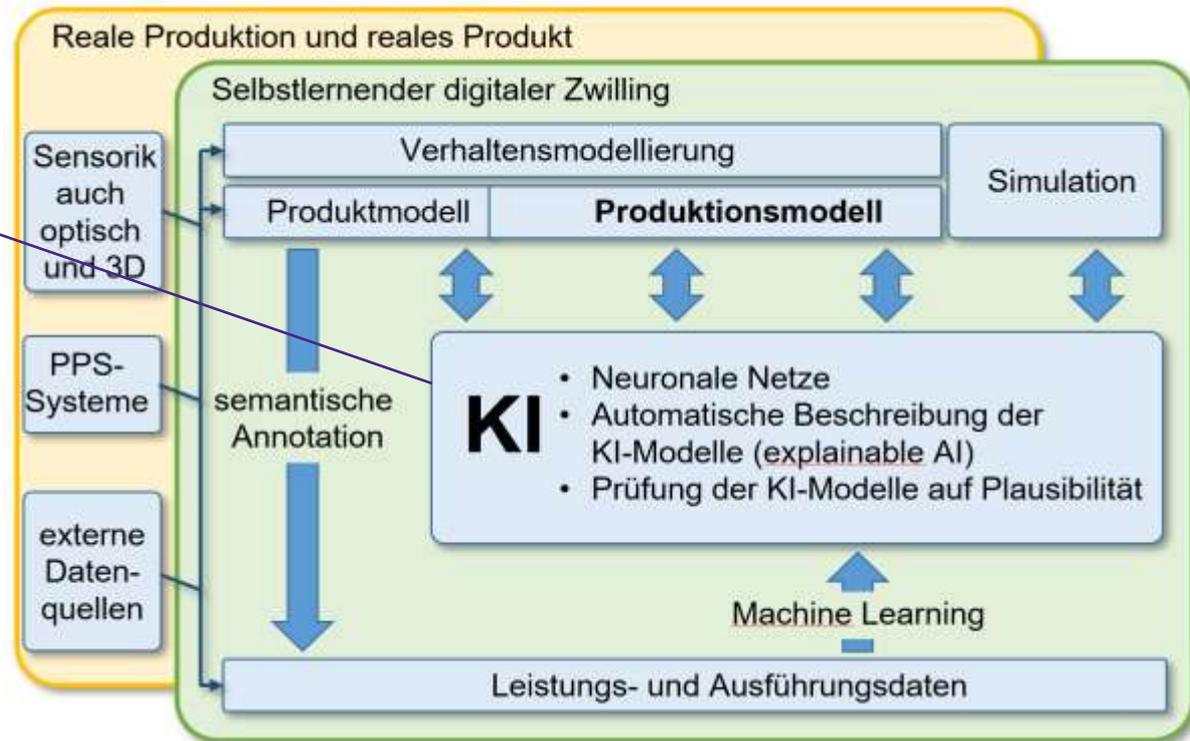


Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

Selbsterklärende KI

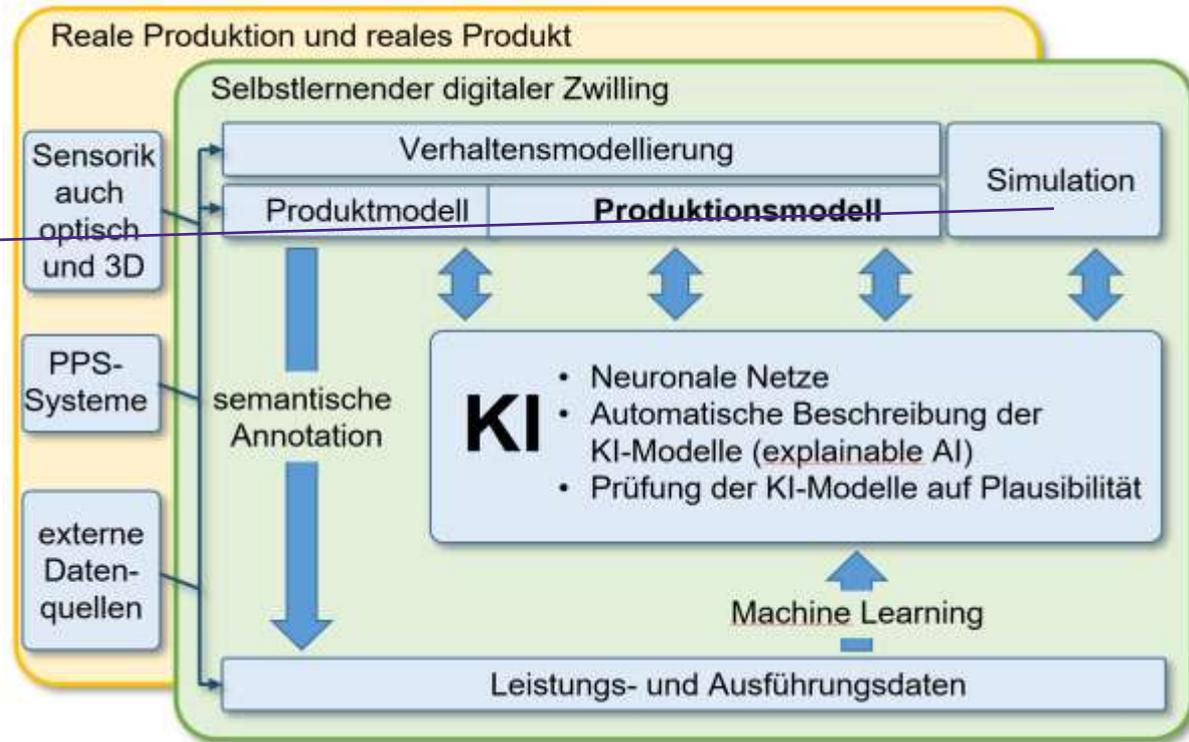
Gesamtmodell verbessert die Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit der KI-Modelle (neuartige Ansätze der **XAI** und **generativer KI**)



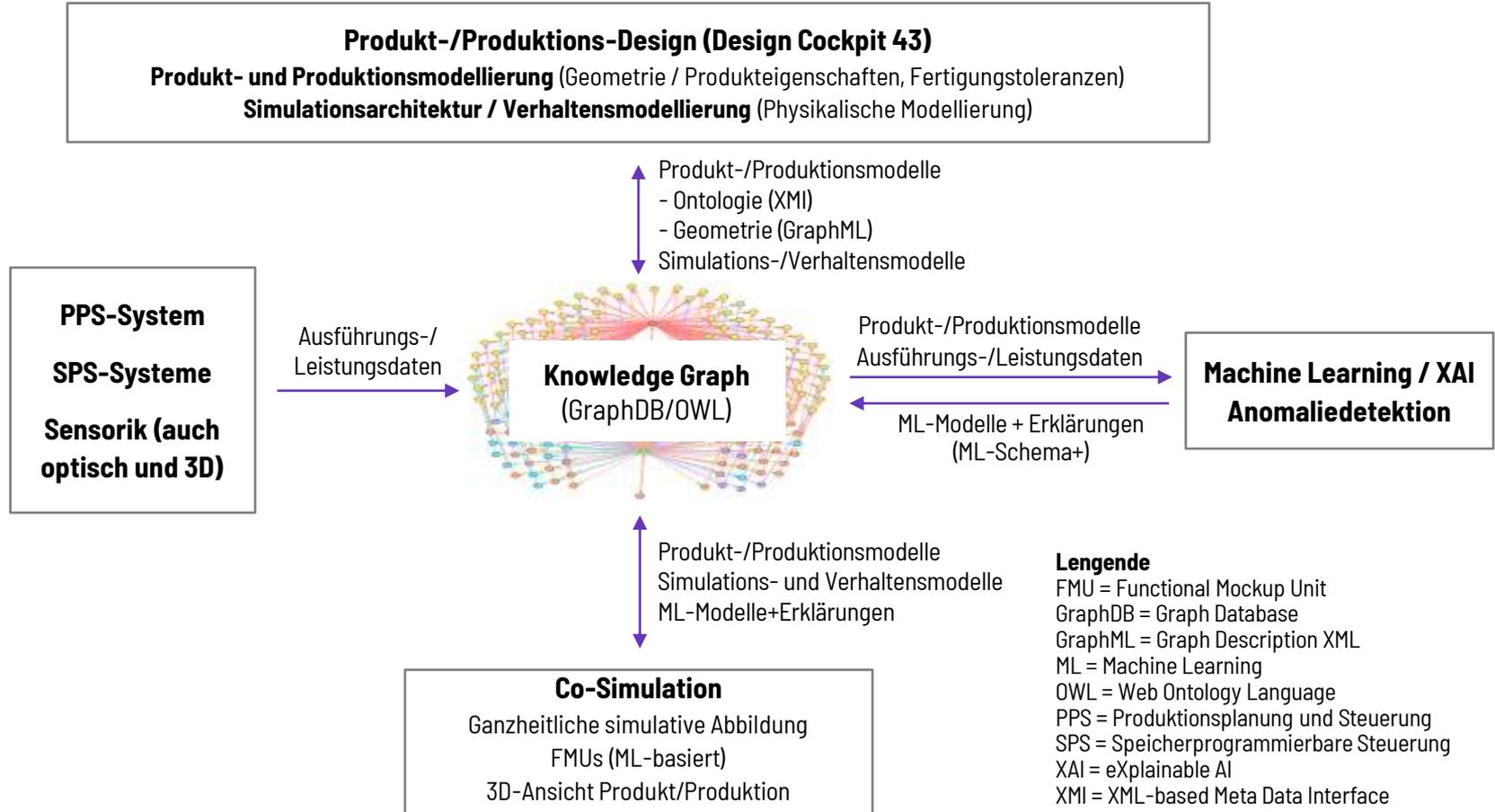
Zielsetzung

KI-basierter, selbstlernender und selbsterklärender digitaler Zwilling

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

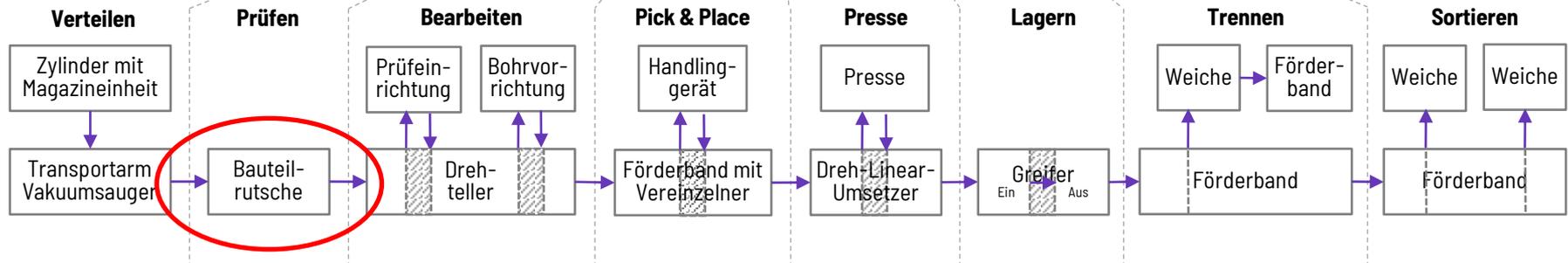


Architectural Blueprint



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Zerlegung einer Anlage in simulierbare Teilsysteme (FMUs)



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Zerlegung einer Anlage in simulierbare Teilsysteme (FMUs)

FMU - Bauteilrutsche

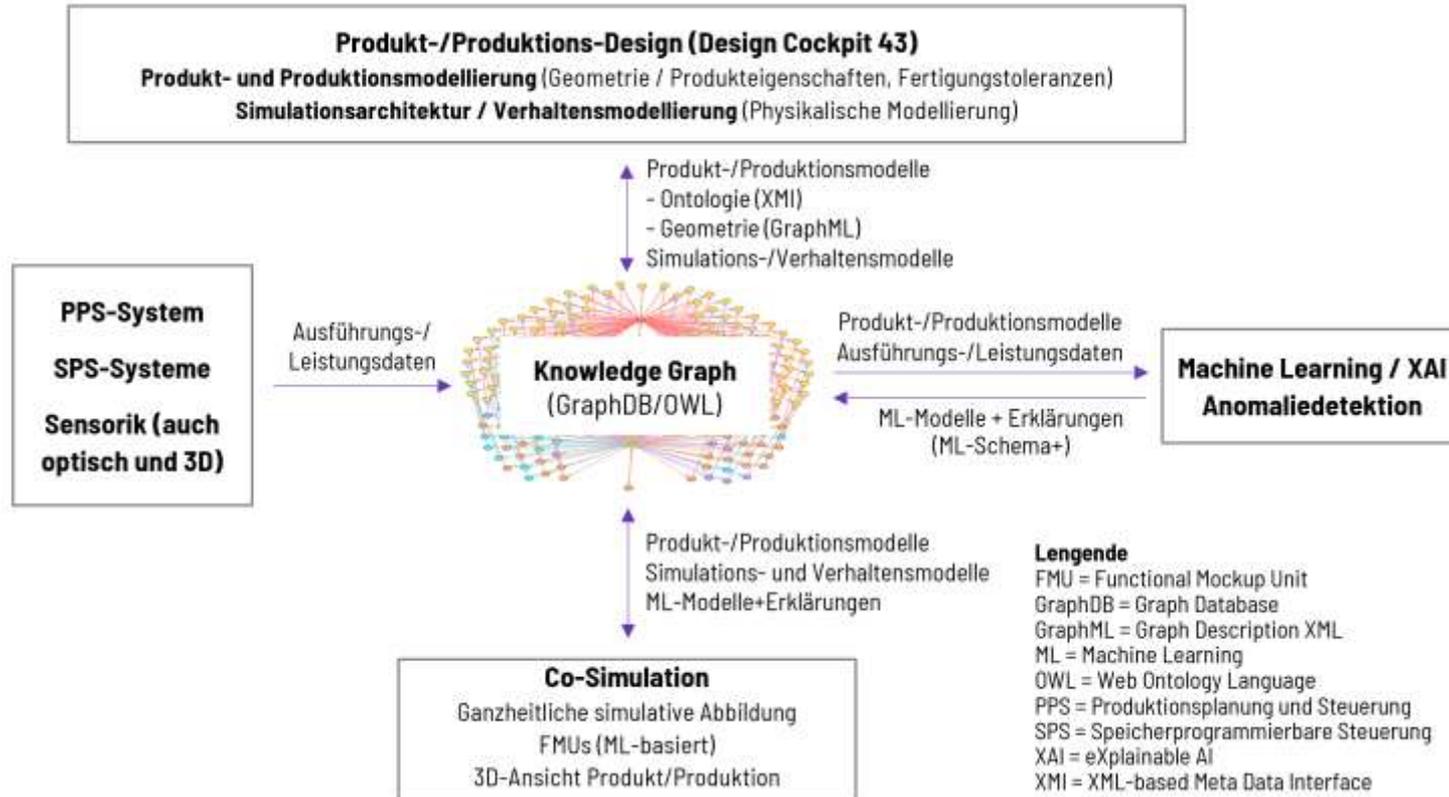


Grundlegende Idee

- » **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**

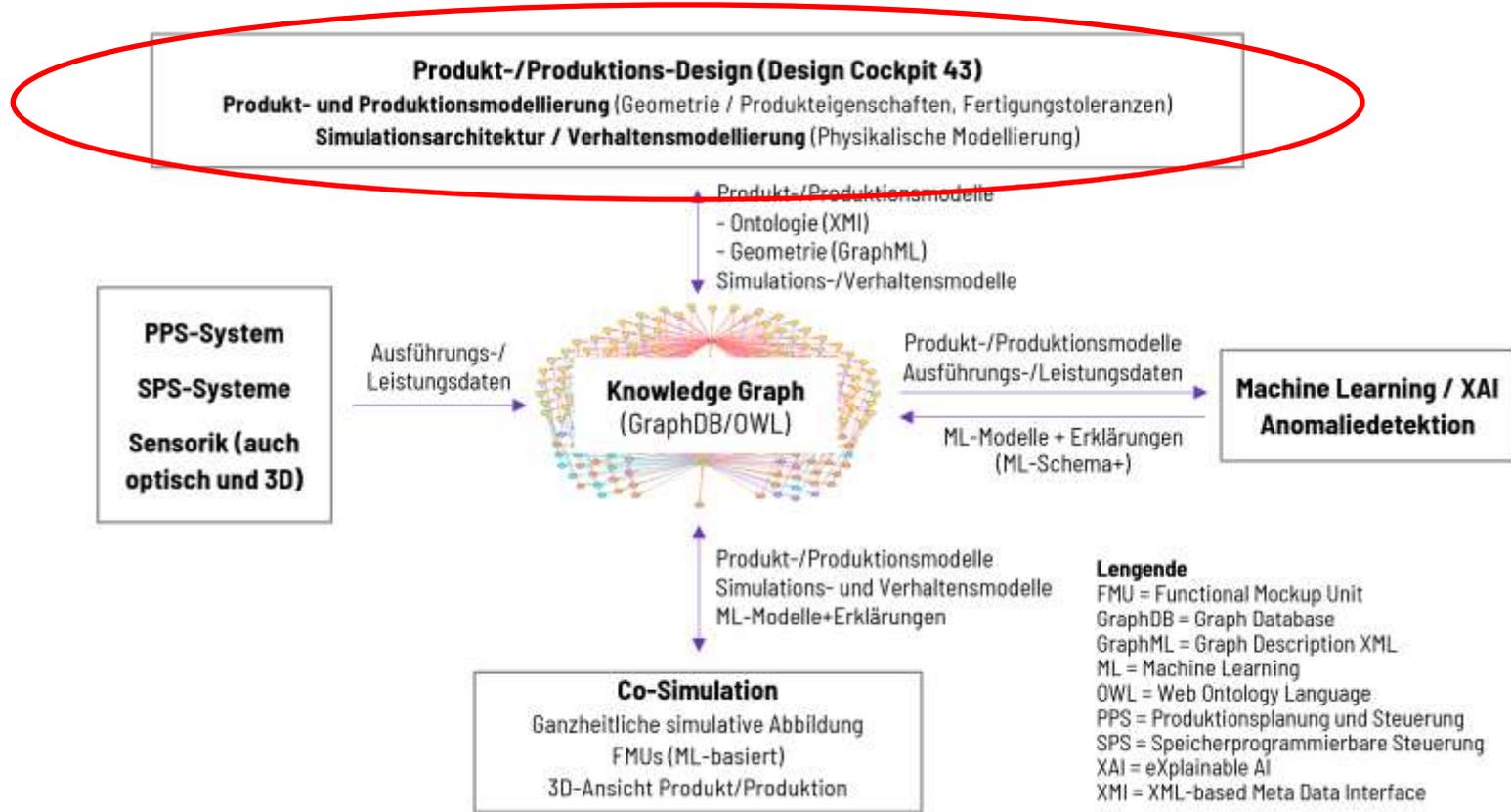
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Komponenten der Architektur



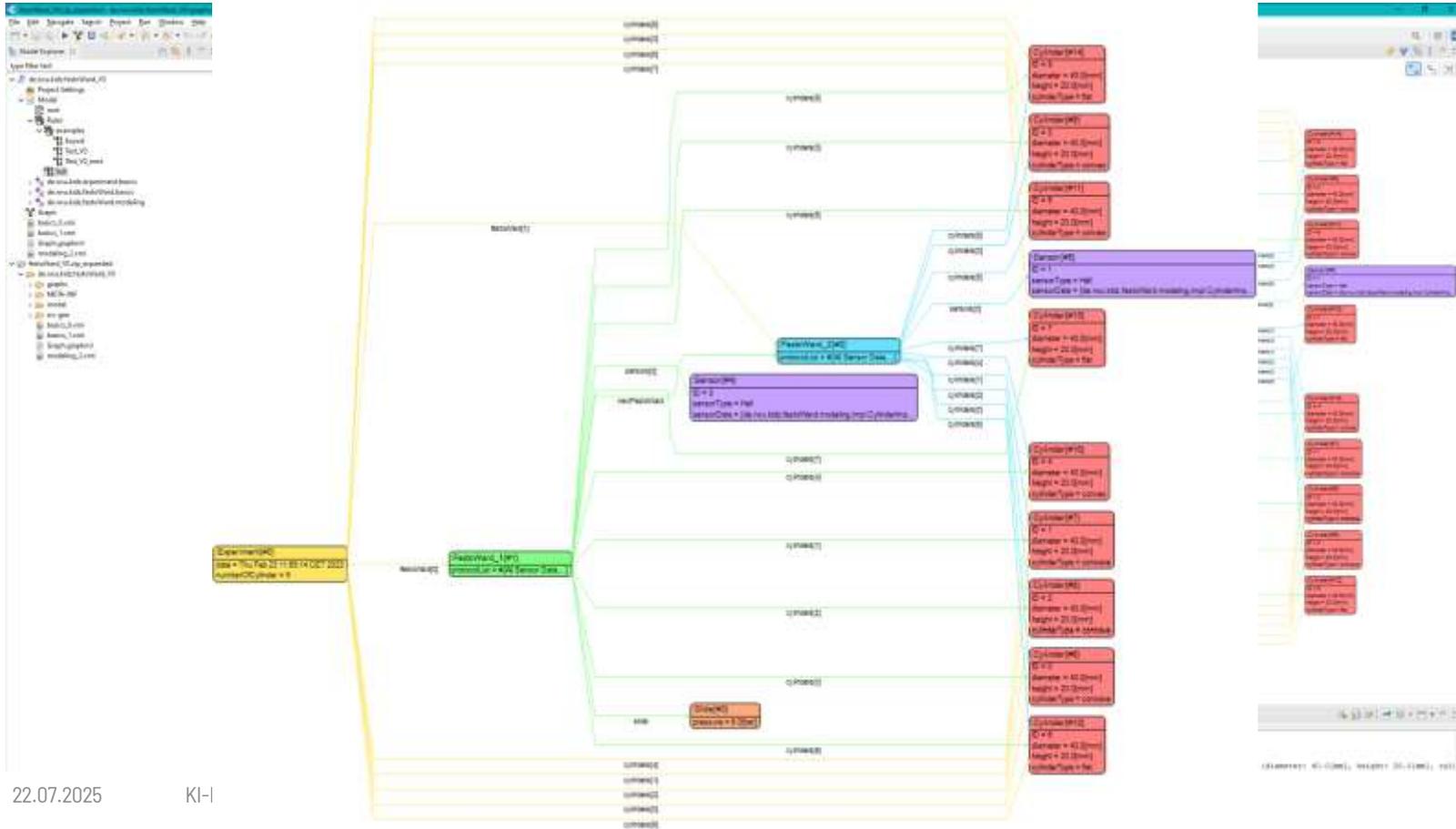
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Entwurf Produkt/Produktionsmodell im Design Cockpit 43



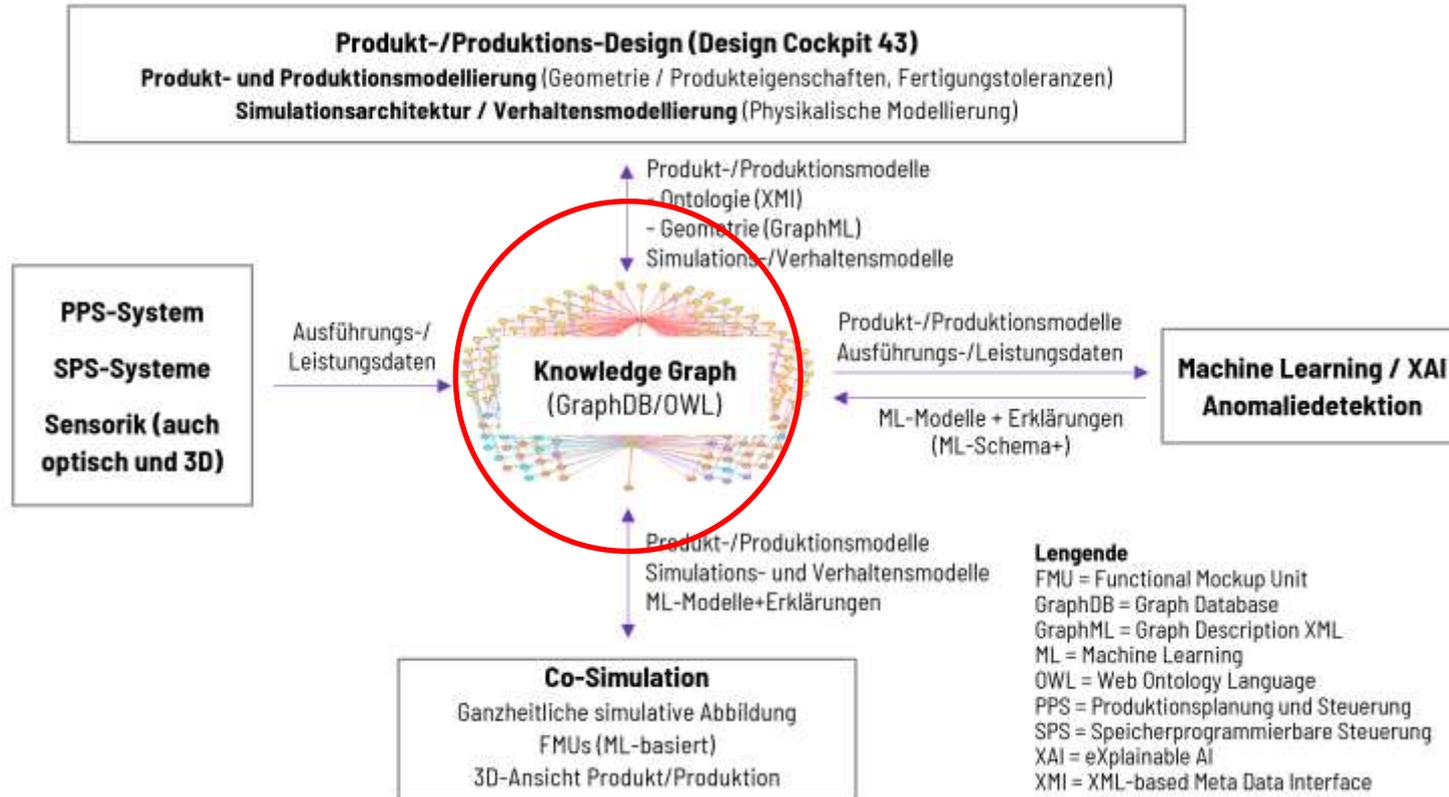
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Entwurf Produkt/Produktionsmodell im Design Cockpit 43



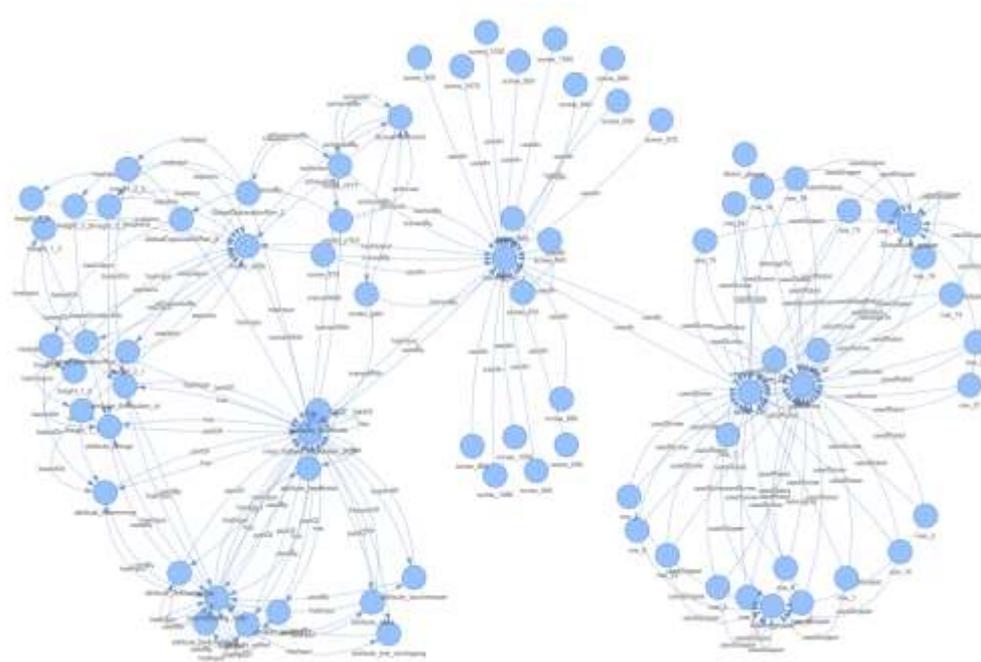
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Überführung DC 43 Modelle in Knowledge Graph



Showcase FESTO-Produktionsanlage

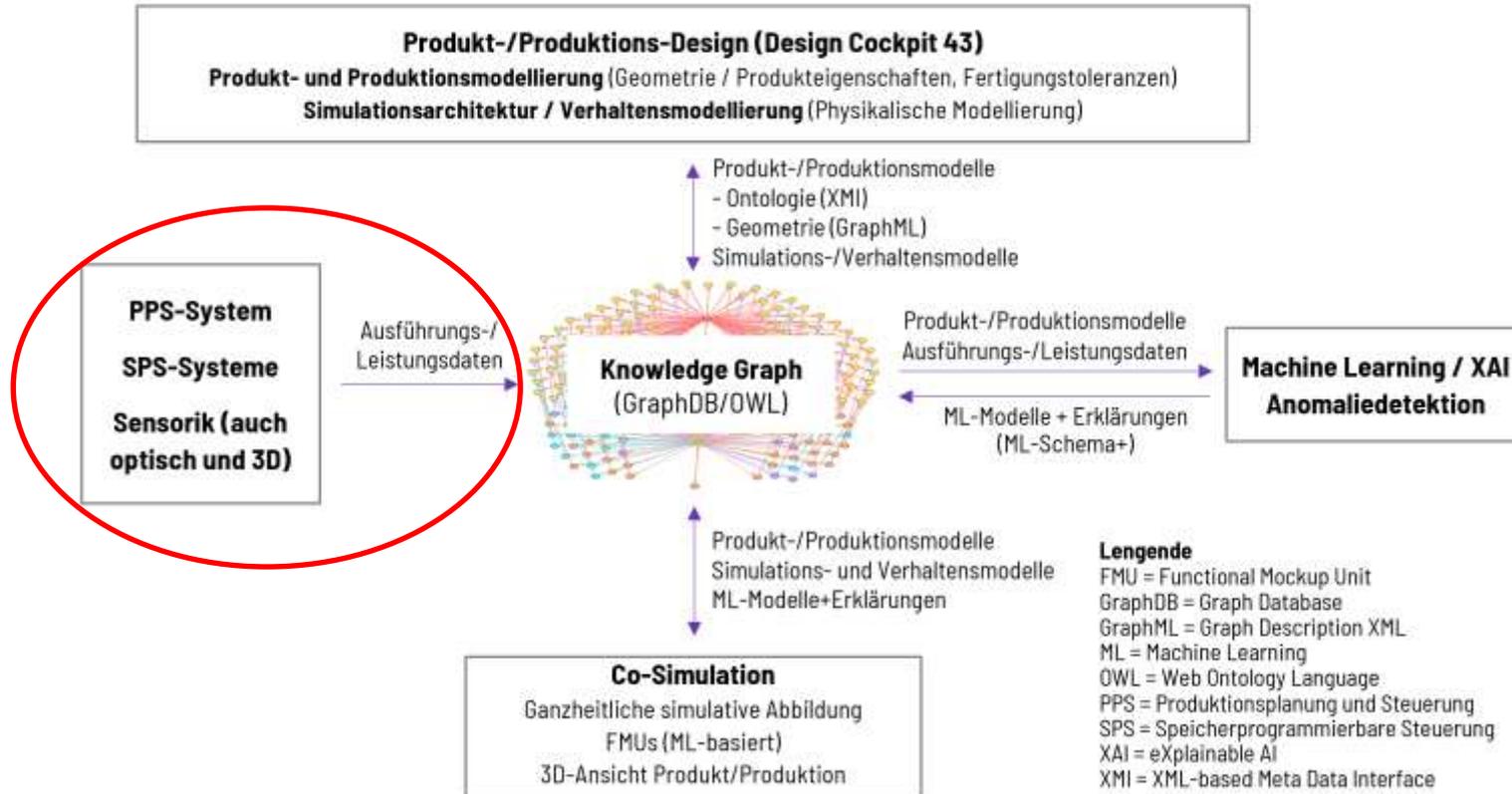
Überführung DC 43 Modelle in Knowledge Graph



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

Showcase FESTO-Produktionsanlage

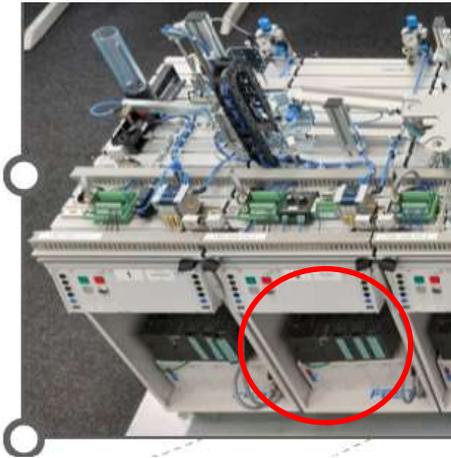
Import Ausführungs-/Leistungsdaten



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Import Ausführungs-/Leistungsdaten

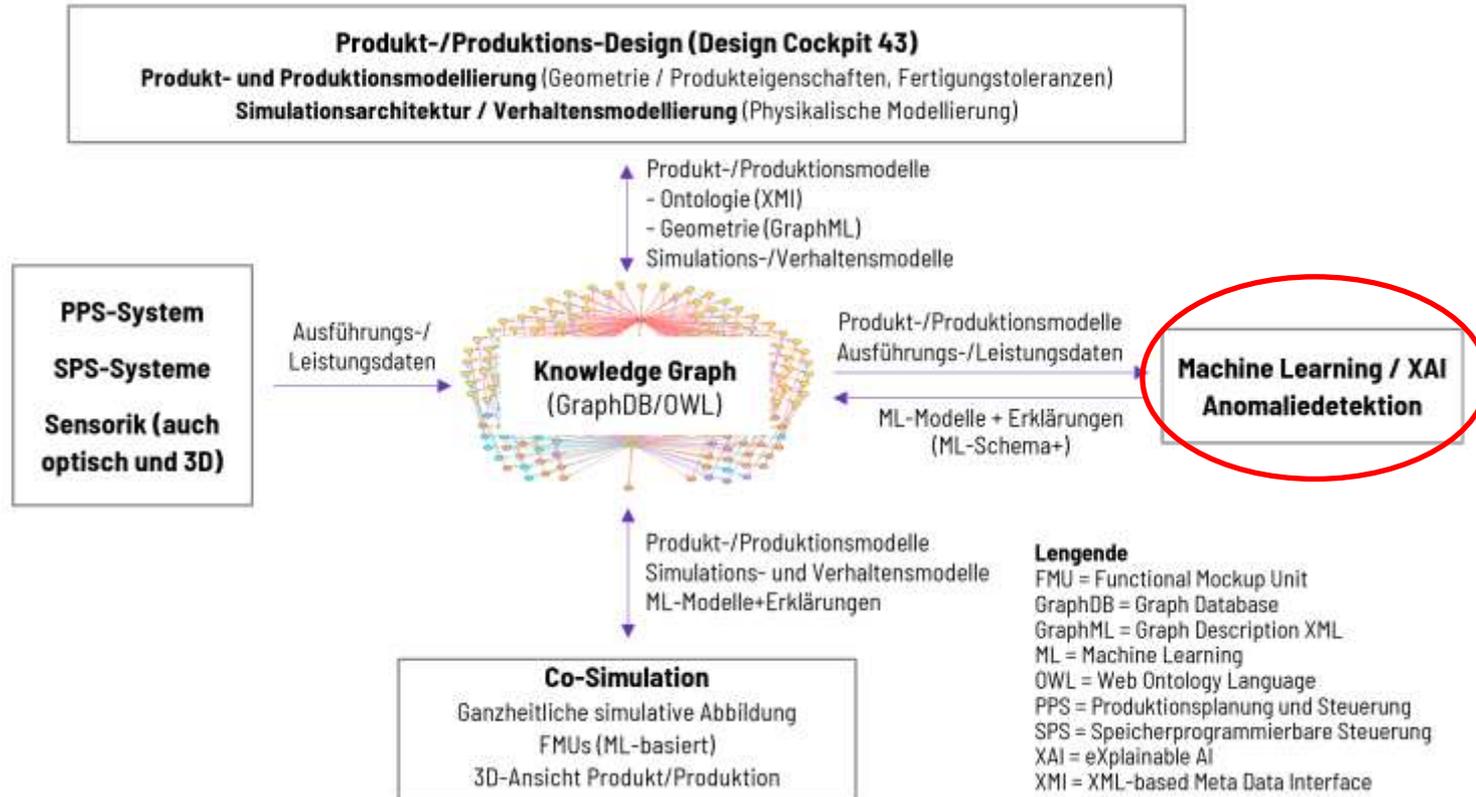
Extraktion relevanter Sensordaten via SPS der FESTO-Module



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	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

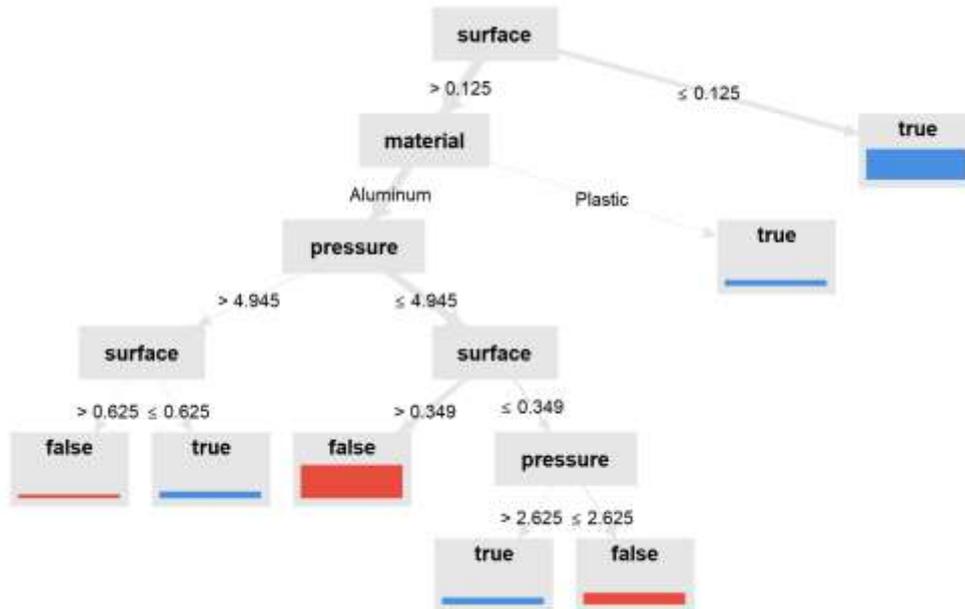


Showcase FESTO-Produktionsanlage

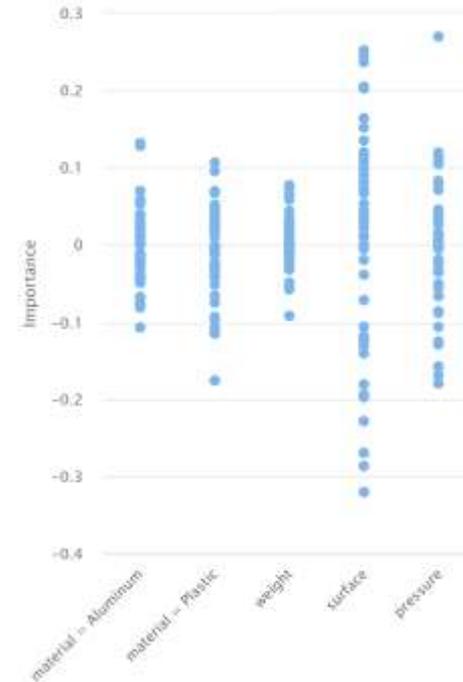
Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

Entscheidungsbaum zur Vorhersage und Erklärung des Rutschverhaltens

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

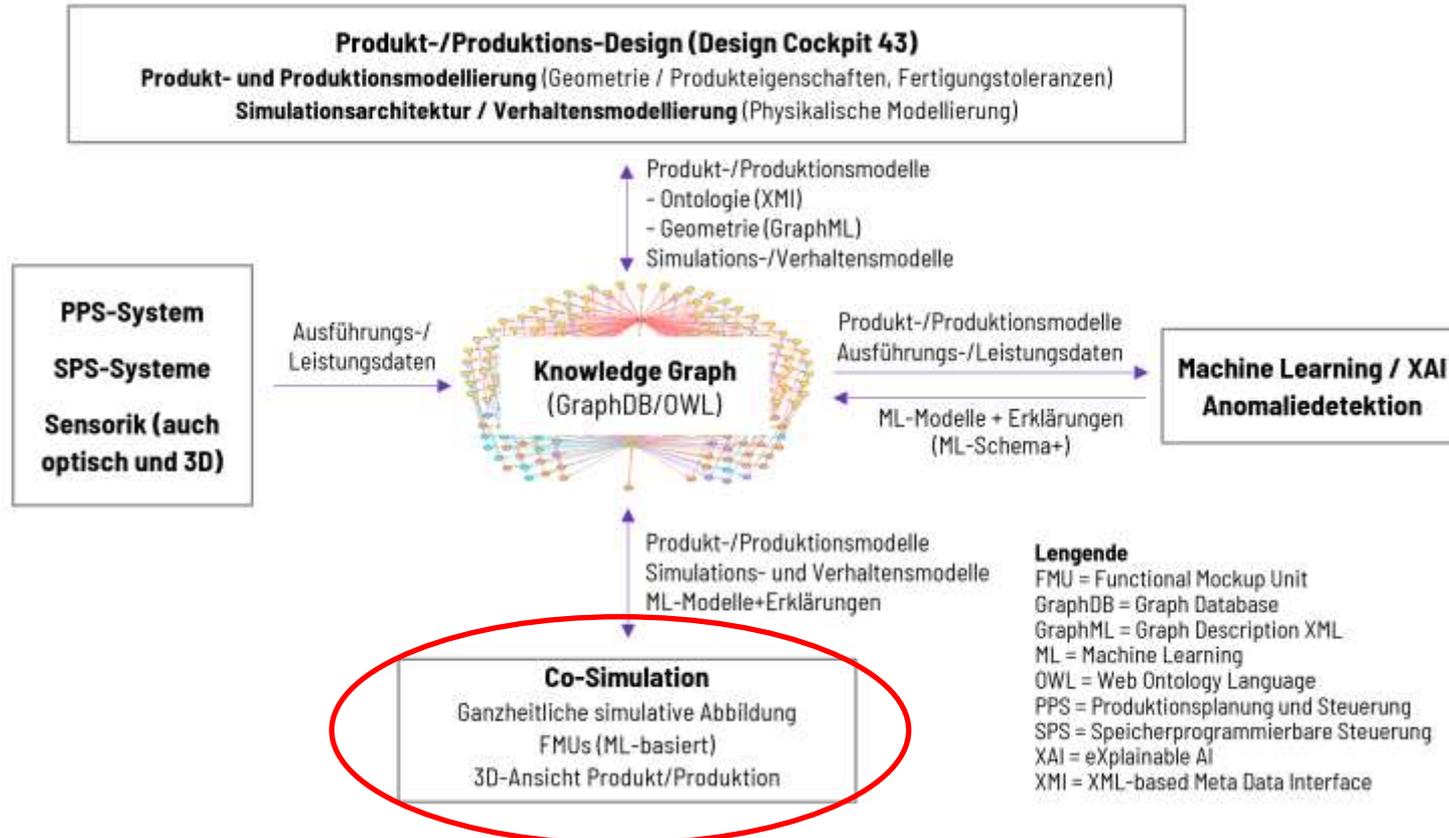


SHAP-Werte zur Erklärung der Einflussfaktoren



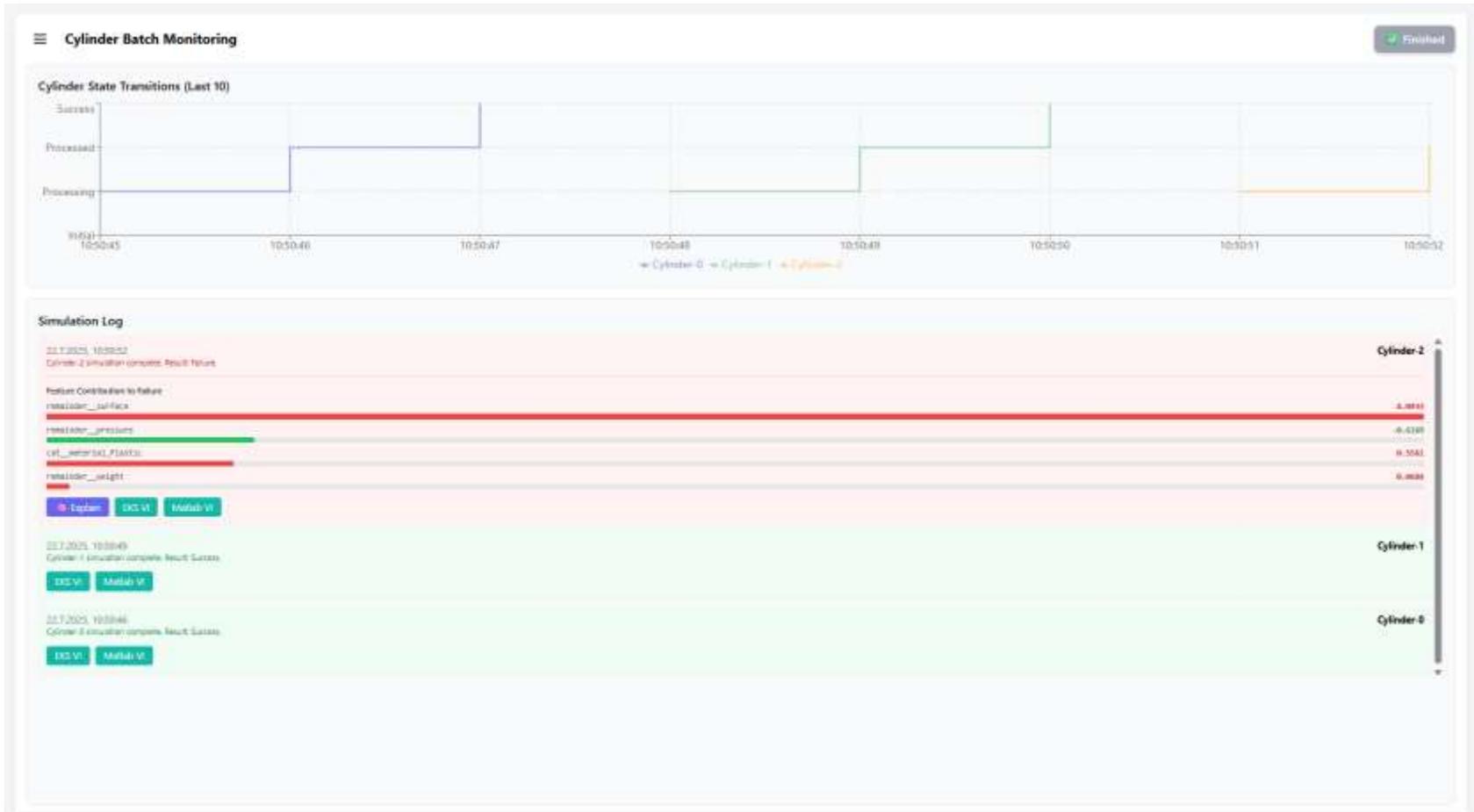
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



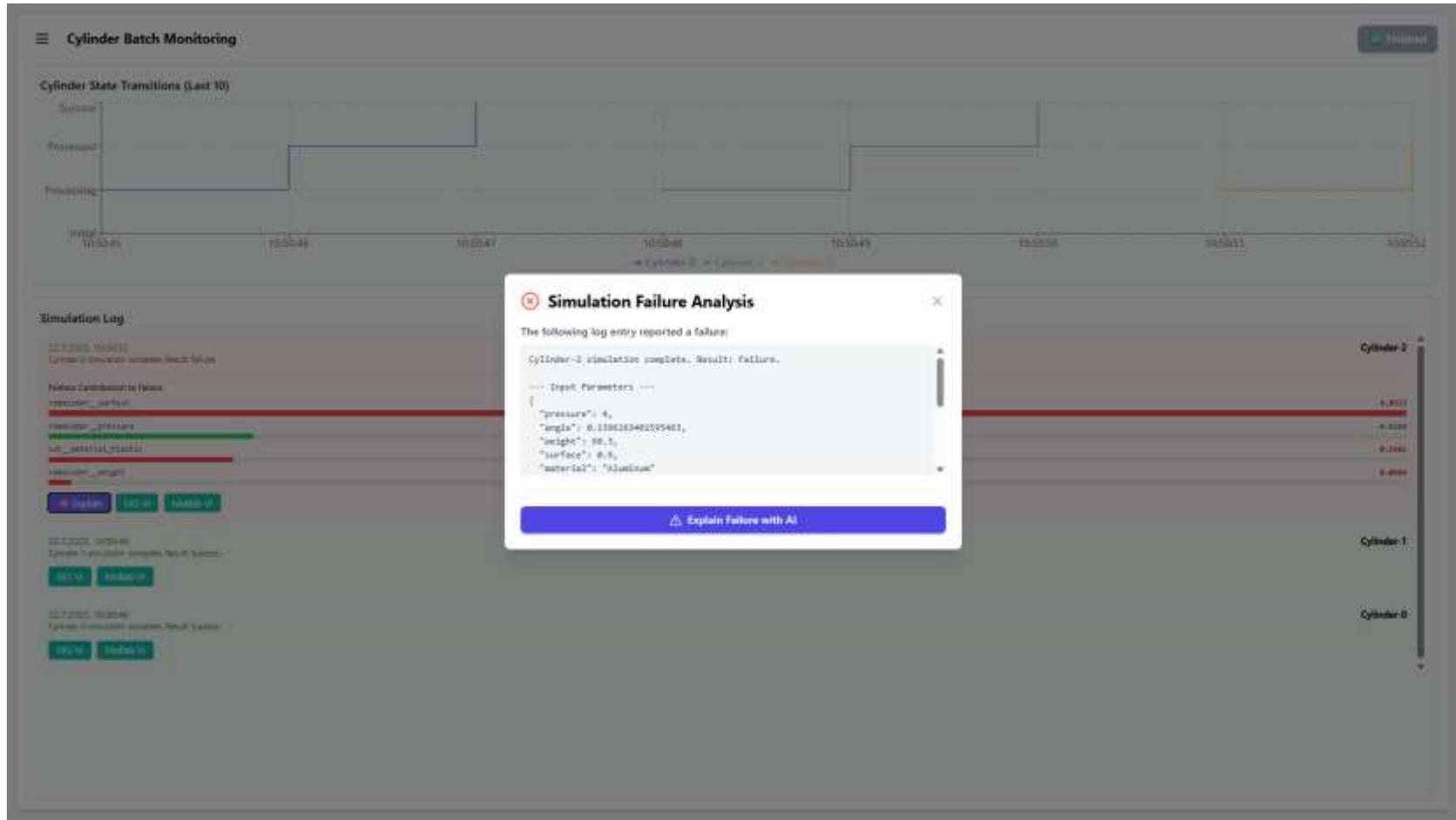
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



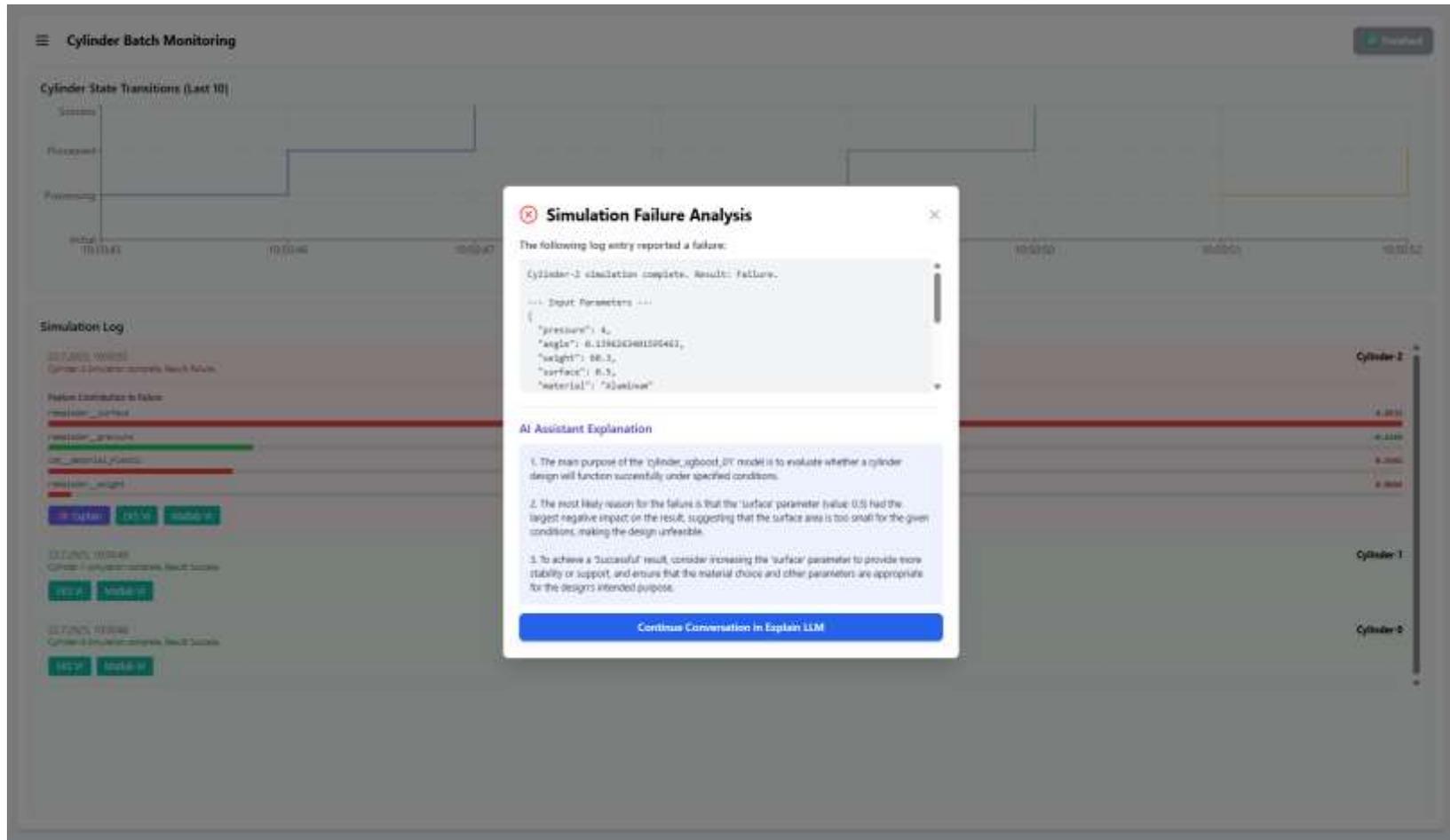
Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



Showcase FESTO-Produktionsanlage

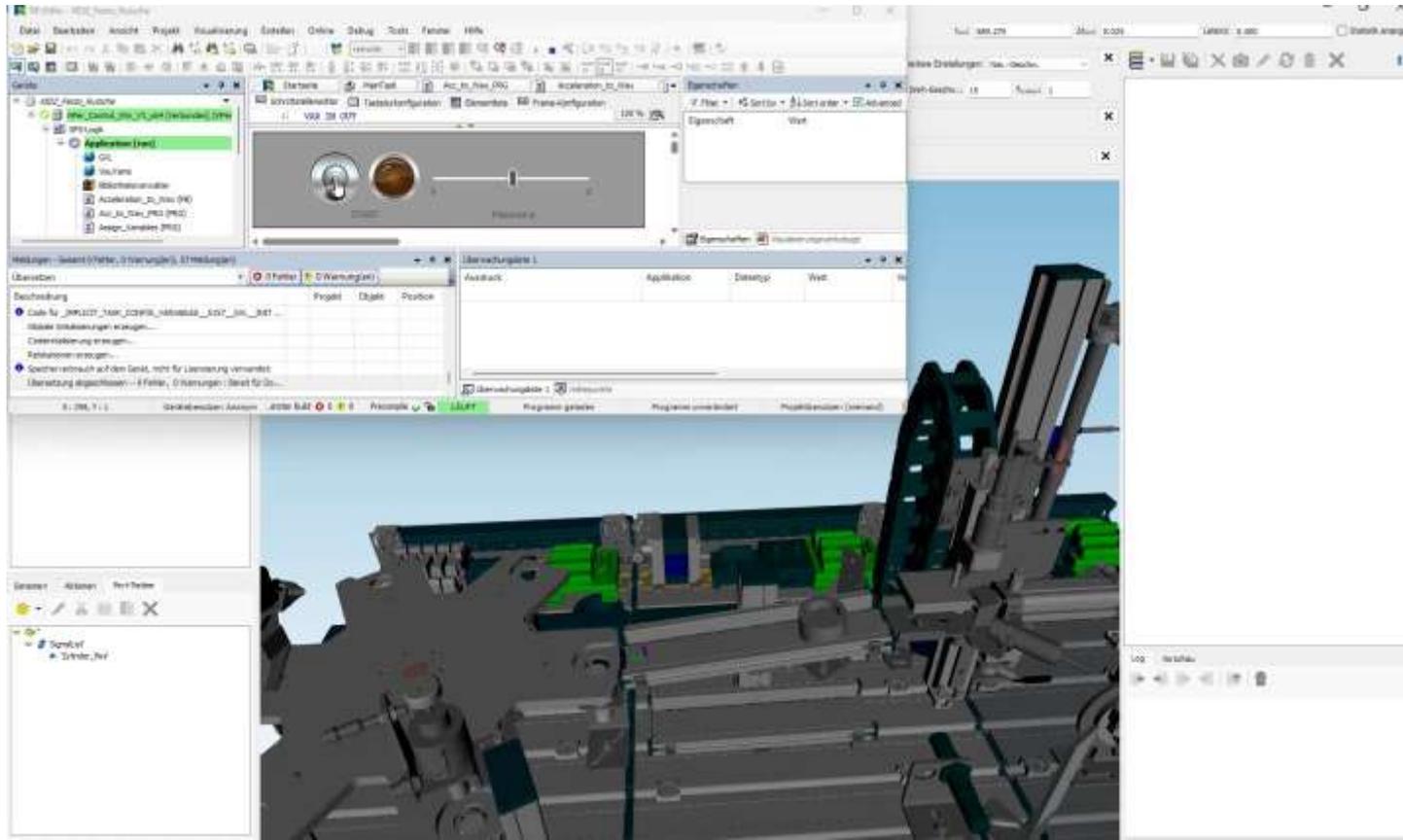
Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens



Showcase FESTO-Produktionsanlage

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Graphische Simulation des Systemverhaltens mittels Viper und Yams

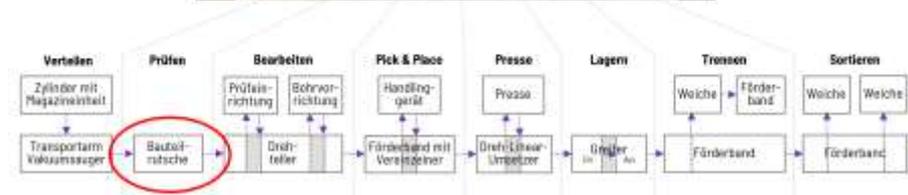


Showcase FESTO-Produktionsanlage

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

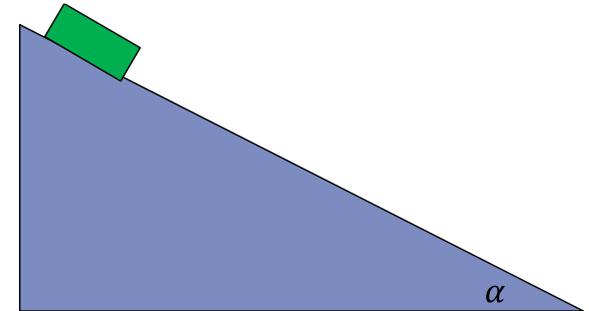
Physics Informed Machine Learning

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

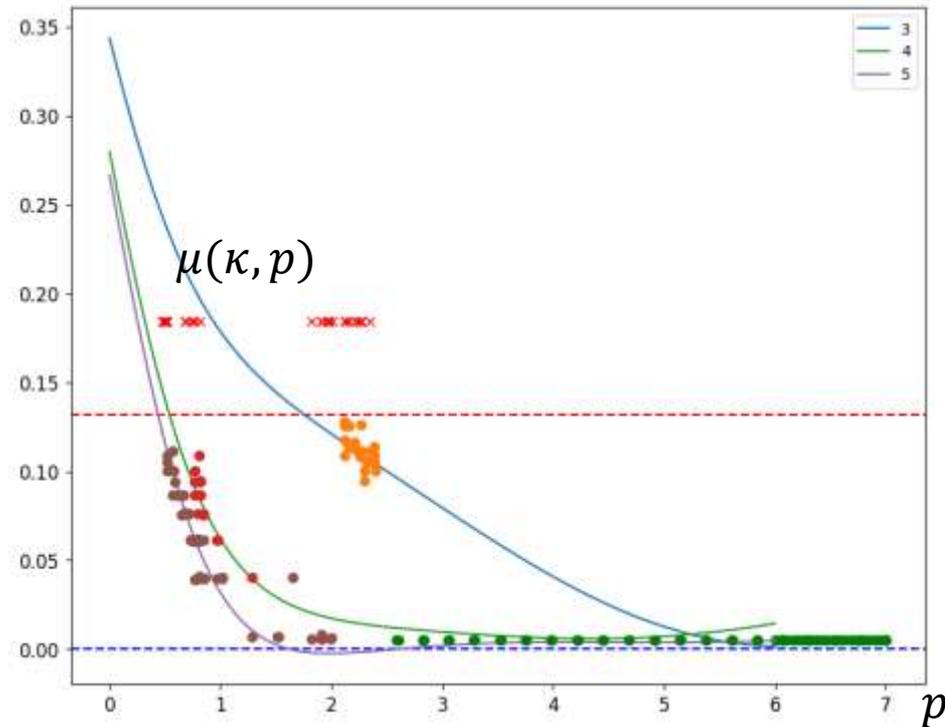
$$\frac{\partial \mu}{\partial p}(\kappa, p, w) \leq 0$$

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

Showcase FESTO-Produktionsanlage

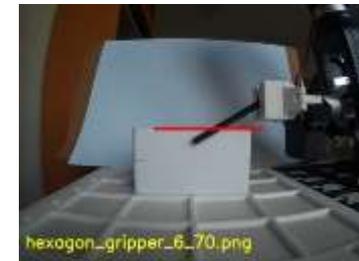
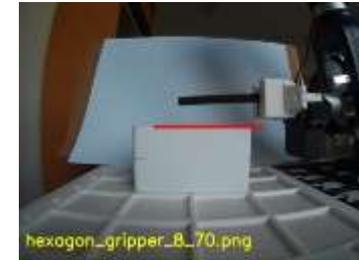
Physics Informed Machine Learning

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



Showcase Roboterarm

Pick & Place



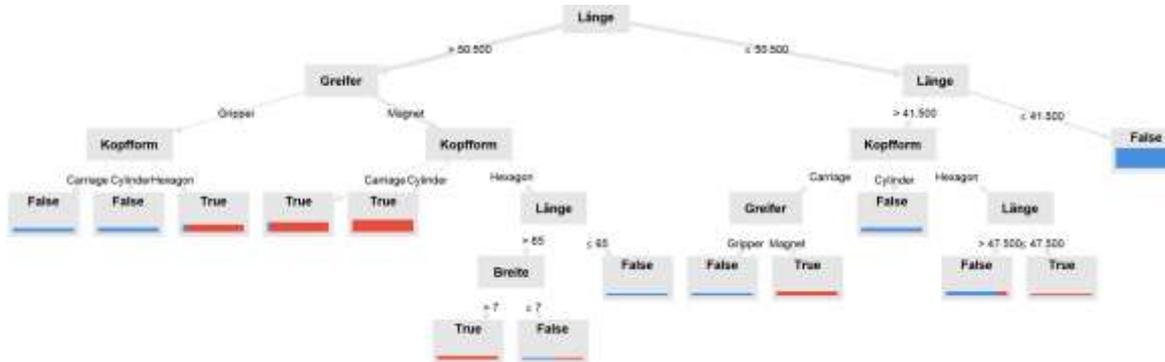
- » Analyse und Vorhersage von Fehlerfällen in Abhängigkeit des Greifers und unterschiedlicher Schraubenparameter
- » KI-basierte Steuerung des Einsortiervorgangs zur Vermeidung von Fehlerfällen

Showcase Roboterarm - Pick and Place

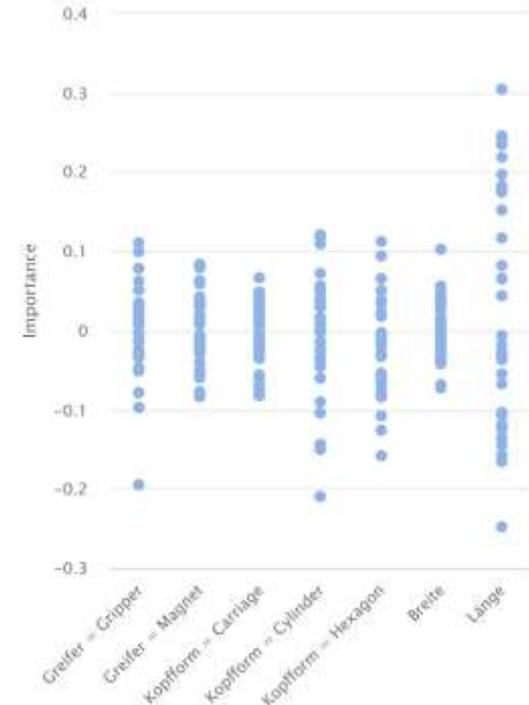
Lernen des Systemverhaltens mittels Machine Learning & XAI

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 <input type="text" value="Gripper"/>	Head Type <input type="text" value="Hexagon"/>
Wide (mm) <input type="text" value="6"/>	Length (mm) <input type="text" value="70"/>

Prediction Result

Predicted Outcome: Failure

Feature Contribution to Failure

responder_length	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: red;"></div>	2.3528
cat_gripper_maghet	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: green;"></div>	-3.2588
cat_head_hexagon	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: red;"></div>	8.7128
cat_head_cylinder	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: red;"></div>	8.2698
responder_size	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: red;"></div>	8.2815

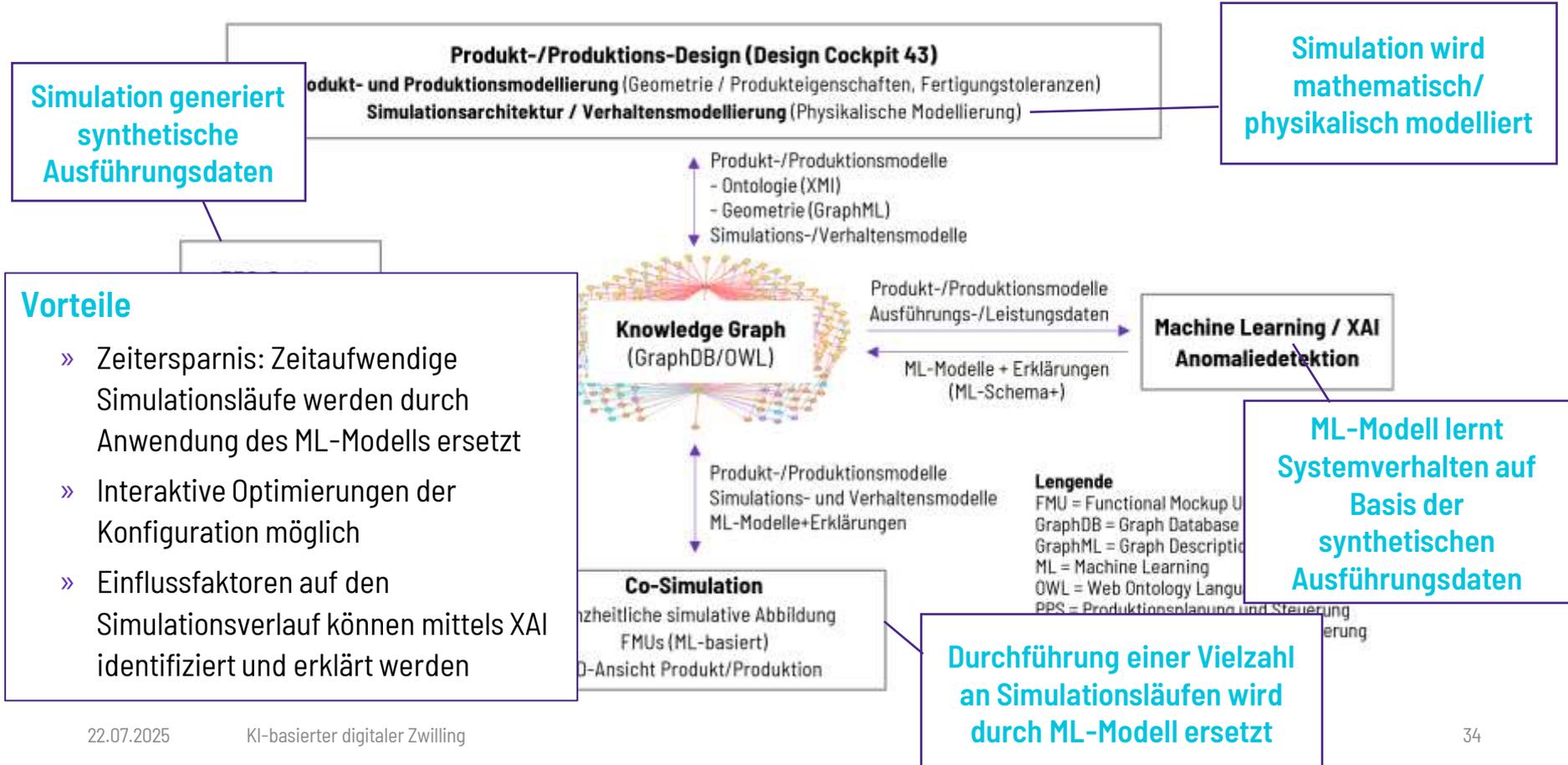
🔍 Explain Failure with AI

🔄 Process

🧠 Smart Process

Showcase Mehrkörper-Kinematik

KI auf synthetischen Simulationsdaten



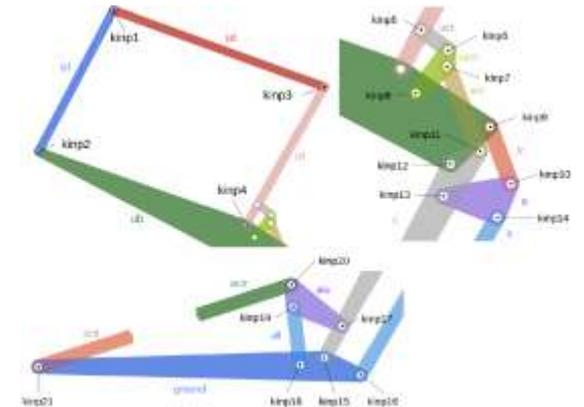
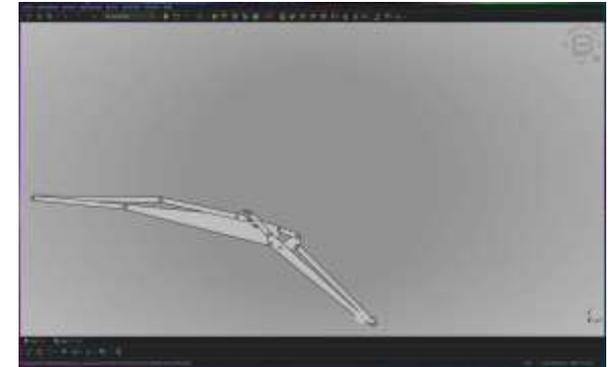
Showcase Mehrkörper-Kinematik

Generierung synthetischer Ausführungsdaten

Datengenerierung

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

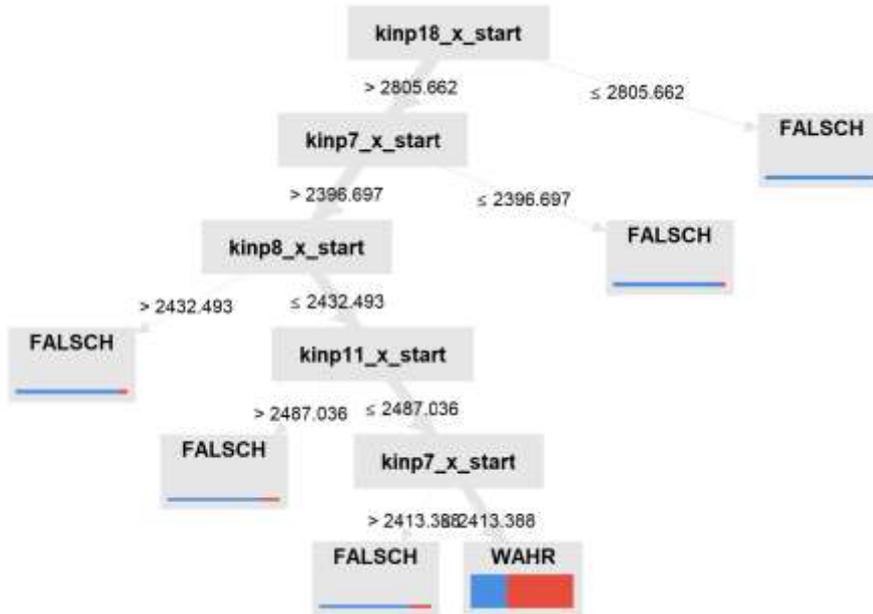
kinp18_x_st...	kinp18_y_st...	kinp19_x_st...	kinp19_y_st...	kinp20_x_st...	kinp20_y_st...	OverallSuccess
2811.200	506.060	2740.170	523.620	2714.580	562.820	FALSCH
2810.200	500.060	2730.170	540.620	2717.580	564.820	FALSCH
2804.200	503.060	2741.170	534.620	2706.580	552.820	FALSCH
2812.200	513.060	2739.170	538.620	2705.580	553.620	FALSCH
2819.200	497.060	2731.170	533.620	2709.580	554.620	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



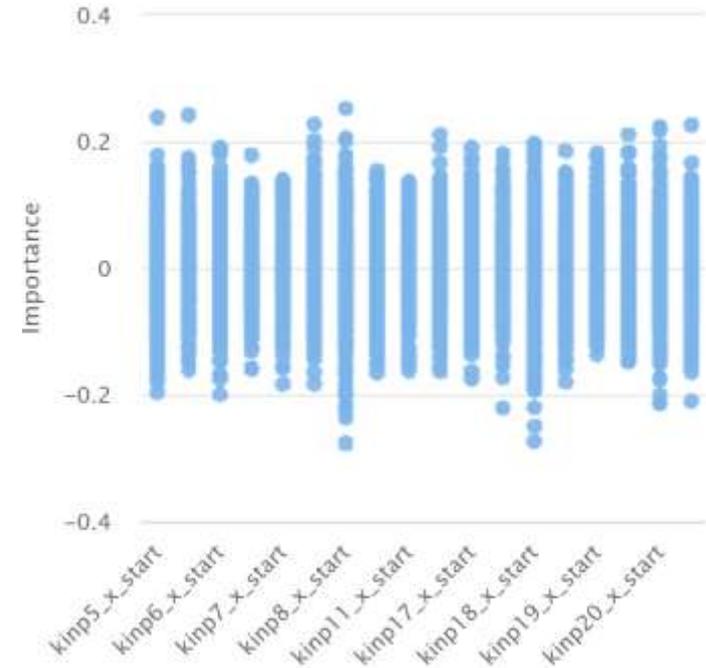
Showcase Mehrkörper-Kinematik

Vorhersage & Erklärung des Simulationslaufs

Entscheidungsbaum



SHAP-Werte



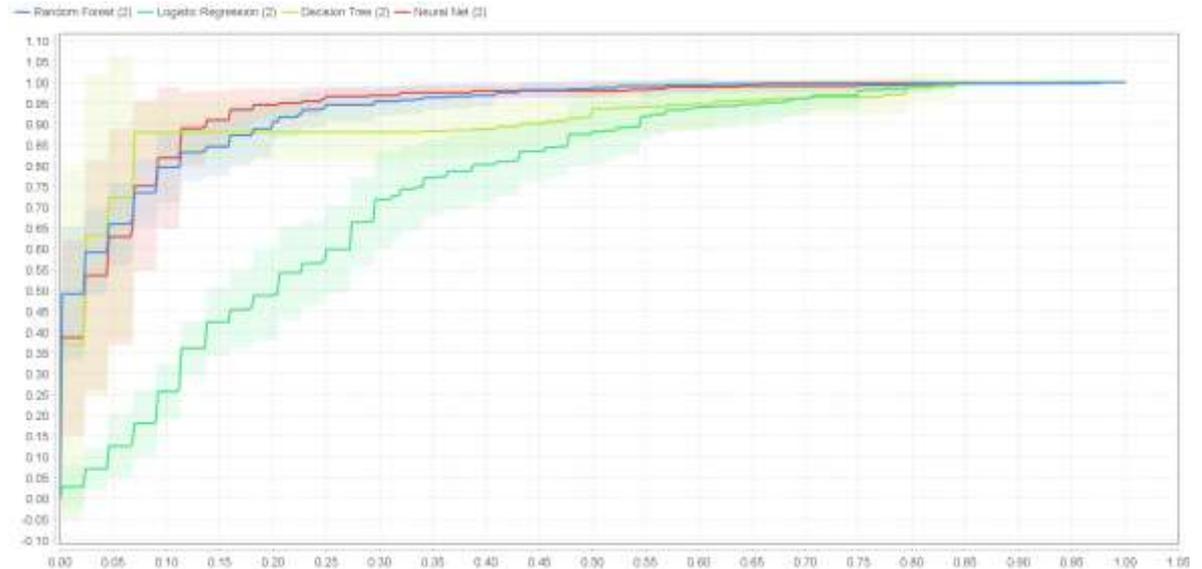
Showcase Mehrkörper-Kinematik

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

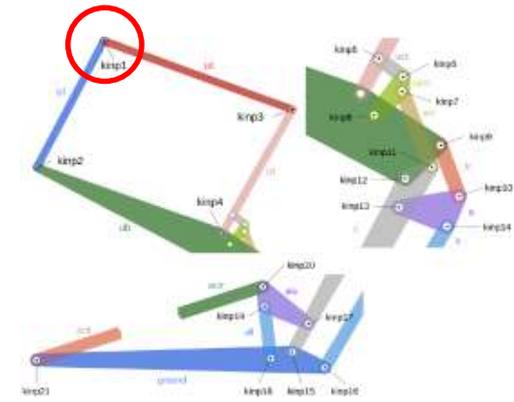
Vorhersage einzelner Endpositionen

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	-10.366	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

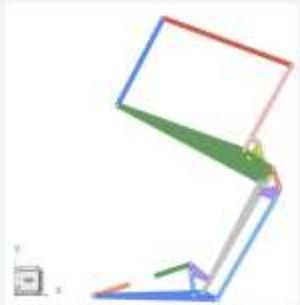
☰ Roof Kinematic Coordinates Analysis

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

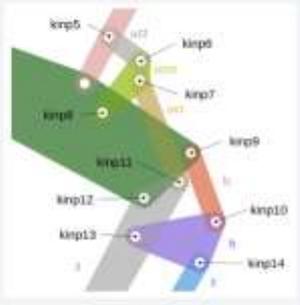
↩ Find Solution
↩ Quick Solve
↩ Reset All

Kinematics Overview

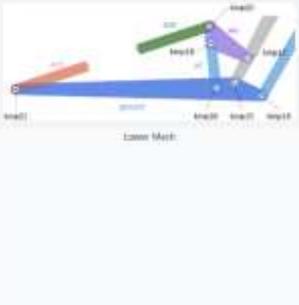
Click an image to enlarge.



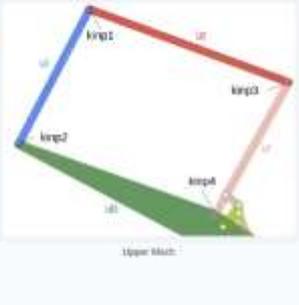
Overview



Coupler



Lower Mesh



Upper Mesh

Adjust Point Coordinates

<p>Kimp5</p> <p>X: 2348.86</p> <p>Y: 908.93</p>	<p>Kimp6</p> <p>X: 2388.15</p> <p>Y: 926.32</p>	<p>Kimp7</p> <p>X: 2404.48</p> <p>Y: 920.38</p>
<p>Kimp8</p> <p>X: 2425.98</p> <p>Y: 876.01</p>	<p>Kimp11</p> <p>X: 2478.04</p> <p>Y: 841.15</p>	<p>Kimp17</p> <p>X: 2807.96</p> <p>Y: 546.84</p>
<p>Kimp18</p> <p>X: 2829.46</p> <p>Y: 512.91</p>	<p>Kimp19</p> <p>X: 2850.96</p> <p>Y: 478.97</p>	<p>Kimp20</p> <p>X: 2872.46</p> <p>Y: 445.03</p>

Showcase Mehrkörper-Kinematik

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

Roof Kinematic Coordinates Analysis

Automatic Prediction in Active Equilibrium to find a new position. [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): 0.08
 Probability (Failed): 0.92

Features used by Model:

```
[
  "kmp5_x_start": 2349.44,
  "kmp5_y_start": 946.93,
  "kmp6_x_start": 2389.89,
```

[🗨 Explain failure with AI](#)

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

Adjust Point Coordinates

Point	X	Y
Kmp1	2349.88	936.02
Kmp5	2425.08	876.01
Kmp6	2425.08	876.01
Kmp7	2494.48	920.38
Kmp17	2807.96	548.84
Kmp18	2807.96	548.84
Kmp19	2807.96	548.84
Kmp20	2807.96	548.84

Showcase Mehrkörper-Kinematik

Co-Simulation – FMU-basierte Simulation des Systemverhaltens

The screenshot displays a software interface for "Roof Kinematic Coordinates Analysis". The main window shows a 3D model of a roof structure with various kinematic joints labeled (Knp1 to Knp10). A central dialog box titled "Actor Force or Design Space Violation" is open, providing the following information:

Actor Force or Design Space Violation

Stage 2 Prediction: Failed (Value: 0)
 Feasibility (Success): 42.0%
 Feasibility (Failure): 57.9%

Features Used by Model:

```
{
  "knp5_x_start": 2349.68,
  "knp5_y_start": 898.91,
  "knp6_x_start": 2389.69,
```

AI Assistant Explanation

- "Vain 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.
- "Most Likely Reason for Failure":** The failure is most likely due to the parameter 'knp6_x_start', which had the highest impact score (0.1330) pushing the result towards failure. This suggests that the value of 'knp6_x_start' is outside the acceptable range or is causing instability in the design.
- "General Advice for Adjusting Input Parameters":** Focus on adjusting the value of 'knp6_x_start' to bring it closer to a more stable range, as it had the largest negative impact. Additionally, consider fine-tuning 'knp2_x_start', 'knp17_x_start', and 'knp6_z_start', as they

Buttons: Continue Conversation in Explain LLM, View, Simulate, Close

Adjust Point Coordinates

Knp5
 X: 2349.68
 Y: 898.91

Knp6
 X: 2425.98
 Y: 876.01

Knp7
 X: 2404.48
 Y: 920.38

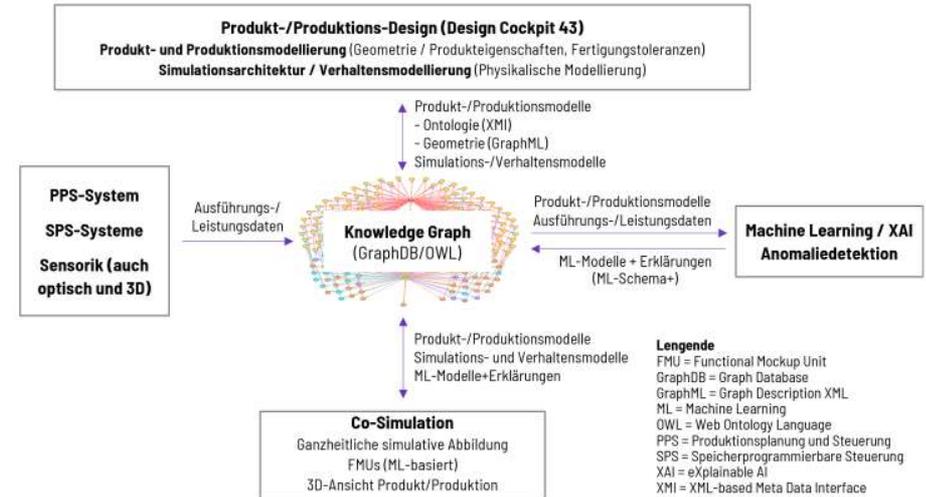
Knp17
 X: 2387.94
 Y: 546.94

Knp10

KIDZ – Praktische Verwertbarkeit

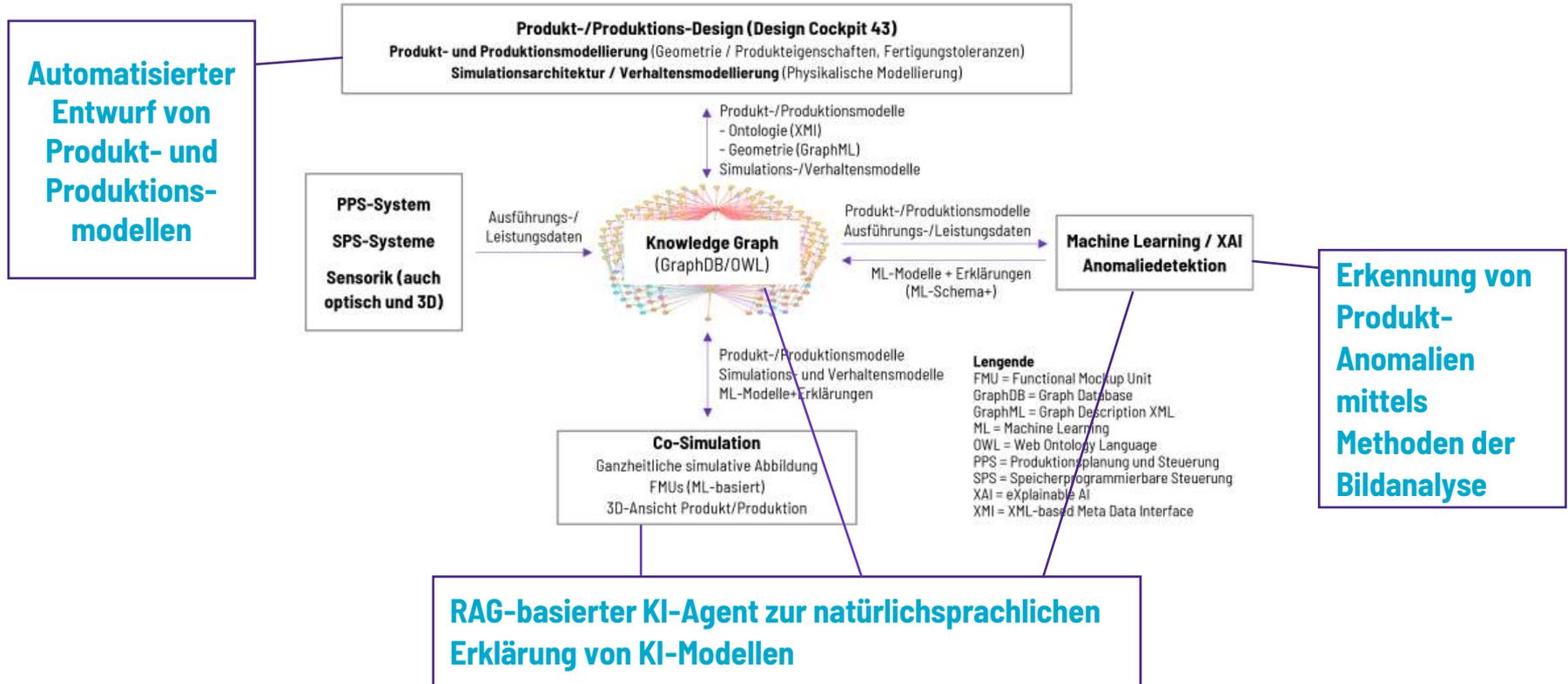
Innovativer Framework

- » **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)

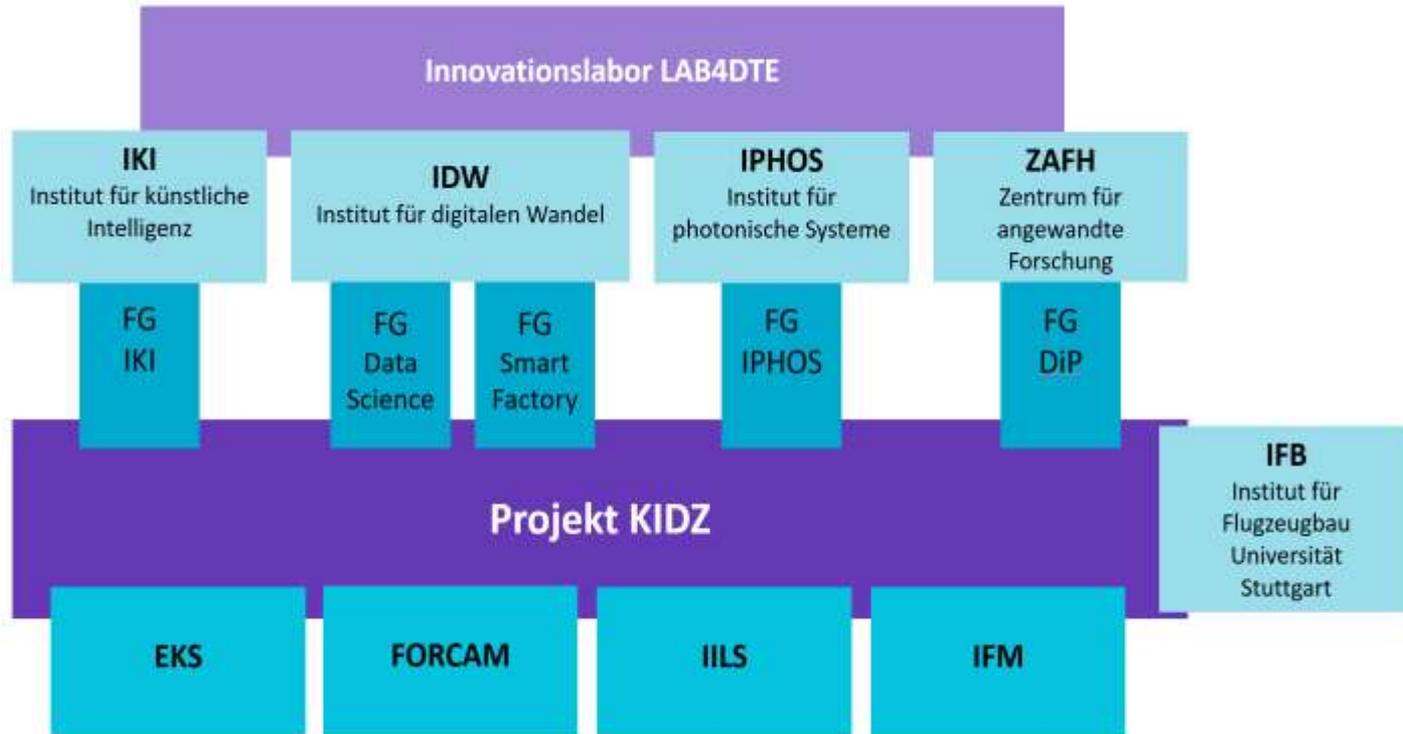
- » Saft, P., Pfeil, M., Stetter, R., Till, M., Rudolph, S. (2024). Integration of geometry modelling and behaviour simulation based on graph-based design languages and functional mockup units. *Procedia CIRP* 2024, 128, pp. 310-315, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.06.025>.
- » Grüble, T., Stetter, 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

17:00 – 17:30

Selbstlernender und selbsterklärender Digitaler Zwilling für industrielle Produktionsanlagen – Vision und Projektergebnisse

Prof. Dr. Wolfram Höpken, Leiter IDW@RWU

17:30 – 17:50

Automatisierter Entwurf von Produkt- und Produktionsmodellen

Timo Schuchter M. Sc. / Prof. Dr. Ralf Stetter

17:50 – 18:10

Automatic Generation of Training Data for Convolutional Neural Networks

Nishanth Nandakumar M. Sc. / Prof. Dr. Jörg Eberhardt

18:10 – 18:30

RAG-basierter KI-Agent zur natürlichsprachlichen Erklärung von KI-Modellen

Alexander Lohr M.Sc. / Prof. Dr. Wolfram Höpken

18:30 – 19:00

Live-Demonstration Showcases

19:00

Get-together – Posterpräsentationen & Snacks



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

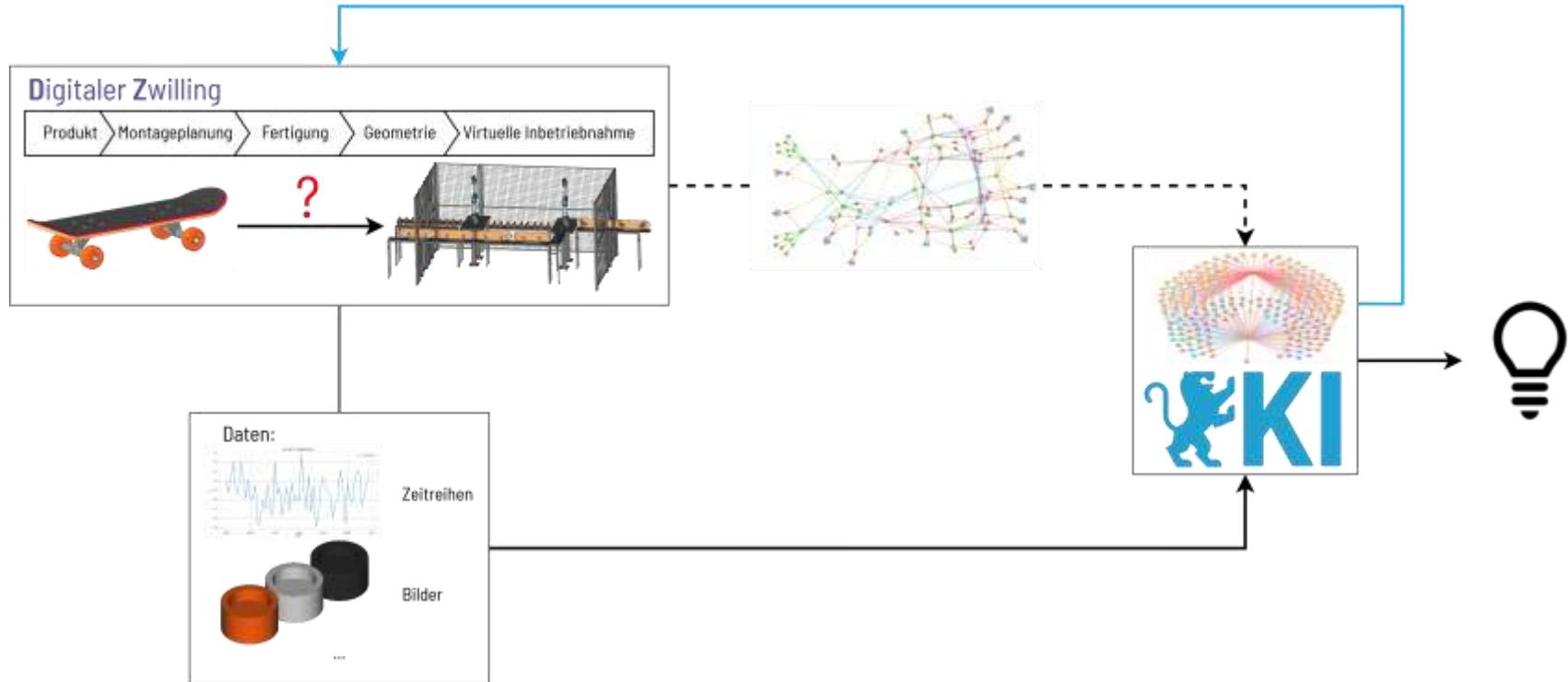
www.rwu.de/idw

www.rwu.de

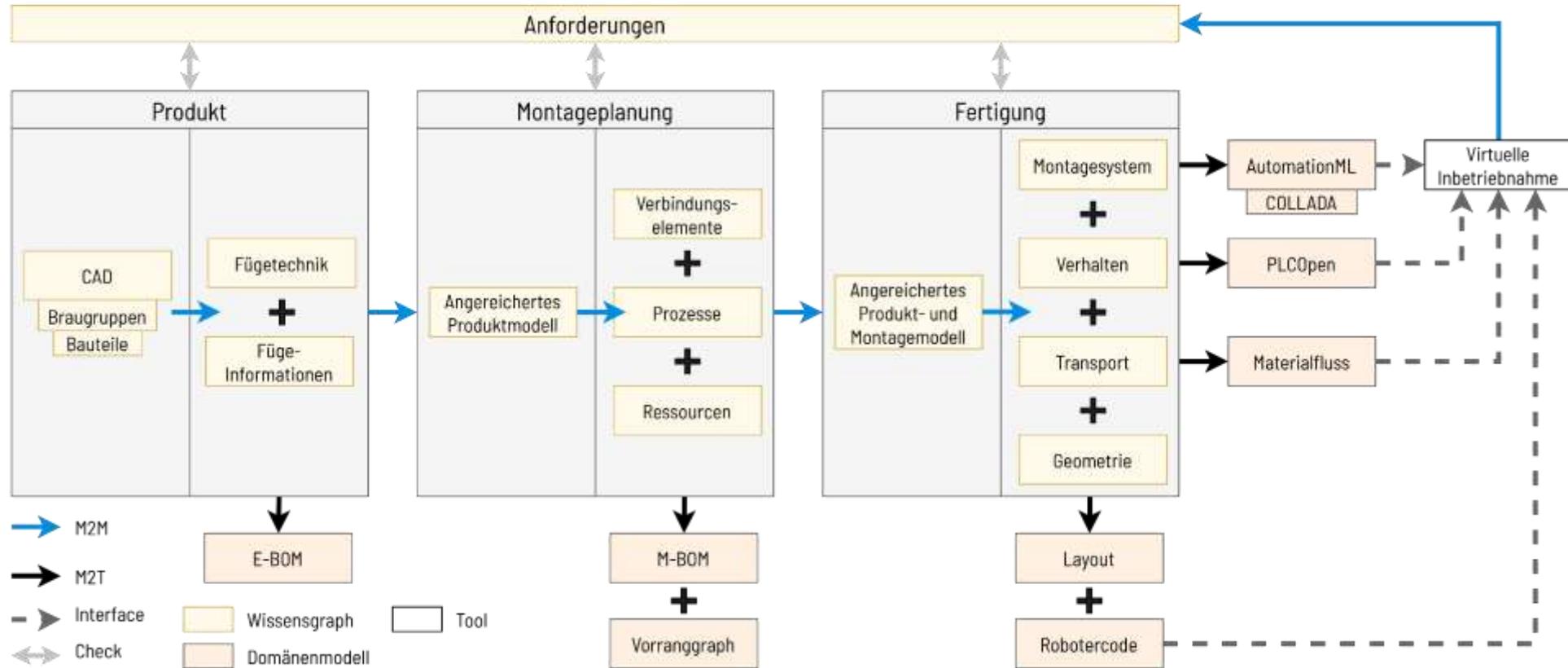
info@rwu.de

Problemstellung

Digitaler Zwilling

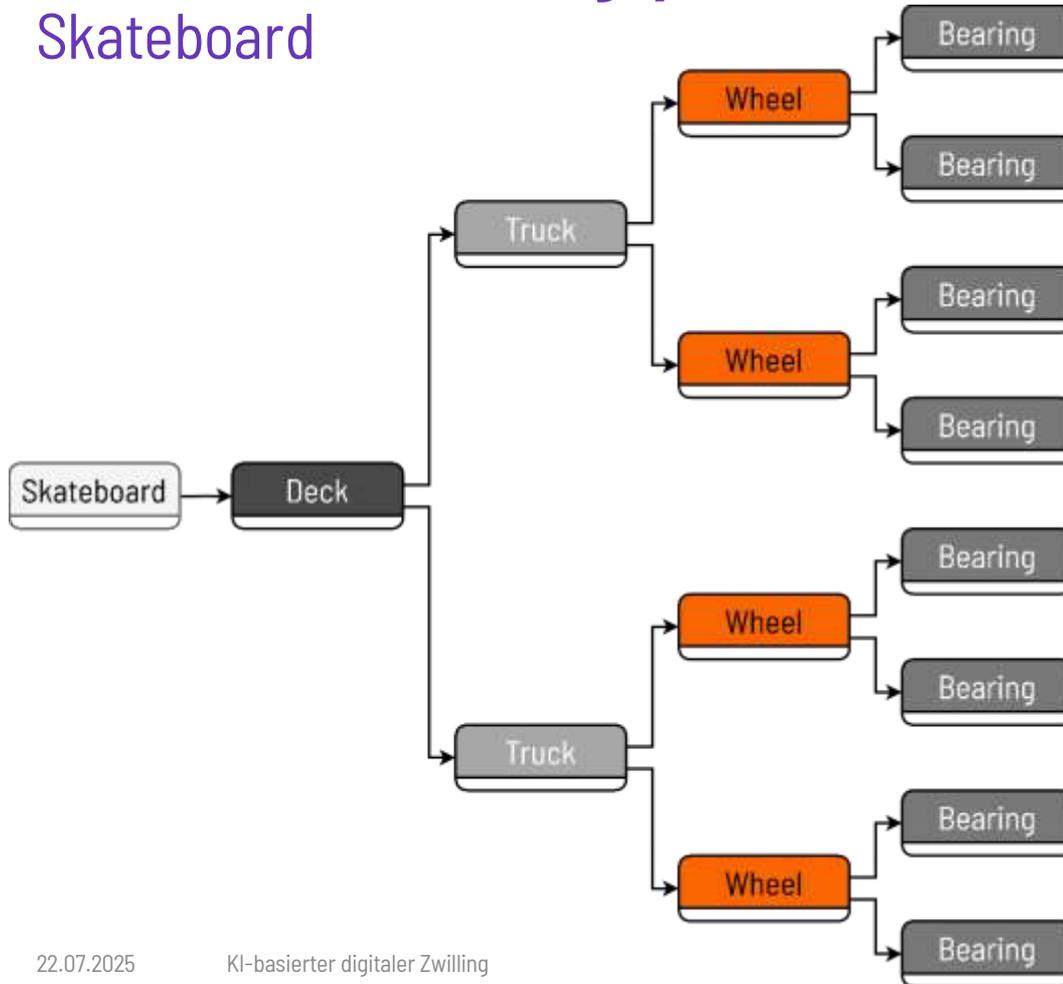


Modelltransformationen



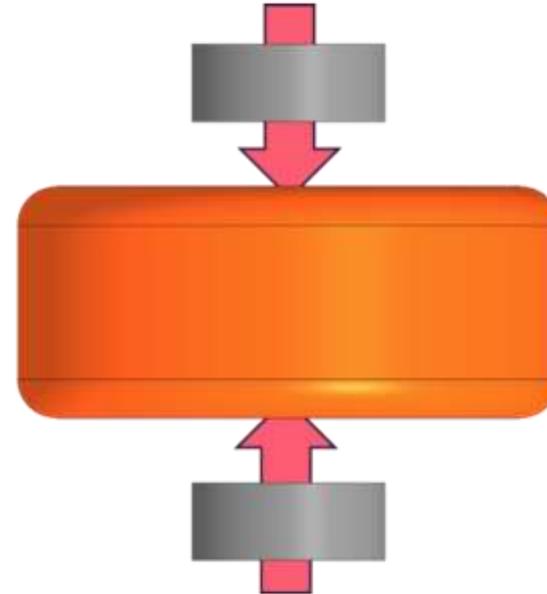
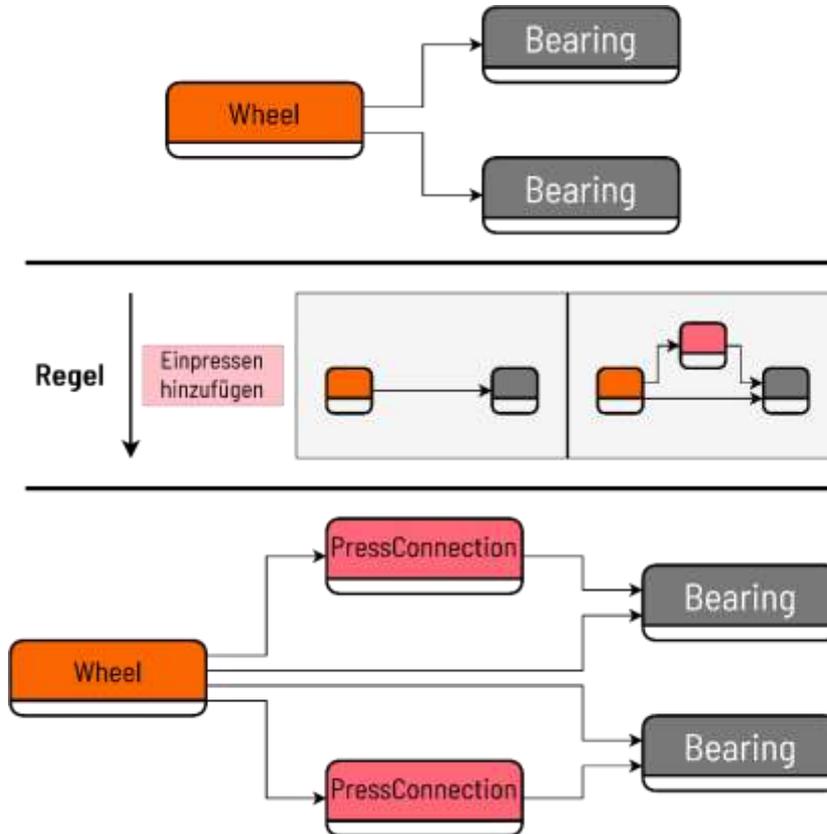
Produktmodell mit Fügepartner

Skateboard

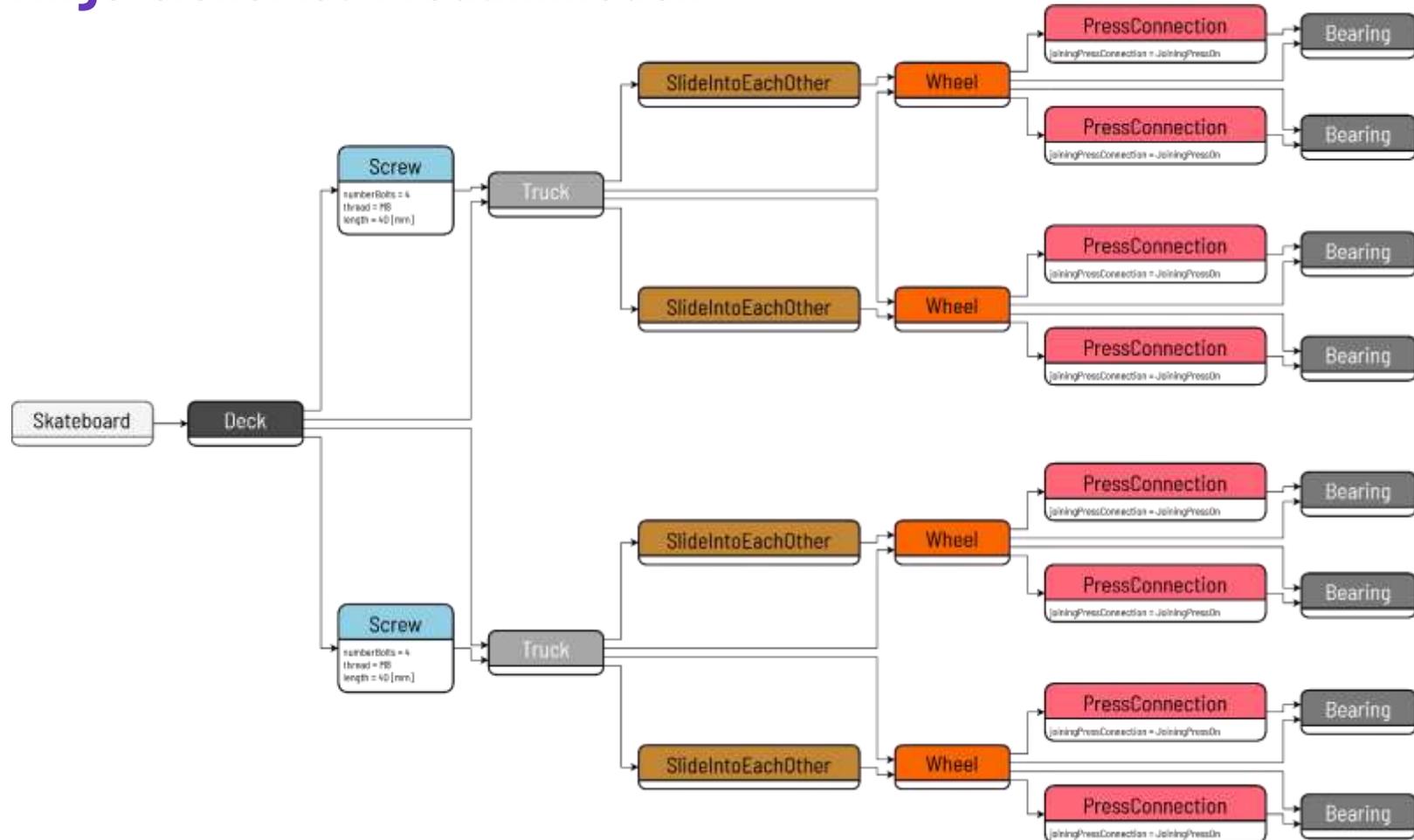


Produktmodell

Regel: Einpressen der Lager



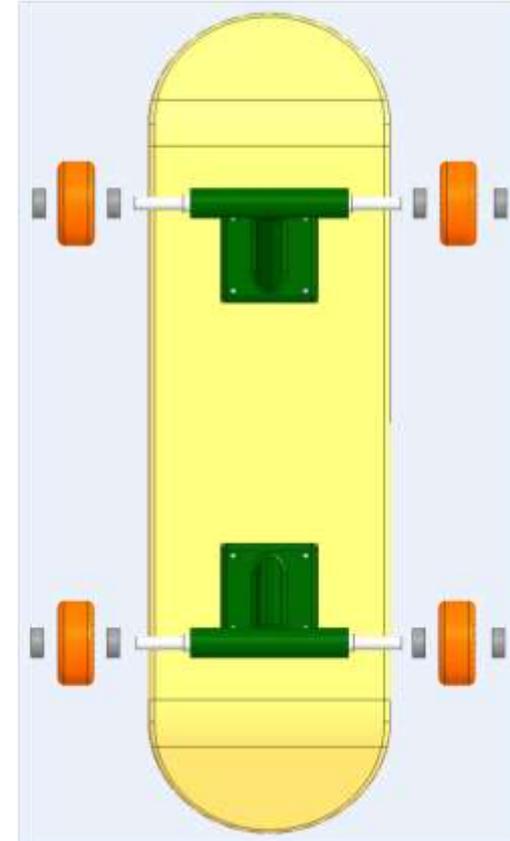
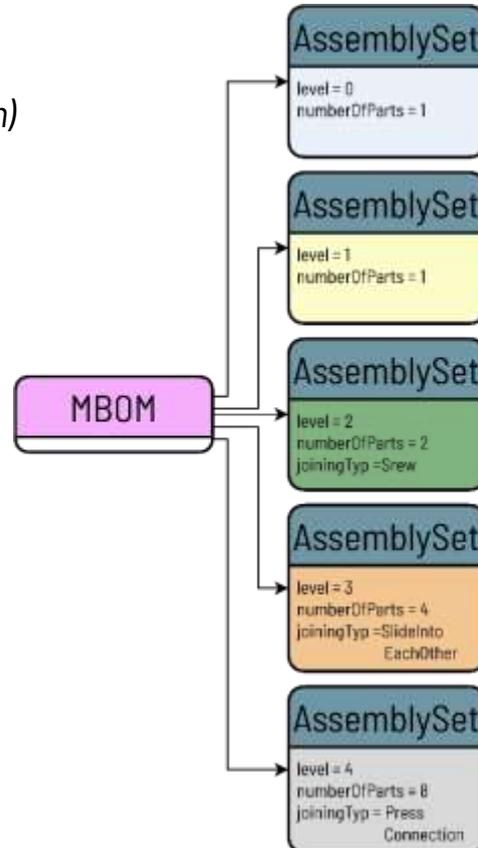
Angereichertes Produktmodell



Montagemodell

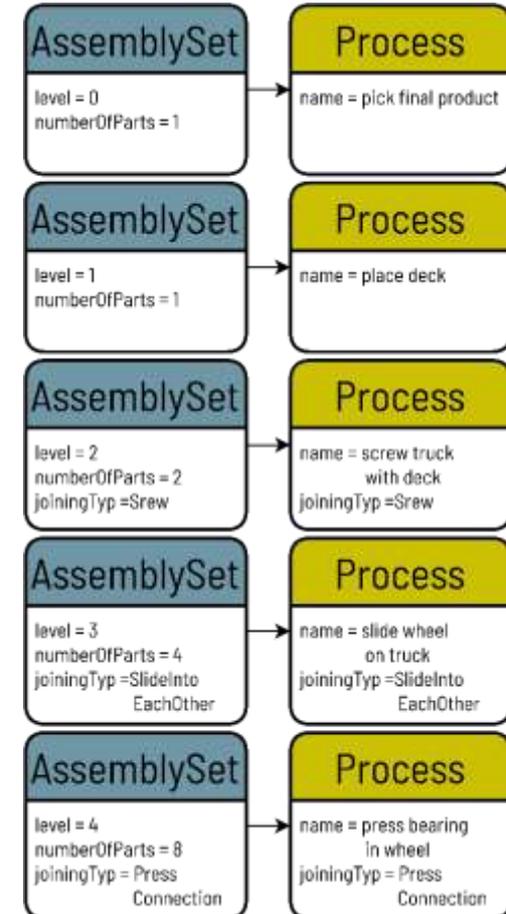
Assembly-Sets

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



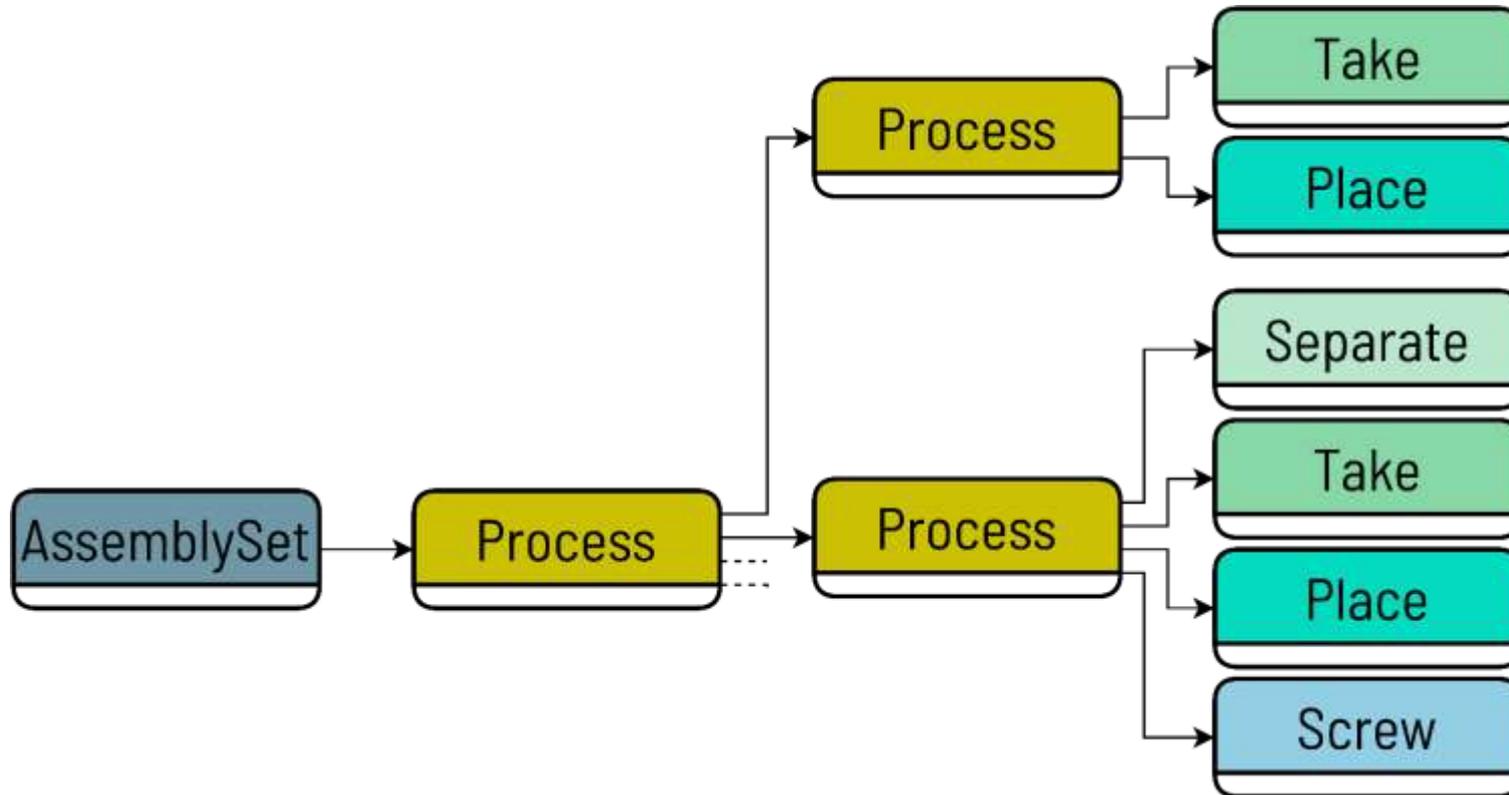
Montageplanung Process

- » 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



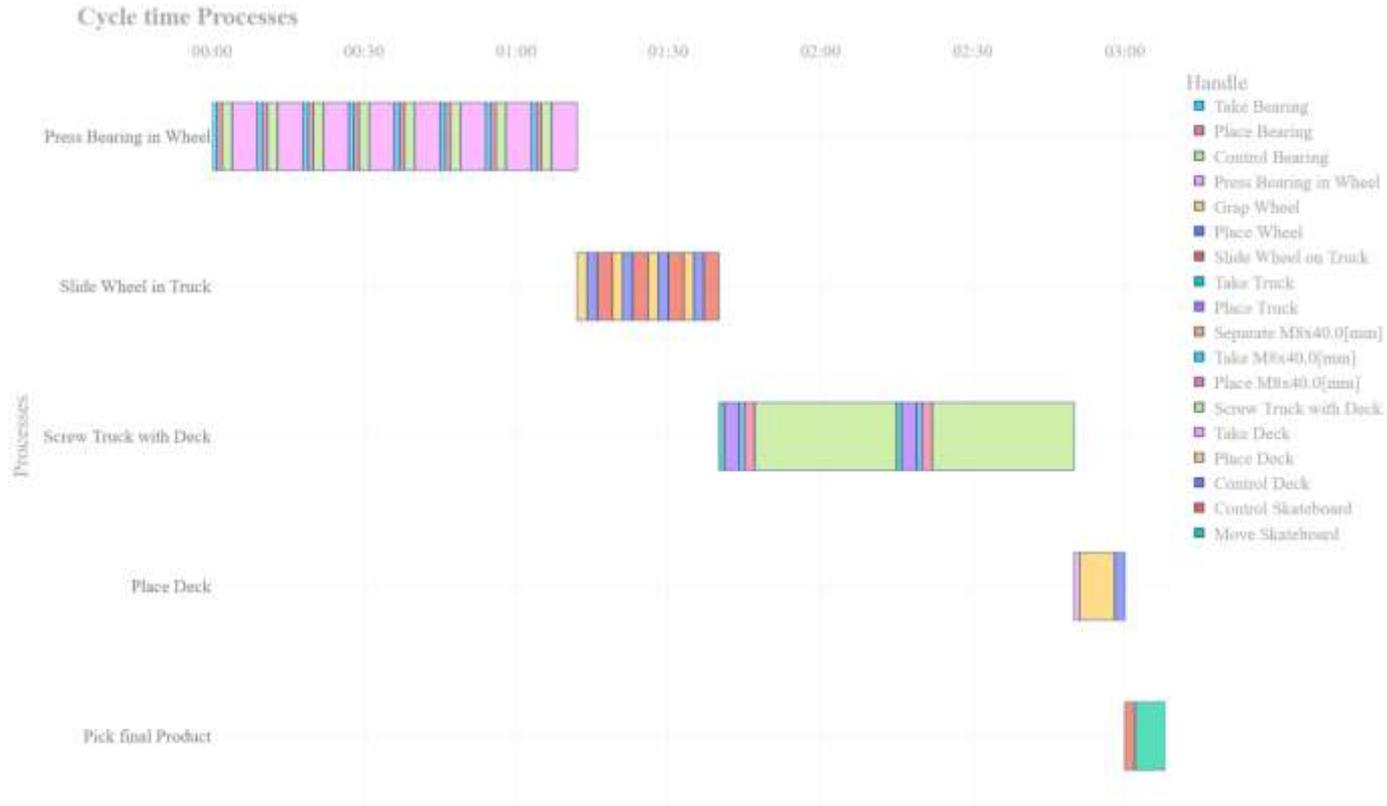
Prozessplanung

Anreicherung der Prozesse

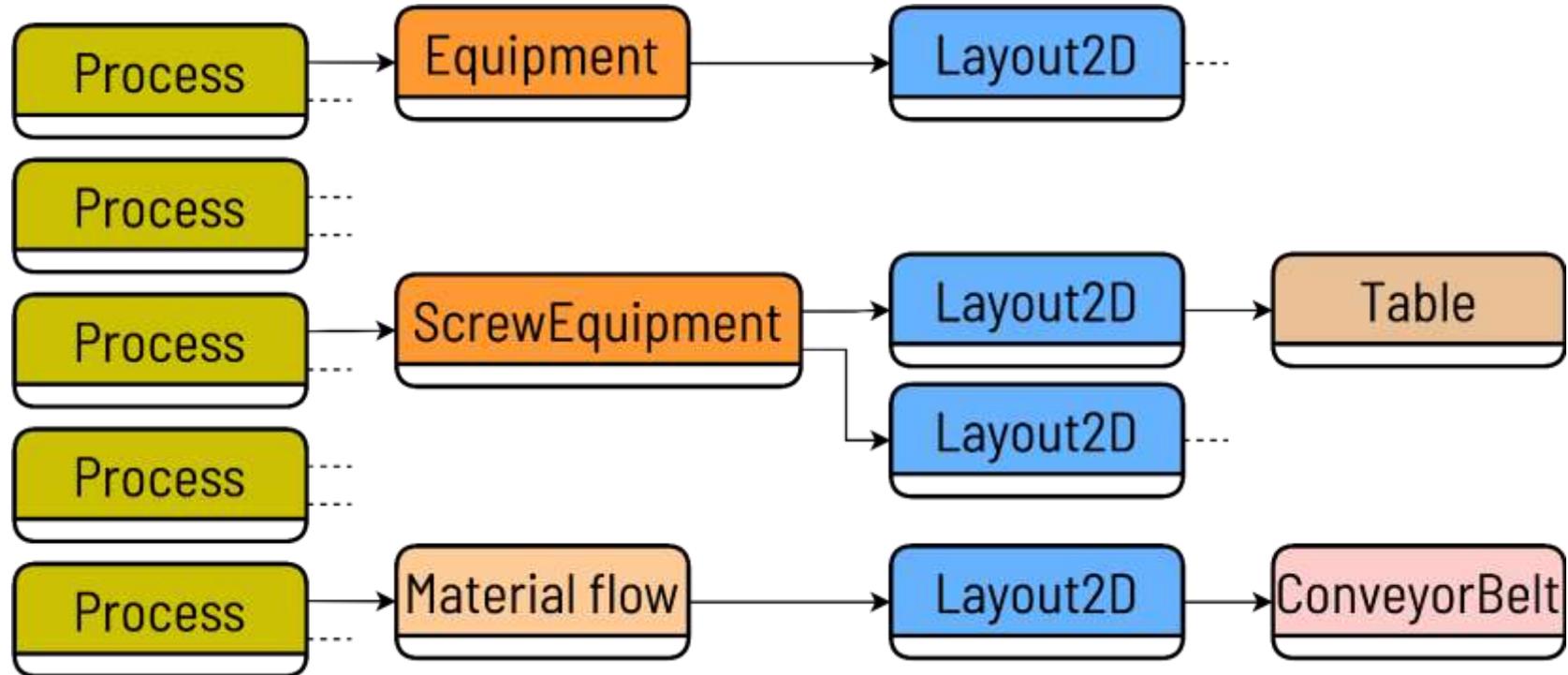


Prozessplanung

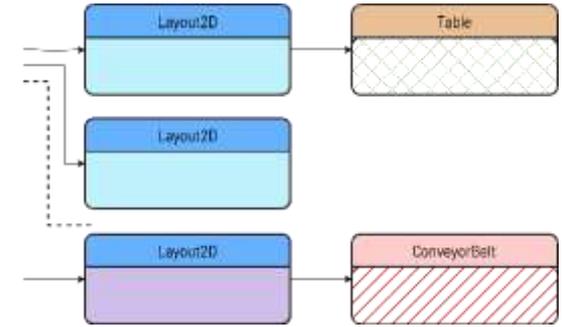
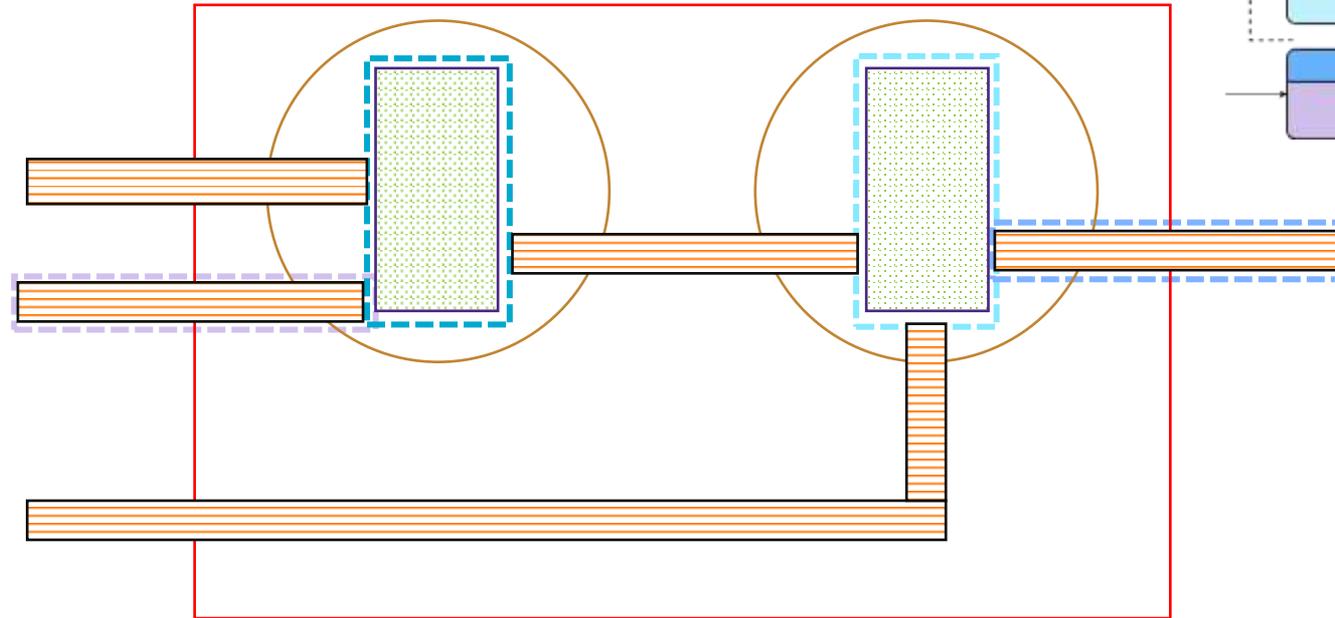
Taktzeit-Diagramm



Prozessanreicherung mit 2D-Layout und Technologieauswahl

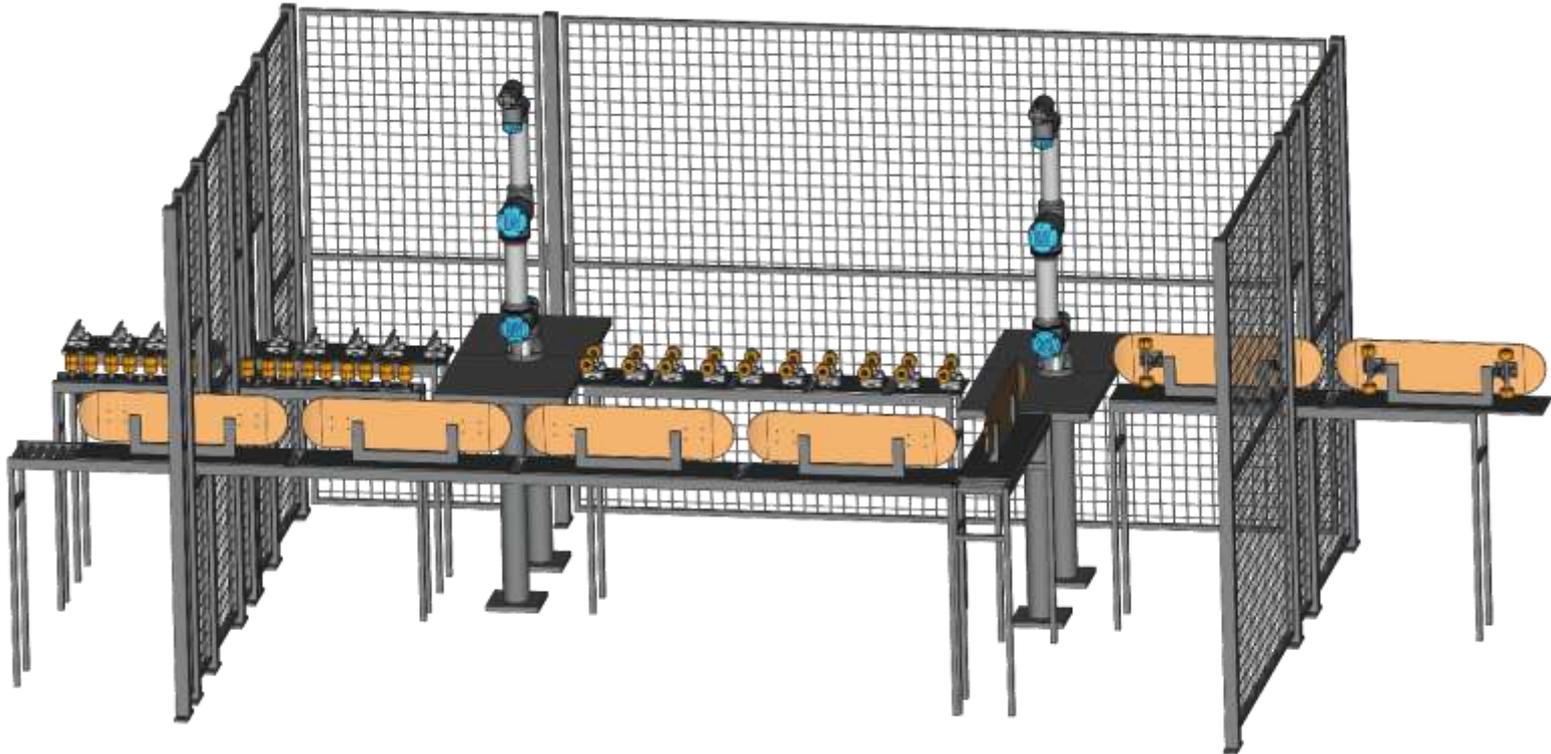


Layout 2D

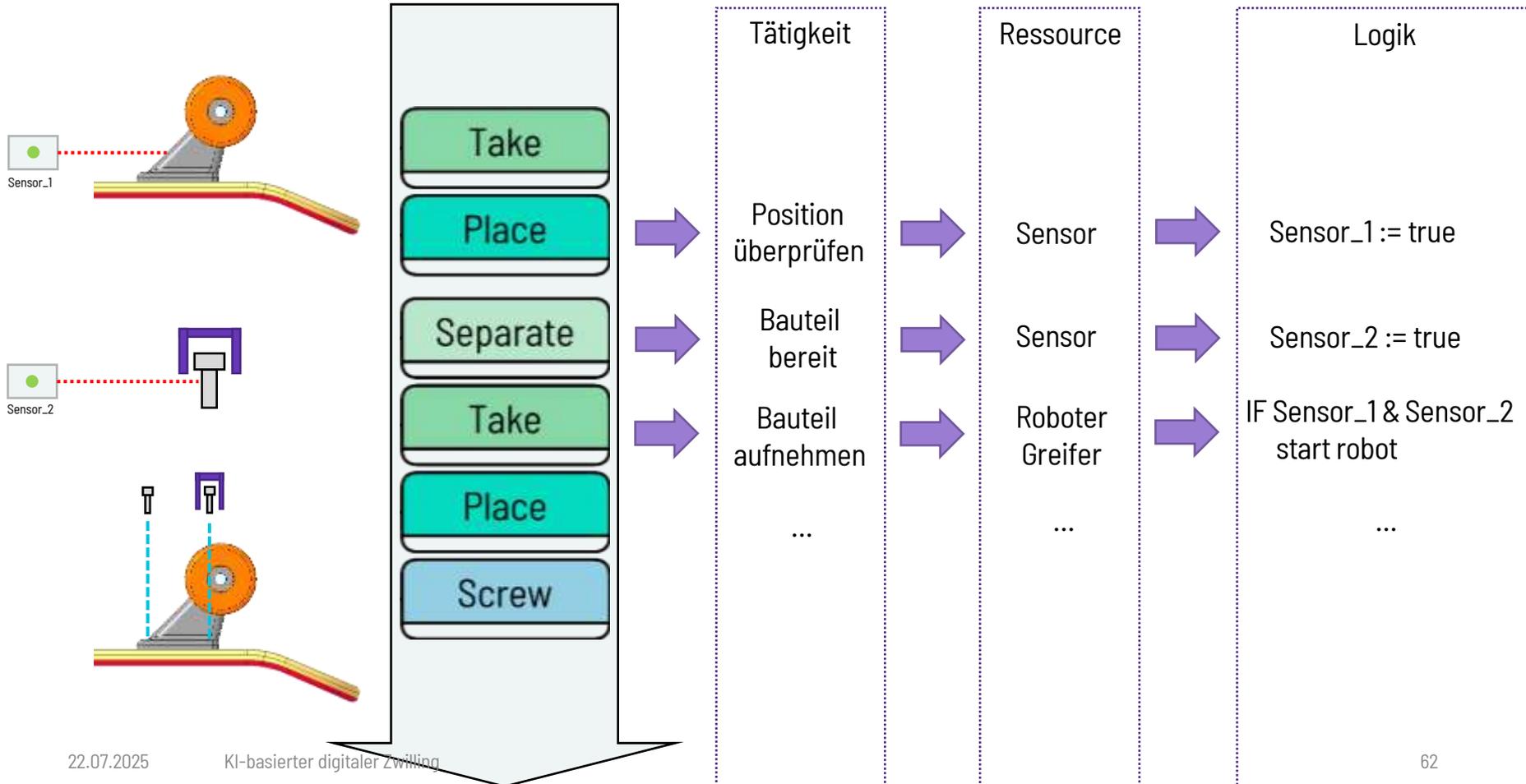


-  Tisch
-  Zaun
-  Roboter
-  Förderband

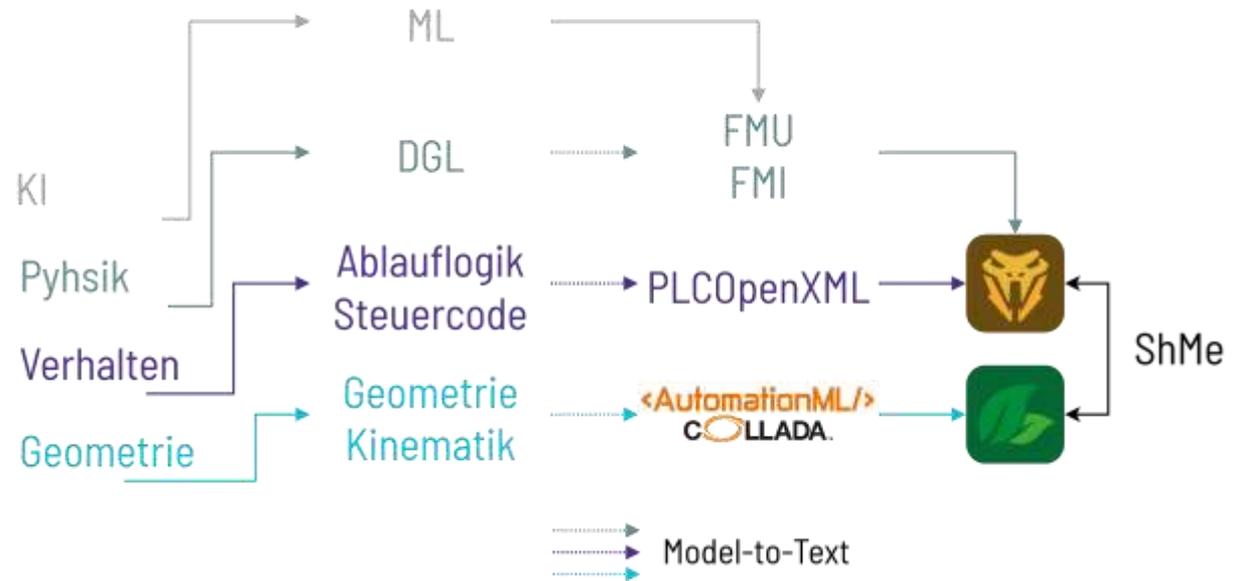
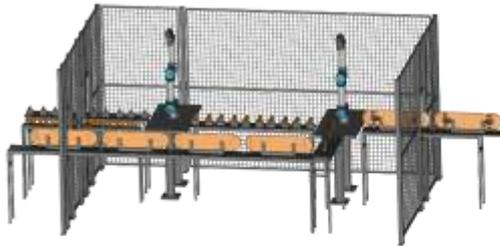
Layout 3D



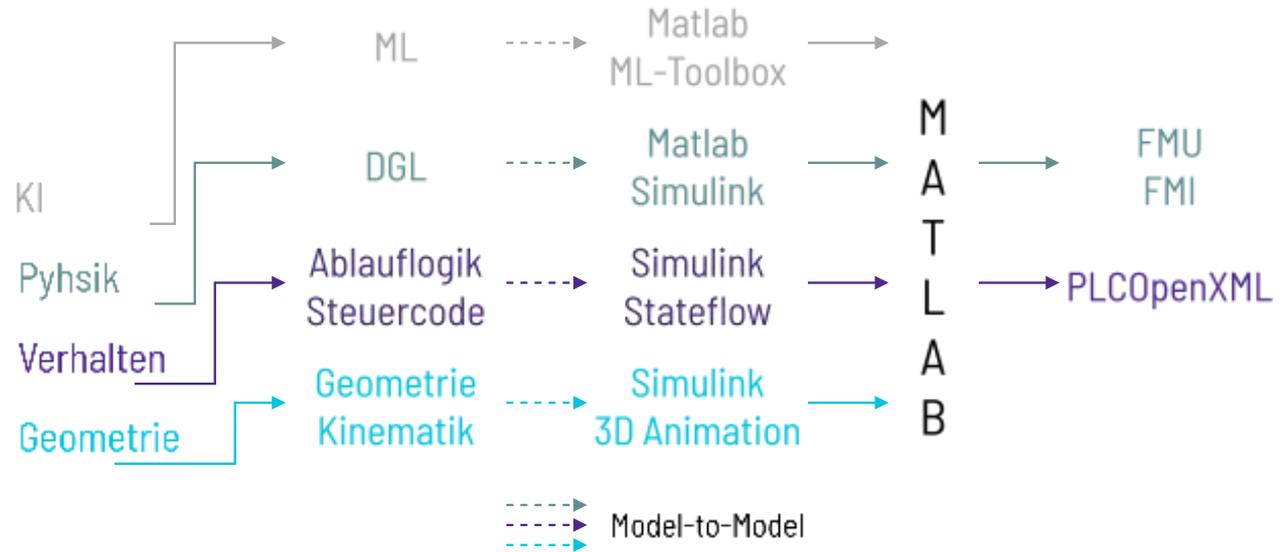
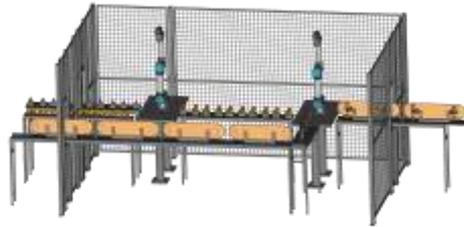
Generierung der Ablauflogik



EKS Architektur: Virtuelle Inbetriebnahme

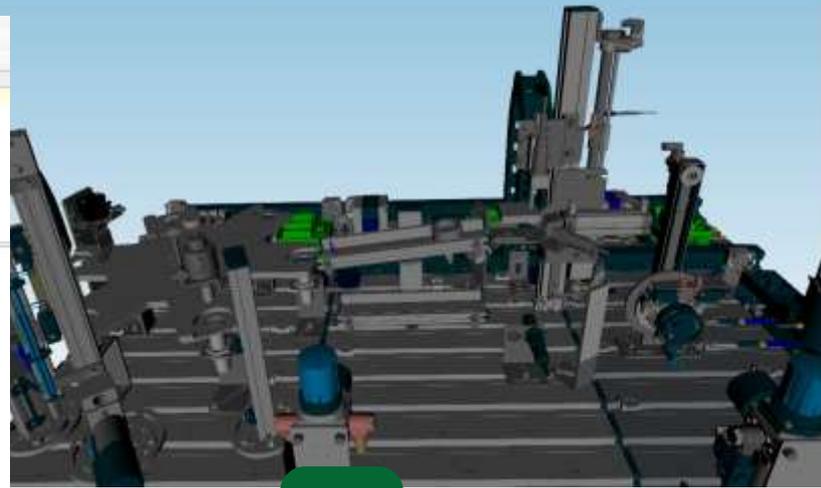
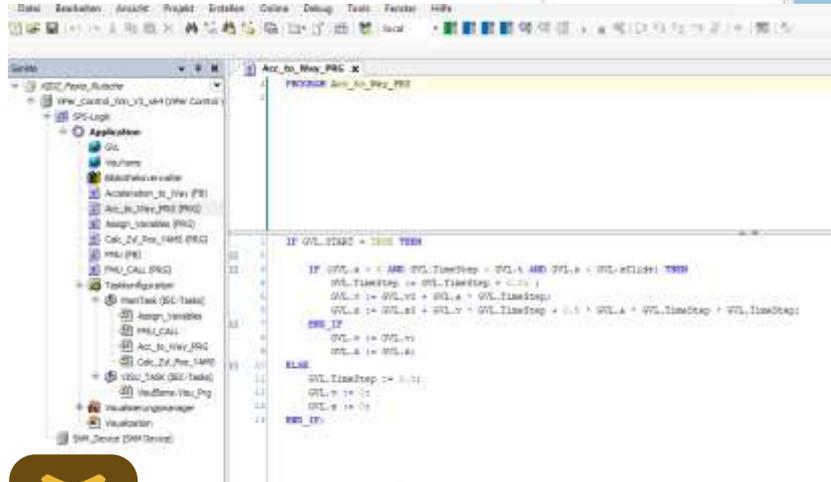
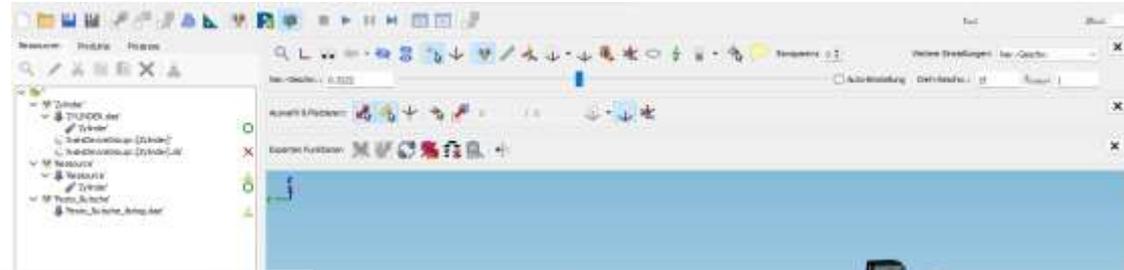


Matlab Architektur: Virtuelle Inbetriebnahme



Virtuelle Inbetriebnahme mit RF::Suite von EKS InTec GmbH

Festo-Anlage



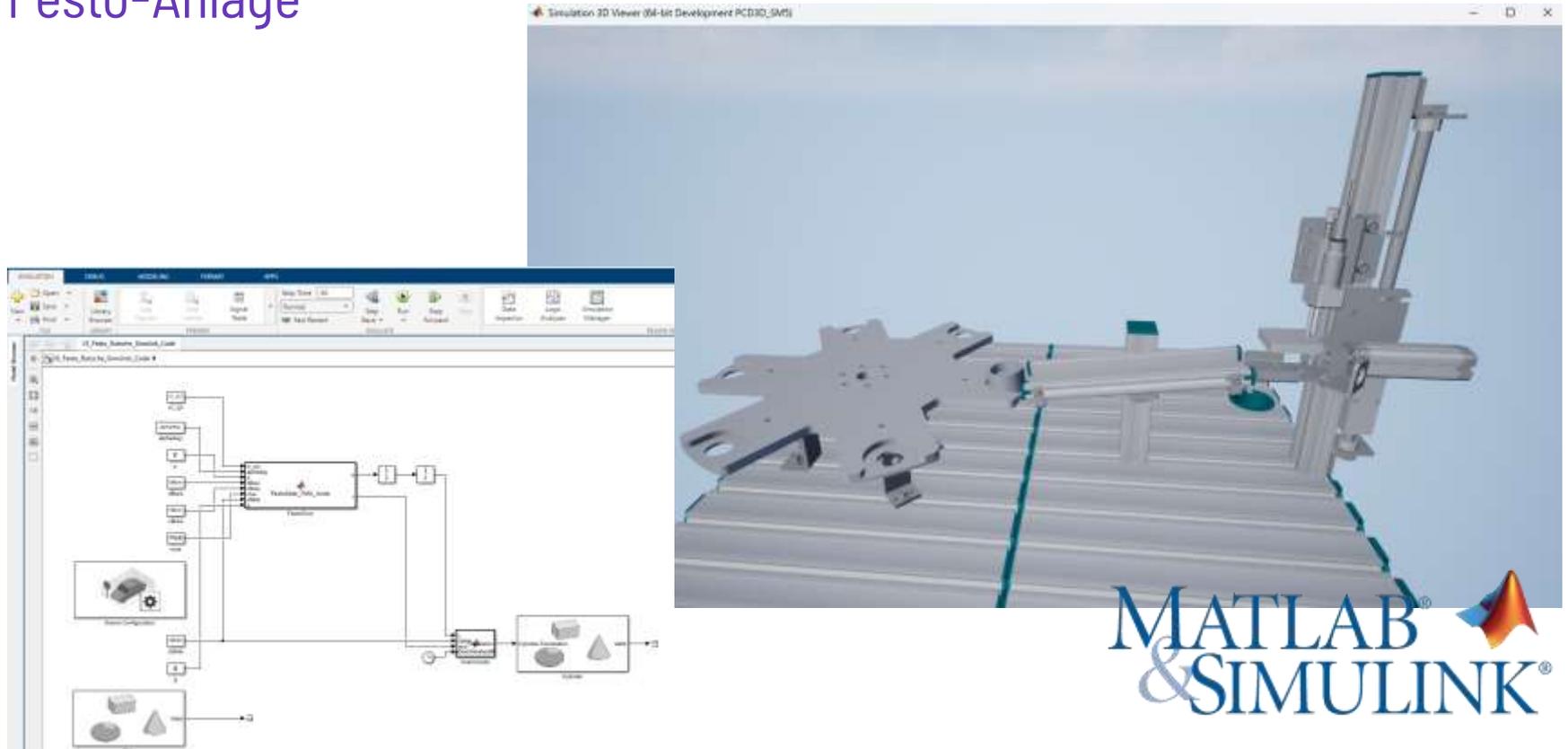
RF::ViPer



RF::YAMS

Virtuelle Inbetriebnahme mit Matlab MathWorks

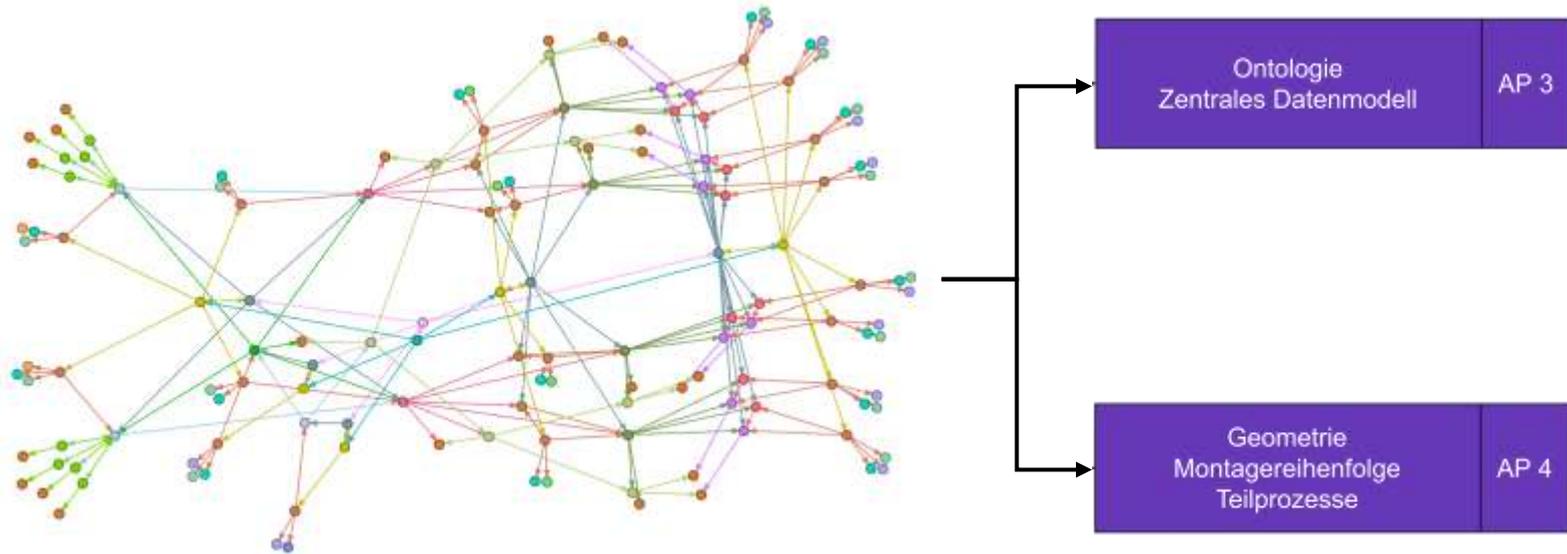
Festo-Anlage



MATLAB®
& SIMULINK®

Ergebnisse

- » Digitaler Zwilling
- » Zentrales Datenmodell





HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

17:00 – 17:30

Selbstlernender und selbsterklärender Digitaler Zwilling für industrielle Produktionsanlagen – Vision und Projektergebnisse

Prof. Dr. Wolfram Höpken, Leiter IDW@RWU

17:30 – 17:50

Automatisierter Entwurf von Produkt- und Produktionsmodellen

Timo Schuchter M. Sc. / Prof. Dr. Ralf Stetter

17:50 – 18:10

Automatic Generation of Training Data for Convolutional Neural Networks

Nishanth Nandakumar M. Sc. / Prof. Dr. Jörg Eberhardt

18:10 – 18:30

RAG-basierter KI-Agent zur natürlichsprachlichen Erklärung von KI-Modellen

Alexander Lohr M.Sc. / Prof. Dr. Wolfram Höpken

18:30 – 19:00

Live-Demonstration Showcases

19:00

Get-together – Posterpräsentationen & Snacks



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

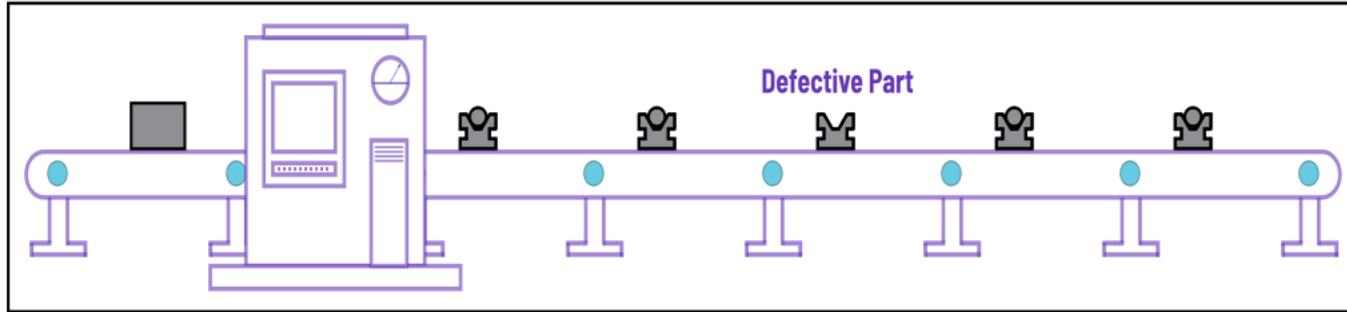


Fig1: Traditional Manufacturing of Parts in Industries

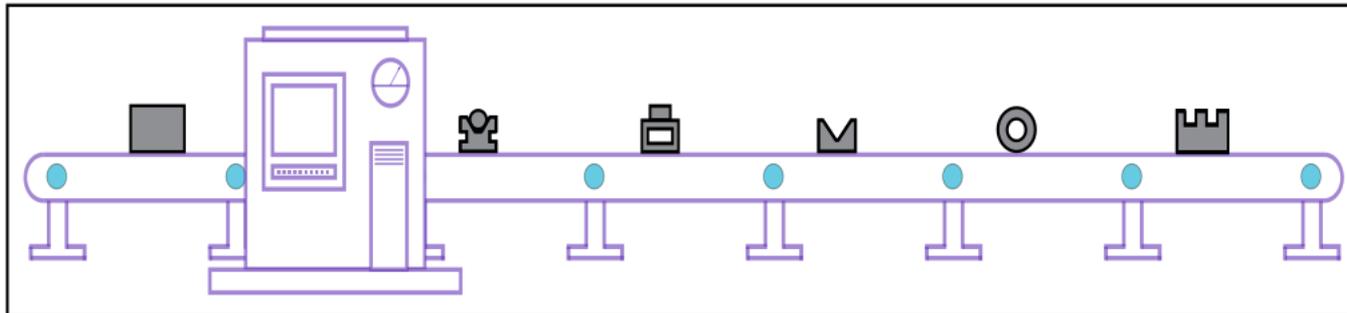
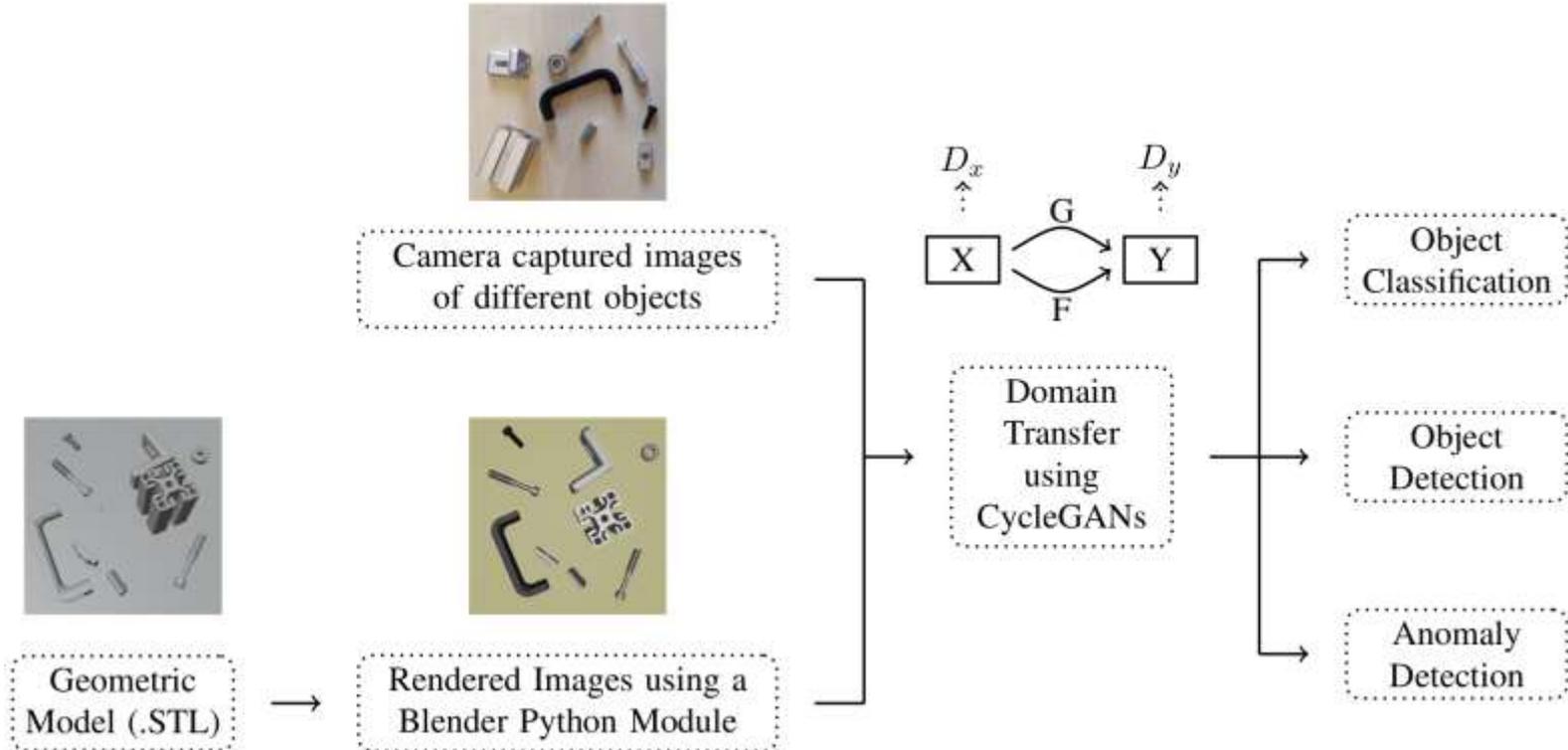


Fig2: Batch-Size-of-One Manufacturing of Parts in Industries

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

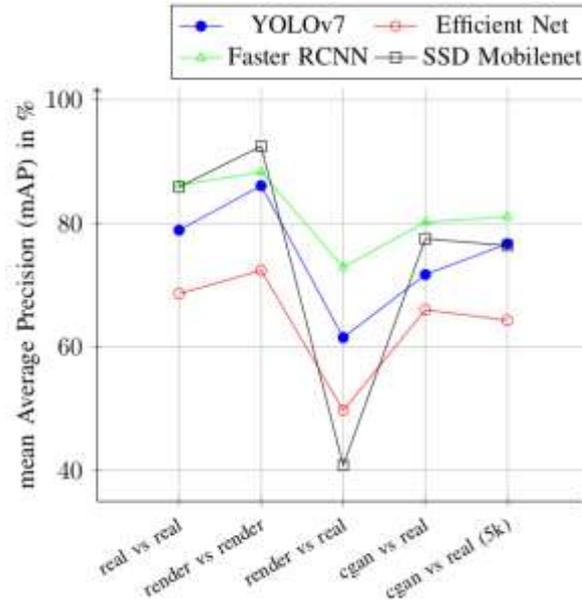


CycleGAN domain
transferred image trained
for 5000 epochs

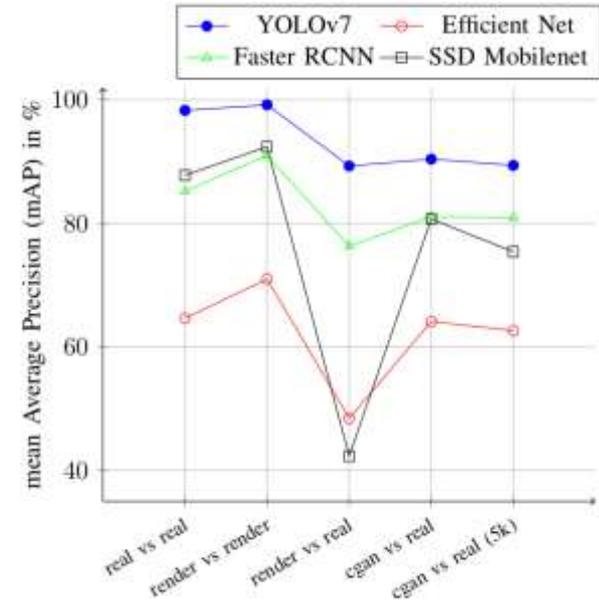
Synthetic Data Generation

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



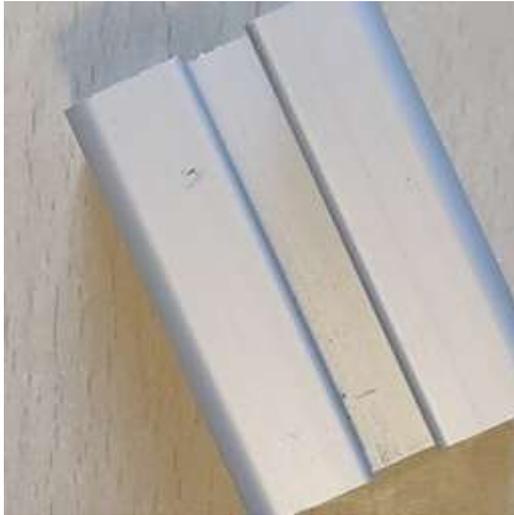
mean Average Precision (mAP) at 0.5-0.95 using 50 training images



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

Synthetic Data Generation

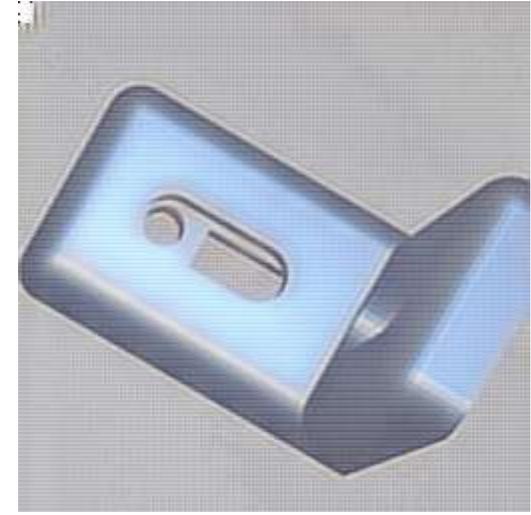
Domain Transfer with Different Objects



Realistic Camera
captured image



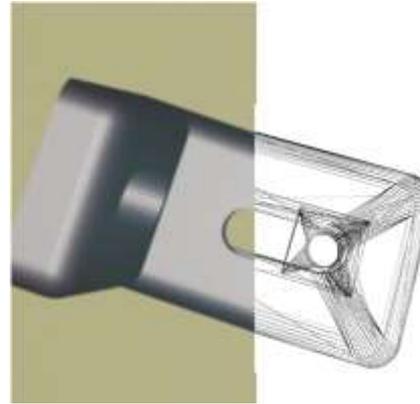
Rendered image using
Blender python module



CycleGAN domain
transferred image

Synthetic Data Generation

Evaluation - Domain Transfer with Different Objects

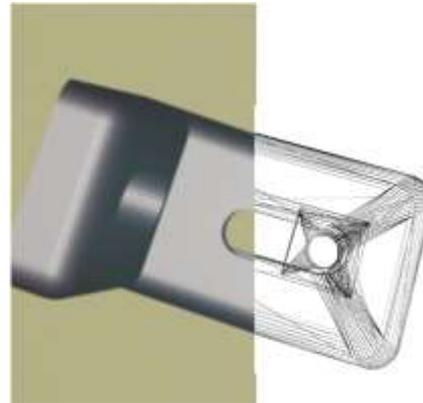


True / Predicted	Real	Rendered
Real	100	0
Rendered	0	100

Confusion Matrix for Classification on Camera captured Images

Synthetic Data Generation

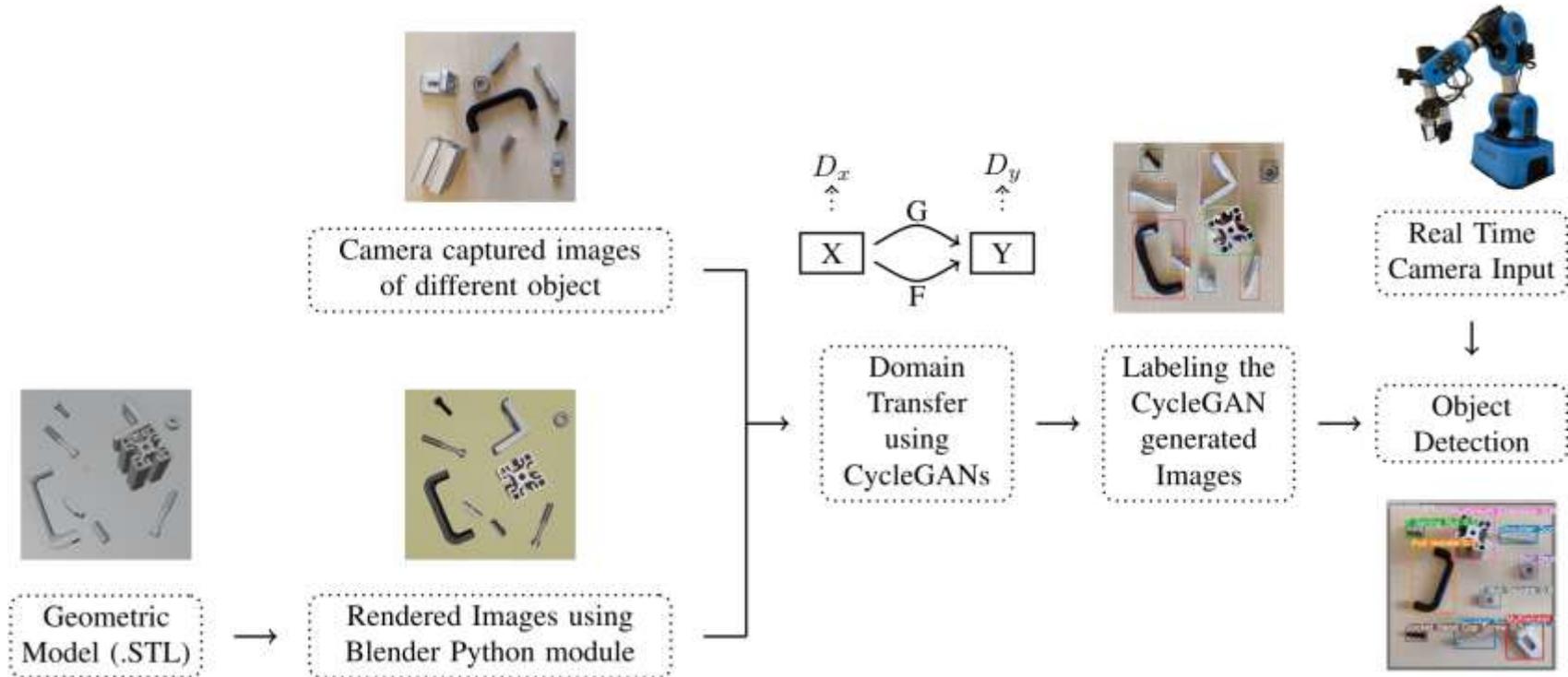
Evaluation - Domain Transfer with Different Objects



True / Predicted	Real	Rendered
Real	67	33
Rendered	0	100

Confusion Matrix for Classification on CycleGAN Generated Images

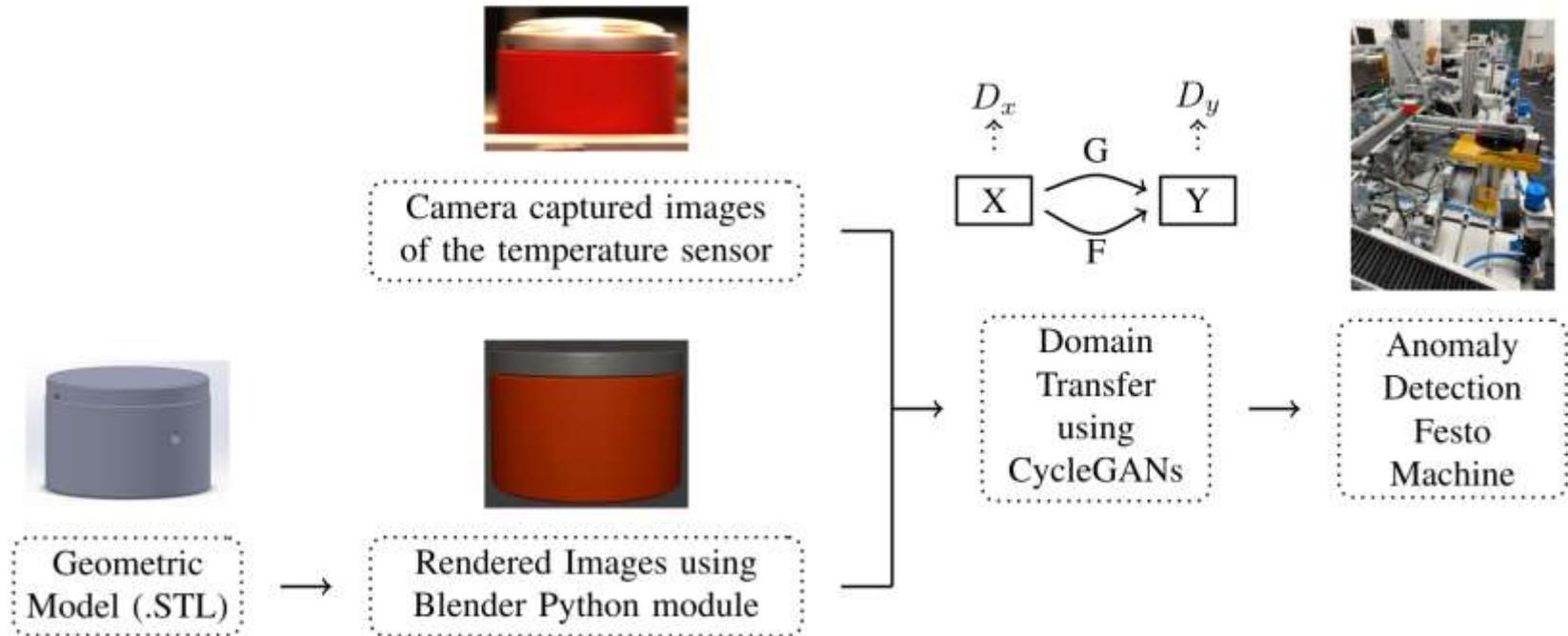
Niryo Robot - Object Detection Pipeline Architecture



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



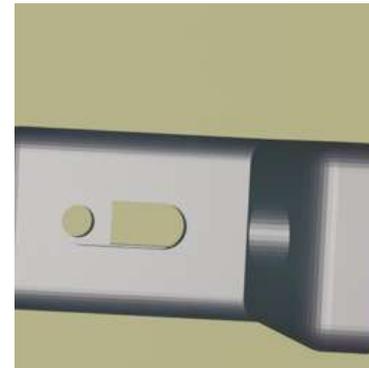
Pull Handle geometry change and disappearing Bolts

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

17:00 – 17:30

Selbstlernender und selbsterklärender Digitaler Zwilling für industrielle Produktionsanlagen – Vision und Projektergebnisse

Prof. Dr. Wolfram Höpken, Leiter IDW@RWU

17:30 – 17:50

Automatisierter Entwurf von Produkt- und Produktionsmodellen

Timo Schuchter M. Sc. / Prof. Dr. Ralf Stetter

17:50 – 18:10

Automatic Generation of Training Data for Convolutional Neural Networks

Nishanth Nandakumar M. Sc. / Prof. Dr. Jörg Eberhardt

18:10 – 18:30

RAG-basierter KI-Agent zur natürlichsprachlichen Erklärung von KI-Modellen

Alexander Lohr M.Sc. / Prof. Dr. Wolfram Höpken

18:30 – 19:00

Live-Demonstration Showcases

19:00

Get-together - Posterpräsentationen & Snacks



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

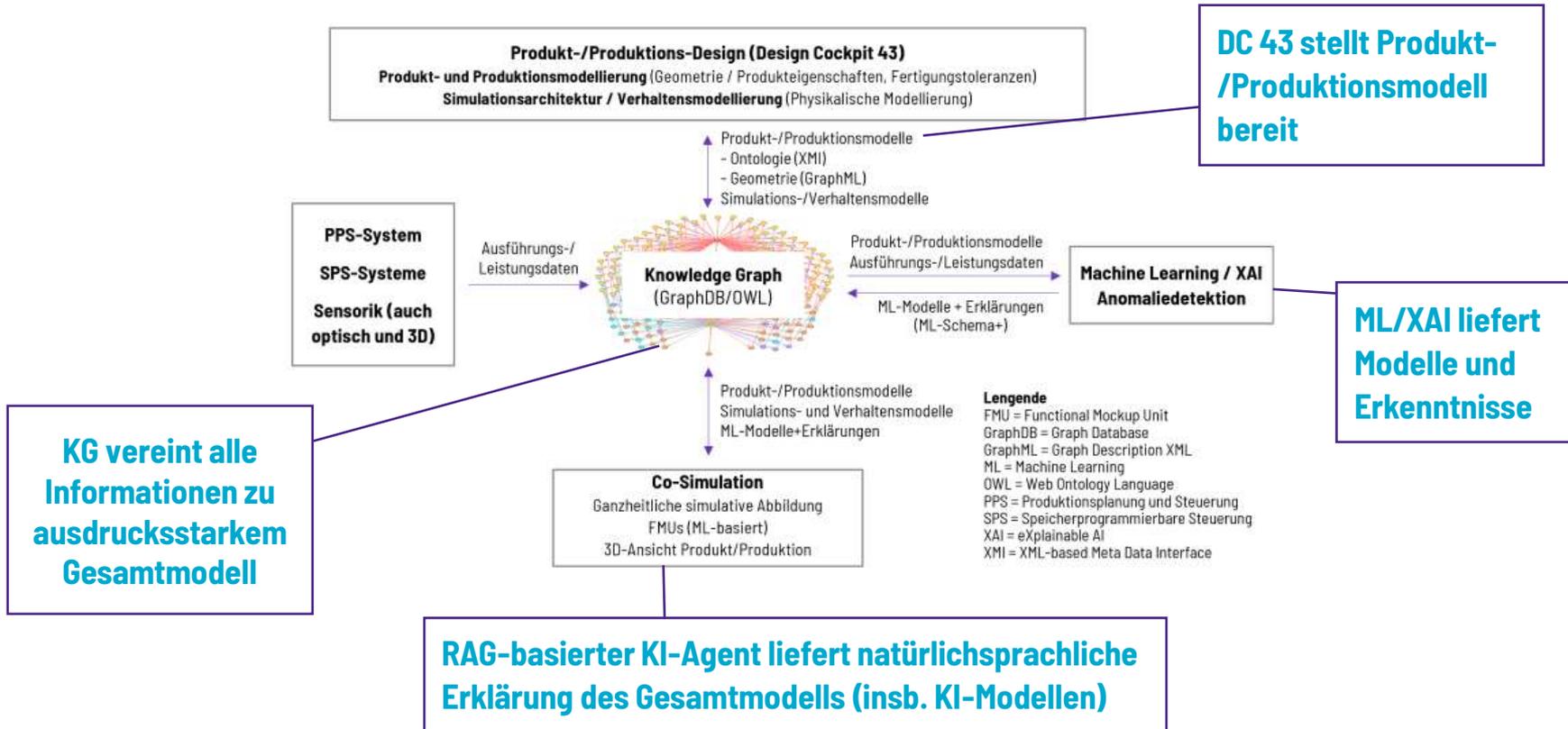
- » Eingeschränkte **Verständlichkeit** der ML-Modelle verhindert **Akzeptanz** insb. in kritischen Einsatzgebieten wie der Produktion
- » **Komplizierte Nutzerschnittstellen** digitaler Zwillinge oder Simulationssysteme erschweren den Zugang für breitere Nutzerschichten

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



Natürlichsprachliche Erklärung gewonnener Erkenntnisse

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

The screenshot displays a 'Cylinder Processing Monitor' interface. At the top, there is a 'Cylinder State Transitions (Last 10)' graph showing state changes over time. Below this is a 'Simulation Log' section with three entries for 'Cylinder-2', 'Cylinder-1', and 'Cylinder-3'. A modal window titled 'Simulation Failure Analysis' is open, showing a failure report for 'Cylinder-2' with the following input parameters:

```

{
  "pressure": 4,
  "angle": 0.139626340100462,
  "weight": 46.3,
  "surface": 0.5,
  "material": "Aluminium"
}
    
```

The modal also includes an 'AI Assistant Explanation' with the following points:

- The main purpose of the cylinder_boost_IT model is to evaluate whether a cylinder design will function successfully under specified conditions.
- 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.
- 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.

At the bottom of the modal, there is a button labeled 'Continue Conversation in Explain LLM'.

XAI mittels Large Language Model und KG

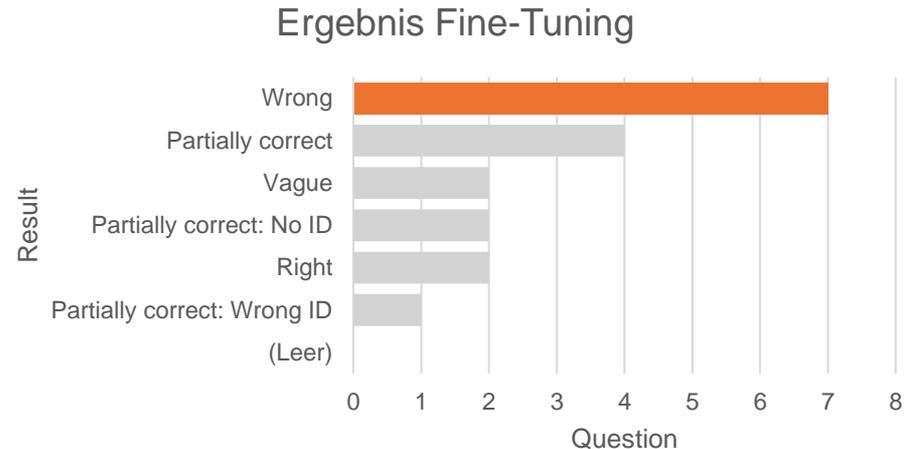
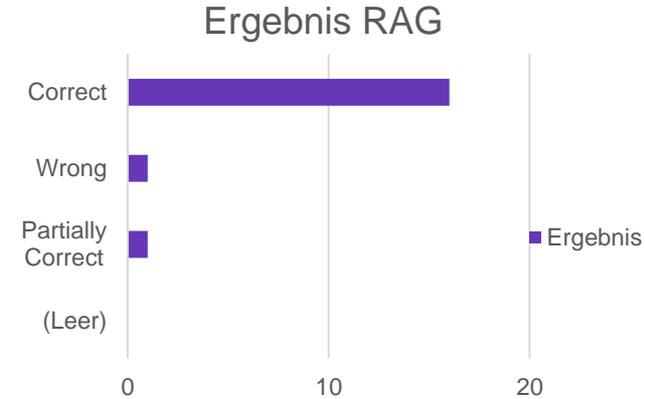
Vergleich RAG und Fine-Tuning

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)

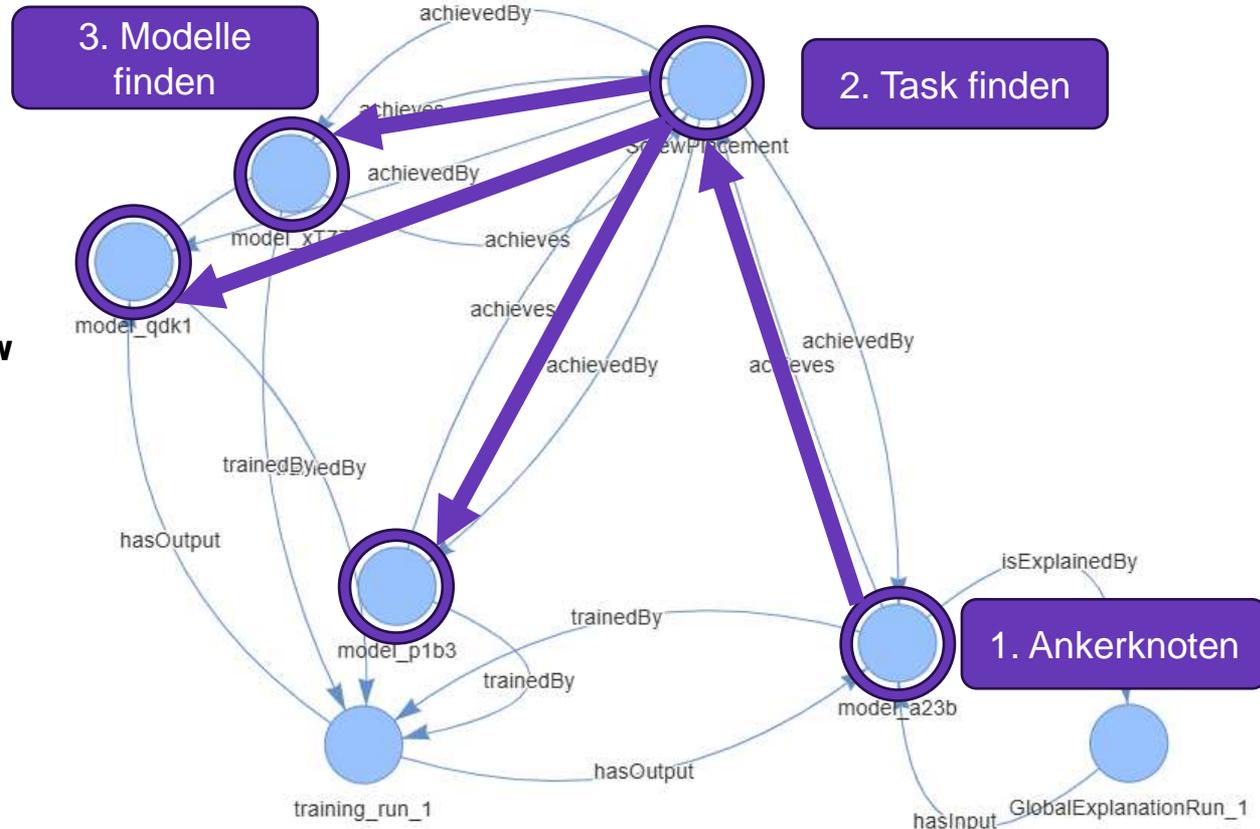
Selbständige Informationsbeschaffung

- » **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_La23b**, **model_LxT77**, **model_p1b3**, and **model_Lqdk1**. 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

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:** 'ninyo_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
 - **RDC AUC Score:** 0.5074
 - **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.

Send



HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



INSTITUT FÜR
DIGITALEN WANDEL
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

17:00 – 17:30

Selbstlernender und selbsterklärender Digitaler Zwilling für industrielle Produktionsanlagen – Vision und Projektergebnisse

Prof. Dr. Wolfram Höpken, Leiter IDW@RWU

17:30 – 17:50

Automatisierter Entwurf von Produkt- und Produktionsmodellen

Timo Schuchter M. Sc. / Prof. Dr. Ralf Stetter

17:50 – 18:10

Automatic Generation of Training Data for Convolutional Neural Networks

Nishanth Nandakumar M. Sc. / Prof. Dr. Jörg Eberhardt

18:10 – 18:30

RAG-basierter KI-Agent zur natürlichsprachlichen Erklärung von KI-Modellen

Alexander Lohr M.Sc. / Prof. Dr. Wolfram Höpken

18:30 – 19:00

Live-Demonstration Showcases

19:00

Get-together – Posterpräsentationen & Snacks

Showcases

FESTO-Produktionsanlage



Roboterarm – Pick & Place



Mehrkörper-Kinematik

