

# Wie digitaler Zwilling und künstliche Intelligenz den Menschen in der Arbeitswelt unterstützen können

1. Digitaler Zwilling in Entwicklung und Betrieb @KI.Fabrik im Deutschen Museum
2. Integration des Digitalen Zwillings des Menschen in der Arbeitswelt
3. Enabling Technologies: Agenten, Skills, Asset Administration Shell, Automation ML, ECLASS
4. Auswahl erfolgreicher KI-Anwendungen
5. Zusammenfassung

**Birgit Vogel-Heuser, Fellow IEEE**

IEEE RAS Automation Coordinator  
Full Professor; Head of Institute  
Automation and Information Systems (AIS)  
School of Engineering and Design, Vice Dean R&I  
Technical University of Munich (TUM)

MIRMI and MDSI

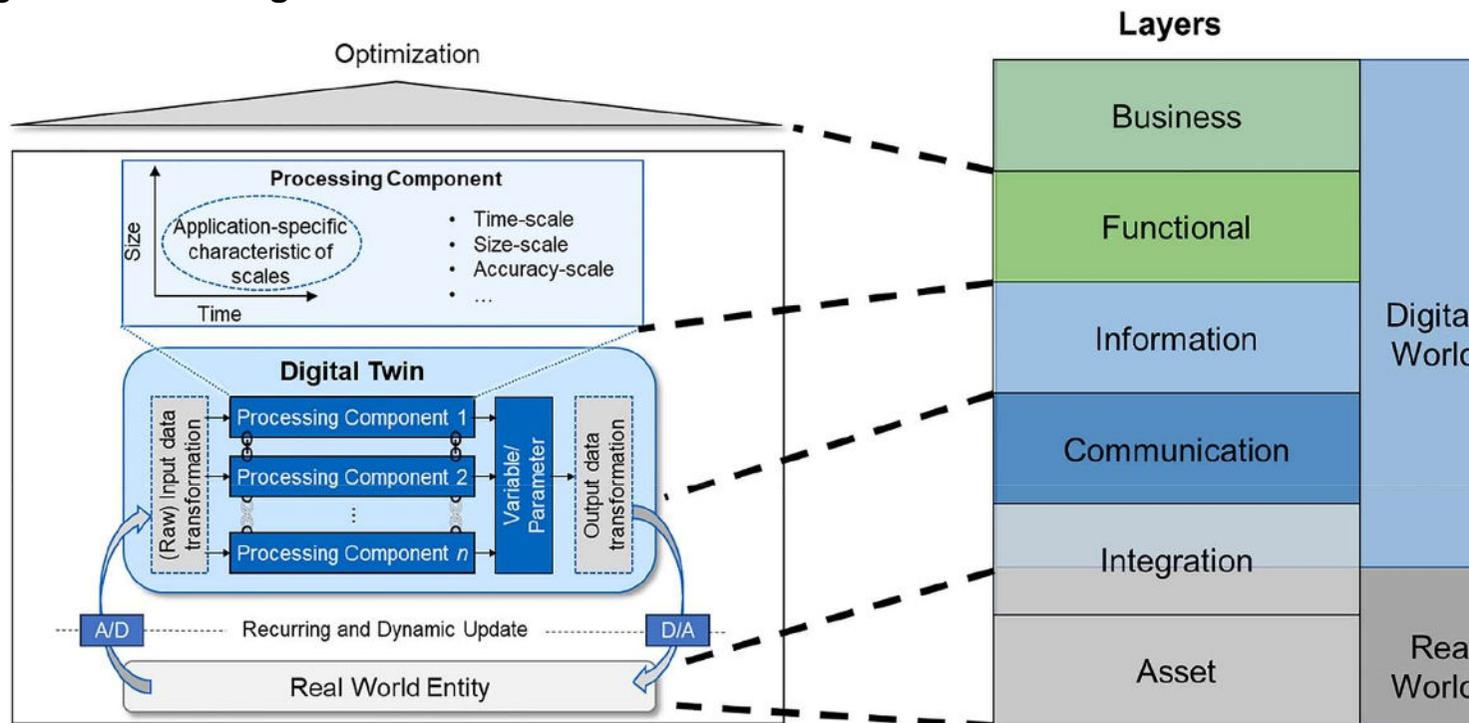
[www.ais.mw.tum.de](http://www.ais.mw.tum.de); [vogel-heuser@tum.de](mailto:vogel-heuser@tum.de)



# Definition des Digitalen Zwillings im Ingenieurwesen

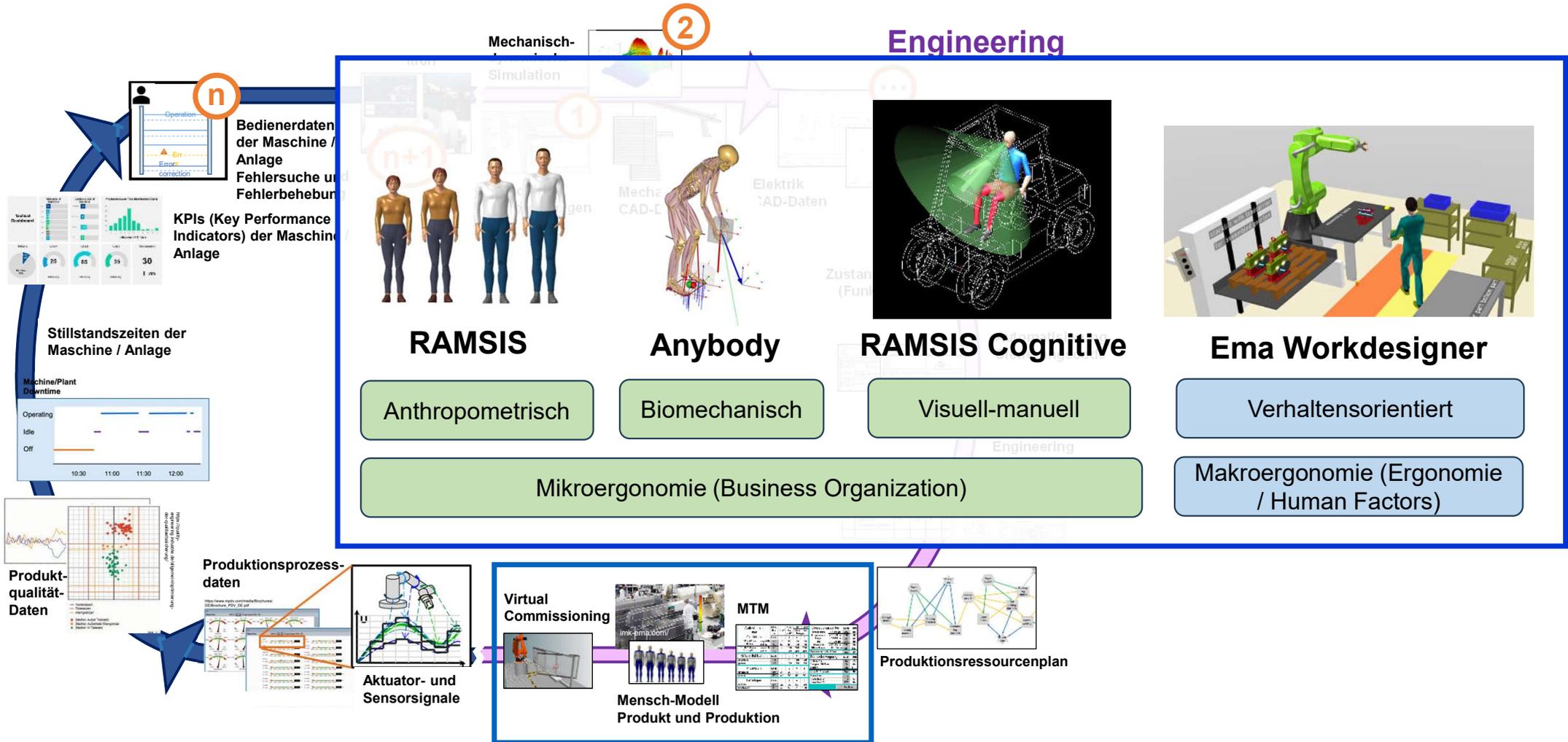


- **dynamische digitale Repräsentationen** von **spezifischen Objekten** aus der realen Welt.
- bestehen aus **(miteinander verbundenen) Komponenten** und **Schnittstellen** mit **anwendungsspezifischen Attributen und Skalierungen** (z.B. Zeit, Größe, Genauigkeit, Hierarchie, Phase im Lebenszyklus).
- Ziel: **ständige Verbesserung** in der realen Welt.





# Integration Digitaler Zwilling des Menschen



Vogel-Heuser, Birgit. et al. *Methods to Enable Evolvable Digital Twins for Flexible automated Production Systems*. In: Asia-Pacific Journal of Operational Research, DOI: 10.1142/S0217595924400153.

# Wie digitaler Zwilling und künstliche Intelligenz den Menschen in der Arbeitswelt unterstützen können

1. Digitaler Zwilling in Entwicklung und Betrieb @KI.Fabrik im Deutschen Museum
2. Integration des Digitalen Zwillings des Menschen in der Arbeitswelt
- 3. Enabling Technologies: Agenten, Skills, Asset Administration Shell, Automation ML, ECLASS
4. Auswahl erfolgreicher KI-Anwendungen
5. Zusammenfassung

**Birgit Vogel-Heuser, Fellow IEEE**

IEEE RAS Automation Coordinator  
Full Professor; Head of Institute  
Automation and Information Systems (AIS)  
School of Engineering and Design, Vice Dean R&I  
Technical University of Munich (TUM)

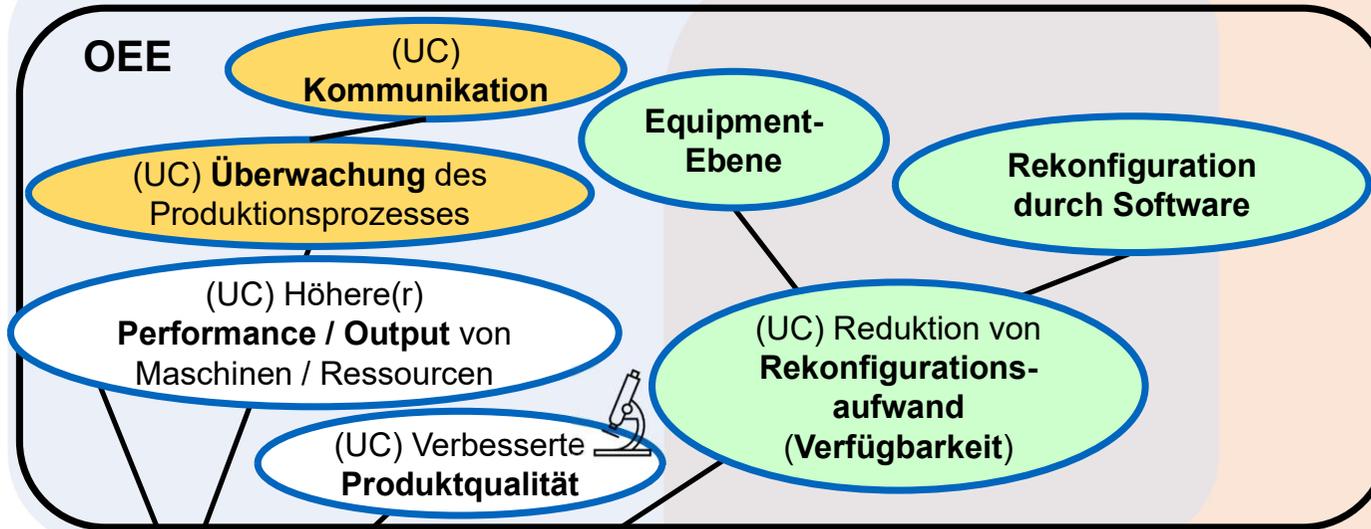
MIRMI and MDSI

[www.ais.mw.tum.de](http://www.ais.mw.tum.de); [vogel-heuser@tum.de](mailto:vogel-heuser@tum.de)

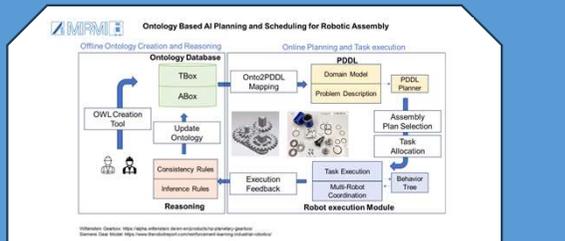


# Digitaler Zwilling: Voraussetzung für sinnvolle KI-Anwendungen?

## Use Cases



## Digitaler Zwilling in der Asset Administration Shell



(UC) Offener Industrie 4.0  
 Sensor Demonstrator



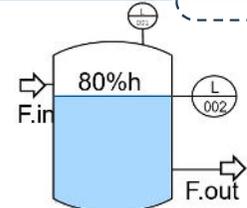
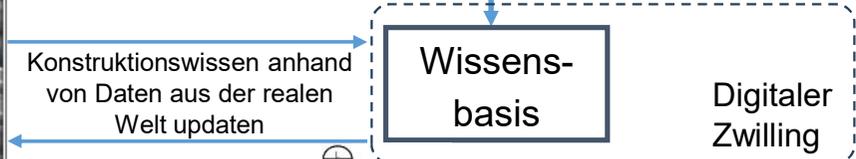
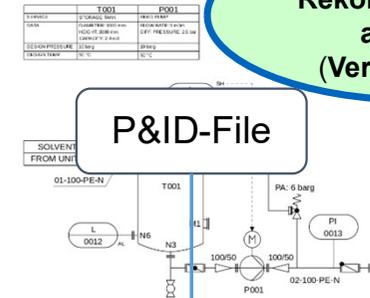
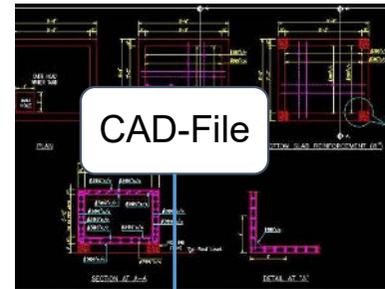
Mehr offizielle Use Cases von der IDTA zu finden auf <https://industrialdigitaltwin.org/content-hub/downloads>

# Zusammenhang Digitaler Zwilling $\Leftrightarrow$ KI in der Arbeitswelt

## Use Case: Rekonfiguration im Betrieb

(UC) Reduktion Rekonfigurationsaufwand (Verfügbarkeit)

### Anwendung in der Prozessüberwachung

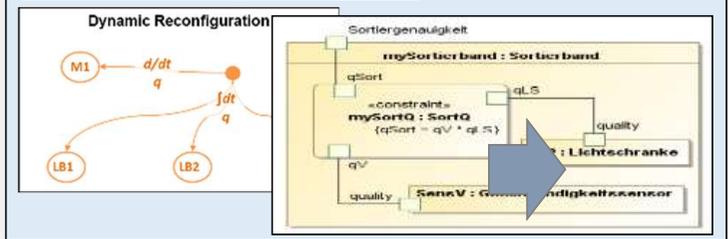


$$\Delta F = F.in - F.out$$

$$\Delta V = (1 - 80\%) \cdot l \cdot w \cdot h$$

$$\Delta t = \Delta V / \Delta F$$

### Wissensbasis (SysML-basiert)



### Vorlagen gemäß dem MOFM2T-Standard

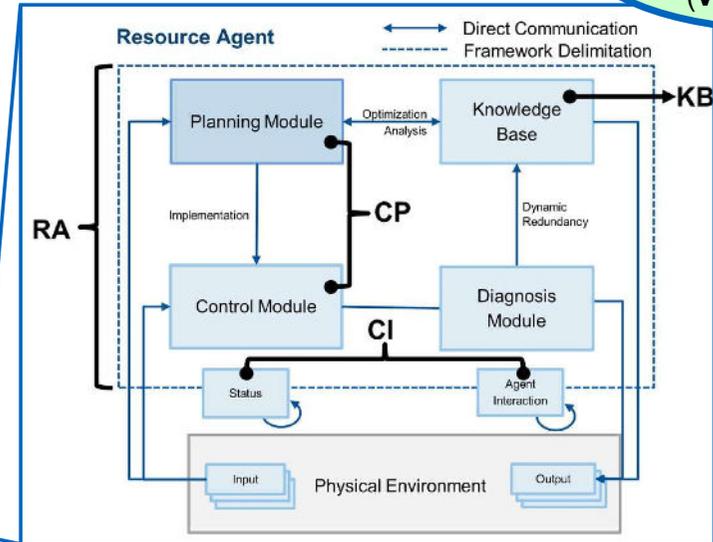
ADR(A1.out)	ADR(A2.out)	ADR(B1.out)	ADR(B2.out)
	ADR(VA2.out)		
		ADR(VB1.out)	
			ADR(VB2.out)

### Implementierung Softsensor

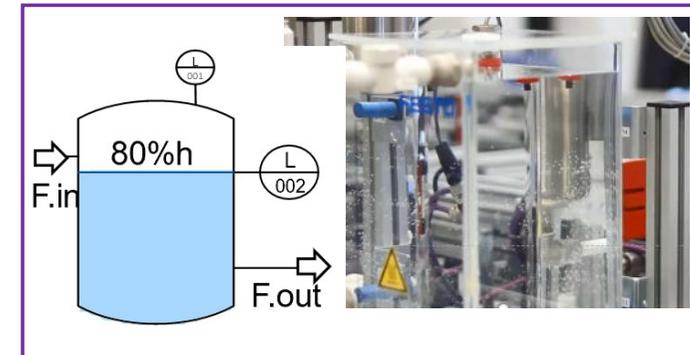
# Muster für Rekonfiguration mit Softsensor

(UC) Reduktion Rekonfigurationsaufwand (Verfügbarkeit)

Kriterien	Beschreibungen	Ressourcenagent von Wannagat
<b>Kategorie des Musters</b>	Funktionklasse	Zuverlässigkeit (Fehlertoleranz)
<b>Art des Musters</b>	Ziel des Musters	MAS, um fehlerhafte Sensoren oder Aktuatoren in Automationssystemen zu identifizieren
<b>Name des Musters</b>	Name des Musters	Agent@PLC
<b>Beschreibung des Musters</b>	Logische Struktur (welche Komponenten beinhaltet das Muster?)	Vier (4) Hauptmodule sind im Ressourcenagent, angesprochen von Mustern: CI, CP, RA und KB
<b>Kontext / Anwendungsbereich</b>	Anwendungskontext des Musters	aPS
<b>MAS-Architektur</b>	Ansatz zur Realisierung des Verhaltens des Agenten	Hybrid-Muster ersetzt fehlerhaften Wert mit einem virtuellen Wert
<b>Lösung</b>	Graphische Beschreibung der MAS-Architektur	Siehe Grafik
<b>Wissensbasis und Verarbeitung</b>	Wie wird das Wissen gespeichert? Modelle, Regeln, etc.	OOP und SysML
<b>Lernen / Wissensgewinnung</b>	Methoden und Techniken	Möglich, Filtern von falschen Ventilwerten
<b>Implementierung</b>	MAS Technologien für die Umsetzung, z.B. Sprachen	IEC 61131-3
<b>Echtzeiteigenschaften</b>	Anforderungen an Pünktlichkeit und Nebenläufigkeit	x
<b>Verwendbarkeit</b>	Anwendbar z.B. für ISA-88 Equipment Level → siehe Tank-Modul	
<b>MA</b>	Kriterien von Entscheidungen	kontrollieren Einheiten der Anlage



CI: Communication Interface; CP: Coordination Process; KB: Knowledge Base; RA: Resource Access

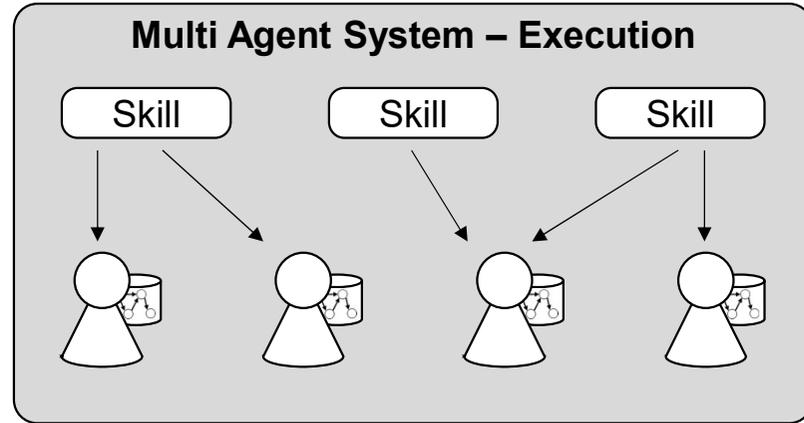
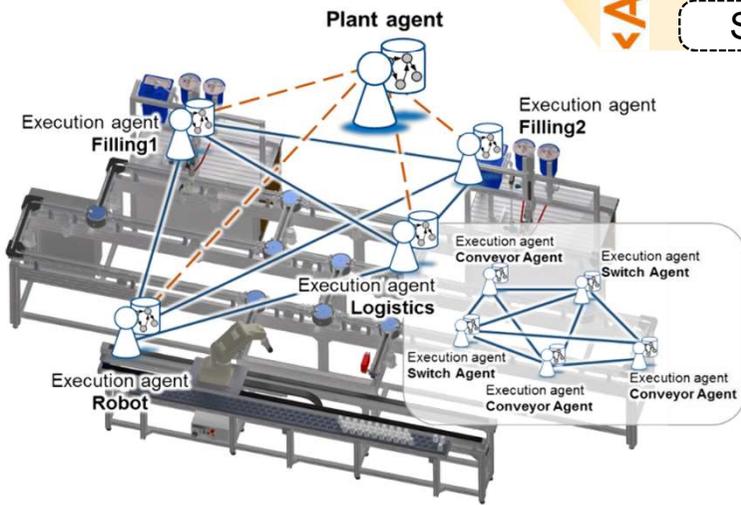
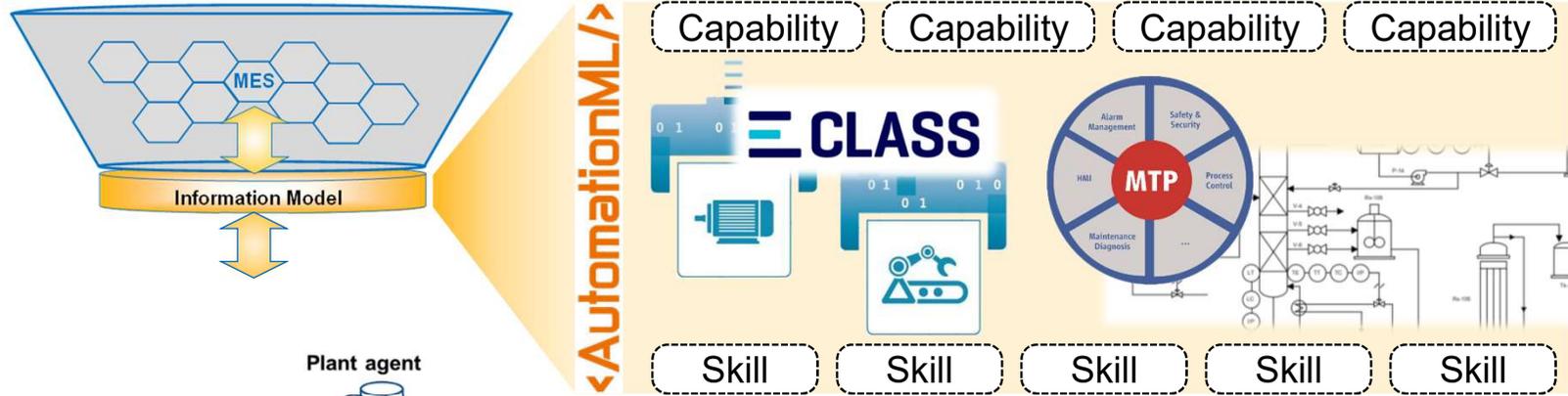
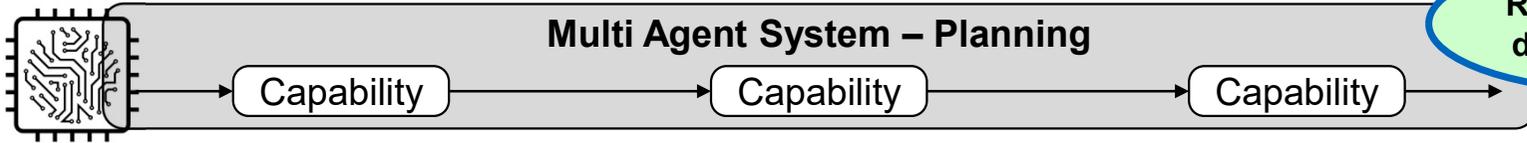


Multi-agent systems in industrial automation:  
 Selected patterns for field level control and energy systems,  
 VDI/VDE 2653 Part 4, VDI/VDE, Berlin, Feb 2022.  
<https://www.beuth.de/en/technical-rule/vdi-vde-2653-blatt-4/349352623>

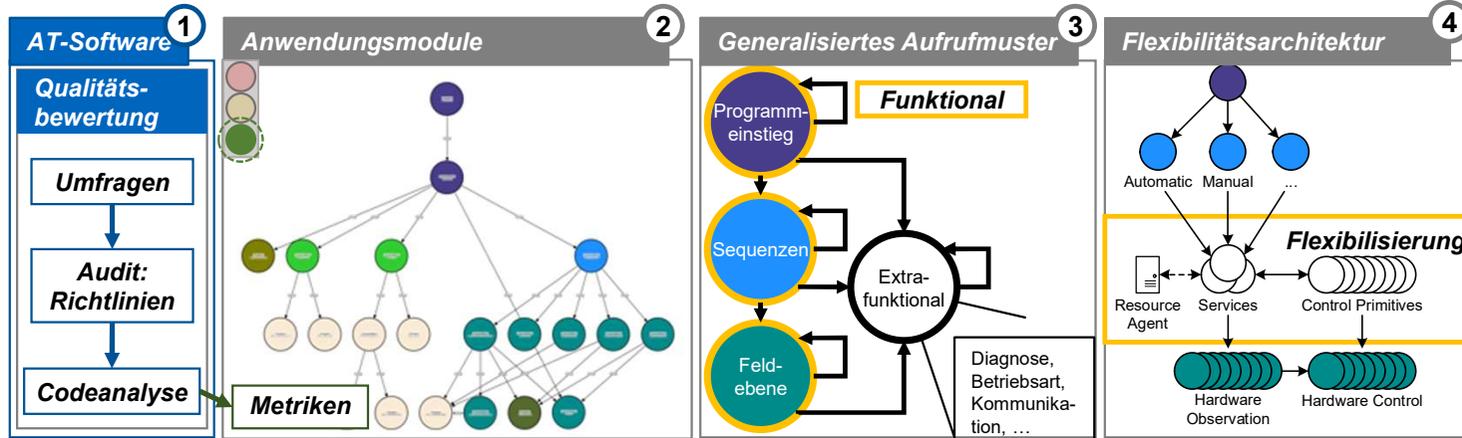
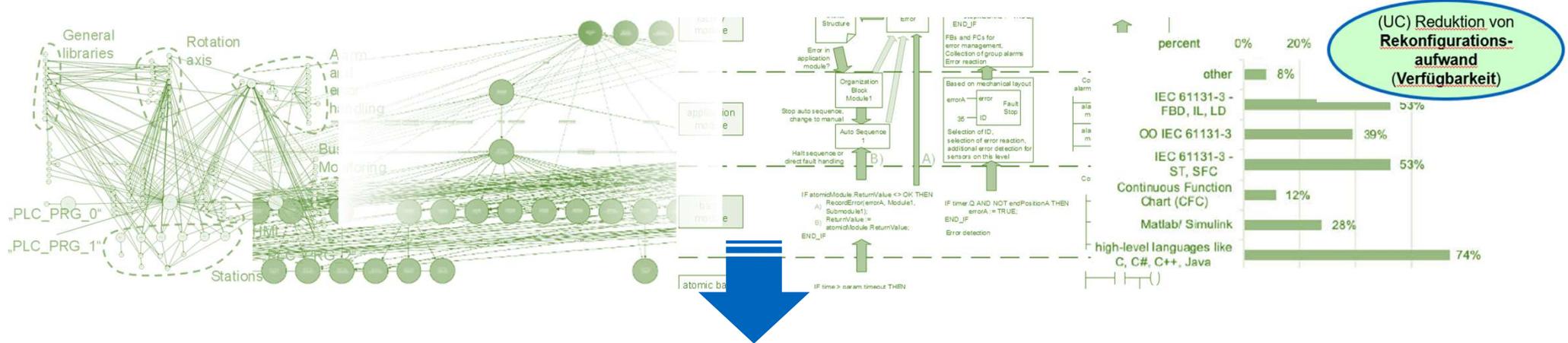
# Digitaler Zwilling für Self-X Produktionssysteme



Rekonfiguration durch Software



# Use Case: Reduktion von Rekonfigurationsaufwand Von der Codeanalyse in die industrielle Anwendung



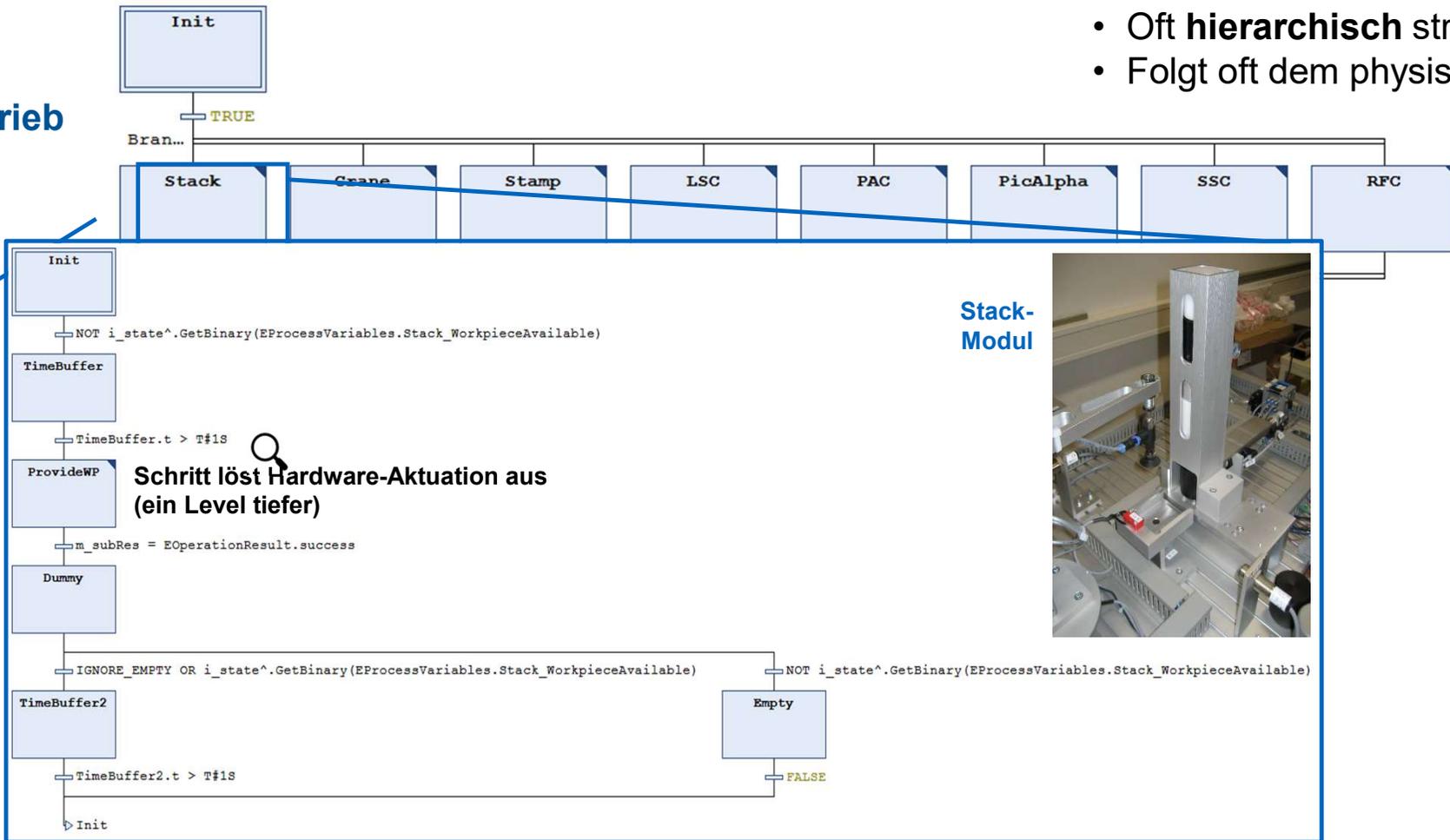
Wilch, Jan, Fischer, Juliane, Langer, Nikolai, Felger, Markus, Bengel, Matthias and Vogel-Heuser, Birgit. "Towards automatic generation of functionality semantics to improve PLC software modularization" at - *Automatisierungstechnik*, vol. 70, no. 2, 2022, pp. 181-191

# Fehlerdiagnose und Zustandsmanagement

## Hierarchische Sequenzielle Kontrolle

- Jeder Betriebsmodus hat **Kontrolllogik**
- Oft **hierarchisch** strukturiert
- Folgt oft dem physischen Layout

Betrieb

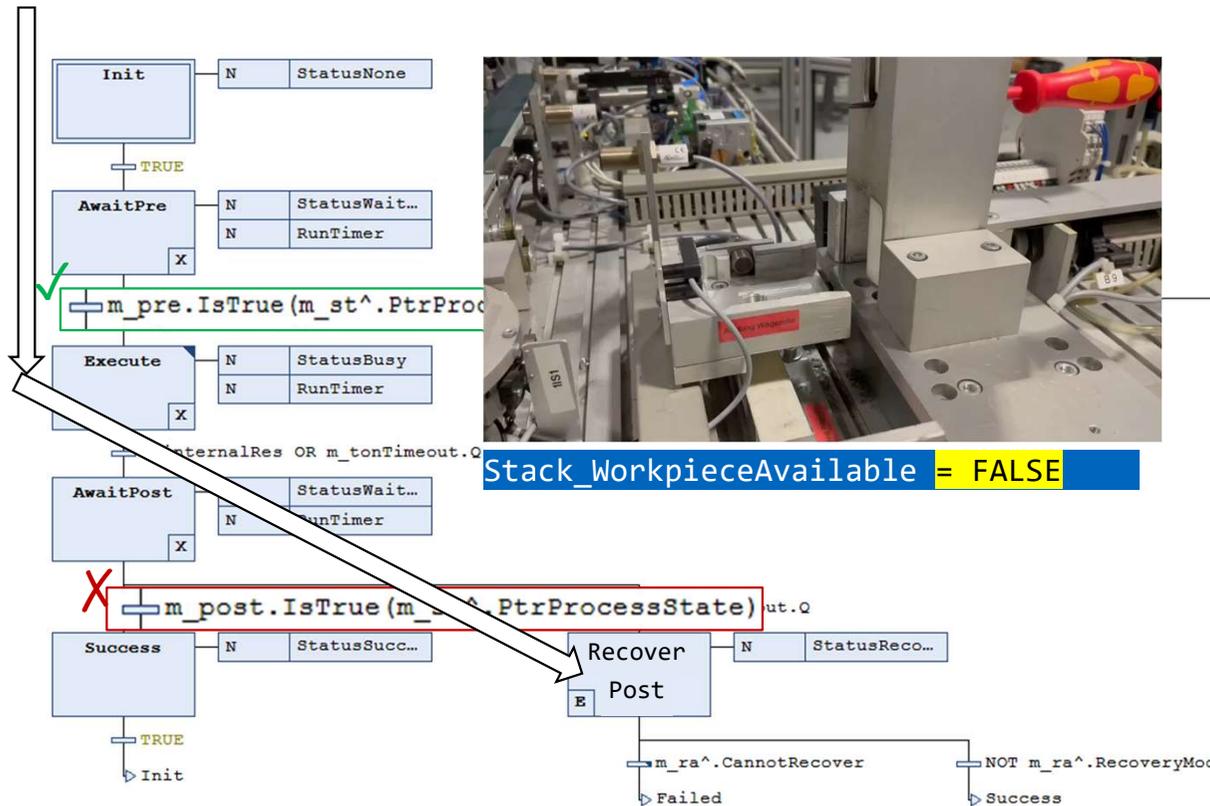


Stack-Modul

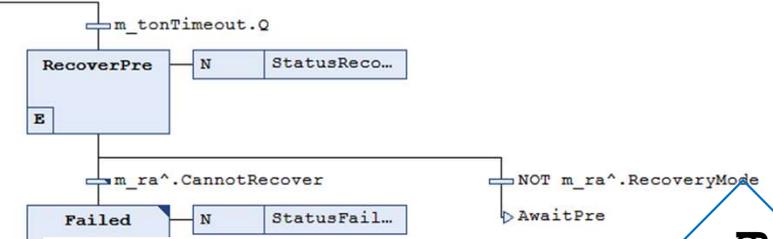
# Fehlerdiagnose und Zustandsmanagement

## Standardisierte Verhaltensmodule und Diagnose

### Betrieb



- Standardisierter Zustandsautomat
- Vor- und Nachbedingungen machen Diagnose möglich



### Nach einer fehlgeschlagenen Bedingung...

- Betriebsmodus ändern
- Kontrolliertes Anhalten aller Stationen
- Wiederherstellung anfragen

Berichterstattung

# Wie digitaler Zwilling und künstliche Intelligenz den Menschen in der Arbeitswelt unterstützen können

1. Digitaler Zwilling in Entwicklung und Betrieb @KI.Fabrik im Deutschen Museum
2. Integration des Digitalen Zwillings des Menschen in der Arbeitswelt
3. Enabling Technologies: Agenten, Skills, Asset Administration Shell, Automation ML, ECLASS
- 4. Auswahl erfolgreicher KI-Anwendungen
5. Zusammenfassung

**Birgit Vogel-Heuser, Fellow IEEE**

IEEE RAS Automation Coordinator  
Full Professor; Head of Institute  
Automation and Information Systems (AIS)  
School of Engineering and Design, Vice Dean R&I  
Technical University of Munich (TUM)

MIRMI and MDSI

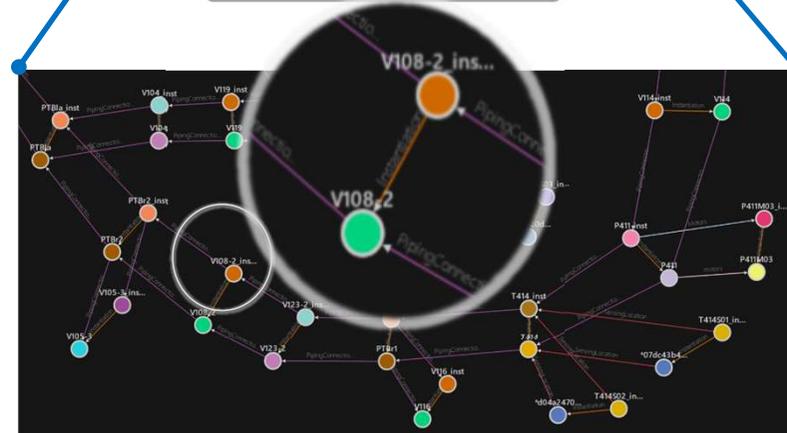
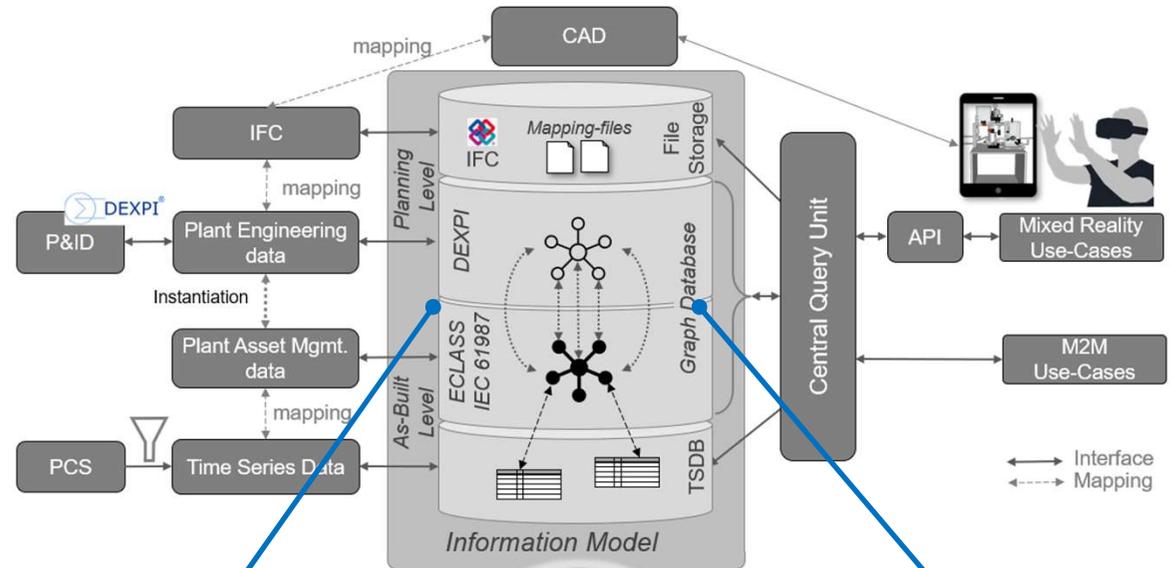
[www.ais.mw.tum.de](http://www.ais.mw.tum.de); [vogel-heuser@tum.de](mailto:vogel-heuser@tum.de)



# Erstellung evolvierbarer Digitaler Zwillinge in der Prozesstechnik - Cloudbasierte Architektur des Informationsmodells



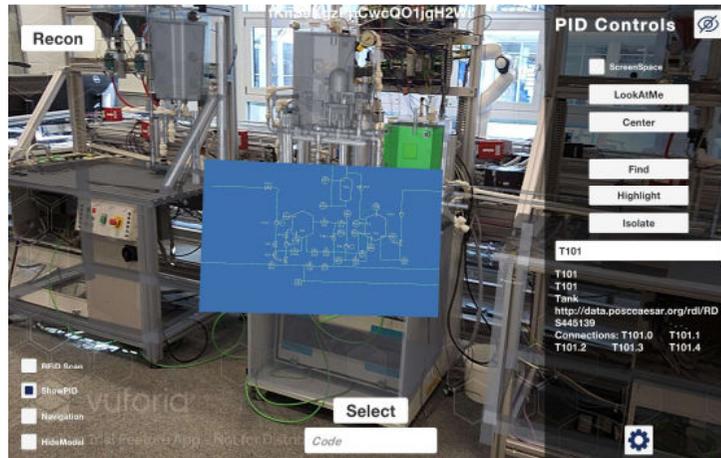
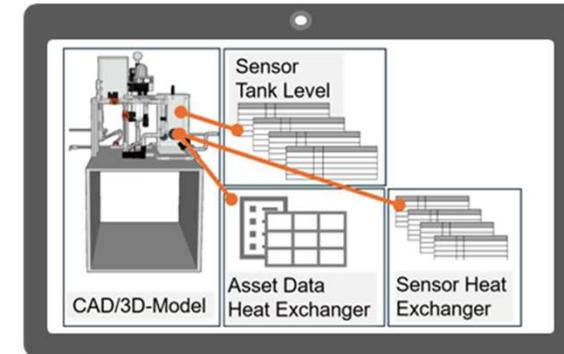
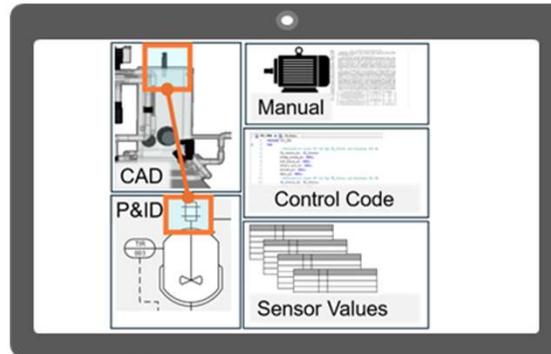
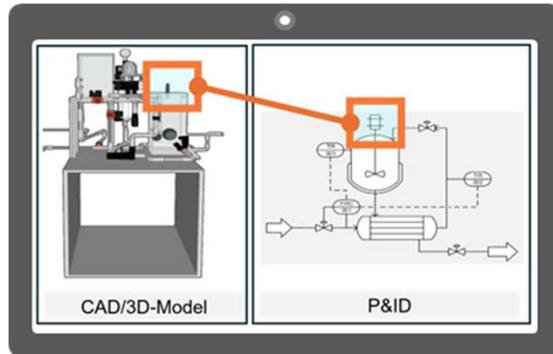
- Trennung der Planungs- und Betriebssebene
- DEXPI → Kern des Informationsmodells in der Planungsebene
- Betriebsebene bildet Instanz der Planungsebene
- Kopplung der Backend-Systeme über Mapping-Strategien (Anlagenkennzeichen)
- prototypische Implementierung in Azure Digital Twin



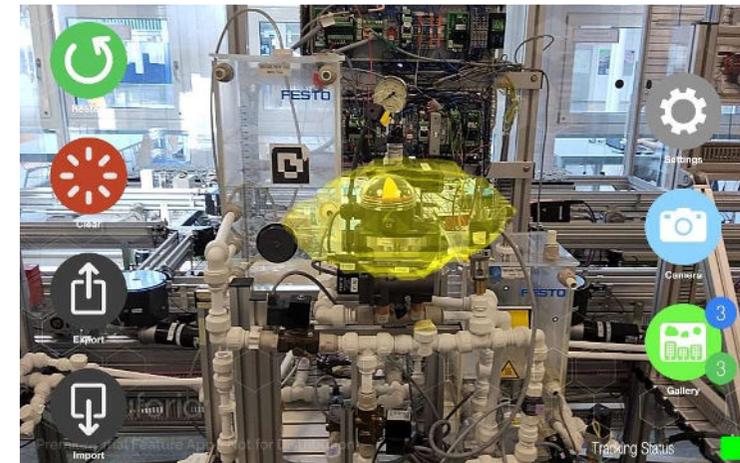
Ausschnitt der MyJoghurt-Anlage in Azure Digital Twins



# Situationsanalyse mittels immersivem Digitalem Zwilling



Verortete Komponentenhighlights in 2D & 3D



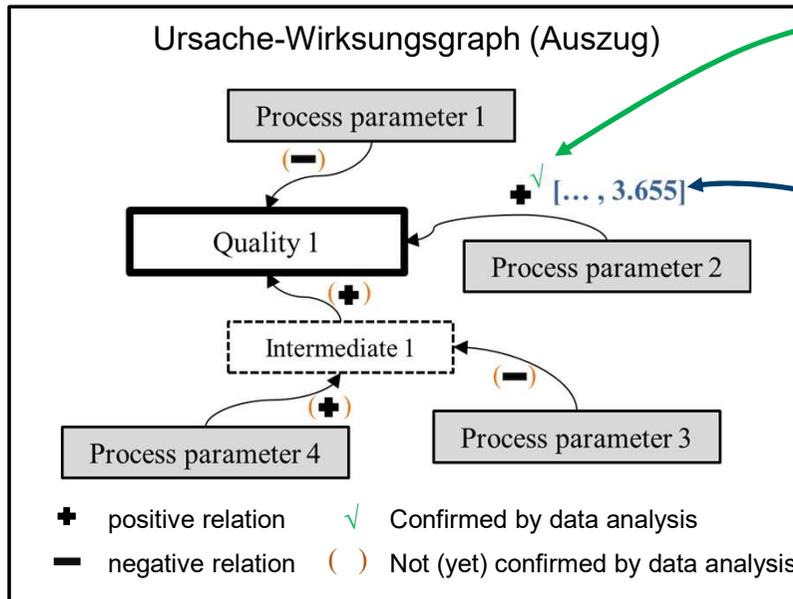
Manuelle Annotation von Komponenten

# Expertenwissen und KI (Konsistenzprüfung)



## Expertenwissen aus Interviews

Mentale Modelle für Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Prozesseinstellungen und Produktqualität



## Datenanalyse

### Regressionsanalyse

Estimator for Quality1>max

	$\beta_j$	S.E.	Sig.
absolute term	-44.379	3.225	0.000
Process parameter 1	0.041	0.405	0.920
Process parameter 2	12.285	0.987	0.000
Intermediate 1	0.256	0.350	0.507

S.E. = Standard Error, Sig. = Significance

### Entscheidungsbaum<sup>Quality1>max</sup>

node 0		
	%	n
0	56.946	578
1	<b>43.054</b>	437
total	100.00	1015

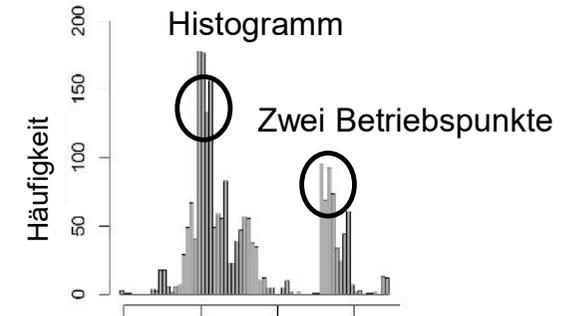
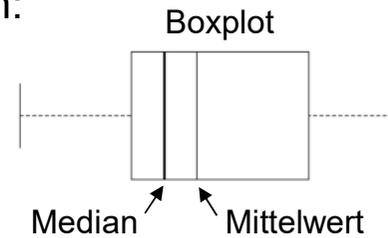
Process parameter 2

< 3.423			(3.423, 3.585)			(3.585, 3.655)			> 3.655		
node 1			node 2			node 3			node 4		
	%	n		%	n		%	n		%	n
0	87.685	178	0	64.427	326	0	32.536	68	0	3.186	6
1	<b>12.315</b>	25	1	<b>35.731</b>	180	1	<b>67.464</b>	141	1	<b>93.814</b>	91
total	20.000	203	total	49.850	506	total	20.591	209	total	9.557	97

## 1 - dimensional

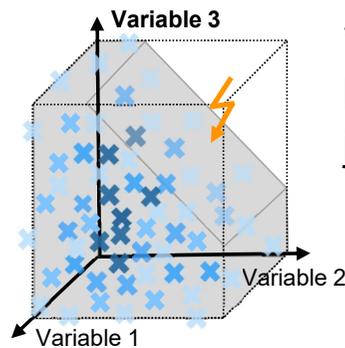
Indikatoren zur Analyse der Varianz und Verteilung für einzelne Variablen:

- Standardabweichung
- Varianz
- Histogramm
- Dichtefunktion
- Boxplot



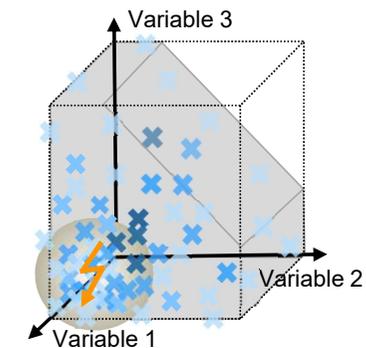
## 3 - dimensional

Keine etablierten Indikatoren vorhanden, jedoch einfache Visualisierung möglich



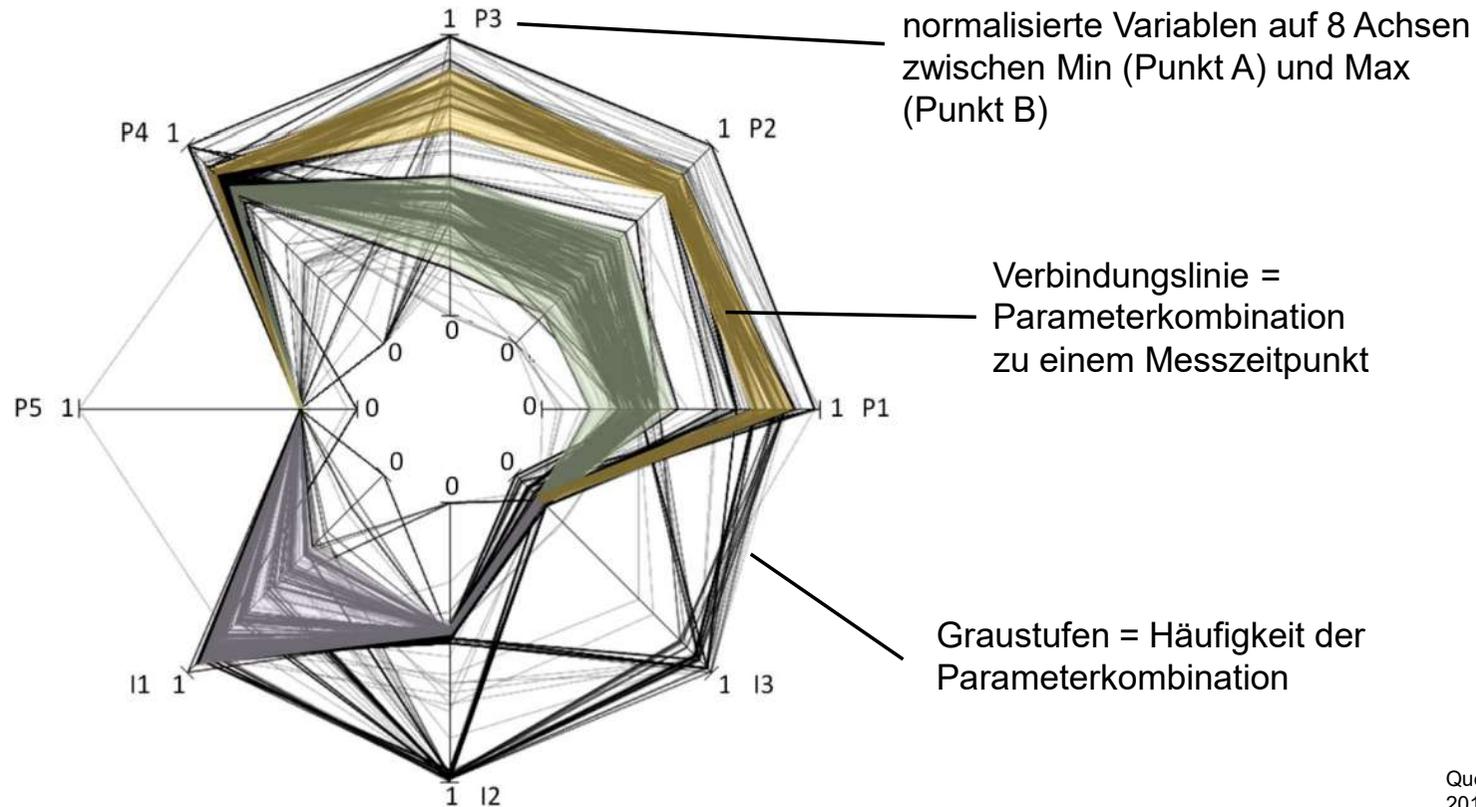
Variablen einzeln betrachtet →  
hohe Varianz Möglichkeitenraum  
jedoch nicht ausgeschöpft

Stark ungleiche Verteilung =  
Modelltraining verzerrt



➔ Entwicklung mehrdimensionaler Betrachtungen erforderlich

## 5. Anlage in Grenzbereichen um Muster lernen zu können

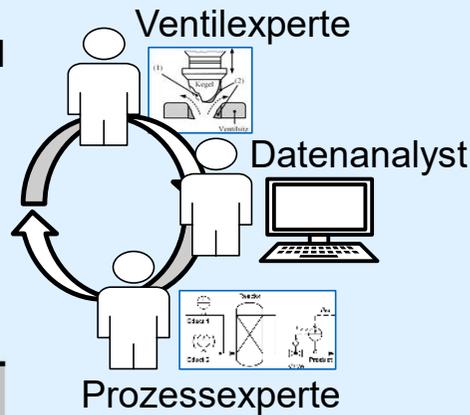


**Einschränkung:** Beschränkung der Betrachtung auf wenige relevante Parameter,  
Anordnung der Variablen hat Einfluss auf das Erscheinungsbild

Quelle: I. Weiß, B. Vogel-Heuser,  
2018, Assessment of Variance &  
Distribution in Data for Effective Use  
of Statistical Methods for Product  
Quality Prediction, at –  
Automatisierungstechnik, (in press)



- **Daten alleine sind nicht ausreichend**
- Expertenwissen berücksichtigen



**Anreicherung der Rohdaten mit Laborexperimenten**

## Strukturiertes, nutzbares Wissen für Analyse

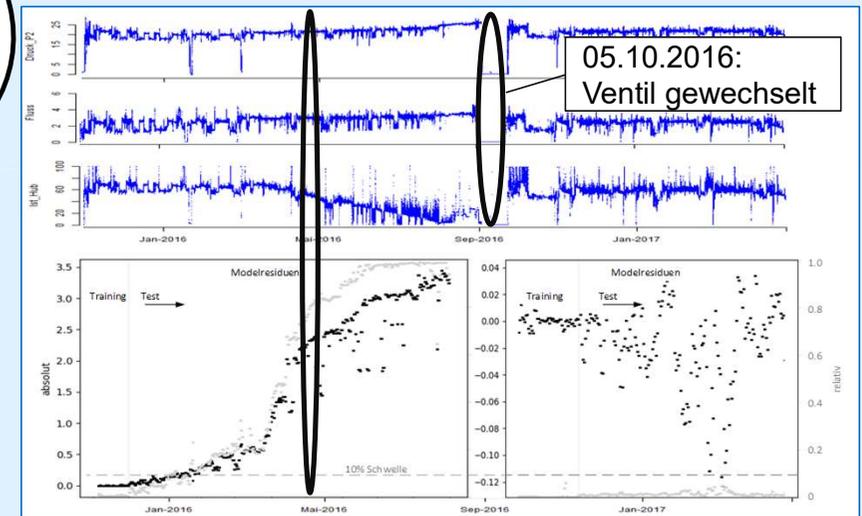
FEHLERBILD	URSÄCHLICHER MECHANISMUS	ERKENNUNGSMERKMAL	PRAKTISCHE UMSETZUNG
Verschleiß am Ventilkegel oder -sitz	Kavitation Erosion Korrosion	Gemessener Durchfluss des Ventils ist größer als der zu erwartende Durchfluss (modell- oder signalbasiert ermittelt)	Benötige Messgrößen (Soll- oder Ist-Hub, Vordruck und Nachdruck sowie Durchfluss und Temperatur) nicht standardmäßig vorhanden
Anhaftungen am Ventilkegel oder -sitz		Gemessener Durchfluss des Ventils ist kleiner als der zu erwartende Durchfluss (modell- oder signalbasiert ermittelt)	

**Klassifikation**

**Anwendung**

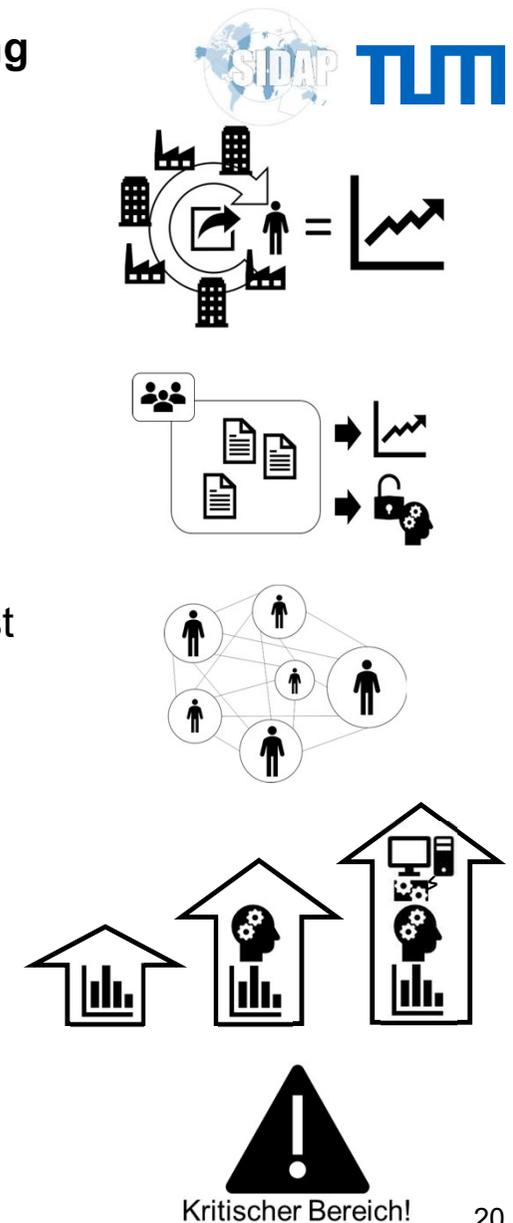
## ⇒ Frühzeitige Fehlerdetektion

- Vermeidung ungeplanter Anlagenstillstände durch **geplante Ventilwartung** => Erhöhung der Verfügbarkeit
- Bei **unauffälligen** Ventilen kann die **zyklische Wartung ausgesetzt** werden
  - Einsparungen in Wartungskosten
  - Verkürzung planmäßiger Stillstandzeiten

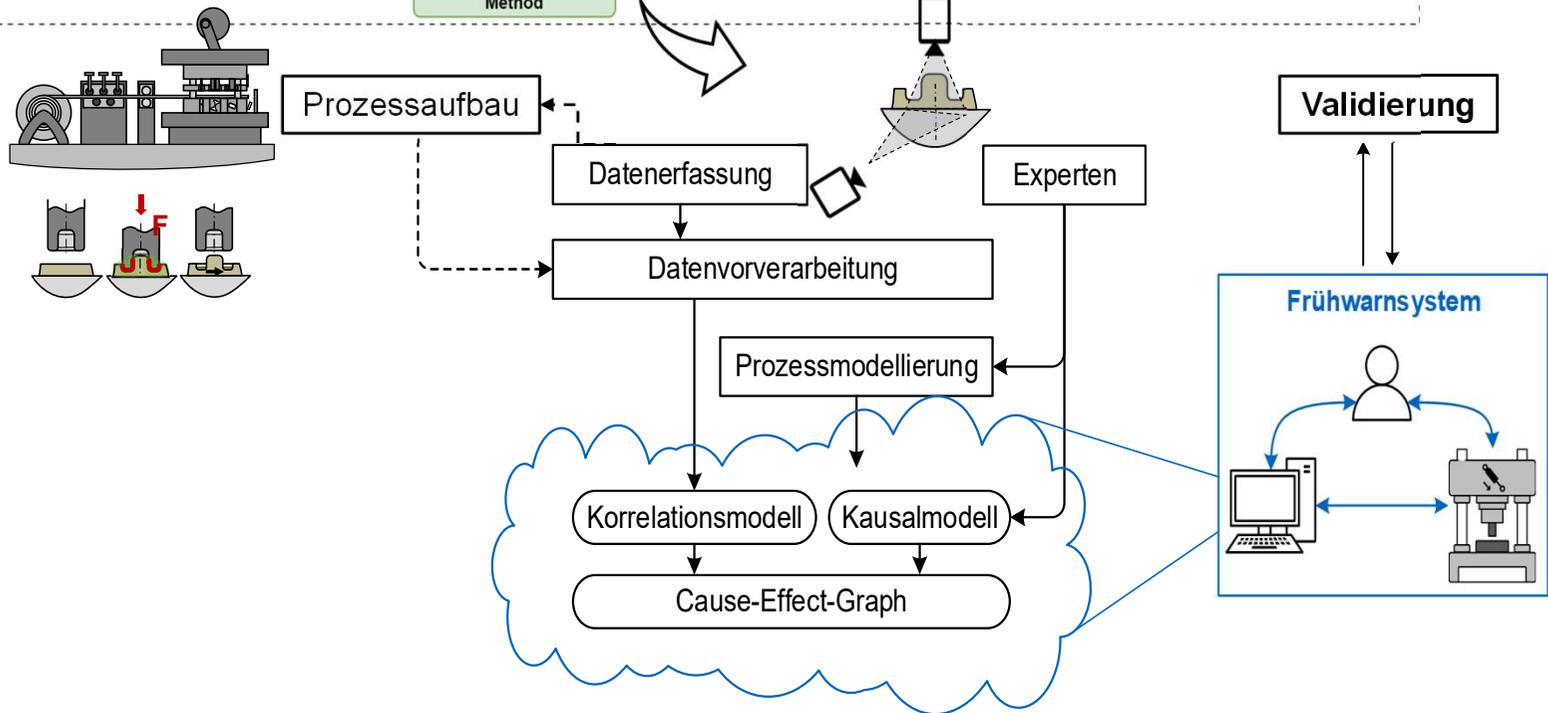
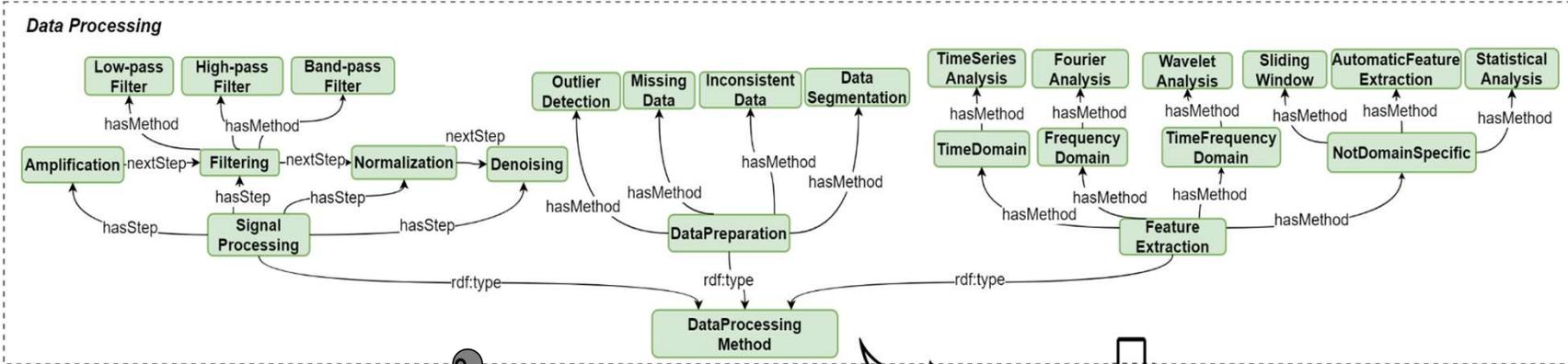


## Anwendern & Lieferanten für erfolgreiche Digitalisierung

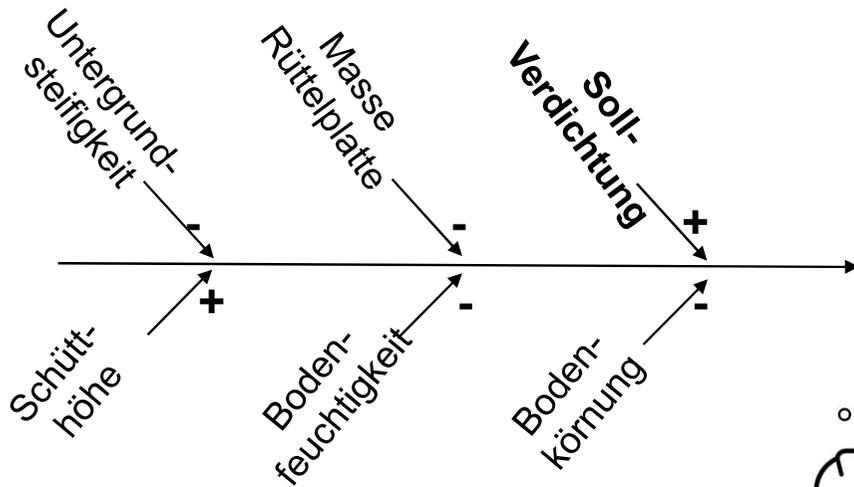
1. Nur wenn Daten **über Lieferketten** und **mit Mitbewerbern** geteilt werden, entsteht ein echter Hub
2. Geteilte Daten -  
**Risiko** - Datenmissbrauch, Know-How Verlust oder  
**Chance** - Bessere Modelle zur Vorhersage
3. Unternehmen **arbeiten** immer noch **zu stark in Silos**:  
SMART Data Ansätze funktionieren nur wenn IT, OT, Engineering, Data Scientist und Anlagenbetreiber „**agiler**“ **zusammenarbeiten**
4. Nutzen von [**Datenanalyse + Modellwissen + Laborexperimente**],  
Nutzen von [**Datenanalyse + Modellwissen**],  
Nutzen von reiner **Datenanalyse**
5. Nur wenn **Grenzbereiche** auch gefahren werden, können Muster erkannt werden → Anlage im kritischen Bereich!



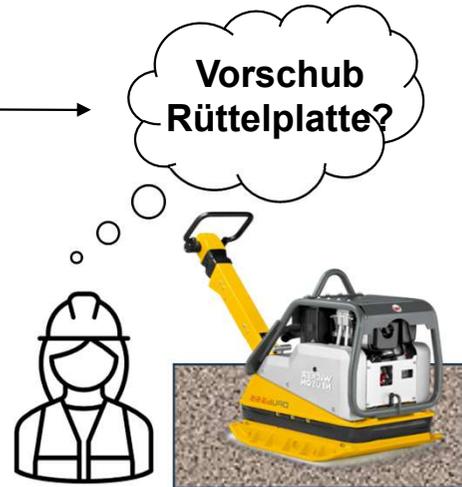
# Datengetriebenes Frühwarnsystem für Werkzeugverschleiß in der Umformtechnik



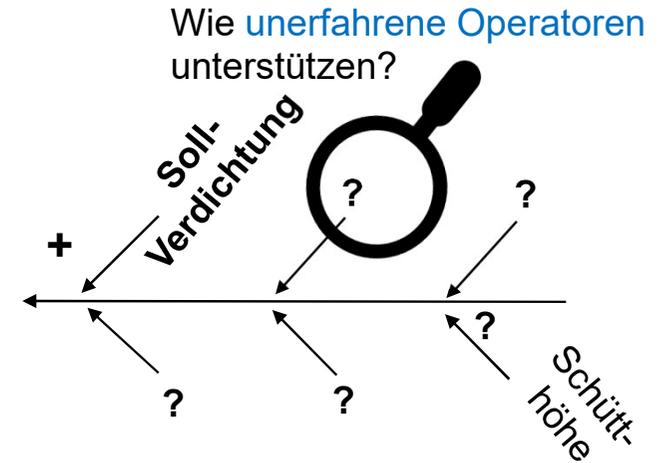
# Unterstützung unerfahrener Operatoren Bodenverdichtung auf Baustellen



Wirkdiagramm **erfahrener Operator**



Bildquelle: <https://www.wackerneuson.de>



Wirkdiagramm **unerfahrener Operator**

## Assistenzsystem für **unerfahrene Operator**



Korrelationsversuche zur Quantifizierung der Wirkstärken (+,-) in **Wirkdiagramm erfahrener Operator**

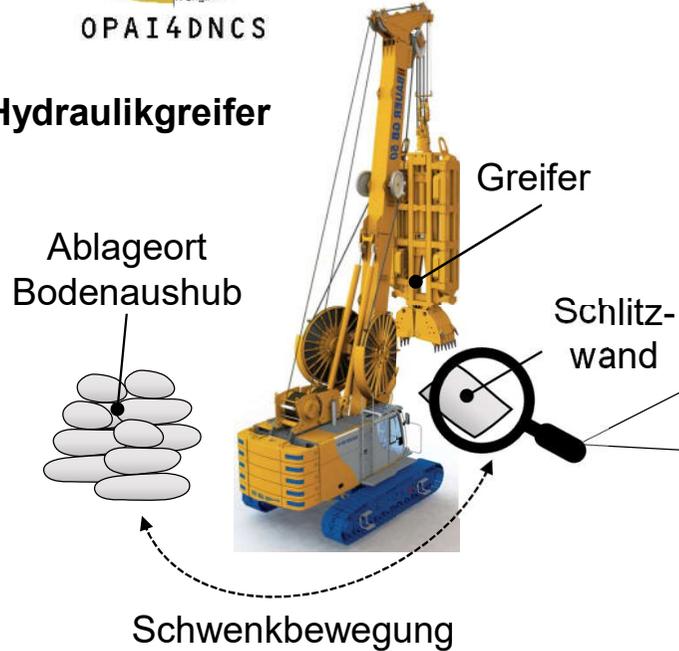


Messung und **Visualisierung** der aktuellen Bodenverdichtung mit Entscheidungsempfehlung für Vorschub



# Maschinenführung von Großbaugeräten ...am Beispiel eines Hydraulikgreifers

## Hydraulikgreifer



Quelle Videoausschnitt: <https://www.youtube.com/watch?v=ul9HnmvaZgw>



Greifer in Schlitzwand einfädeln

### + Assistenzfunktionen



### Manuelle Maschinensteuerung

- Greifer zu Schlitzwand schwenken
- Greifer in Schlitzwand einfädeln
- Boden mit Schaufel aufnehmen und Greifer herausziehen
- Greifer zu Ablageort schwenken und Boden abladen



### Operatorunterstützung

- Schwenken
- Einfädeln
- Abladen

## Erfolgsfaktoren für KI-Unterstützung




### Wie KI-Unterstützung erfolgreich implementieren?

- Sinnvolle Assistenz für den Menschen (Trust, Erklärbarkeit, Zuverlässigkeit, Erwartungskonformität)
- Datenvorverarbeitung essenziell, Datenqualität überprüfen
- **Während des Betriebs? Wo läuft was sinnvoller Weise?**

# Wie digitaler Zwilling und künstliche Intelligenz den Menschen in der Arbeitswelt unterstützen können

1. Digitaler Zwilling in Entwicklung und Betrieb @KI.Fabrik im Deutschen Museum
2. Integration des Digitalen Zwillings des Menschen in der Arbeitswelt
3. Enabling Technologies: Agenten, Skills, Asset Administration Shell, Automation ML, ECLASS
4. Auswahl erfolgreicher KI-Anwendungen
5. Zusammenfassung und Ausblick

**Birgit Vogel-Heuser, Fellow IEEE**

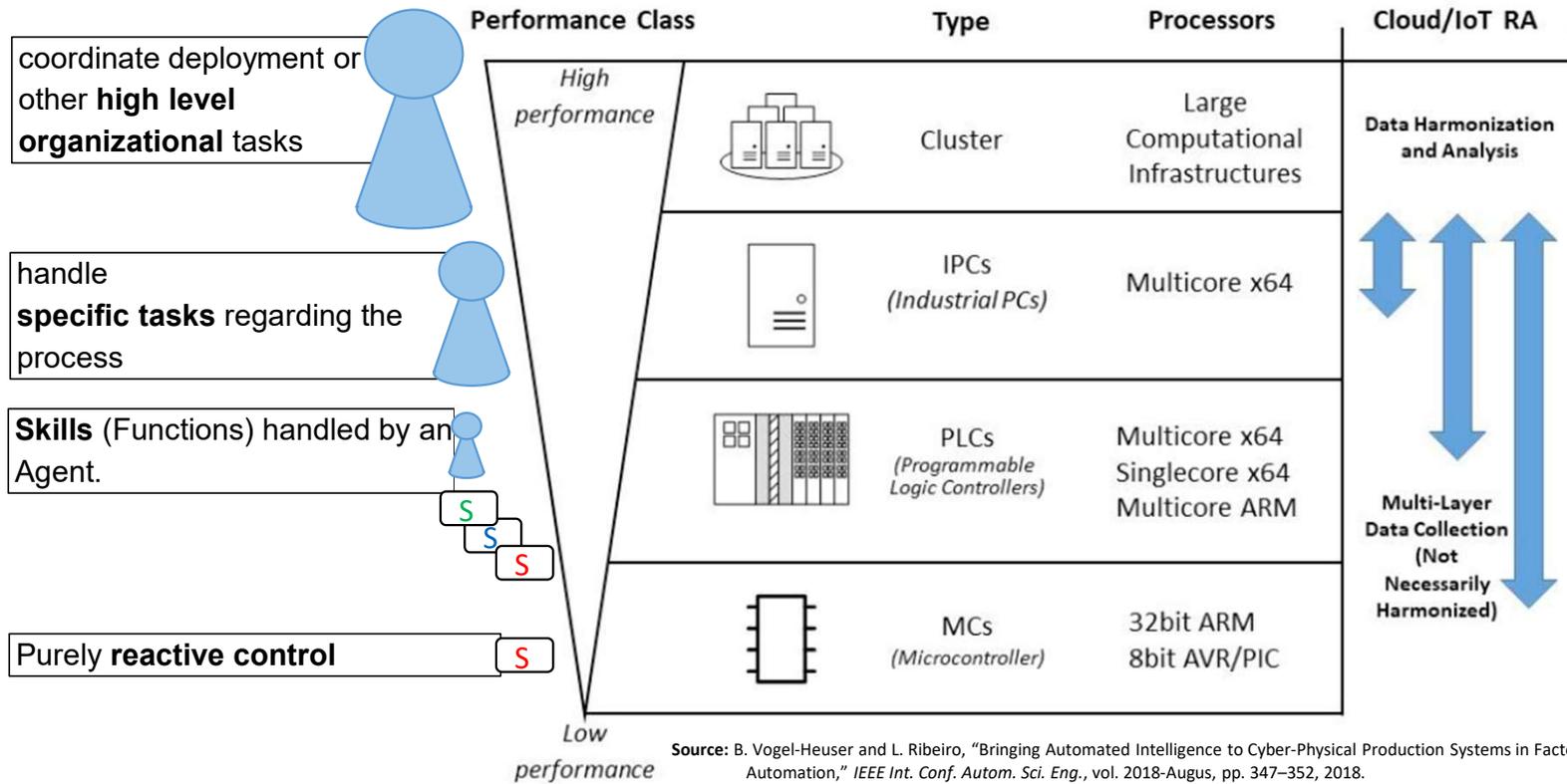
IEEE RAS Automation Coordinator  
Full Professor; Head of Institute  
Automation and Information Systems (AIS)  
School of Engineering and Design, Vice Dean R&I  
Technical University of Munich (TUM)

MIRMI and MDSI

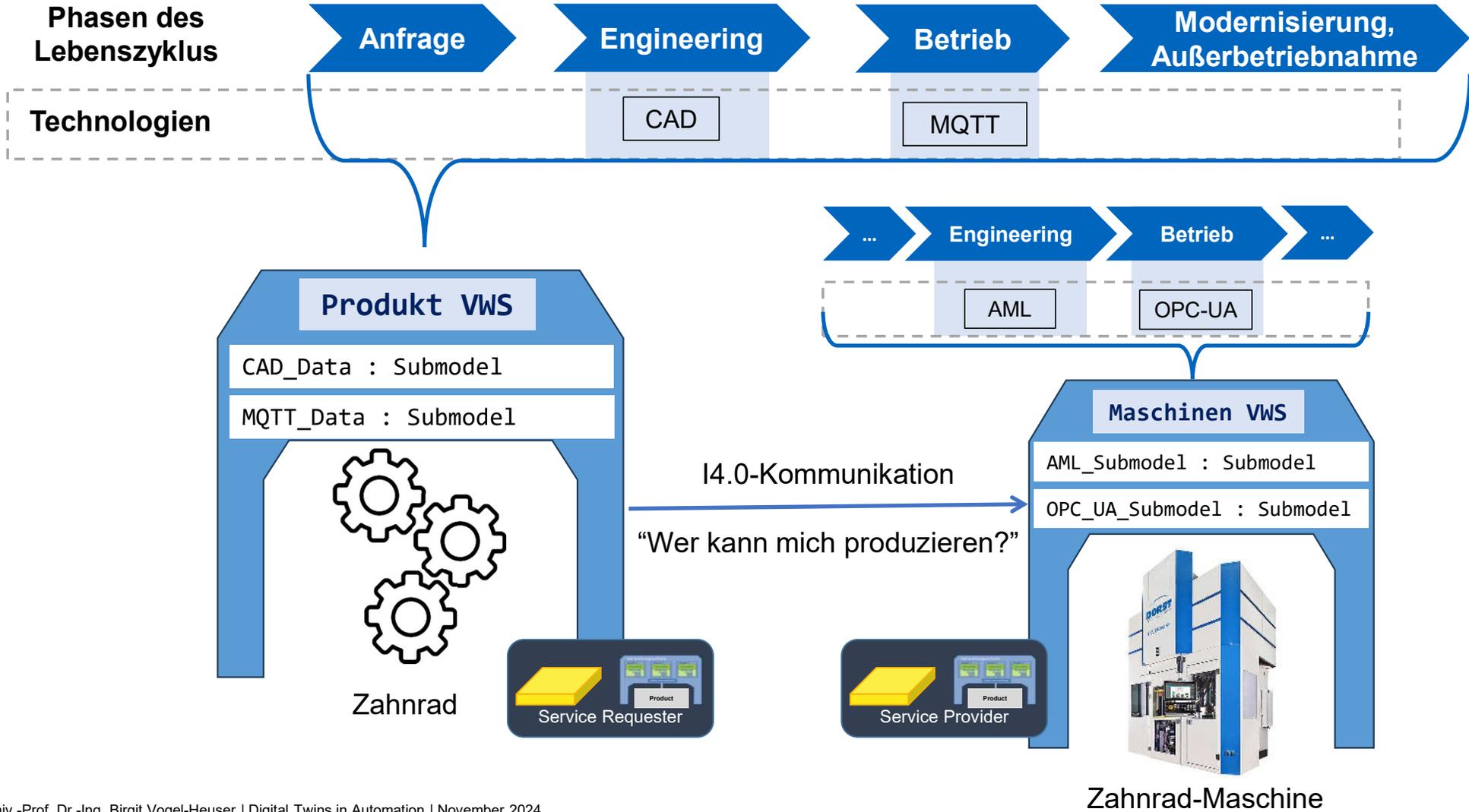
[www.ais.mw.tum.de](http://www.ais.mw.tum.de); [vogel-heuser@tum.de](mailto:vogel-heuser@tum.de)



# Edge, Fog oder Cloud?



# Produkt und Maschinen Verwaltungsschale (VWS) im Lebenszyklus

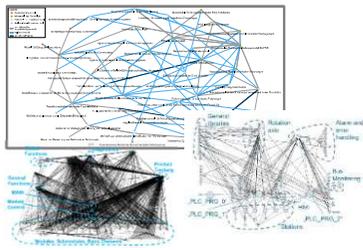


# Forschungsgebiete



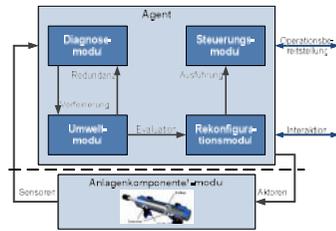
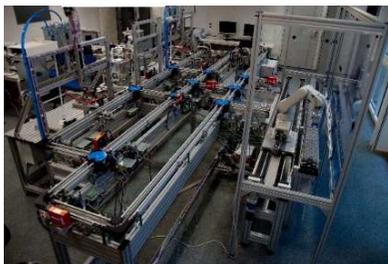
Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme  
 Department of Mechanical Engineering  
<https://www.mw.tum.de/ais/startseite/>;  
<https://www.mw.tum.de/ais/forschung/> und Munich Institute of  
 Robotic and Machine Learning (MIRMI)  
<https://www.msrm.tum.de/msrm/research/principal-investigators/>

Das AIS konzentriert sich auf die Modellierung intelligenter, verteilter eingebetteter Systeme in der Automatisierungstechnik. Der Fokus liegt auf Zuverlässigkeit und Mensch-Maschine-Interaktion.



## MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG

Modellbasiertes Engineering von variantenreichen, interdisziplinären Automatisierungssystemen



## INTELLIGENTE PRODUKTIONSSYSTEME

Intelligente, rekonfigurierbare verteilte cyber-physische Produktionssysteme



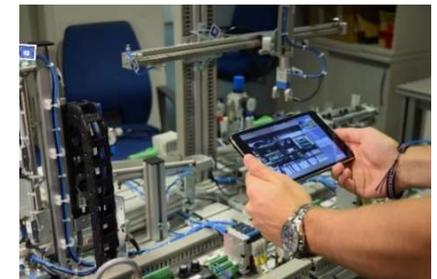
## BIG DATA IN PRODUKTIONSSYSTEMEN

Methoden zur Aggregation, Analyse und Verarbeitung großer Datenmengen



## MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION

Darstellung komplexer Datensätze zur Unterstützung des Menschen bei der Aufnahme von Informationen



# Es ist an der Zeit KI und Digitale Zwillinge zur Unterstützung des Menschen einzusetzen.....

## **Birgit Vogel-Heuser, *Fellow IEEE***

Full professor; Head of Institute  
Automation and Information Systems (AIS)  
School of Engineering Design, Vice Dean R&I  
Technical University of Munich (TUM)

MIRMI and MDSI

[www.ais.mw.tum.de](http://www.ais.mw.tum.de); [vogel-heuser@tum.de](mailto:vogel-heuser@tum.de)

