



**Universität Stuttgart**  
Institut für Automatisierungstechnik  
und Softwaresysteme



# Forschung und Lehre am IAS

2021

Prof. Dr.-Ing.  
Dr. h. c.  
Michael Weyrich



# Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS)

Fakultät für Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart

Die **Forschung und Lehre** des Instituts konzentriert sich auf das Thema **Softwaresysteme für die Automatisierungstechnik und Vernetzte Automatisierungssysteme**.



Dabei verstehen wir uns als Brückenkopf der **Produkt- und Anlagenautomatisierung** in die Forschungsdisziplinen der Informationstechnik, Softwaretechnologie und Elektronik.



**Prof. Weyrich** wurde im April 2013 an die Universität Stuttgart berufen.

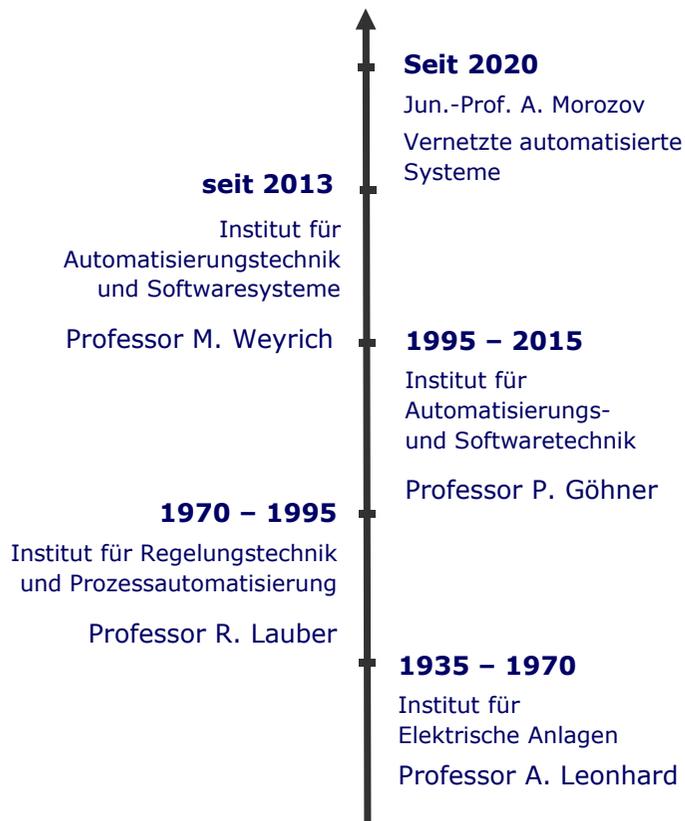
**Jun.-Prof. Morozov** wurde im April 2020 an die Universität Stuttgart berufen.



# Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS)

Fakultät für Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart

## 85 Jahre Tradition und Fortschritt



**3x Leitung**

Prof. Weyrich      Dr. Jazdi      Jun.-Prof. (TT) Morozov

**4x Team-  
sprecher**

**20x Promovierende**

**6x  
Dienste**

**30 –  
40 x  
HiWis**

# Lehre

Das Institut nimmt rund 1000 Prüfungen pro Jahr ab.

## Veranstaltungen

- Automatisierungstechnik I & II
  - Technologien und Methoden der Softwaresysteme I & II
  - Software Engineering for Real-Time Systems
  - Industrial Automation Systems
- Grundlagen der Softwaresysteme
  - Ringvorlesung: Forum Software und Automatisierung
  - Ringvorlesung: Aspekte Autonomer Systeme
  - Verlässlichkeit intelligenter verteilter Automatisierungssysteme
  - Modeling and Analysis of Automation Systems
  - Seminar Intelligente Cyber-physische Systeme
- Praktikum „Softwaretechnik“
  - Praktikum „Automatisierungstechnik“
  - Fachpraktikum "Einführung in die Programmierung von Mikrocontroller-Systemen"

## Studiengänge

- Fachbereich Elektrotechnik:
  - B. Sc. & M. Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik
  - B. Sc. Erneuerbare Energien
  - M. Sc. Nachhaltige Elektrische Energieversorgung,
  - M. Sc. Elektromobilität
  - M. Sc. Information Technology
- Interdisziplinär
  - M. Sc. Autonome Systeme (Studiendekanat)
- Exporte in andere Fachbereiche
  - Mechatronik, Technische Kybernetik, Informatik, Medizintechnik, Technikpädagogik, Verkehrsingenieurwesen

# Forschungsschwerpunkte

Wir befassen uns mit Automatisierungssystemen, insbesondere deren Software in Verbindung mit der Steuerungs- und Regelungstechnik.

Digitaler Zwilling  
für die  
Automatisierungs-  
technik

- Multidimensionale Synchronisierung Digitaler Zwillinge
- Automatisches Rekonfigurationsmanagement

- Co-Simulation software-definierter Systeme
- Variantenmanagement in der Entwicklung

Intelligente und  
lernende  
Automatisierungs-  
systeme

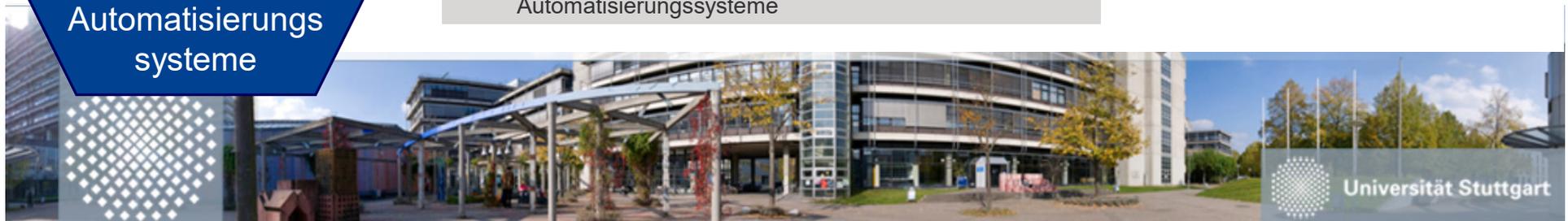
- Künstliche Intelligenz und dynamische Zuverlässigkeit
- Dezentrales, kooperatives maschinelles Lernen in der Automatisierung

Risikoanalyse  
und Anomalie-  
erkennung für  
vernetzte  
Automatisierungs-  
systeme

- Test von verteilten Komponenten
- Absicherung von Autonomen Systemen
- Deep Learning-basierte Anomalieerkennungstechniken
- Zuverlässigkeitsanalyse für vernetzte Automatisierungssysteme

Komplexitäts-  
beherrschung in  
der Automatisier-  
ungstechnik

Safety und  
Assistenzsysteme  
in der  
Automatisierungs-  
technik



# Schwerpunkt: Digitaler Zwilling für die Automatisierungstechnik

Wie kann der Digitale Zwilling helfen die Komplexität von cyber-physischen Systemen im Engineering und Betrieb zu beherrschen?

## *Forschungsthemen am IAS*

- 5G-basierter, Intelligenter Digitaler Zwilling
- Autonomes Rekonfigurationsmanagement software-definierter Systeme
- Multidimensionale Synchronisierung Digitaler Zwillinge für unterschiedliche Anwendungen

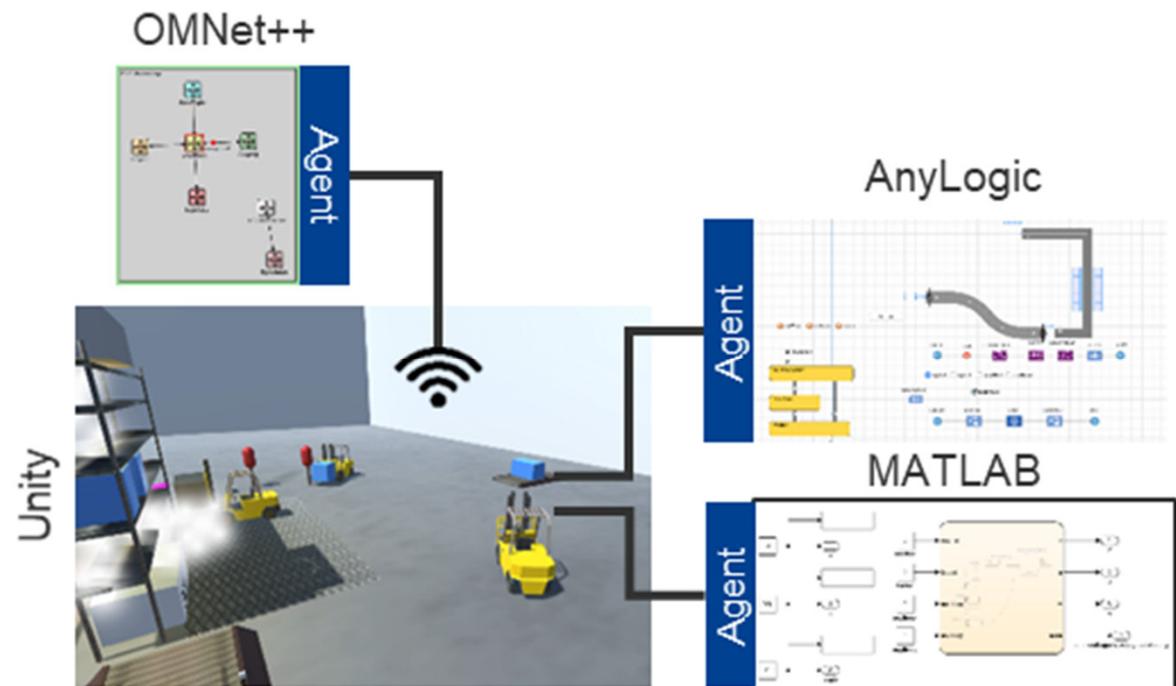


# Schwerpunkt: Komplexitätsbeherrschung in der Automatisierungstechnik

Wie kann die Komplexität von cyber-physischen Systemen im Engineering und Betrieb beherrschbar gemacht werden?

## Forschungsthemen am IAS

- Co-Simulation software-definierter automatisierter Systeme
- Variantenmanagement in der Entwicklung

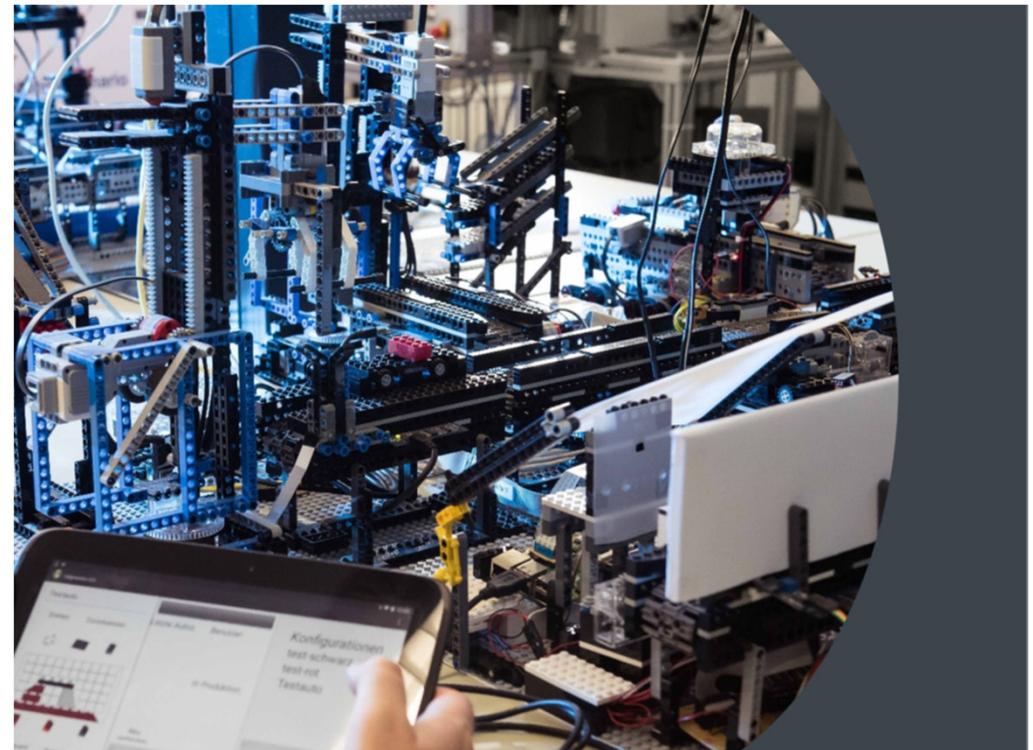


# Schwerpunkt: Intelligente und lernende Automatisierungssysteme

Automatisieren sich technische Systeme von Morgen selber?

## *Forschungsthema am IAS:*

- Dynamische intelligente Zuverlässigkeit
- Optimierung von Automatisierungssystemen mittels Machine Learning
- Intelligente Automatisierung zur benutzerorientierten
- Softsensoren für vernetzte Automatisierungsarchitekturen
- Dezentrales, kooperatives maschinelles Lernen in der Automatisierung
- Simulation von Autonomiekonzepten

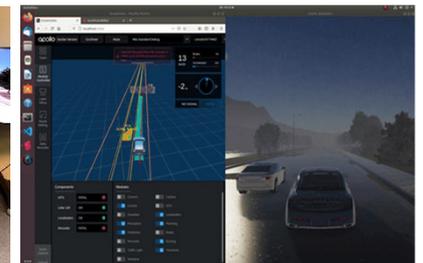
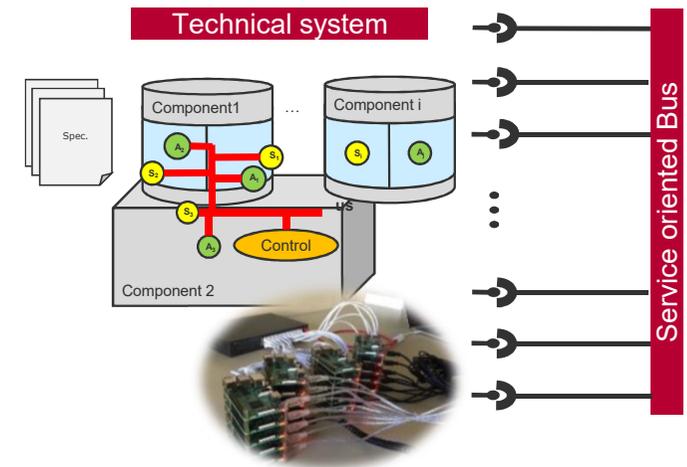
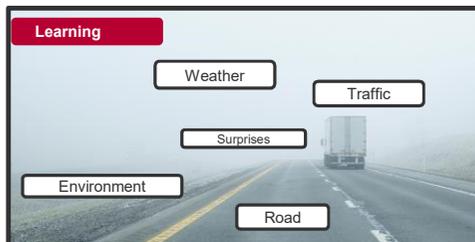
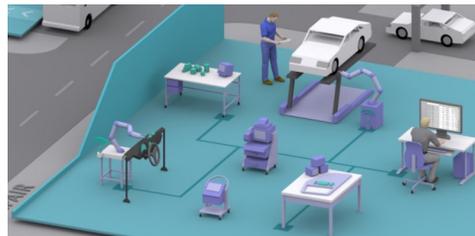


# Schwerpunkt: Safety und Assistenzsysteme in der Automatisierungstechnik

Wie können wir uns auf die Qualität von automatisierten Systemen im Sinne der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit verlassen?

## Forschungsthemen am IAS

- Dynamische Zuverlässigkeitsberechnung
- Test von verteilten Komponenten
- Verifikation und Validierung von Softwareaktualisierungen
- Absicherung von Autonomen Systemen
- Kognitive Sensornetzwerke in sicherheitsrelevanten Systemen

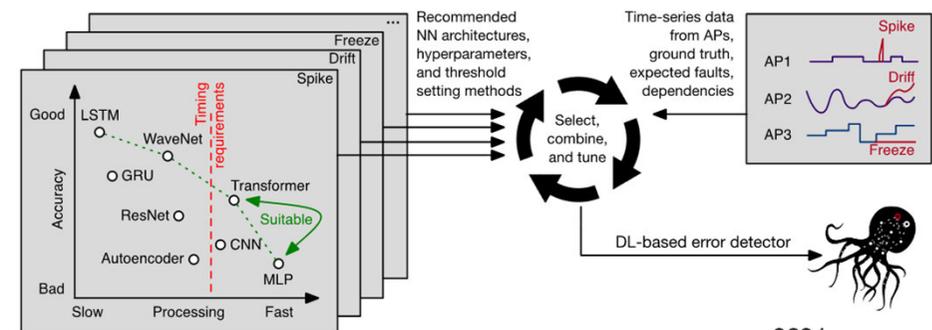
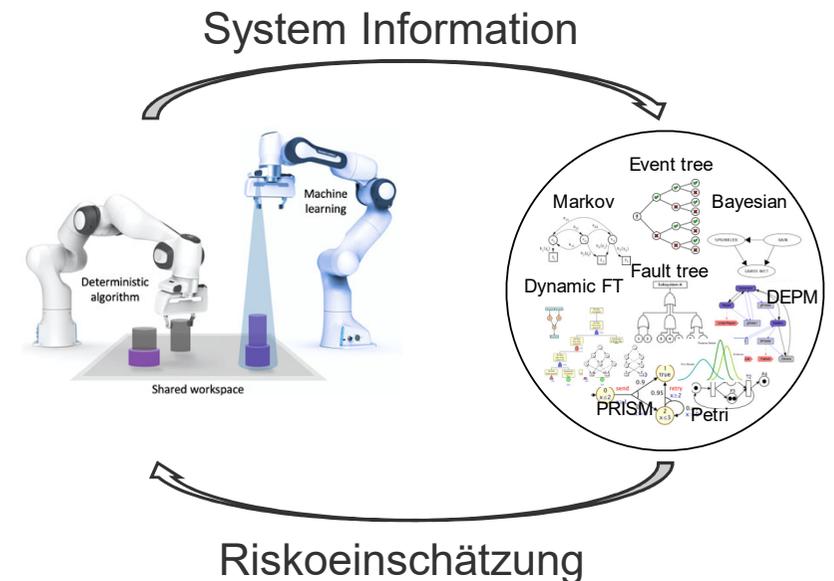


# Schwerpunkt: Risikoanalyse und Anomalieerkennung für vernetzte Automatisierungssysteme

Wie kann man das Risiko flexibler Fertigungssysteme analysieren und Deep-Learning-Methoden zur Erkennung von Anomalien in industriellen Cyber-Physical Systems nutzen?

## Forschungsthemen am IAS

- Kombination von Risikoanalysemodellen.
- Automatische, modellbasierte Generierung von Risikomodellen bei jeder Wiederverwendung des Systems.
- Fähigkeitsorientierter Ansatz für die Risikoanalyse.
- Bewertung von DL-Architekturen
- Einsatz von Anomalie-Detektoren auf speziellen eingebetteten Boards.



# Das IAS im Stuttgarter Forschungsumfeld

Das Institut folgt dem Leitbild „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“ und ist Teil der **Exzellenzstrategie der Universität Stuttgart**.



Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme

Wir sind Teil der Profil- und Potenzialbereiche der Universität Stuttgart:

- Autonome Systeme
- Architektur und adaptives Bauen
- Produktionstechnologien
- Leitinitiative BMWi: SofDCar
- Leitinitiative BMBF: H2Mare



Universität Stuttgart

**ARENA**2036

Forschungsfabrik

**CyberValley**

Lernende Systeme

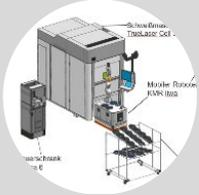


Technologietransfer

# Aktuelle Modellprozesse am IAS

Die Modellprozesse dienen der Darstellung spez. Automatisierungstechnologie und verdeutlichen die Einsatzmöglichkeiten von Softwaresystemen.

## Intelligente Automatisierung & Autonome Systeme



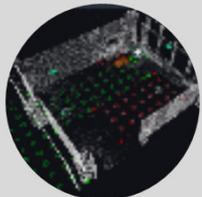
Intelligentes Lager (ARENA 2036)

Data Analytics in der Fertigung



Cyber-physisches Produktionssystem

Kontextbewusster Tabletendispenser



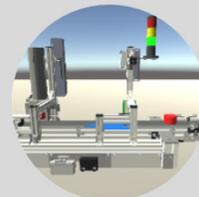
Real-Time Locating System

## Komplexitätsbeherrschung von CPS

Digitaler LKW-Zwilling



Simulation der Anlagenmodernisierung



Digitaler Zwilling eines Modulare Produktionssystem



## Absicherung von Automatisierungstechnik



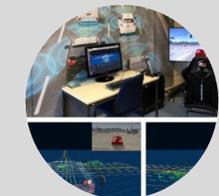
Intelligenter Test autonomer Systeme

Blockchain Anwendungsszenarien



TestIAS mit Virtual Reality

Szenarienbasiertes Testen autonomer Fahrfunktionen



## Kooperation mit folgenden Firmen

- CompWare Medical GmbH
- Daimler AG
- Diffblue Ltd.
- Festo AG & Co. KG
- Hirschvogel Umformtechnik GmbH
- iss (Innovative Software Services GmbH)
- OTTO FUCHS KG
- Robert Bosch GmbH
- Siemens AG
- SMS group GmbH
- Vector Consulting GmbH
- Vector Informatik GmbH
- Infineon Technologies AG
- ZF Friedrichshafen AG
- ETAS GmbH
- Nokia Corporation
- T-Systems
- Thyssenkrupp AG
- Northland Power Inc.



- Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
- EnBW Energie Baden-Württemberg AG
- INERATEC GmbH
- Climeworks

# Maker Space des IAS

Das IAS unterstützt Startups auf ihrem Weg und kooperiert in Forschungsprojekten

	Anwendung zur Erkennung von Maschinenteilen für eine höhere Produktqualität	ab 2021	<b>EXIST (bewilligt)</b>
<b>RoboTest</b>	Validierung und Verifikation von hochautomatisierten und autonomen Systemen	ab 2021	<b>VC (geplant)</b>
	Indoor Navigation Systems	Jan. 2017 – Dez. 2017 Aug. 2019 – Juli 2022	<b>EXIST</b> <b>EUREKA-Projekt</b>
	Simulation und Inbetriebnahme von Robotern in Virtual Reality	Apr. 2014 – März 2015 März 2016 – Feb. 2018	<b>EXIST</b> <b>Junge Innovatoren</b>
	Create technologies that combine power generation with efficient control systems	Juni 2014 – Mai 2015 Juni 2015 – Mai 2016	<b>EXIST</b> <b>Junge Innovatoren</b>

**Prof. Weyrich ist zudem Gründungsbeauftragter der Fakultät und somit erster Ansprechpartner für Gründungswillige.**

- **Forschungsarbeiten**

# Absicherung von sicherheitskritischen DL-Komponenten

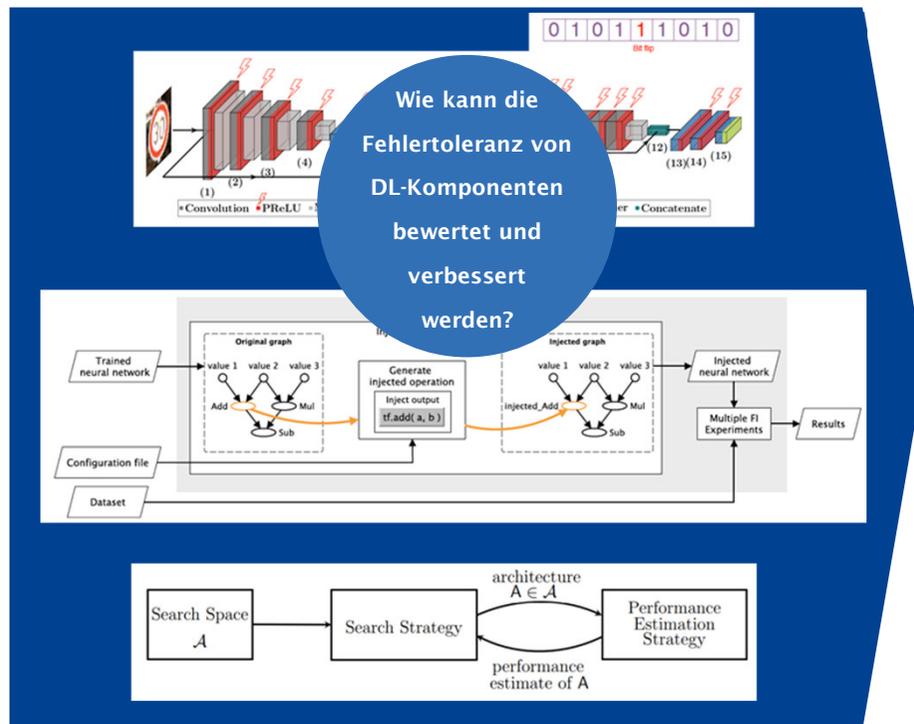
## Bewertung und Verbesserung der Fehlertoleranz von DL-Komponenten

### Anforderungen:

- Evaluierung und Verbesserung der Fehlertoleranz von DL-Komponenten

### Kerntechnologien:

- Fehlerinjektion
- TensorFlow 1
- TensorFlow 2



### Ansatz

- Fehlerinjektion für TensorFlow 1 und TensorFlow 2.
  - <https://github.com/mbsa-tud/InjectTF>
- Bewertung der Fehlertoleranzfähigkeiten von gängigen CNN-Architekturen.
- Automatisierte Absicherung für neuronale Netze mit neuronaler Architektursuche

# Open-source Probabilistisches Risiko Analyse Framework

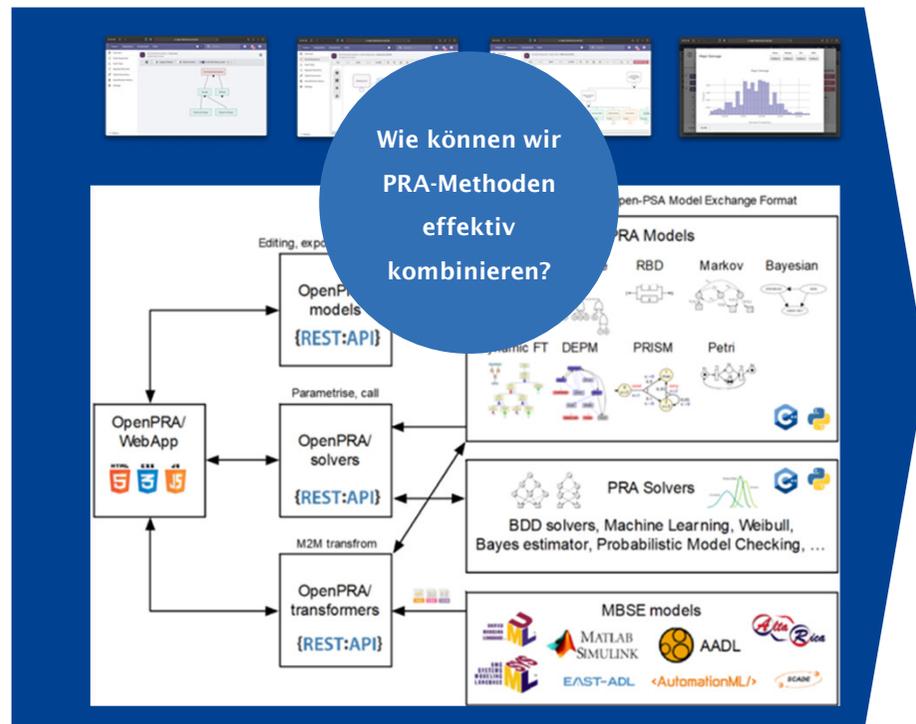
Kombination von PRA-Methoden zur Analyse von vernetzten Automatisierungssystemen

## Anforderungen:

- Kombination von PRA-Methoden für die Analyse von vernetzten Automatisierungssystemen

## Kerntechnologien:

- Sammlung von gebrauchsfertigen PRA-Modellen, Solvern und Transformatoren
- Opensource und kostenlose Software



## Ansatz

- Hybride PRA-Modelle
- Internationale Community:
  - Universität Stuttgart (DE),
  - North Carolina State University (US),
  - Ufa State Aviation Technical University (RU).
- <https://openpra.org>

# Co-Simulation (Kooperation mit Vector Informatik)

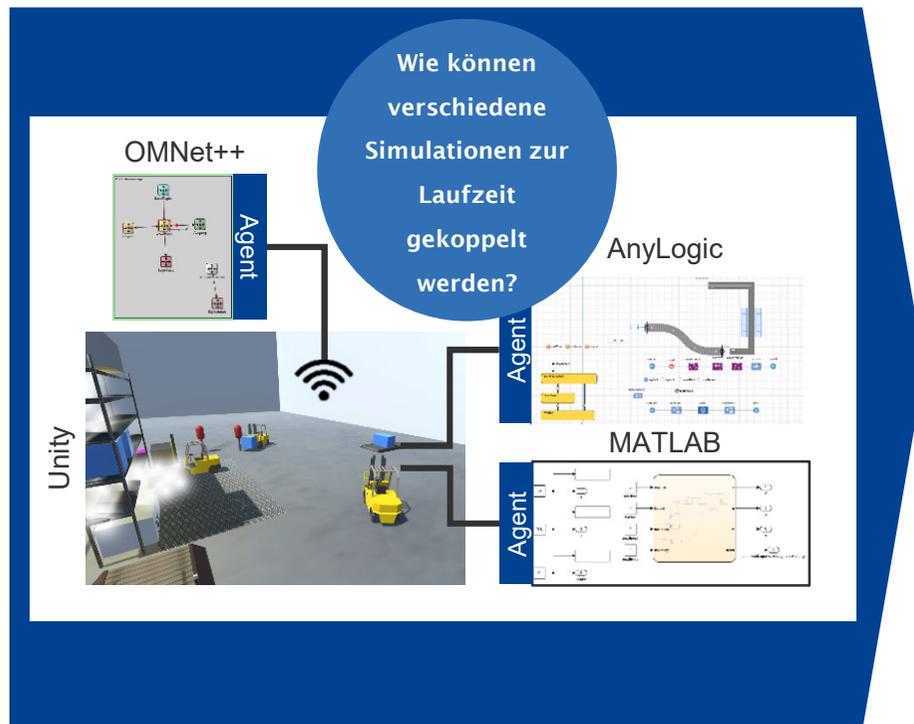
## Dynamische Co-Simulation von heterogenen Internet der Dinge-Systemen

### Anforderungen:

- „Plug-and-Simulate“-fähige Co-Simulation von heterogenen und dynamisch zur Laufzeit erweiterbaren IoT-Systemen

### Kerntechnologien:

- Agentenbasierte Co-Simulation
- Komponenten- und Prozessmodellierung mit MATLAB, AnyLogic, Unity, OMNet++, ...



### Ansatz

- Framework zur Verknüpfung von Simulationen über ein Agentensystem
- Anbindung der Simulationen über Schnittstellenadaptoren
- Serviceorientierte Modellierung der Kommunikation und physikalischen Prozesse
- Synchronisierung der Teilsimulationen über zentralen Taktgeber

# Lernfähige Qualitätsregelung

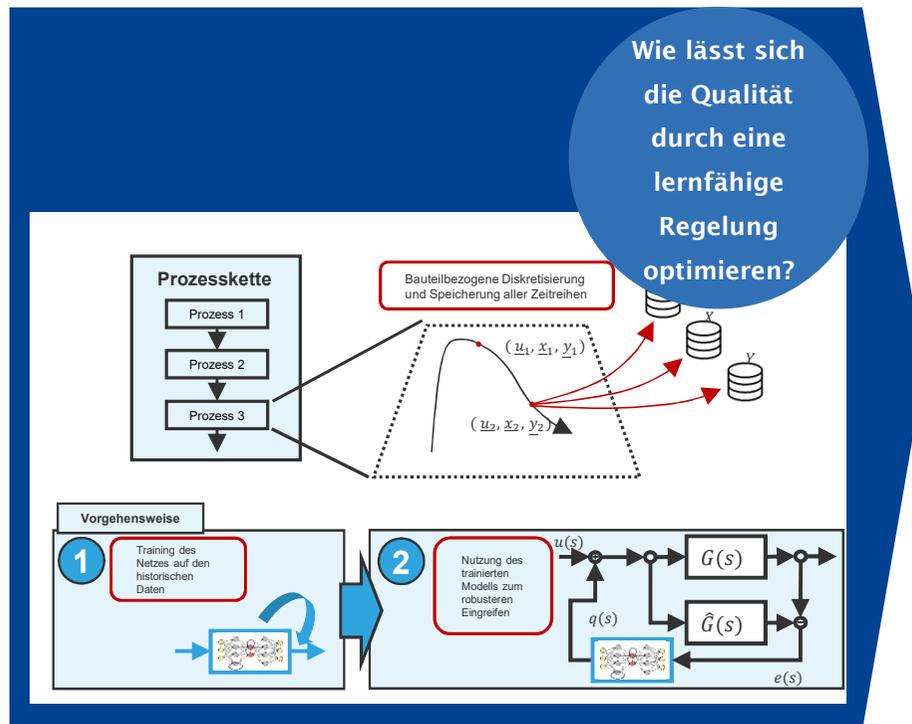
Regelung der diskreten Fertigung auf Basis von Long Short-Term Memory-Netzen

## Anforderungen:

- Analyse von Prozessdaten zur Einhaltung definierter Qualitätsmerkmale
- Handlungsempfehlungen an den Werker

## Kerntechnologien:

- PLC-basierte Datenerfassung
- Merkmalsextraktion
- Data Analytics (online/offline)



## Motivation

- Sensordaten enthalten Informationen über Anlagen- und Prozesszustand und können die Prozessqualität verbessern

## Ansatz

- Systematische Extraktion unbekannter Zusammenhänge und Muster
- Datenerfassung und -integration, Dimensionsreduktion, Datenanalyse, Handlungsempfehlungen
- Datengetriebene Qualitätsoptimierung

# Robustes Lernen auf Basis heterogener Daten

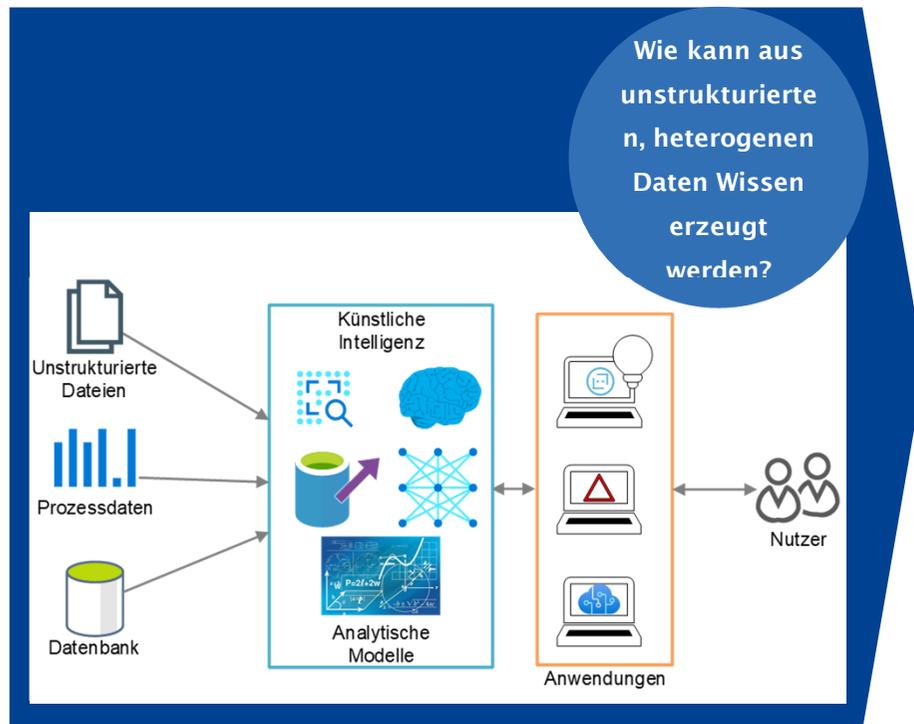
Wissensgenerierung in der Automatisierungstechnik unter Nutzung der Datenvielfalt

## Anforderungen:

- Integration und einheitliche semantische Beschreibung heterogener Daten
- Generierung von Wissen für die Anwendung aus unstrukturierten und heterogenen Daten

## Kerntechnologien:

- Ontologien
- KI-Methoden (Ensemble Learning, Feature-Extraktion)
- Graph Analytics



## Motivation

- Nutzung der vorhandene Datenvielfalt aus unterschiedlichen, dynamischen Quellen, um Wissen für Anwendungen zu generieren

## Ansatz

- Intelligente Datenintegration aus heterogenen Quellen
- Verbindung von heterogenen Daten, künstlicher Intelligenz sowie analytischen Modellen
- KI-basierte Wissensgenerierung

# Selbstorganisiertes Rekonfigurationsmanagement

## Dezentrale selbstorganisierte Planung von Automatisierungssystemen

### Anforderungen:

- Unterstützung des Planers in der Grobplanungsphase von Automatisierungssystemen

### Kerntechnologien:

- Agententechnologie (Selbstorganisation)
- Metaheuristik (Layoutoptimierung)



### Ansatz

- Planung von Automatisierungssystem wird als dialogbasierter Prozess modelliert und auf Agentensystem übertragen
- Agenten vertreten Ressourcen und versuchen, diese in das zu planende System zu integrieren
- Finden von möglichen Konstellationen für das zu planende Automatisierungssystem

# Absicherung autonomer System im Betrieb

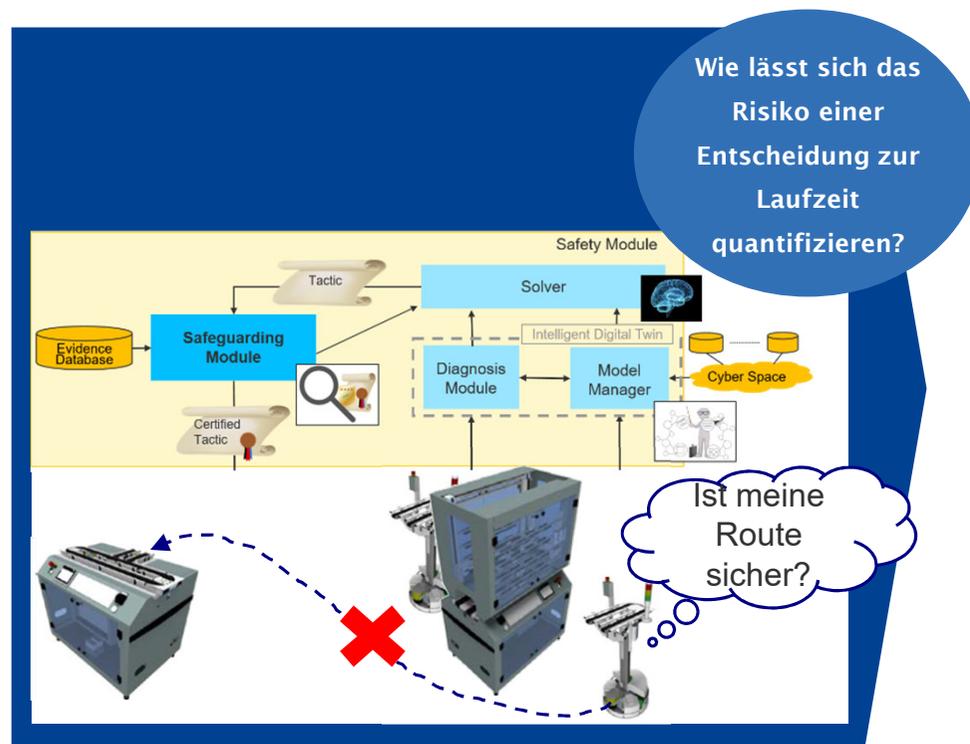
interpretierbare Safety-Beurteilung von dynamischen Entscheidungsprozessen zur Laufzeit

## Anforderungen:

- Analyse von Entscheidungen hinsichtlich ihres Risikos zur Laufzeit.
- Bewerten von Ergebnis und Entscheidungsgrundlage (Modelle)

## Kerntechnologien:

- Digitaler Zwilling
- Automatische Regelextraktion
- Data Analytics



## Motivation

- Kritische Situationen proaktiv vermeiden
- Betriebsdaten enthalten Informationen über die Unsicherheiten, die in den Modellen steckt.

## Ansatz

- Systematische Extraktion unbekannter Einflüsse durch Hypothesenbildung und deren Überprüfung
- Abwägung zwischen Safety und Effizienz auf Basis der abgeschätzten Unsicherheit in der Planung
- Datengetriebene Optimierung der Safety-Marge

# Automatisierte Testfallgenerierung für maschinell trainierte Modelle

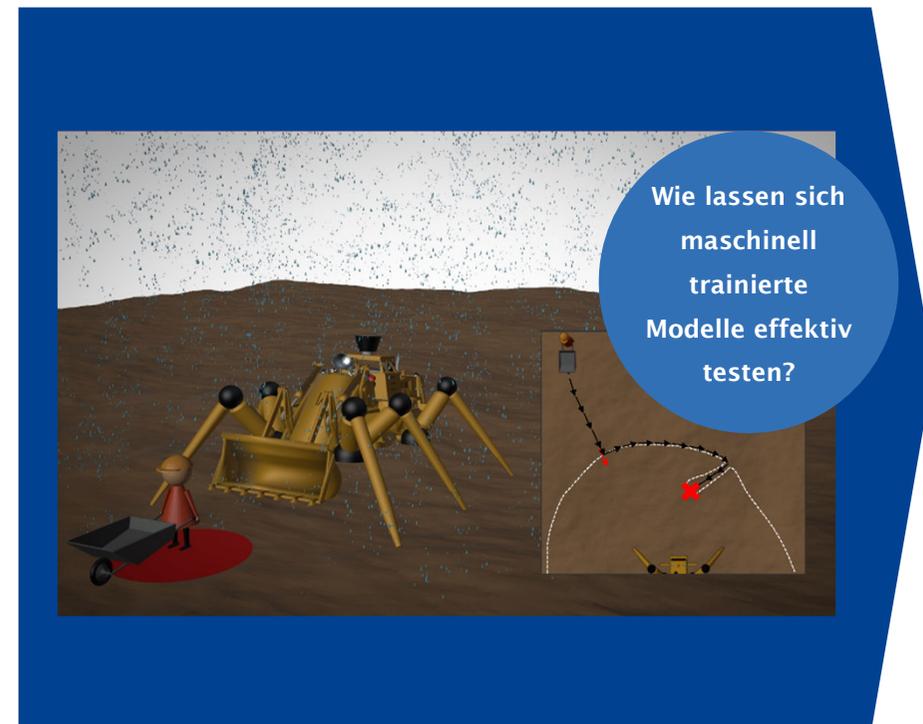
Generierung von neuen herausfordernden Testfällen durch Optimierungsverfahren

## Anforderungen:

- Automatisierte Erhöhung der Testfallabdeckung von trainierten Modellen
- Generierte Testfälle sind relevant und herausfordernd für das trainierte Modell

## Kerntechnologien:

- Maschinelles Lernen
- Parameterabhängige Umgebungssimulationen
- Numerische Optimierungsverfahren



## Motivation

- Menschliche Experten können schlecht einschätzen welche konkreten Testfälle für ein maschinell trainiertes Modell herausfordernd sind

## Ansatz

- Parametrisierte Umgebungssimulation eines typischen Einsatzszenarios
- Iterative Optimierung der Simulationsparameter zur Erzeugung herausfordernder Testfälle

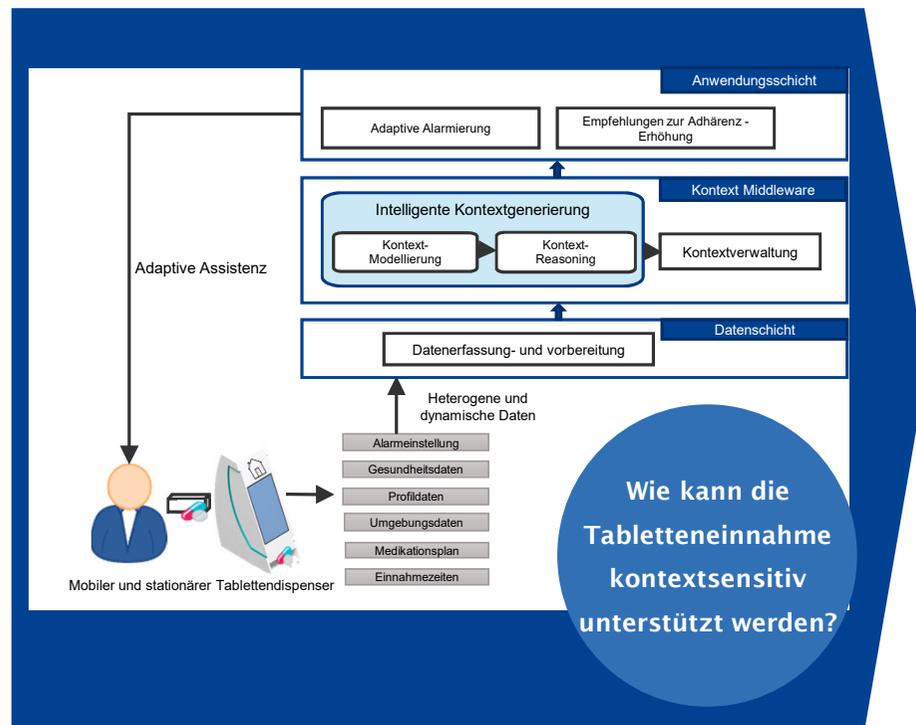
# Kontextbewusste Cyber-Physische Systeme am Beispiel der adaptiven Nutzerunterstützung im Gesundheitsbereich

## Anforderungen:

- Erfassung, Modellierung und Analyse von heterogenen Daten um ein cyber-physisches System zur Herleitung von anwendbarem Wissen.

## Kerntechnologien:

- Kontextbewusste Automatisierungssysteme
- Middleware-basierte Architektur
- Graph-Algorithmen zur Konsistenzprüfung von zeitbasierten Kontextmodellen



## Ansatz

- Erfassung heterogener und dynamischer Daten zur Kontextmodellierung (Umgebungsparameter, Nutzerdaten etc.)
- Middlewarebasierte Architektur zur skalierbaren Wiederverwendung des Kontextmodells durch Anwendungen
- Anwendungsfall: Entwicklung eines Tablettendispensers als IoT-Ansatz mit kontext-adaptive Nutzerunterstützung

# Deep Industrial Transfer Learning

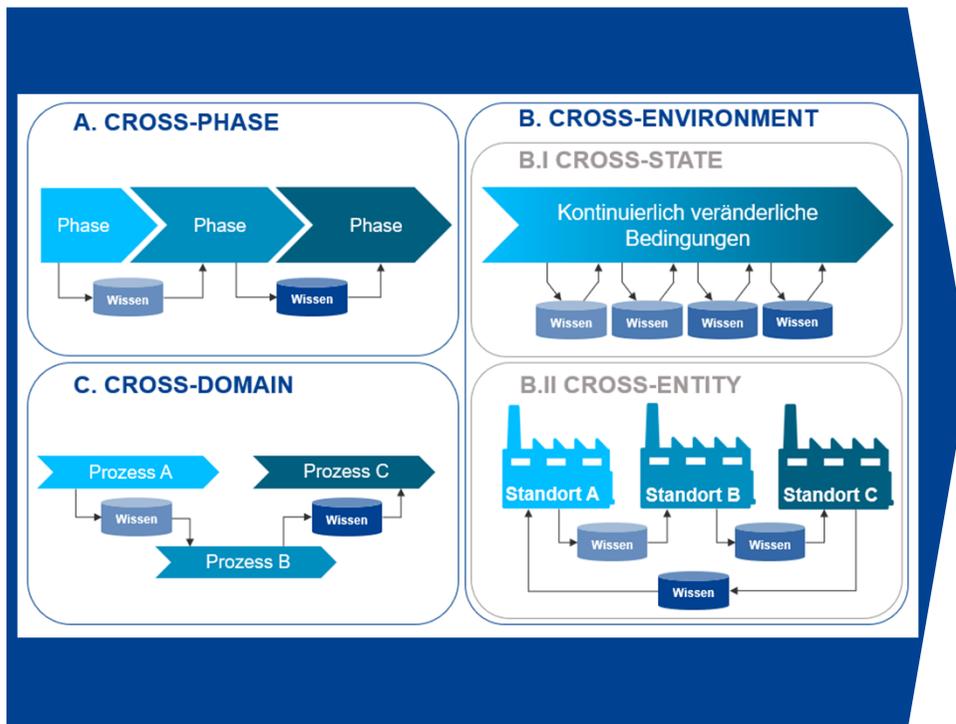
Lernfähige Automatisierungssysteme mit dynamischem Wissenstransfer

## Anforderungen:

- Behandlung von Eingangsdaten (i.d.R. Zeitserien-Daten) unterschiedlicher Dimension
- Lösung von Regressions- und Klassifikationsproblemen

## Kerntechnologien:

- Zweistufiger Deep-Neural-Network Algorithmus
- Repräsentationsdatenbank zur Speicherung und zum Austausch charakteristischer Feature-Sets
- Client-to-Client-Kommunikationsarchitektur



## Motivation

Effizientes Lernen trotz

- im industriellen Alltag vielfach kleiner Datensätze
- dynamischer Prozesse, die kontinuierliche Aktualisierungen des Lernmodells erfordern.

## Ansatz

- Transfer von Wissen zwischen Algorithmen, die dazulernen können

# KI für Intelligentes Testen Autonomer Systeme

Validierung und Verifikation von autonomen Systemen und deren Komponenten

## Anforderungen:

- Hersteller kündigen Konzepte für autonome Systeme an, doch es werden Tools zur Absicherung benötigt

## Kerntechnologien:

- Verfahren der Computational Intelligence
- Probabilistische Verfahren (z.B. Bayes'sche Netze)

Wie können autonome Systeme intelligent getestet werden?

The image shows a car's interior with a driver's hands on the steering wheel and a dashboard. To the right is a 3D simulation of a pedestrian walking on a road. Below these are two data visualizations: a dendrogram on the left and a table on the right. The table has columns for 'Anzahl der Testfälle', 'Anzahl der Testfälle', 'Anzahl der Testfälle', and 'Anzahl der Testfälle'. The dendrogram shows a hierarchical clustering of test cases.

## Ansatz

- Testfälle werden mit AI gruppiert
- Deep Rule Learning für transparente Regeln
- Priorisierung der Testfälle

# Automatisiertes Variantenmanagement

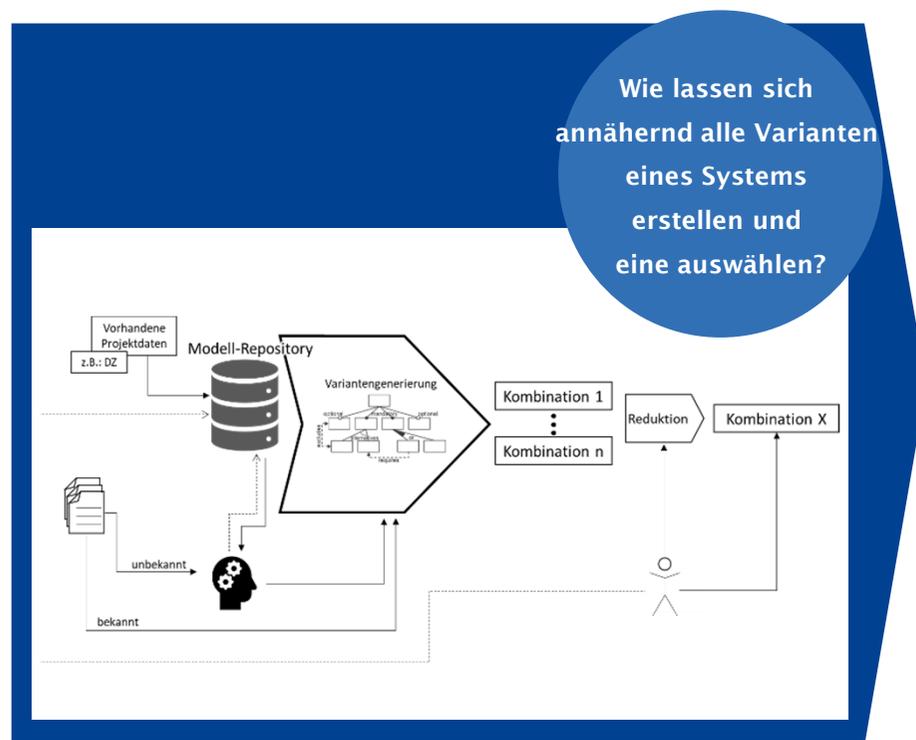
## Generierung von Systemarchitekturen im Systems Engineering

### Anforderungen:

- Komplexitätsbeherrschung im Variantenmanagement
- Assistenz für den Systemingenieur

### Kerntechnologien:

- Feature Oriented Domain Analysis
- 150%-Modell
- Data Analytics



### Motivation

- Durch komplexer werdende Systeme wird der Lösungsraum für die Systementwicklung unüberschaubar

### Ansatz

- Modell-Repository für bekannte Zusammenhänge und Muster
- Verwendung einer geeigneten Methodik für das Variantenmanagement
- Modell- und Datenbasierte Variantengenerierung

# Assistenz zur Modernisierung von Automatisierungssystemen

Wie können wir alte Anlagen modernisieren und zukunftsfähig machen?

## Anforderungen:

- Methodische Unterstützung des Planers bei der Modernisierung
- Generierung und Bewertung von Umbauvorschlägen anhand von Anforderungen

## Kerntechnologien:

- Produkt-, Prozess-, Ressourcen-Anlagenmodell
- Agentenbasiertes Assistenzsystem



## Ansatz

- Aufwandsarme Modellierung des Automaten, Agenten als Stellvertreter von Komponenten
  - Automatisierte Überprüfung von Produktionsanfragen
  - Generierung und Bewertung von Umbauvorschlägen mithilfe des Anlagenmodells
- Entscheidungsunterstützung und Assistenz bei der Modernisierungsplanung



Universität Stuttgart

**Vielen Dank!**



**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich**

E-Mail [michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de](mailto:michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de)

Web [www.ias.uni-stuttgart.de](http://www.ias.uni-stuttgart.de)

Telefon +49 (0) 711 685-67301

Fax +49 (0) 711 685-67302

Universität Stuttgart

Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme

Pfaffenwaldring 47

70550 Stuttgart