

# **Industrie 4.0 – dynamisch-kooperierende- Systeme und deren Modularisierung**

**Dresden, 12.12.2014**

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

# Inhalt

- Vorstellung des IAS
- Cyber-physische Automatisierungssysteme
- Forschung Industrie 4.0
  - Referenzprozesse
  - Steuerungs-Architekturen
  - Modulares Engineering
- Zusammenfassung und Ausblick

# Inhalt



- Vorstellung des IAS
- Cyber-physische Automatisierungssysteme
- Forschung Industrie 4.0
  - Referenzprozesse
  - Steuerungs-Architekturen
  - Modulares Engineering
- Zusammenfassung und Ausblick

# Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS)

Die Forschung und Lehre des Instituts konzentriert sich auf das Thema Softwaresysteme für die Automatisierungstechnik

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



**Prof. Weyrich wurde im April 2013 in Stuttgart berufen.** Das Institut steht unter kollegialer Leitung in Doppelbesetzung.



## Informationen über das Institut

- MitarbeiterInnen
  - Wissenschaftliche Assistenten: 4
  - Wissenschaftliche MitarbeiterInnen: 6
  - GastwissenschaftlerInnen (China): 1
  - Technisches Personal und Verwaltung: 6
  - Auszubildende: 1
  
- Promotionen pro Jahr: 2
  
- Studentische Arbeiten pro Jahr: 50-60
  
- Veröffentlichungen pro Jahr: 15-20
  
- Wissenschaftliche Hilfskräfte pro Jahr: 50-70

- Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001 im Bereich Lehre und Forschung im Jahr 1997

## Lehrveranstaltungen des Instituts

- Automatisierungstechnik I
- Automatisierungstechnik II
- Softwaretechnik I
- Softwaretechnik II
- Software Engineering for Real-Time Systems
- Industrial Automation Systems
- Informatik II – Grundlagen der Softwaretechnik
- Ringvorlesung: Forum Software und Automatisierung
- Zuverlässigkeit und Sicherheit von Automatisierungssystemen
- Softwaretechnik-Praktikum
- Automatisierungstechnik-Praktikum

## Beteiligung an Studiengängen

- B. Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik
- B. Sc. Technische Kybernetik
- B. Sc. Erneuerbare Energien
- B. Sc. Technikpädagogik
- B. Sc. Medizintechnik
- B. Sc. Mechatronik
- B. Sc. Informatik
- M. Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik
- M. Sc. Nachhaltige Elektrische Energieversorgung
- M. Sc. Information Technology
- M. Sc. Technikpädagogik
- M. Sc. Mechatronik

# Forschungsportfolio

## Automatisierungstechnik und Softwaresysteme

**Schwerpunkt der Forschung: „Smarte Komponenten“, insbesondere deren Analyse, Entwicklung und Test entlang des Lebenszyklus und mit Blick auf Wertschöpfung**

### Komposition modularer Automatisierungssysteme

- > Verteilte Systeme (z.B. Einsatz von Agenten-Technologie, MES)
- > Wissensbasiertes Engineering und modulare Konzeption
- > Auto-Konfiguration und Lernen



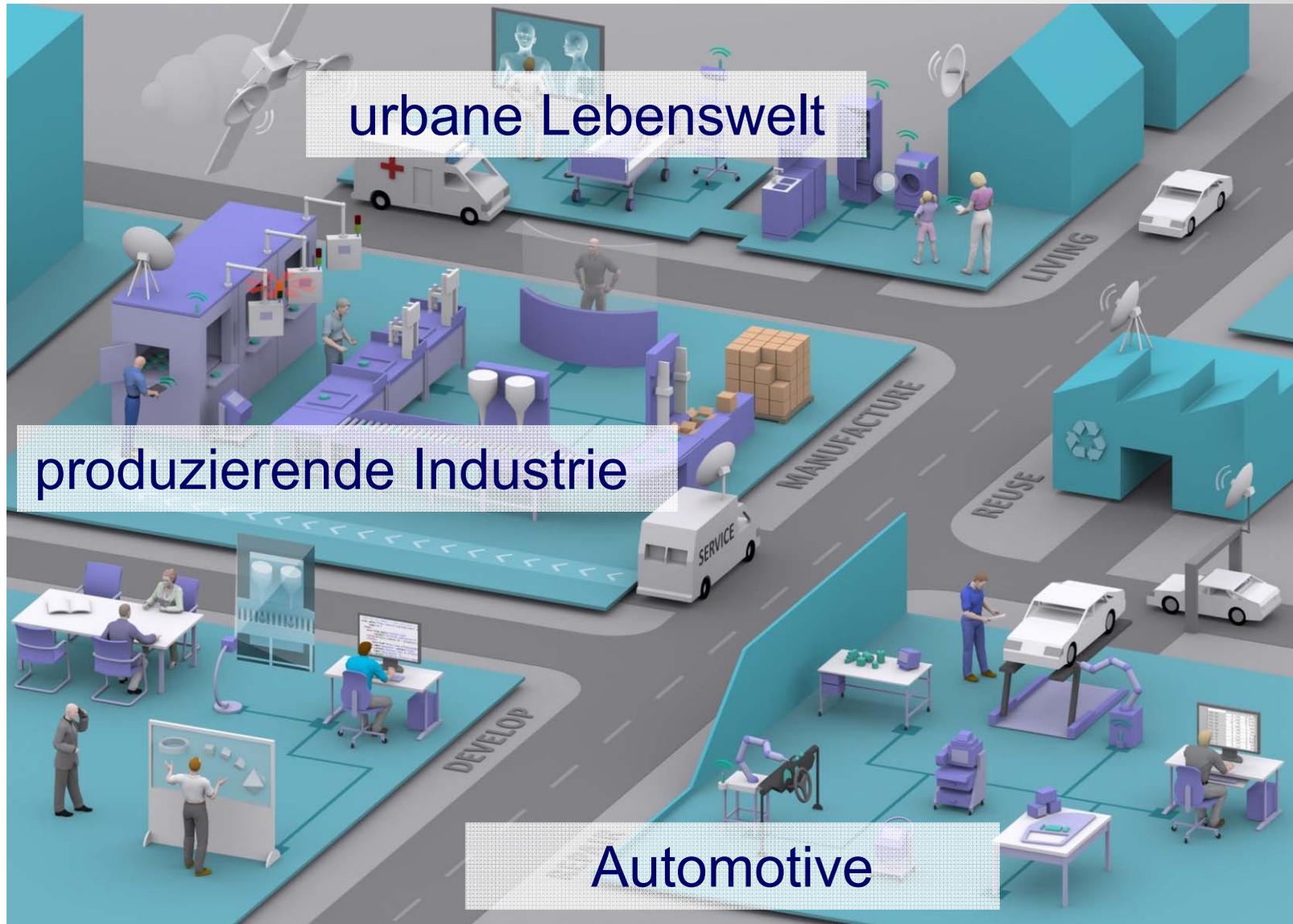
### Qualität von Automatisierungssystemen und Komponenten

- > Evaluation / Testmanagement (physisch und virtuell)
- > Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Wartbarkeit
- > Bedien- und Benutzbarkeit

### Lebenszyklus und Wertschöpfung

- > Wertschöpfungs-Architekturen und Nutzenanalysen
- > Energieoptimierung in Prozessen

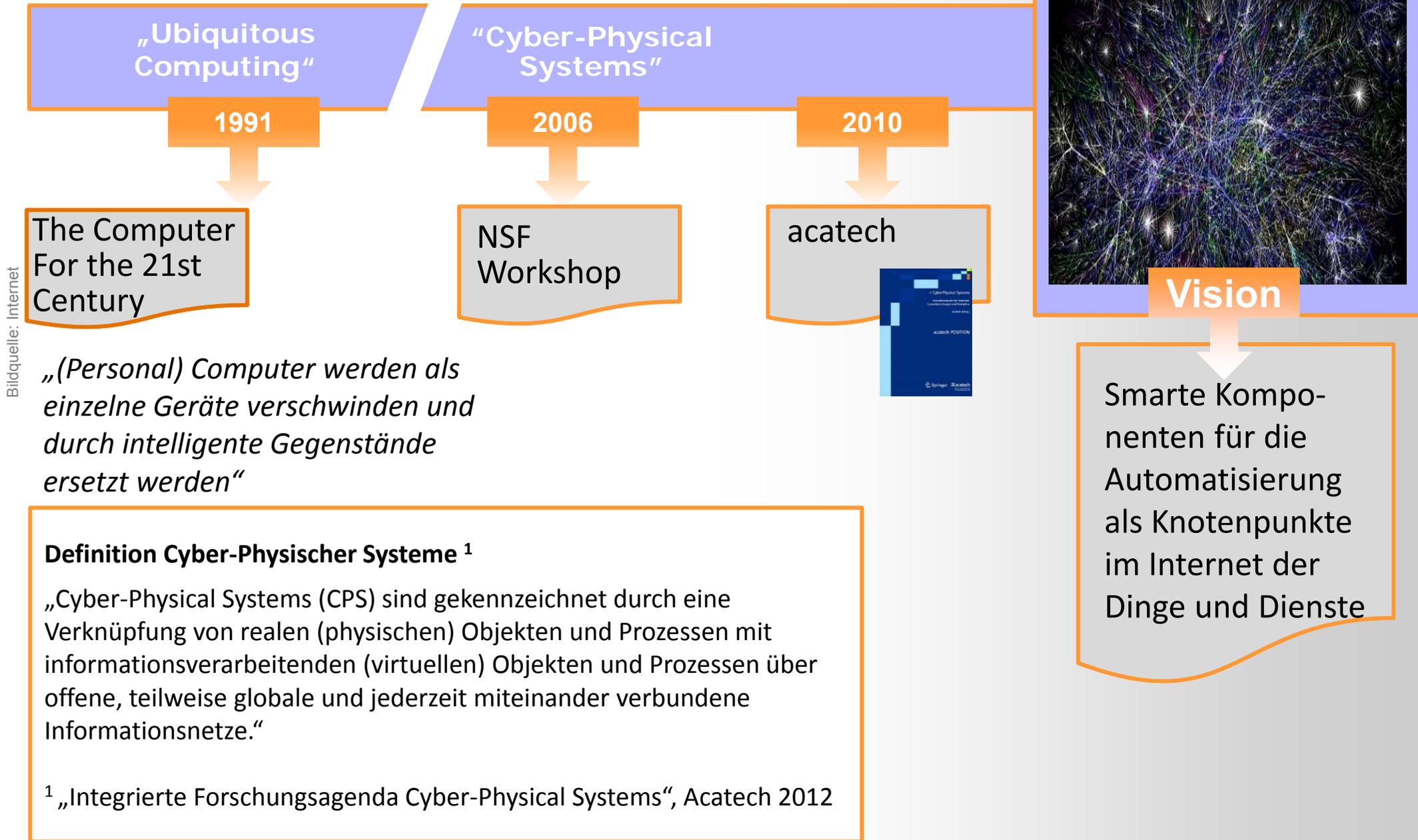
# Die Forschung am IAS im Thema der Automatisierungstechnik orientiert sich an Anwendungen



# Inhalt

- 
- Vorstellung des IAS
  - **Cyber-physische Automatisierungssysteme**
  - Forschung Industrie 4.0
    - Referenzprozesse
    - Steuerungs-Architekturen
    - Modulares Engineering
  - Zusammenfassung und Ausblick

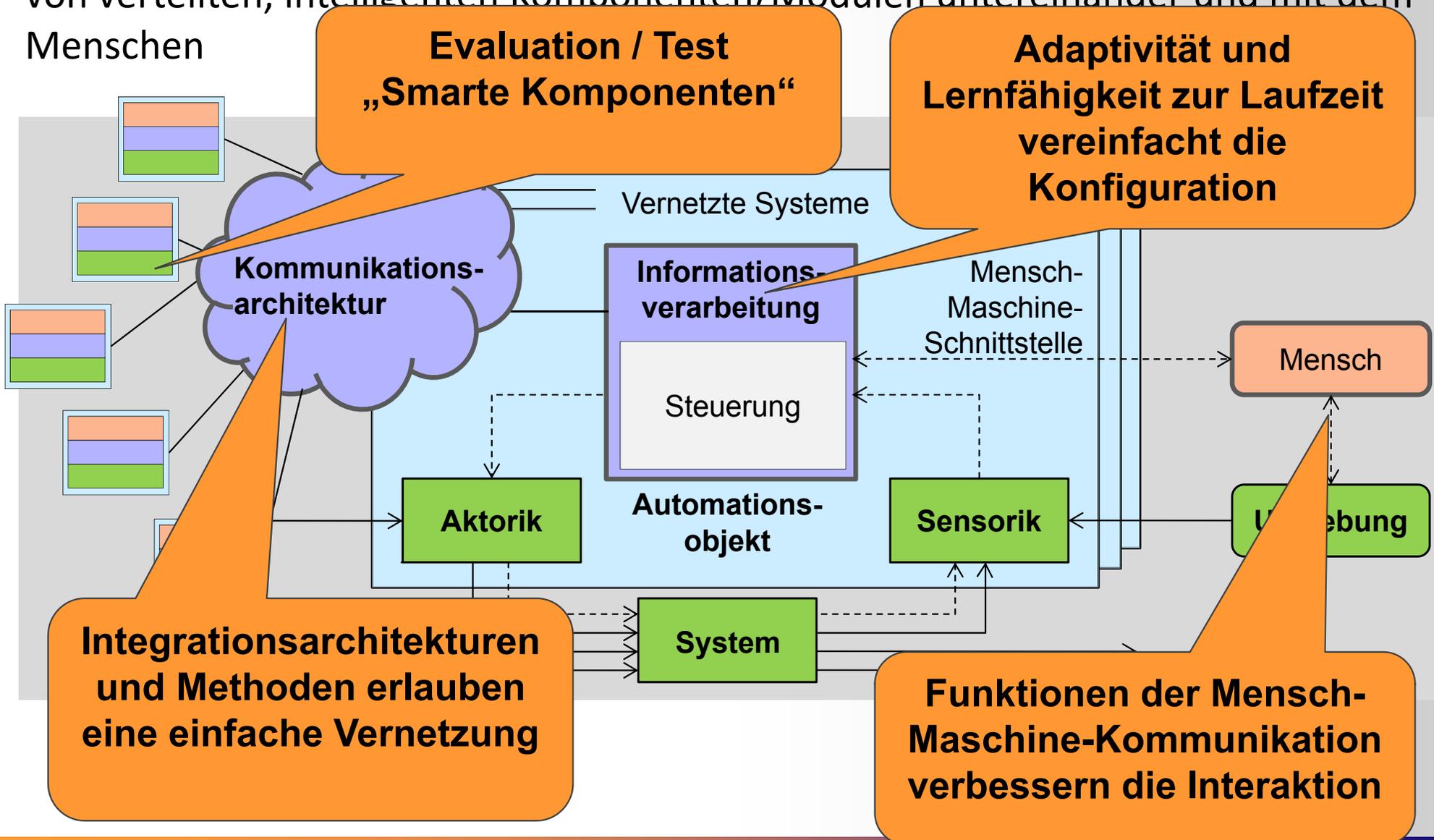
# Cyber-physische Systeme - Begriffswelten



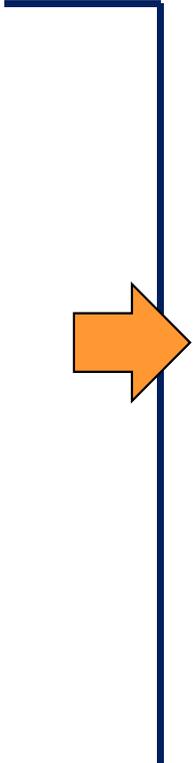
# Cyber-physische Systeme

**Smarte, vernetzte Systeme als Wandlungstreiber:** Neuartiges Zusammenspiel von verteilten, intelligenten Komponenten/Modulen untereinander und mit dem Menschen

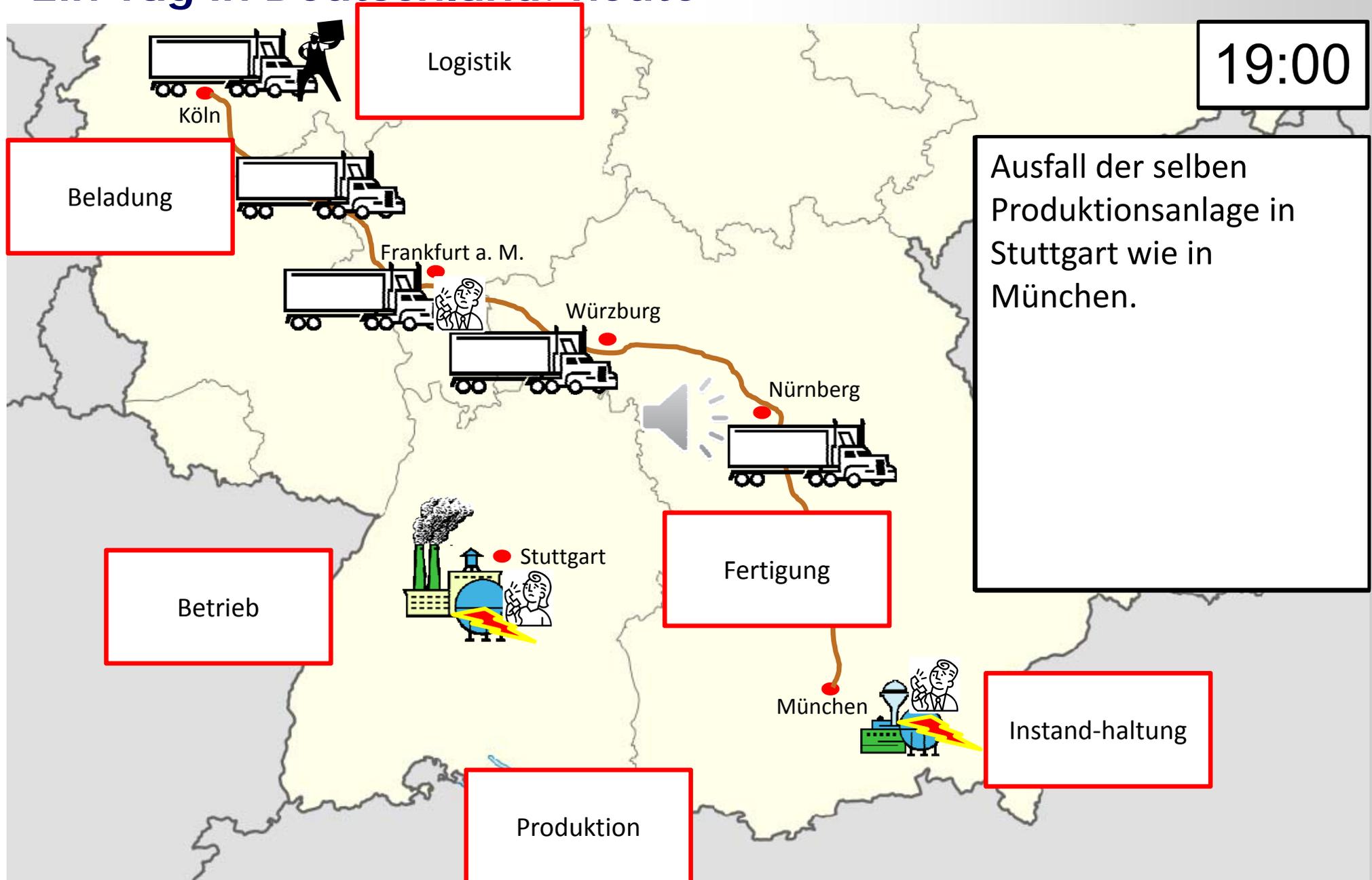
Bildquelle: in Anlehnung an Gausemeier, Univ. Paderborn



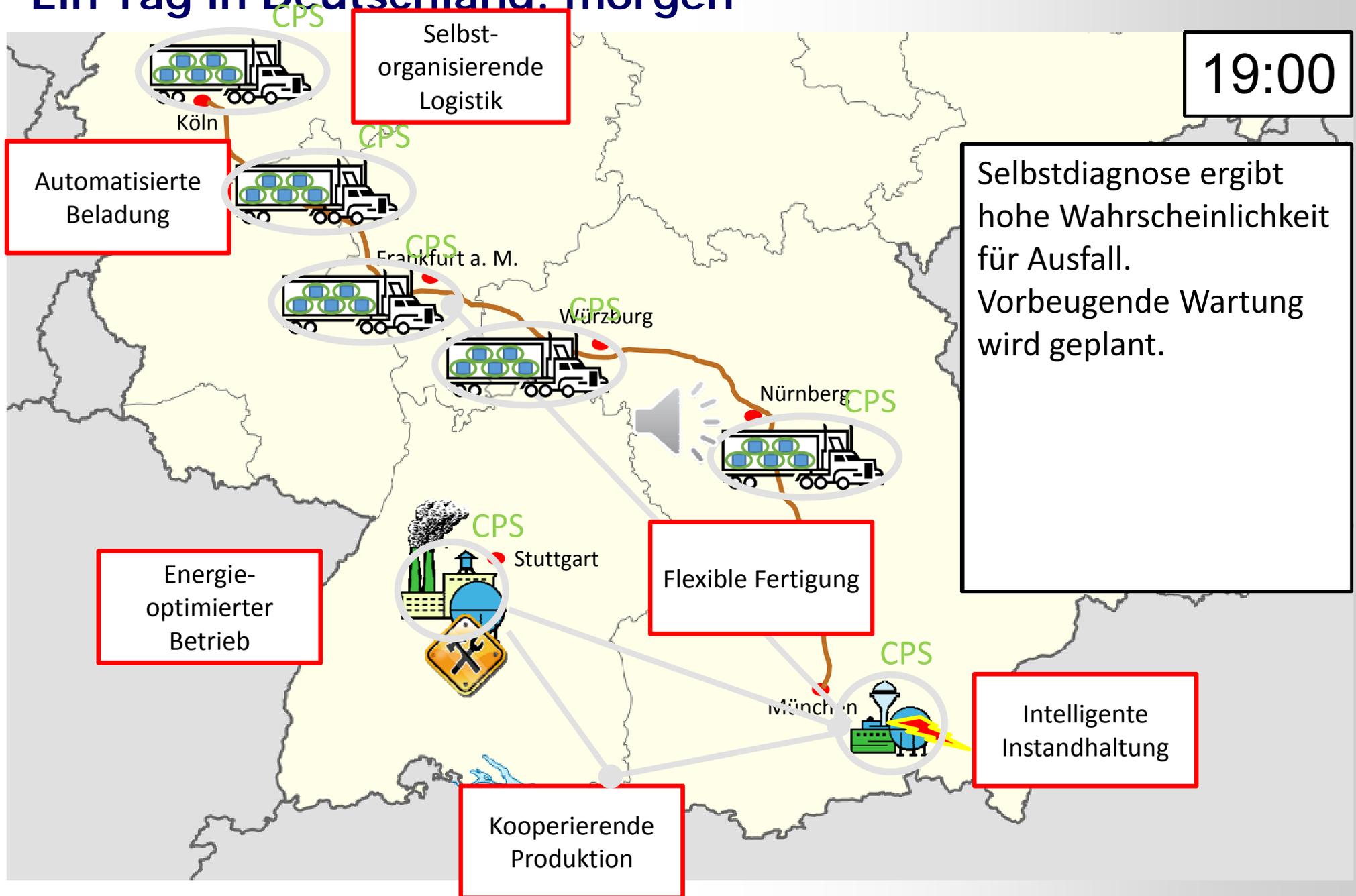
# Inhalt

- 
- Vorstellung des IAS
  - Cyber-physische Automatisierungssysteme
  - **Forschung Industrie 4.0**
    - Referenzprozesse
    - Steuerungs-Architekturen
    - Modulares Engineering
  - Zusammenfassung und Ausblick

# Ein Tag in Deutschland: heute



# Ein Tag in Deutschland: morgen



## Fallstudie: „Open Source“ Forschungsumgebung

Deutsche Professoren der TuLAUT haben sich auf eine gemeinsames Anwendungsszenario geeinigt, um Industrie 4.0 Themen der Fabrikautomatisierung zu erforschen.

- **Apps für die Mensch-Maschine Kommunikation**
- **Scheduling von Prozessen**
- **Service-orientierte Steuerung**
- **Planning, Modelling**



Stuttgart



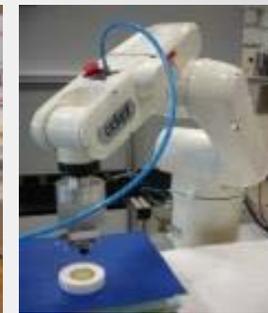
München



Magdeburg



Hamburg

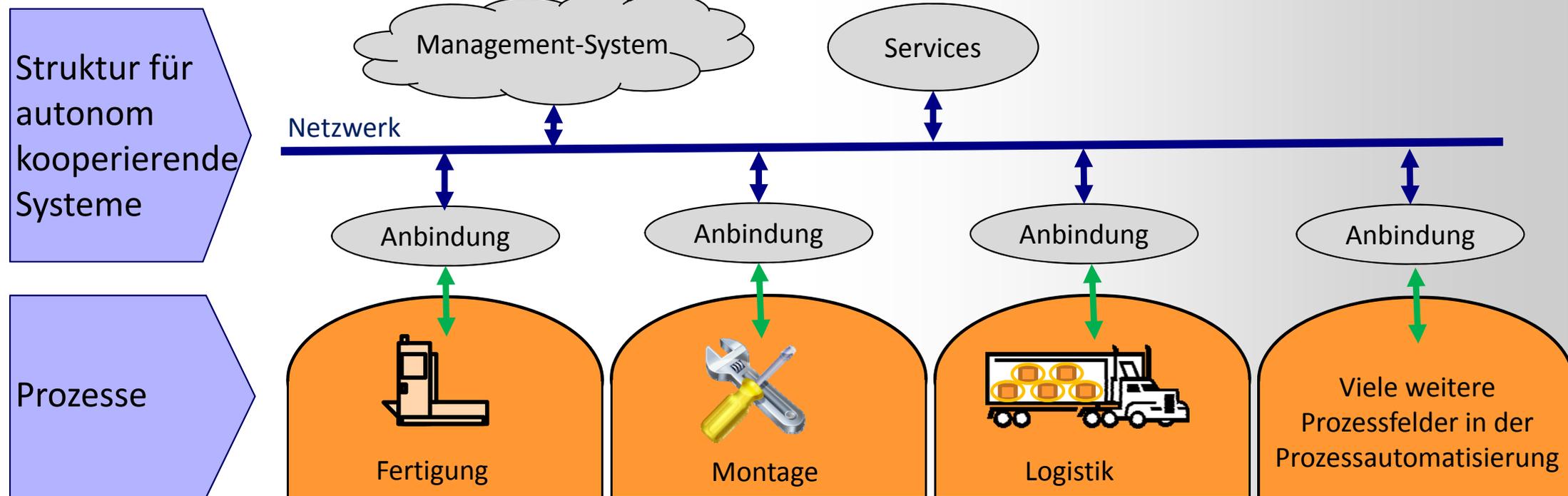


Aachen



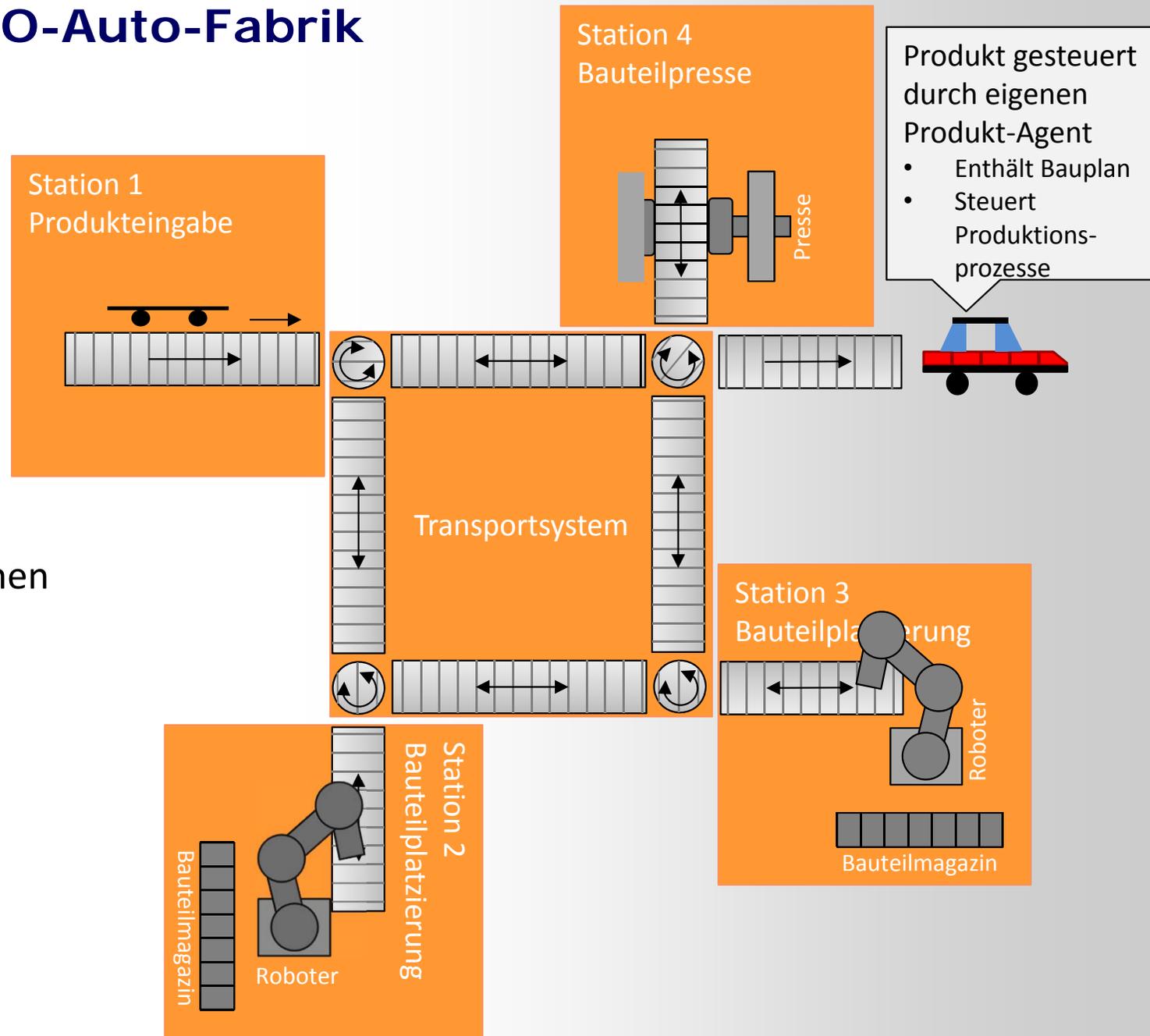
# Dynamische Kooperation von heterogenen Automatisierungssystemen auf Basis von dezentralen Industrie 4.0 Komponenten

- Kooperation bestehender automatisierter Systeme
- Sich ständig ändernde Partner im Sinne einer dynamischen Beteiligung am Kooperationsverbund.
- Unterschiedliche Hersteller bzw. Plattformen von Automatisierungs- und IT-Systemen



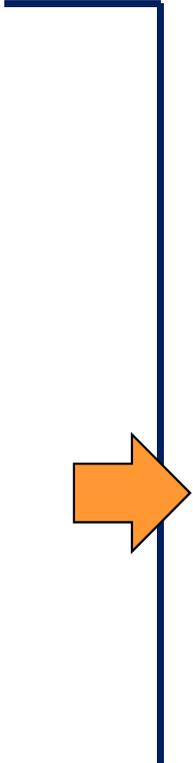
# Demonstrator LEGO-Auto-Fabrik

- Modular aufgebaute Produktionsanlage
- Produktion mehrerer Produktvarianten
- Steuerung über Softwareagenten auf separaten Computersystemen
- Selbstintegration der Produktionsstationen



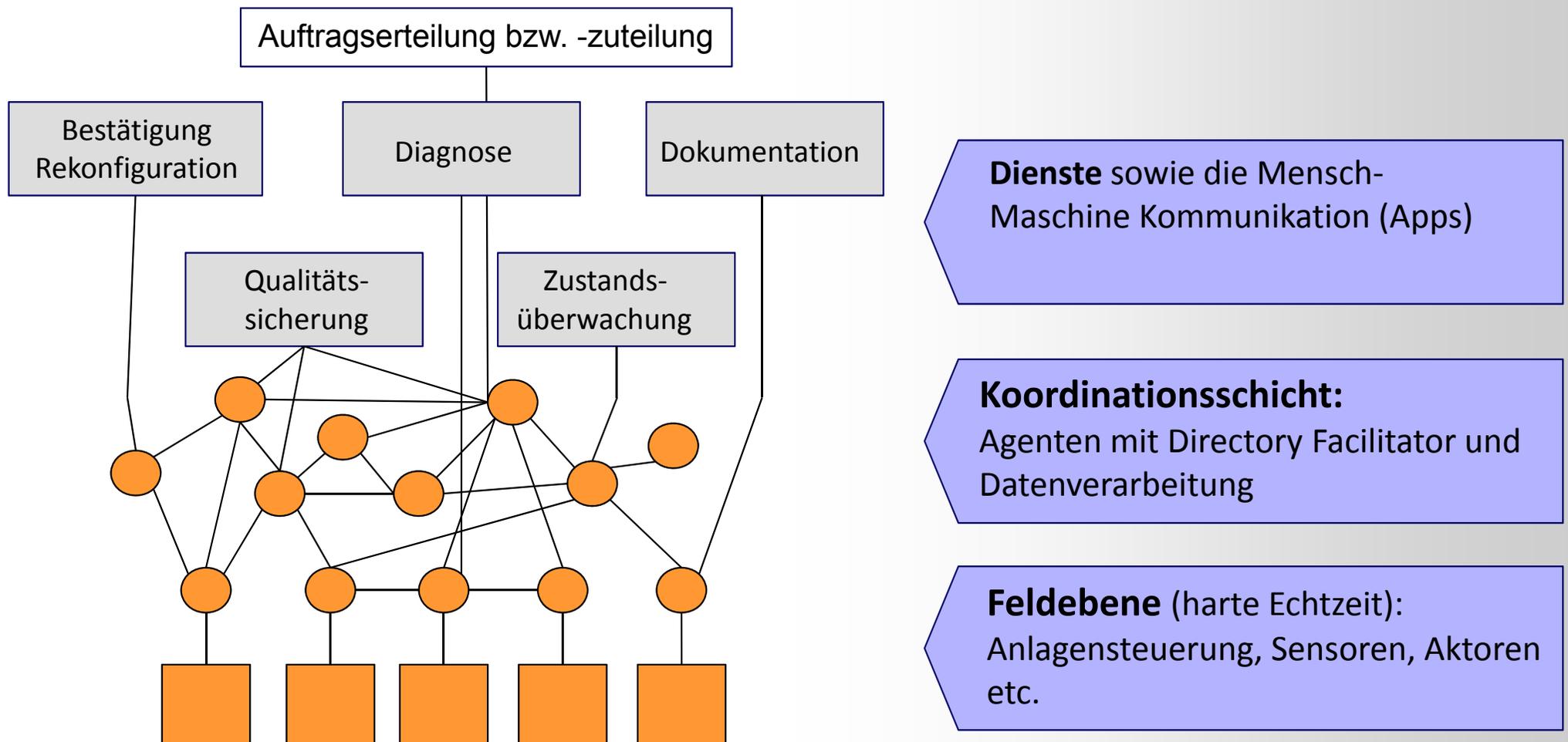
# Verteilte LEGO-Auto-Fabrik

# Inhalt

- 
- Vorstellung des IAS
  - Cyber-physische Automatisierungssysteme
  - Forschung Industrie 4.0
    - Referenzprozesse
    - **Steuerungs-Architekturen**
    - Modulares Engineering
  - Zusammenfassung und Ausblick

## Unser Ansatz: Dezentralisierung der Architektur

- Die Automatisierungshierarchie wird flacher; Grenzen verschwimmen teilweise
- Dezentrale Dienste organisieren sich über die Agenten selbst



## Entwicklerunterstützung durch Agenten-Framework

Fragestellung: Was sind notwendige Strukturen autonom kooperierender Systeme auf Basis von Agententechnologie umsetzbar?

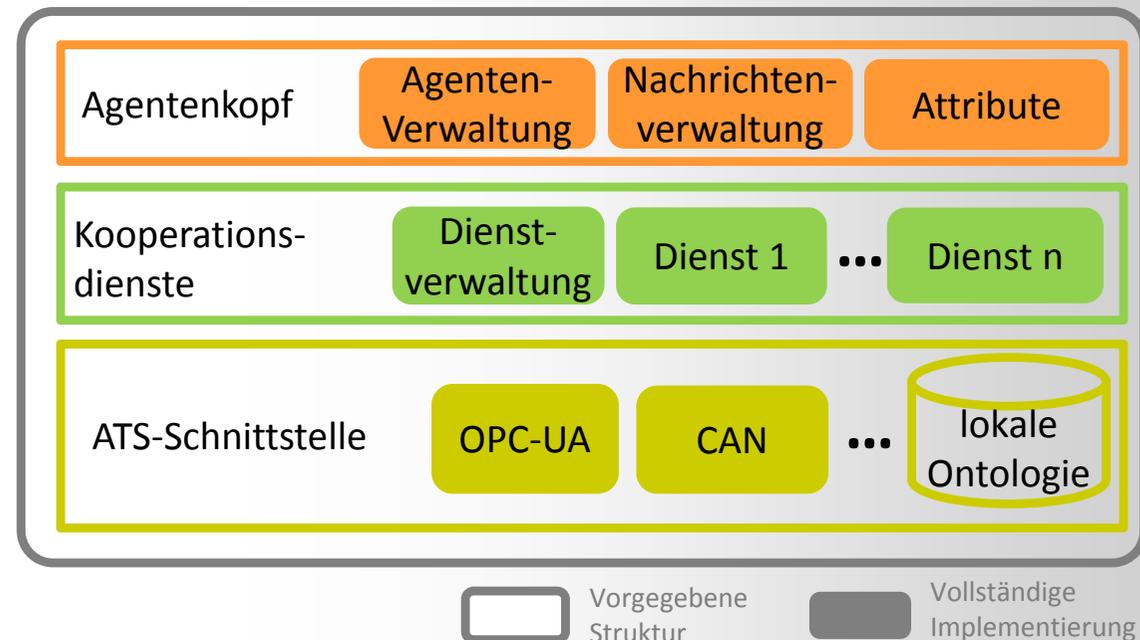
### Vorhandene Systeme:

- Agentensysteme

### Ansatz:

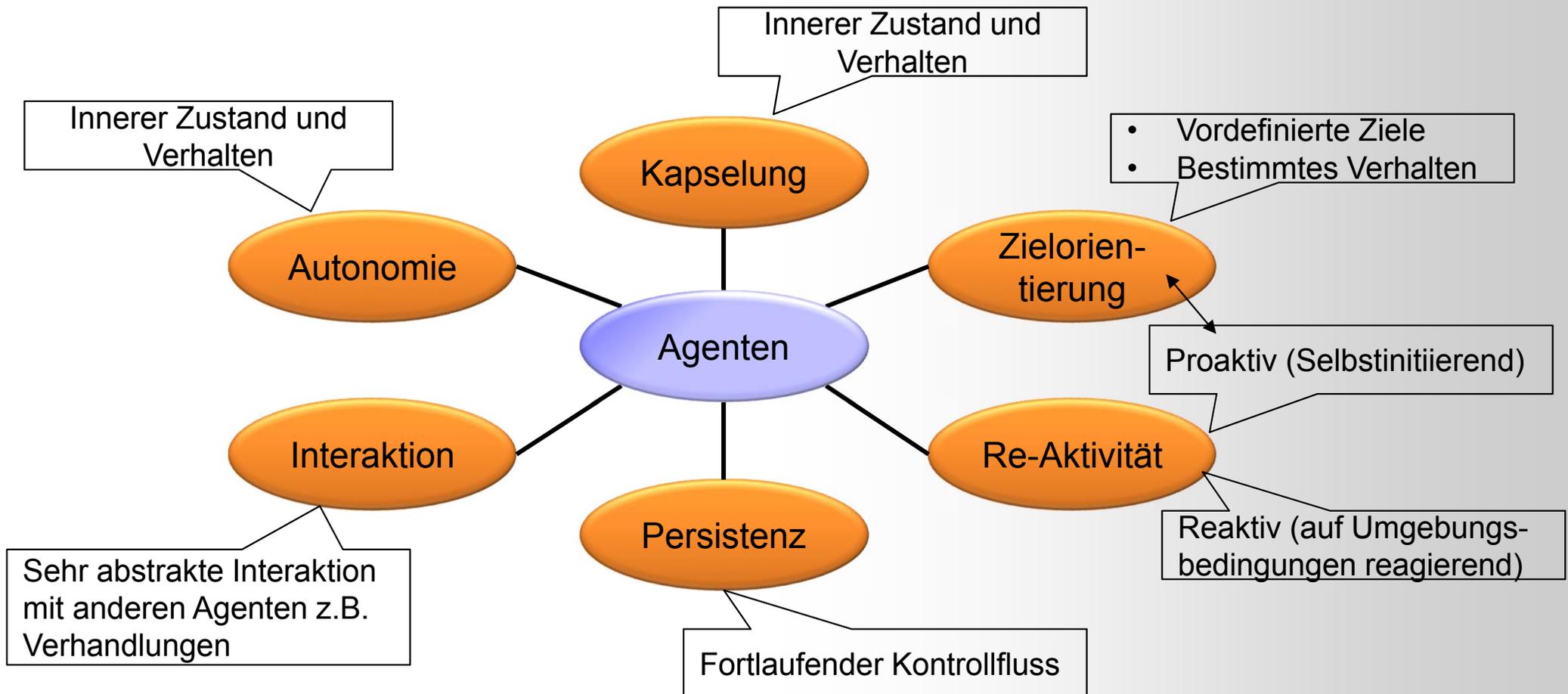
Entwicklung eines Frameworks zur Wiederverwendung von Agenten-Komponenten

Wie muss ein Agent für die dynamische Kooperation aufgebaut sein?



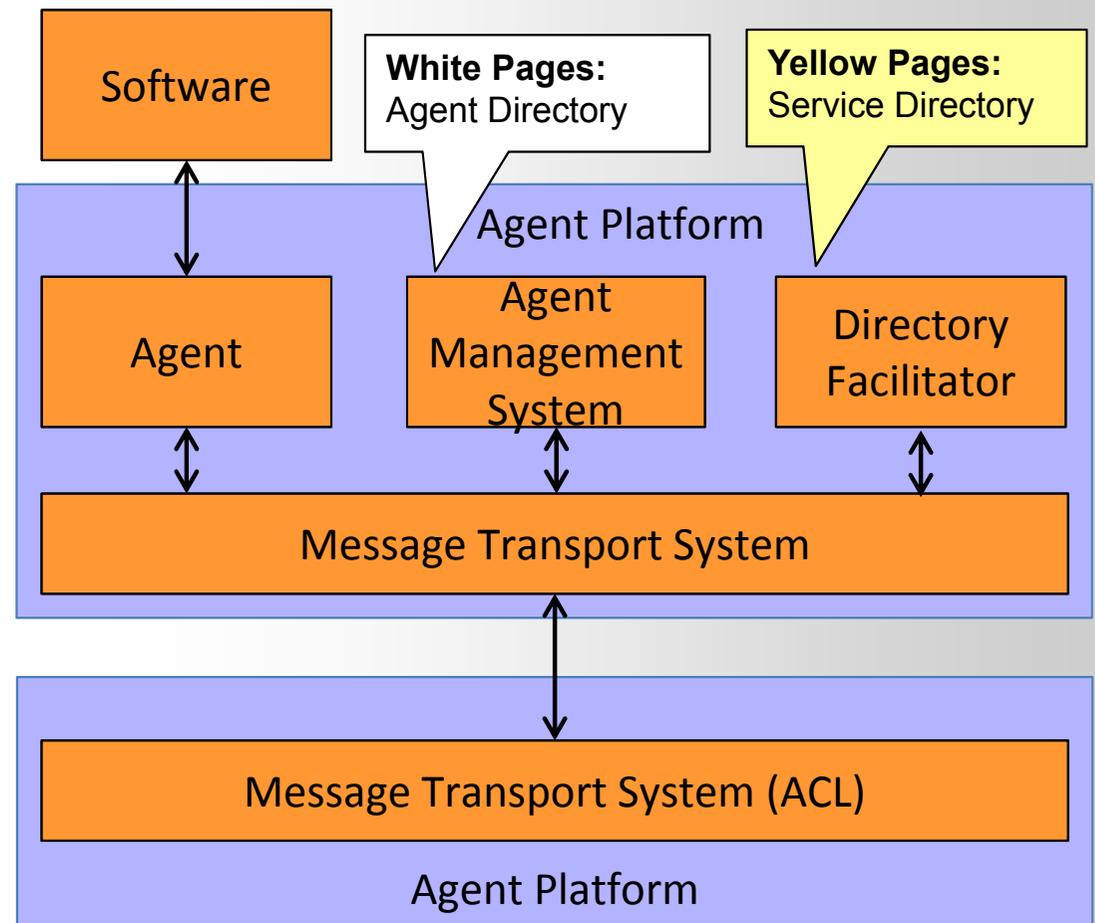
## Eigenschaften von Agenten

Softwareagenten sind abgegrenzte Softwareeinheiten, die in der Lage sind eine vorgegebene Aufgabe flexibel, interaktiv und autonom zu verfolgen.



## Aufbau eines Agentensystems

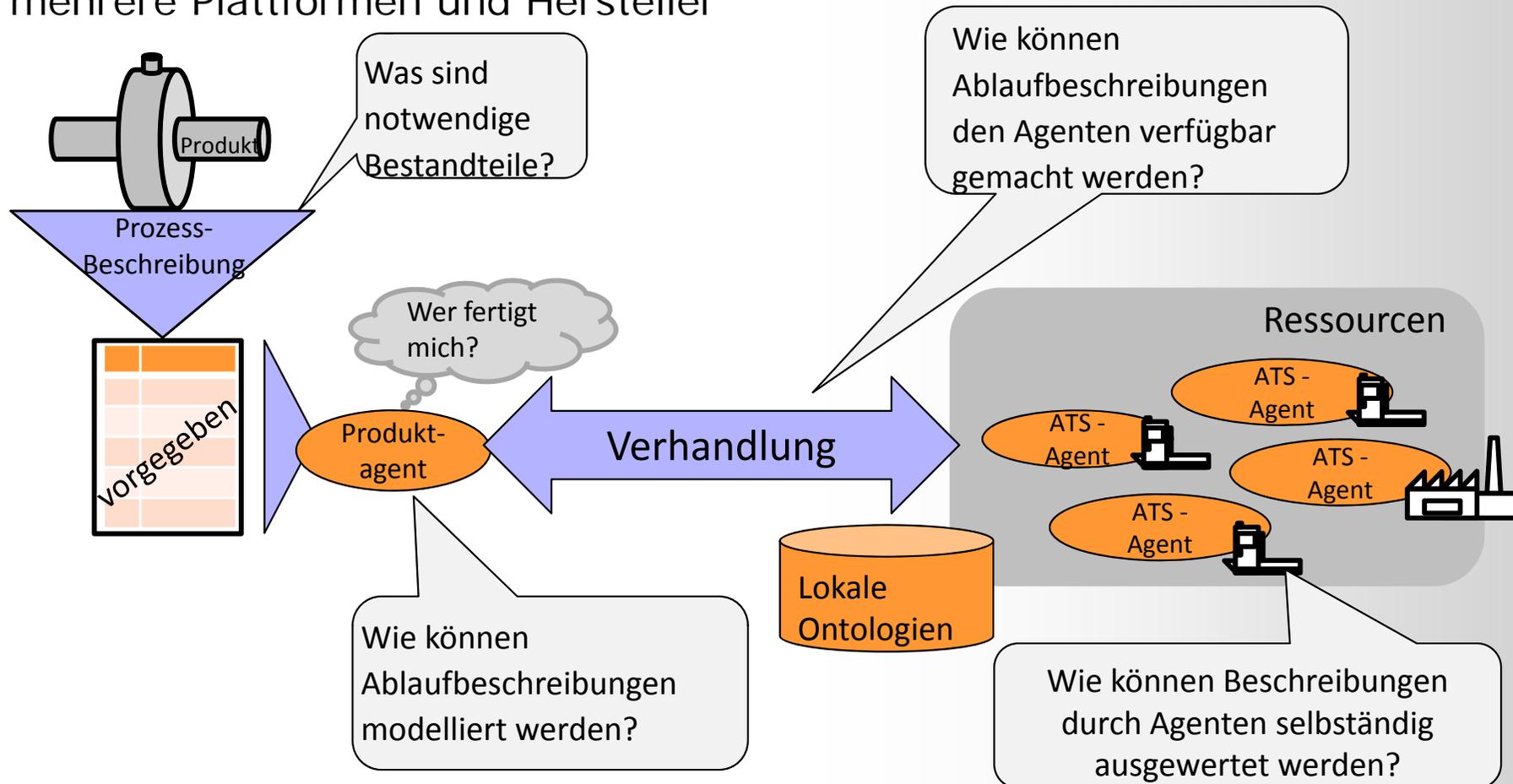
- Aufbau der Agenten Plattform gemäß FIPA Spezifikation
- Dienste der Plattform
  - Agentenverwaltung (AMS)
  - Dienstverzeichnis (DF)
- Kommunikation über definierte Protokolle und Nachrichten
  - Aufforderungen „REQUEST“
  - Anfragen „PROPOSAL“
  - Zusagen „ACCEPT“
  - ...



ACL : Agent Communication Language

# Formalisierte Beschreibung des Ablaufes in der Produktion

Zur Entwicklungszeit unbekannte Kooperationspartner d.h. Systemvielfalt, z.B. mehrere Plattformen und Hersteller



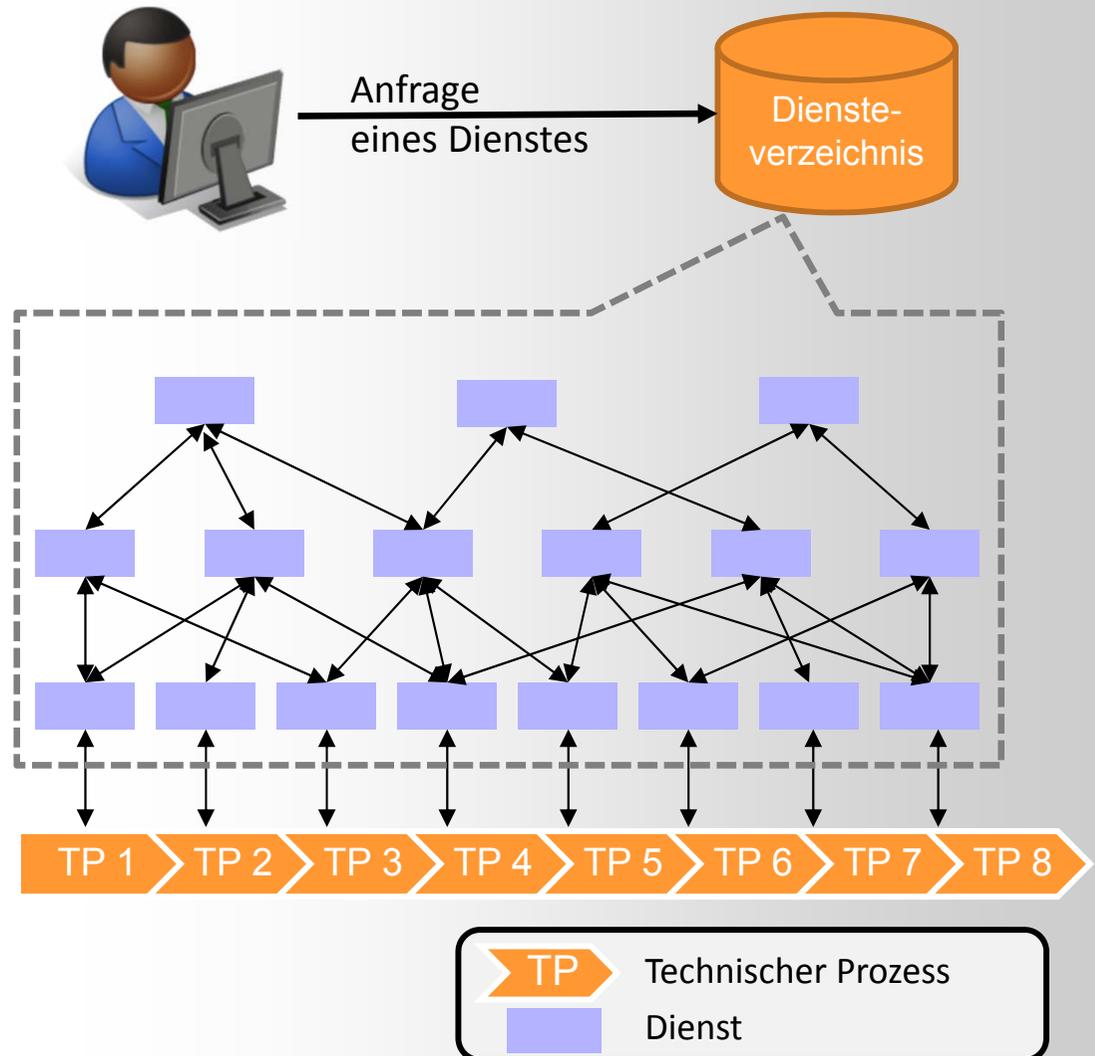
→ **Wie ist ein Framework beschaffen, um mit Agenten die Beschreibung selbständig auswerten zu können?**

# Service-orientierte-Architektur

Cyber-Physische Systeme bieten Dienste an. Diese Elementardienste können zu komplexeren Diensten orchestriert werden.

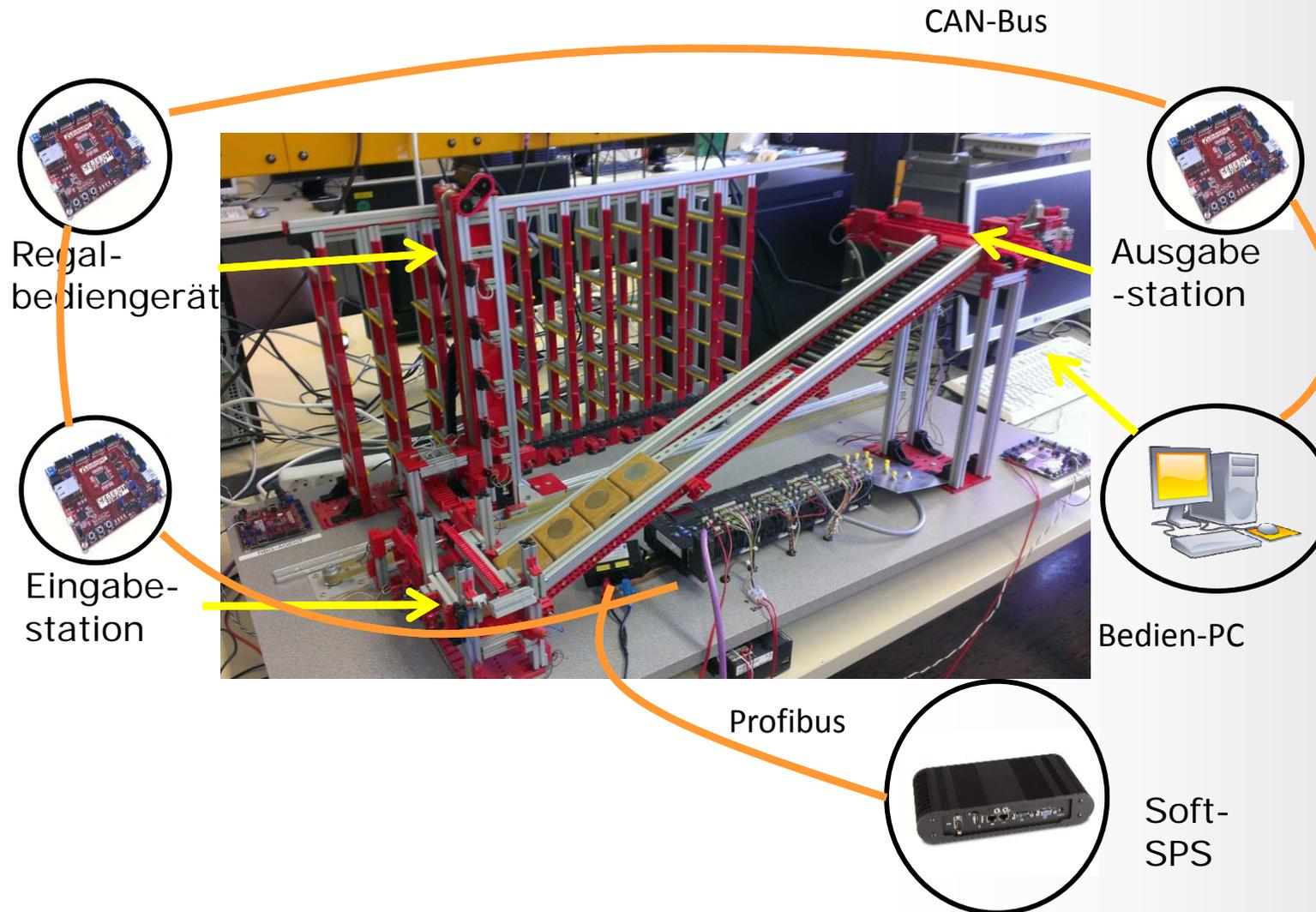
## Eigenschaften

- ⊕ Vermeidung von Redundanz
  - ⊕ standardisierte Schnittstellen
  - ⊕ Adaptivität
  - ⊕ Erweiterbarkeit
  - ⊕ Agilität
  - ⊕ Interoperabilität
  - ⊕ Skalierbarkeit
  - ⊕ Verteilbarkeit
  - ⊕ Wartbarkeit
- 
- ⊖ Kommunikationsoverhead
  - ⊖ Einführung der Architektur aufwendig



# Services am Demonstrator Hochregallager

Steuerung eines Hochregallager mit heterogenen Komponenten über eine Soft-SPS (dezentrale  $\mu$ C) und Bedien-PC



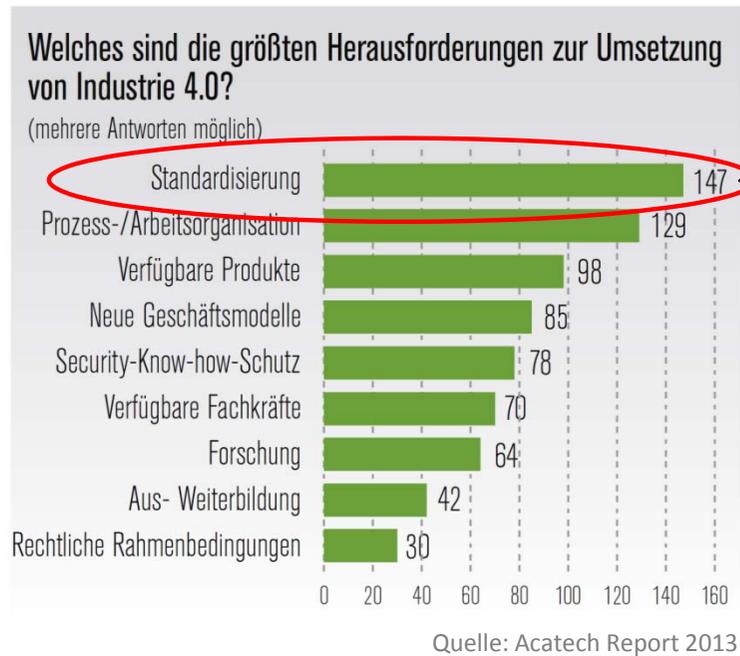
## Dienste:

- Vereinzeln
- Einlagern
- Auslagern
- Anfrage Einlagern
- Rückmeldung Einlagern
- Anfrage Auslagern
- Rückmeldung Auslagern
- ...

# OPC UA

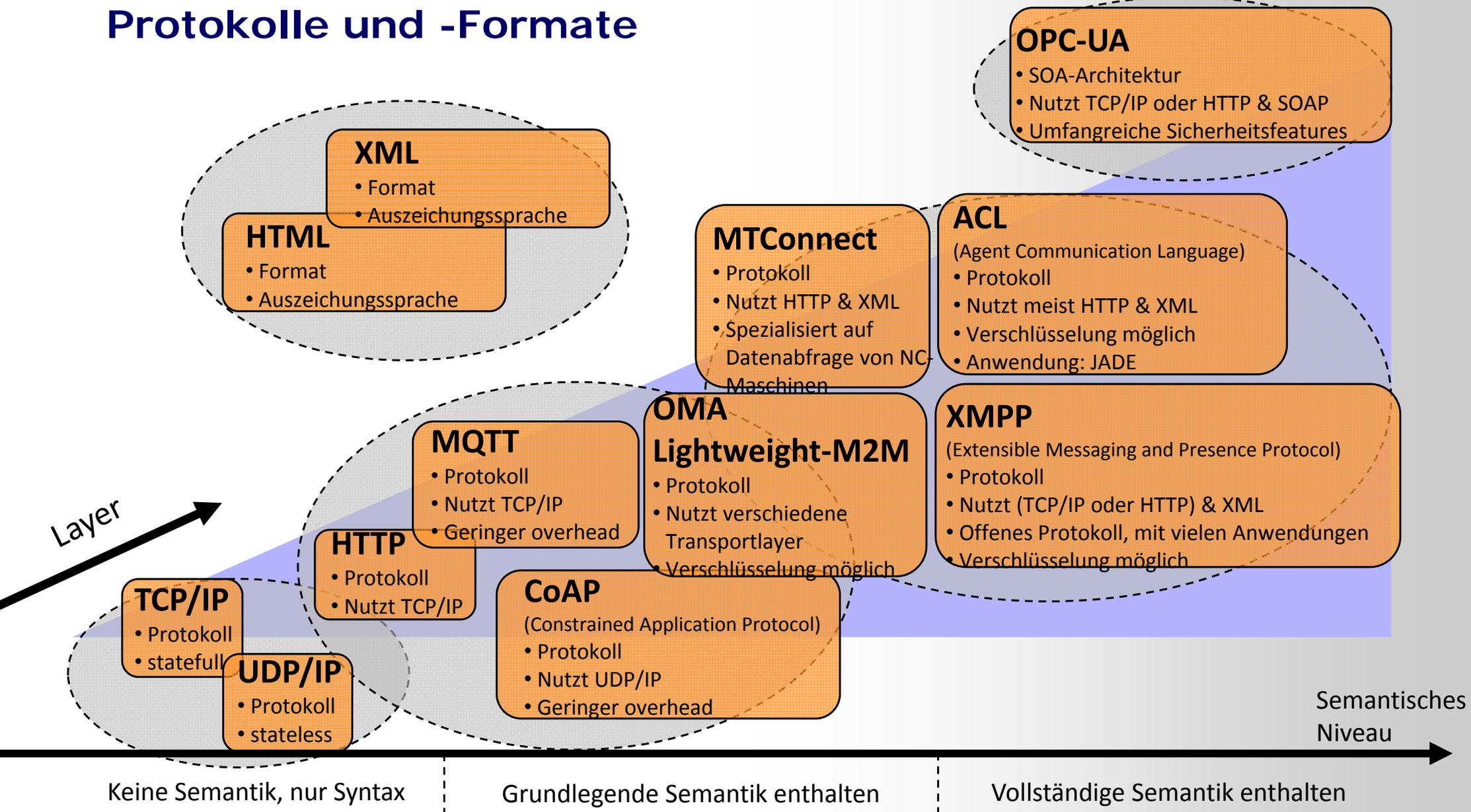
## Was ist OPC UA?

- Industrielles M2M Kommunikationsprotokoll
- Die OPC-UA-Architektur folgt den Designparametern der Service-orientierten Architektur
- Herstellerunabhängige Kommunikationstechnologie, bei deren Konzeption 470 internationale Firmen beteiligt sind



Ist OPC-UA die Lösung für die Standardisierung ?

# Kommunikations-Architekturen, - Protokolle und -Formate



# Planung und Bewertung von cyber- physischen Wertschöpfungsnetzwerken

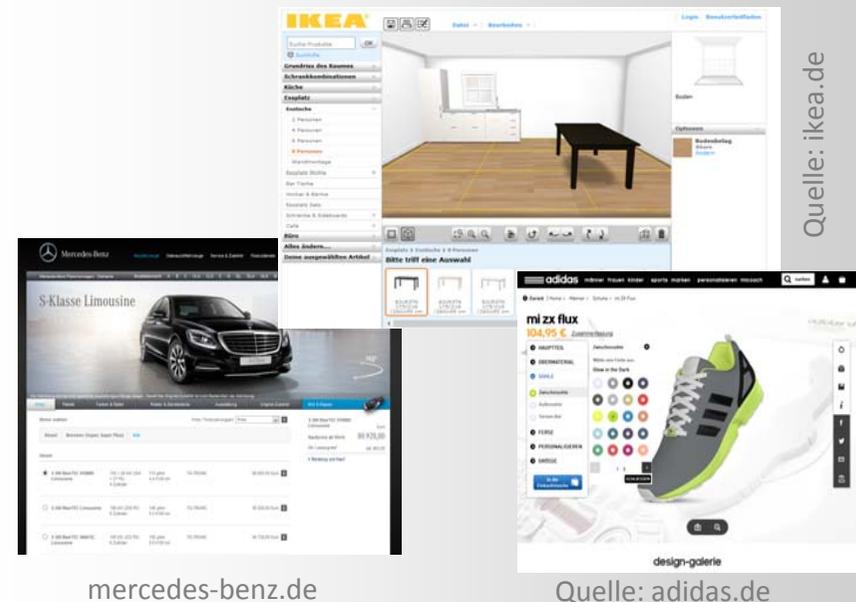
Um dem verstärkten Kundenwunsch nach individualisierten Produkten gerecht zu werden, setzen Produzenten zunehmend auf variantenreiche Produktpaletten. Die Produktion kleiner Losgrößen bedingt neuer Konzepte der Wertschöpfung

## Herausforderung:

Planung und Bewertung von cyber-physischen Wertschöpfungsnetzwerken

- Entwicklung von Bewertungsmodellen und Kennzahlen z.B. für den Flächenbedarf, Energieverbrauch, Wartungsaufwand, Modularität etc.
- Unterstützung des Planers durch Generierung von Umsetzungsvorschlägen

## Verschiedene Konfiguratoren zur Produktindividualisierung:

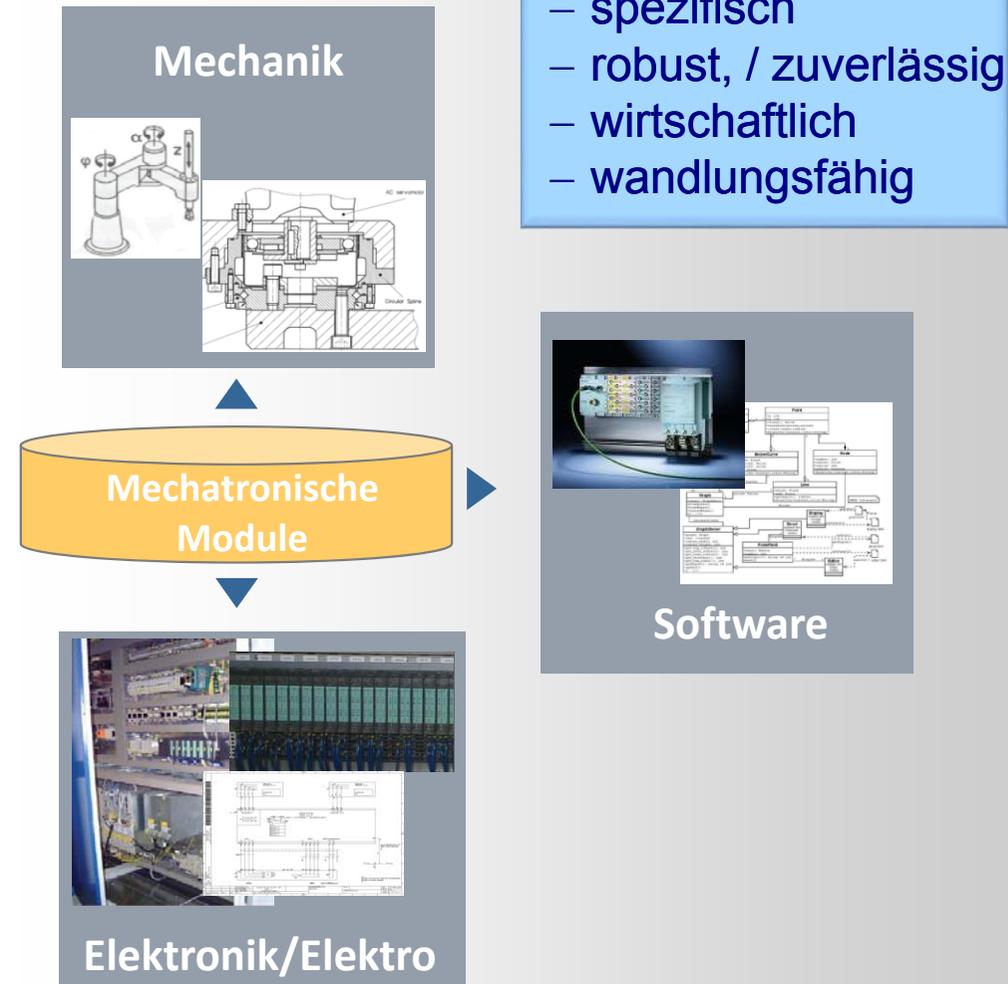
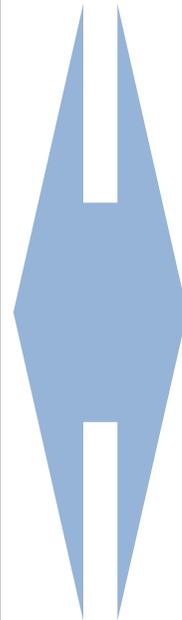
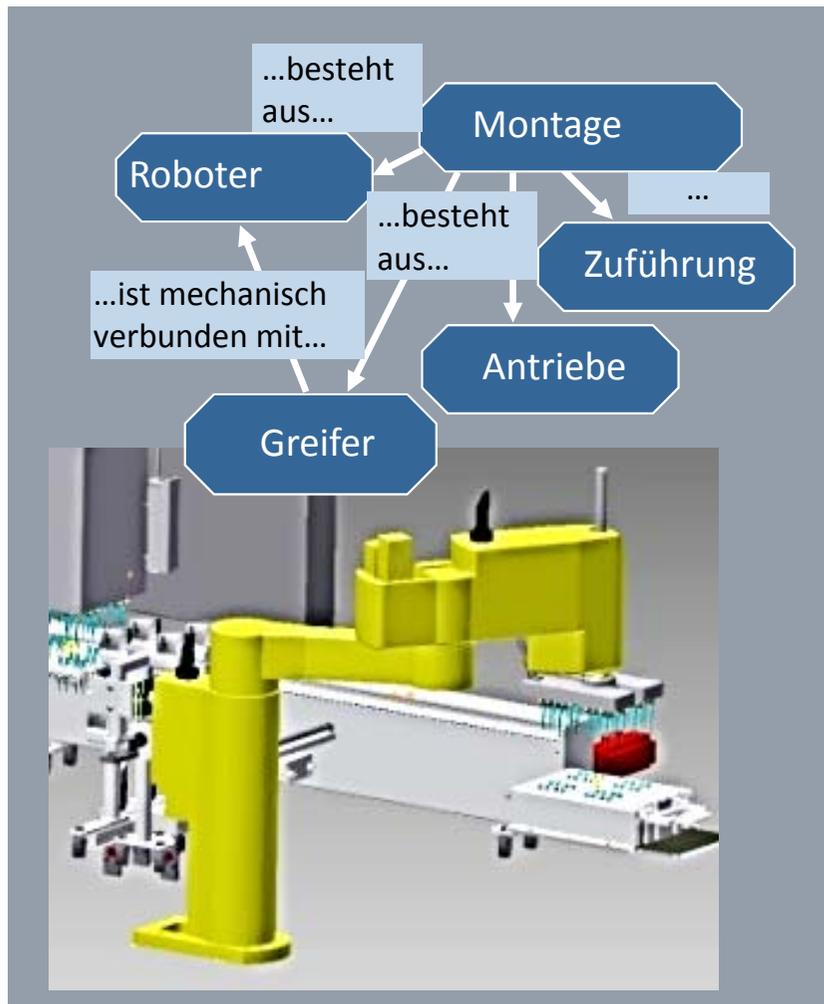


# Inhalt

- 
- Vorstellung des IAS
  - Cyber-physische Automatisierungssysteme
  - Forschung Industrie 4.0
    - Referenzprozesse
    - Steuerungs-Architekturen
    - **Modulares Engineering**
  - Zusammenfassung und Ausblick

# Modularisierung von Anlagen

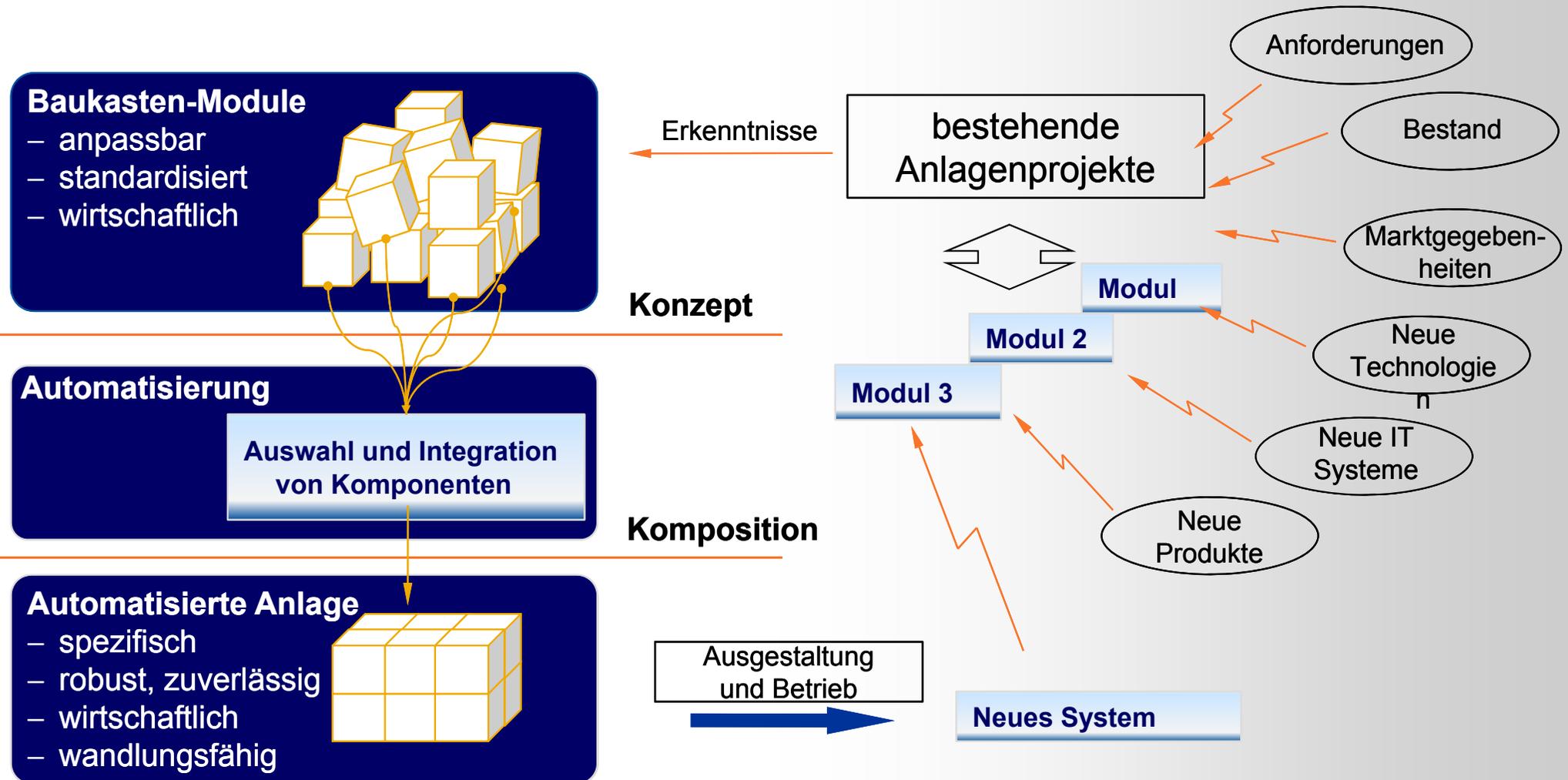
Wie lassen sich Anlagenbestandteile der Mechanik, Elektronik / Elektrik und Software modularer konfigurieren?



- Anforderungen:**
- spezifisch
  - robust, / zuverlässig
  - wirtschaftlich
  - wandlungsfähig

# Projektbeispiel Modularisierung im Anlagenbau

Analysen zur Erstellung eines Modulbaukastens für Produktionsanlagen bei zwei Industrieunternehmen



# Modulbildung mit Design Structure Matrix (DSM)

**Komponentenkl**  
einste Einheiten  
aufgeteilt nach  
Domänen:

- Mechanik
- E/E
- Software

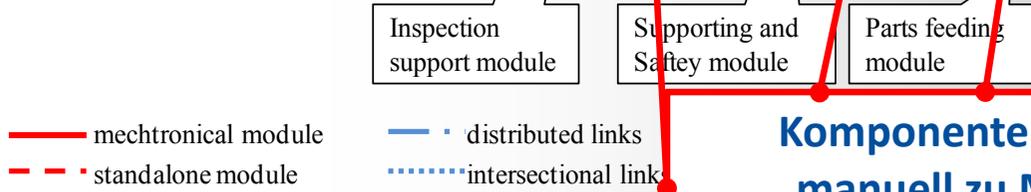
**KPI:** Benötigt  
eine  
Komponente  
eine andere,  
um die  
Funktion zu  
erfüllen?

Matrix after clustering:	28	31	29	5	21	7	6	20	32	17	15	3	9	26	2	1
Camera-interface	28	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Image sensor	25	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Drive testing part rotation	31	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Image analysis software	29	2	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0
Screw-gripper	5	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0
Control lifting-turn-unit	21	0	0	0	0	2	1	2	2	0	0	0	1	2	0	0
Drive Turning	7	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	1	2	2	0
Drive Lifting	6	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	1	2	2	0
Illumination	27	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0
Rotary indexing table	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	0	0
Control testing part rotation	32	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0
HMI	17	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	2	0	0	0
PLC	15	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0
Drive for Rotary indexing table	3	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0
Pneumatics testing system	9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Lifting-turning-unit	4	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	1	0	0
Illumination	26	0	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0
Adaptor testing part	2	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
Rotary indexing table	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0
Camera body	24	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Guidance for sorting of testing part	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Control software	22	0	0	0	2	1	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0
Safety equipment	18	2	2	2	0	1	1	1	1	1	1	0	0	2	0	0
Control centrifugal feeder	16	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0
Machine frame	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
Separation	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DC motor centrifugal feeder	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frame of centrifugal feeder	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drum	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Driveshaft of centrifugal feeder	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Komponenten, die keinem  
Modul zugeordnet sind,  
bilden Schnittstellen**

**Komponenten werden  
manuell zu Modulen  
zusammengefasst**

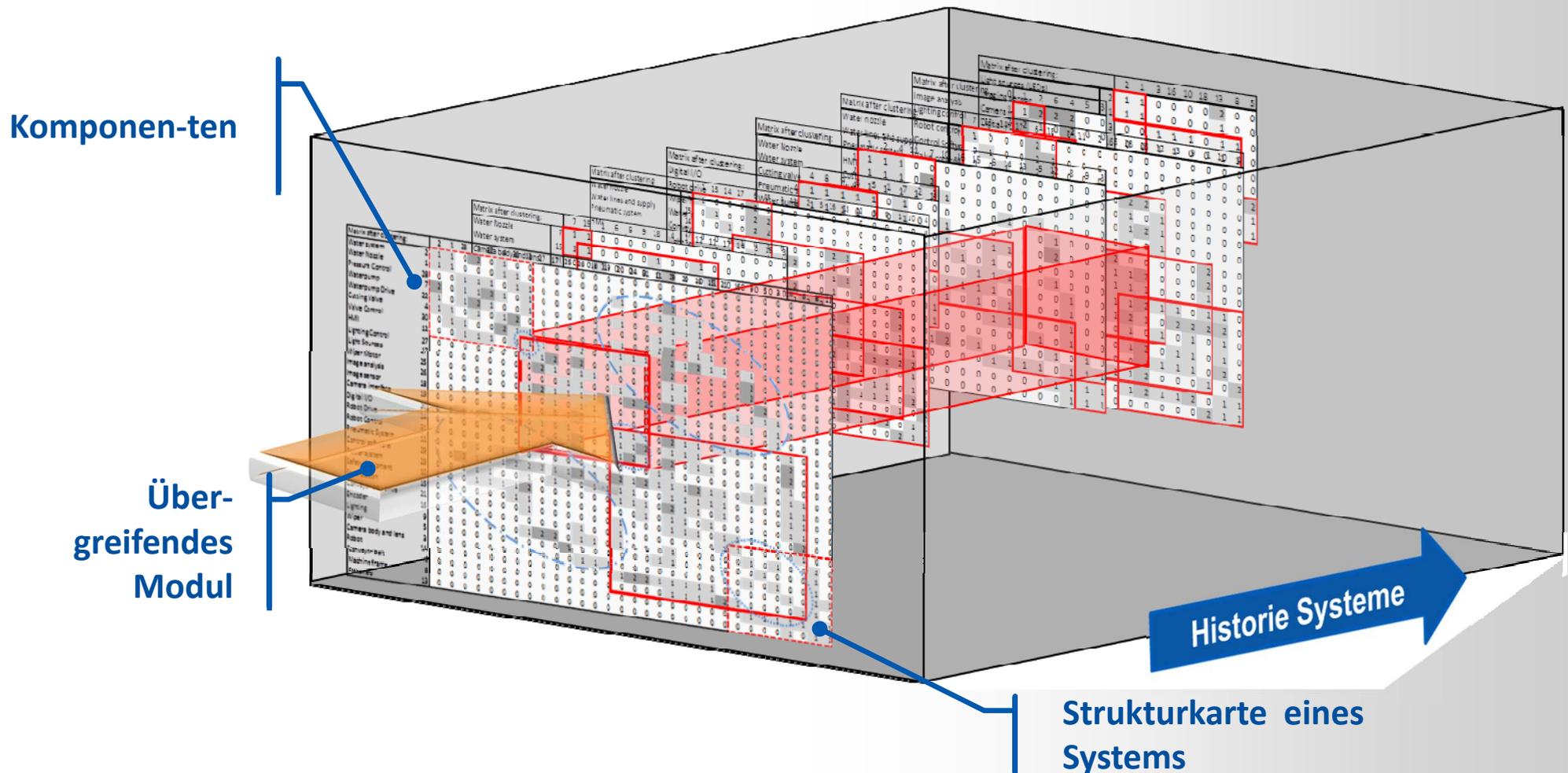
Interaction	Weight
Required	2
Desired	1
Indifferent	0



Inspection support module    Supporting and Safety module    Parts feeding module

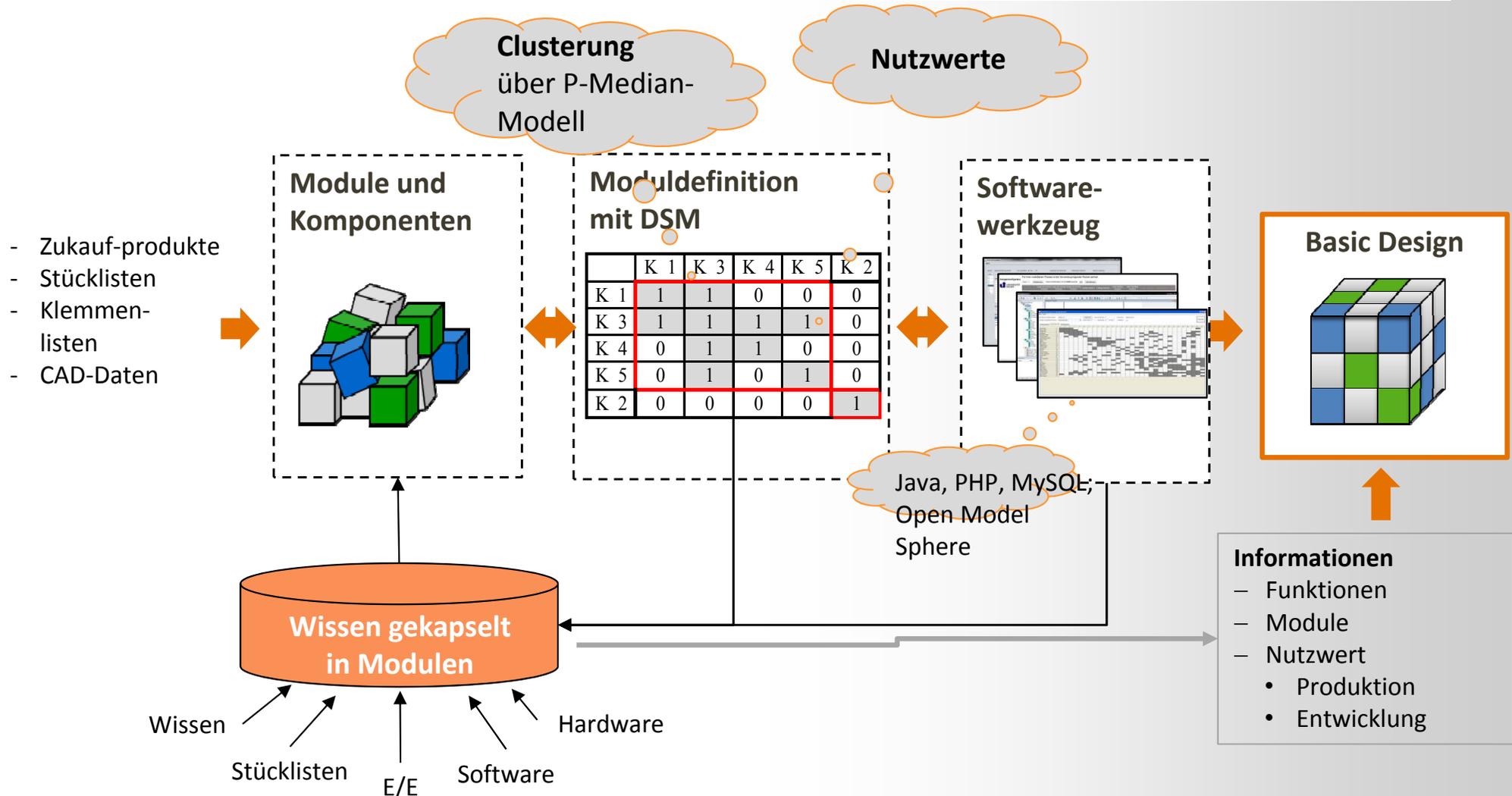
# Übergreifende Bildung von Modulen

Identifikation und Optimierung von wiederkehrenden Modulen aus Komponenten



# Modularisierung in der Grobkonzeption

Es steht ein Web-Tool zur Datenerfassung, Cluster- und Nutzwertanalyse zur Verfügung



# Inhalt

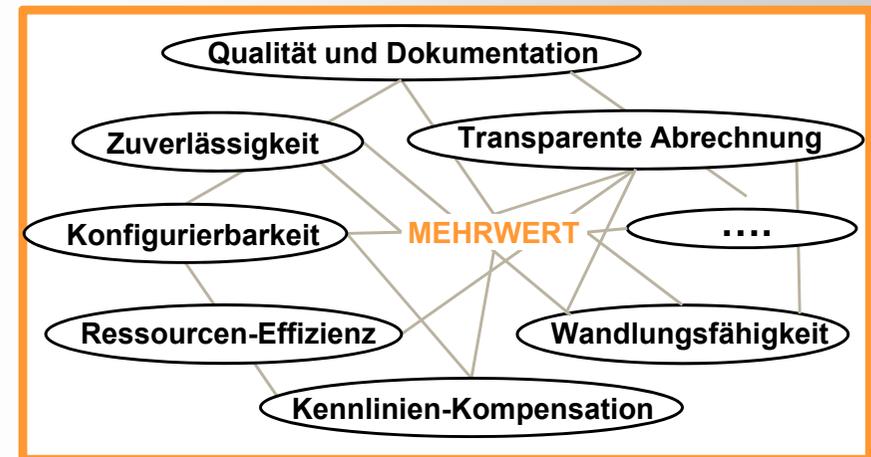
- 
- Vorstellung des IAS
  - Cyber-physische Automatisierungssysteme
  - Forschung Industrie 4.0
    - Referenzprozesse
    - Steuerungs-Architekturen
    - Modulares Engineering
  - Zusammenfassung und Ausblick

## Schlüsselfaktoren

Geschäftserfolg neuer Technologie-Produkte der Industrie 4.0?

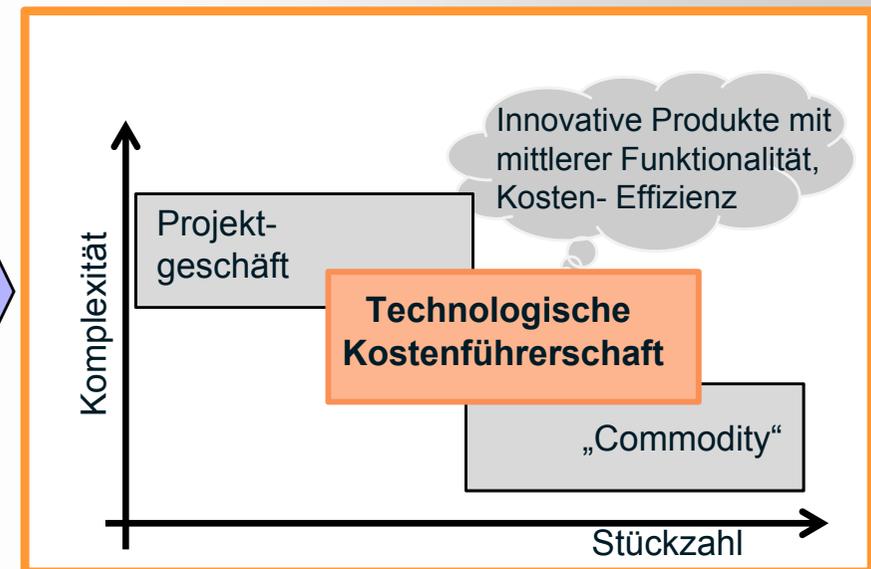
**Nutzenversprechen –  
Welchen konkreten Wert stiften  
Cyber-physische Systeme in der  
Automatisierungstechnik?**

- Es bedarf **Demonstrationen** anhand konkreter Anwendungsszenarien und Untersuchungen zum **Mehrwert**



**Architektur der Wertschöpfung –  
In welcher Konfiguration wird die Technologie  
erstellt?**

- **Entwurfssystematiken** zur Integration und Modularisierung, z.B. Software-Agenten
- Strategien und Verfahren zur **Komplexitätsreduktion** anhand von Industrie-Szenarien



## Forschung am IAS

### Orientierung an der Anwendung:

Automotive, produzierende Industrie und urbane Lebenswelt



### Fragestellungen:

- Wie lassen sich Automatisierungssysteme komponieren?
  - Funktionen durch Vernetzung
  - dezentrale Koordination
  - Agentensteuerungen
  - Adaption und Lernen
- Zuverlässigkeit und Sicherheit von Automatisierungssystemen?
  - Evaluation und Testmanagement
  - Bedien- und Benutzbarkeit





## Vielen Dank für Ihr Interesse

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich

Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 47

70550 Stuttgart

Email: [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)