

Internet of Things / Industrial Internet

Industrie 4.0

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Prozesse und Systeme
Universität Potsdam

Chair of Business Informatics
Processes and Systems
University of Potsdam

Univ.-Prof. Dr.–Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhlinhaber | *Chairholder*

Mail August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany
Visitors Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam
Tel +49 331 977 3322

E-Mail ngronau@lswi.de
Web lswi.de

Hörsaal-Quiz
QuickCheck Runde 1 – Recap VL Manufacturing Analytics

Öffnet die App über den QR-Code oder über den Link.

https://quiz.lswi.de/login

Passwort: iiot

Lernziele

Die Studierenden können nach dieser Lerneinheit

1. … die Komponenten ein cyber-physisches Systems benennen und deren Zusammenwirken erläutern.
2. … die Fähigkeiten eines CPS beschreiben und die Elemente in der Produktion identifizieren, die als CPS aufgefasst werden können.
3. … die drei wesensbestimmenden Merkmale von Industrie 4.0 benennen.
4. … den Begriff Reifegradmodell definieren und ausgewählte Reifegradmodelle für die Industrie 4.0 benennen.
5. … die zentralen Wirkgrößen identifizieren, die bei Industrie 4.0- und IoT-Projekten zu berücksichtigen sind?

Quelle:



Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

Prof. Günter Schuh, RWTH Aachen

„Industrie 4.0 ist ein Heilmittel für das viele Suchen und Warten, das Unternehmen nicht in ihren Prozessen haben. Der Einsteig in das Thema gelingt also am besten, indem man ganz pragmatisch überlegt, wo am meisten nach Informationen gesucht oder auf Input gewartet wird“

-Prof. Günther Schuh

Quelle: Hoffmann 2017

Suchbegriff oder Websitename eingeben

Ohne Titel

Industrie 4.0

Suchen und Finden

Auf gut Glück!

Seit wann sind Barcodes Industrie 4.0?

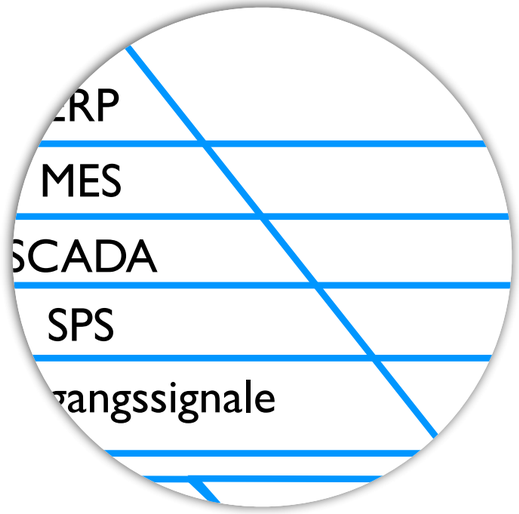
Was ist Industrie 4.0 nicht?



Menschenleere Fabrik



Fortsetzung alter Konzepte



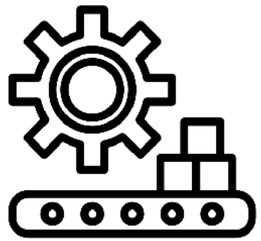
Top-down getrieben

Die Industriellen Revolutionen
Transformation von Industrien und Innovation-Fortschritte



Industrie 1.0
- Mechanisierung
- Dampf-/Wasserkraft

- Eine Maschine
- Viele Nutzer



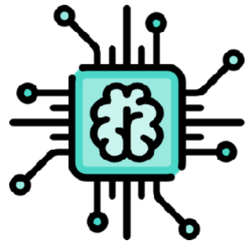
Industrie 2.0
- Massenproduktion
- Elektrizität

- Viele Maschinen
- Viele Nutzer



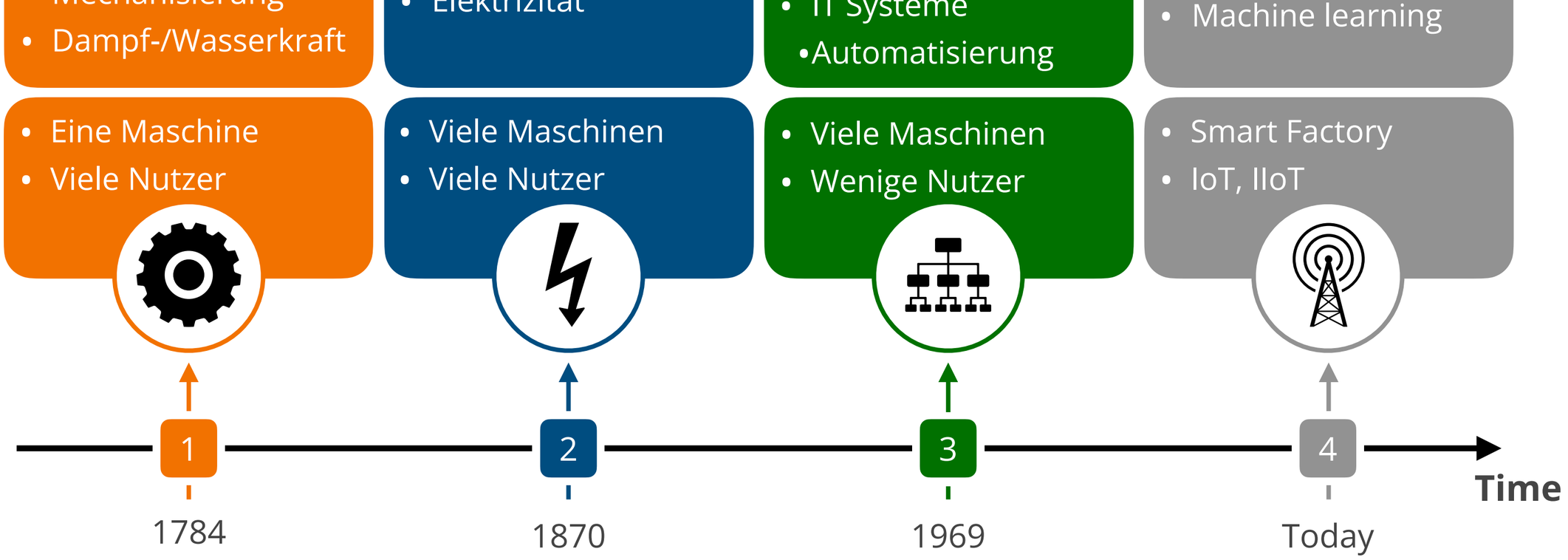
Industrie 3.0
- Elektronische Systeme
- IT Systeme
- Automatisierung

- Viele Maschinen
- Wenige Nutzer



Industrie 4.0
- Cyber physische Systeme
- Autonome Systeme
- Machine learning

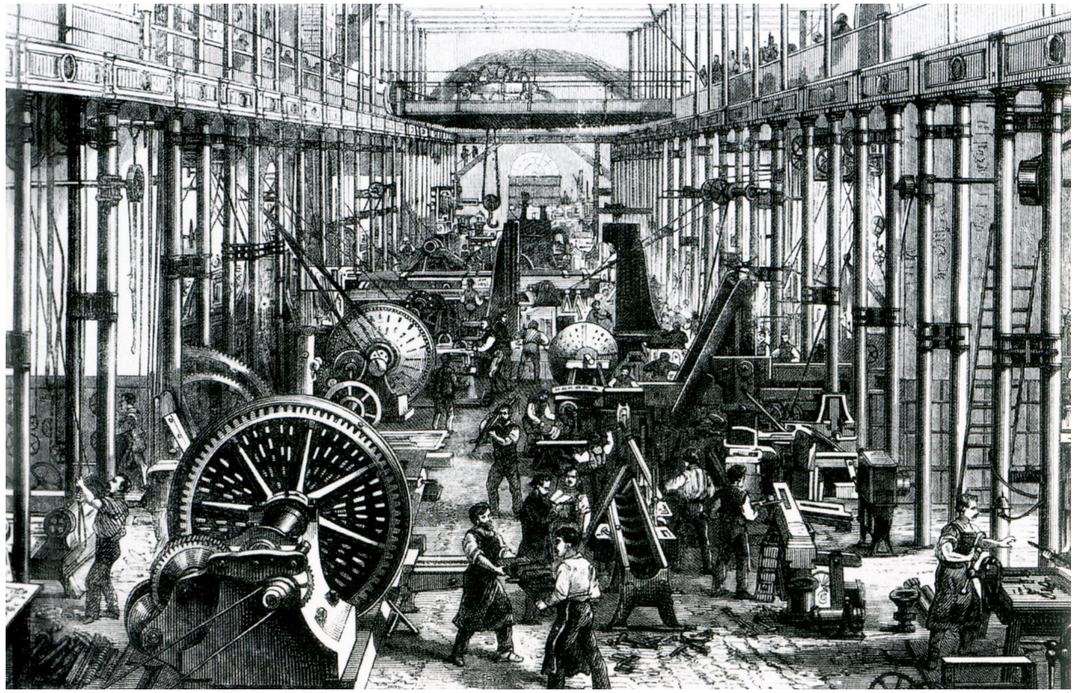
- Smart Factory
- IoT, IIoT



Source: Klaus Schwab (2016)

Von 1.0 zu 4.0

Industrie 1.0



Bildquelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hartmann_Maschinenhalle_1868_(01).jpg

- Mechanisierung mit Dampfkraft
- Erste Produktionsanlagen
  ➔ Textilindustrie, Schwerindustrie

Industrie 2.0



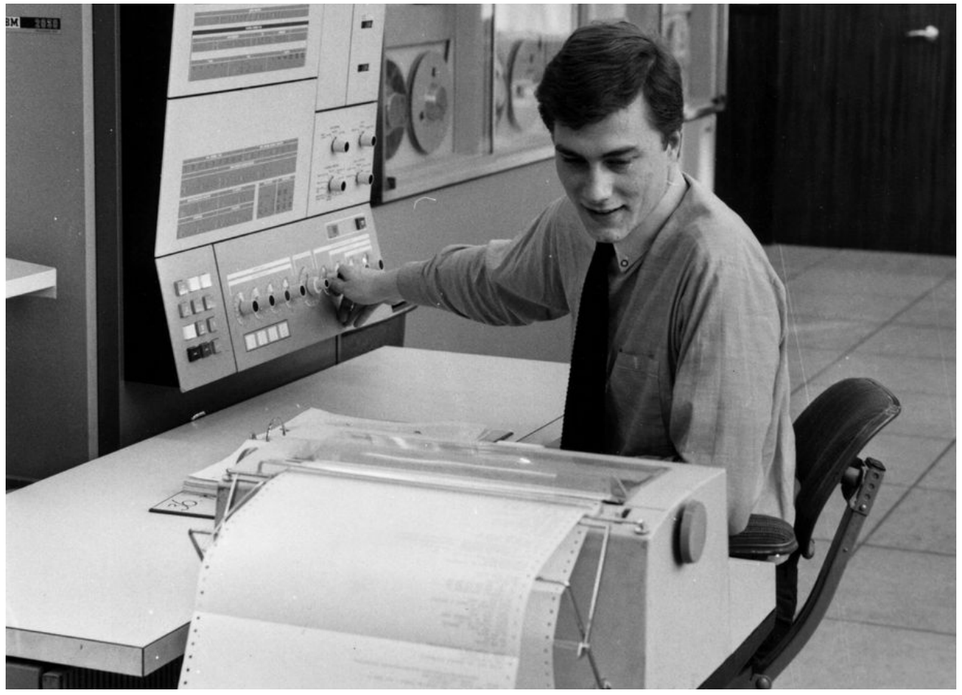
Bildquelle: https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/wirtschaft/industrialisierung_in_deutschland/pwiedasfliessbandeineerfolgsgeschichte100.html

- Elektrizität
- Massenproduktion mit Fließband
  ➔ Automobilindustrie

Elektrizität und das Fließband starteten die Erfolgsgeschichte der Automobilindustrie

Von 1.0 zu 4.0

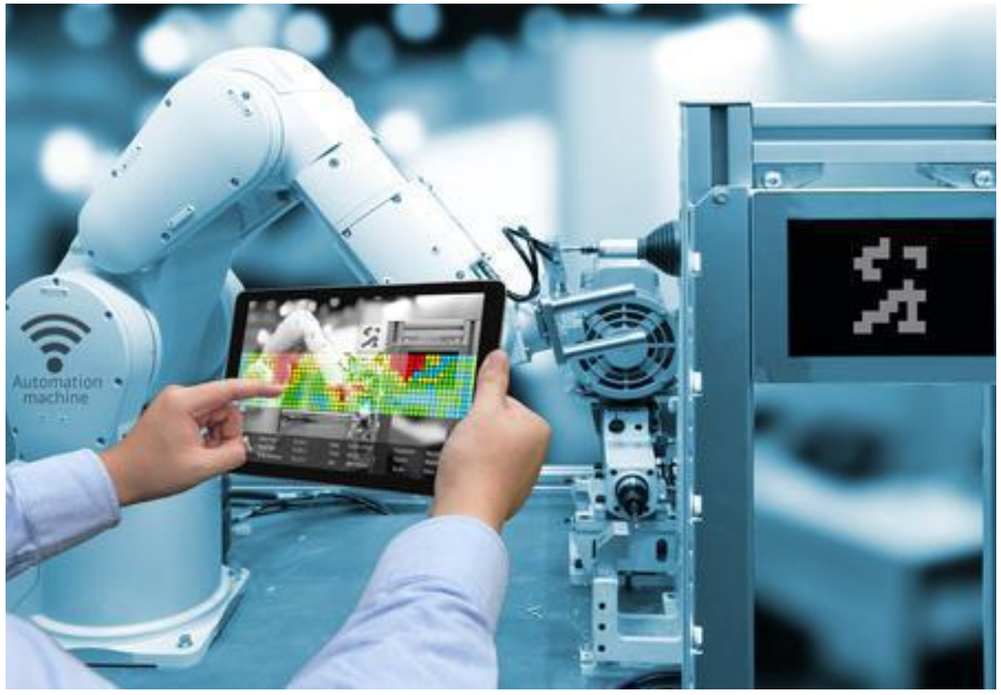
Industrie 3.0



Bildquelle: https://www.spiegel.de/fotostrecke/von-der-industrie-1-0-bis-4-0-fotostrecke-125537.html

- Computertechnologie
- Automatisierung durch Elektronik
- IT Durchdringung in der Produktion

Industrie 4.0

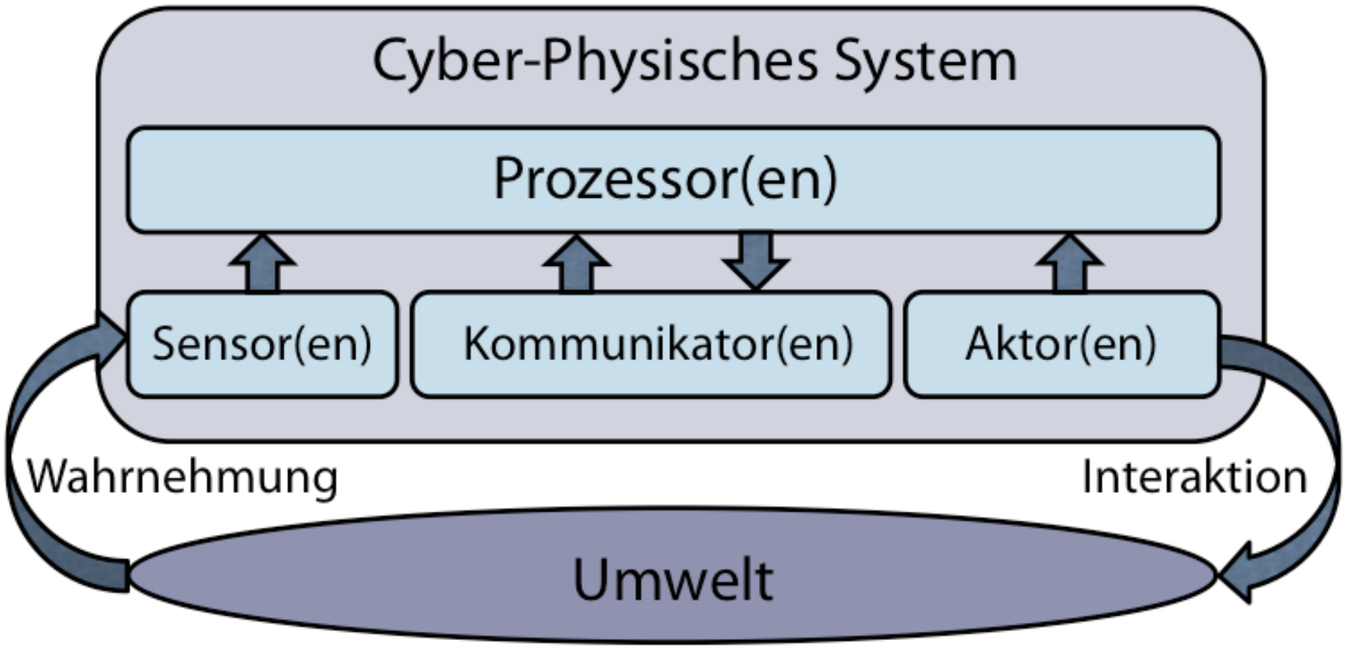


Bildquelle: https://www.invest-in-bavaria.com/blog/beitrag/produktion-40-in-bayern-starke-industrie-dank-digitalisierung.html

- Vernetzung, Kommunikation, Information
- Datenaustausch zwischen Maschinen (IoT)
- Kundenindividuelle Produkte zu Bedingungen der Massenproduktion

Cyber-physische Systeme

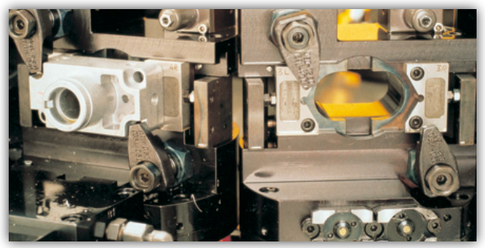
Kleiner preiswerter



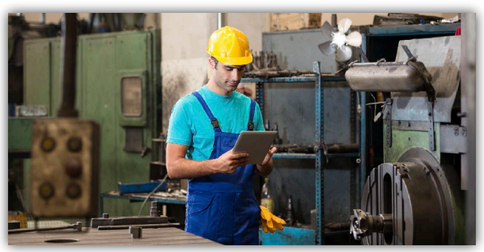
mit dem Internet verbunden



Maschine



Werkstück



Menschen



Ladungs-träger



Fördermittel

Quelle: i.A.a. Veigt 2013, S. 16

Abgrenzung Smart Factory, I40, IoT

Factory Operations

INDUSTRY 4.0

Platform Solution

Cimetrix APPS

Customer Developed APPS

Ecosystem 3rd Party APPS

API AND COMMON SERVICES

SECS/ GEM

EDA

OPC, OPC UA, PLC

AMQP (CFX)

MQTT

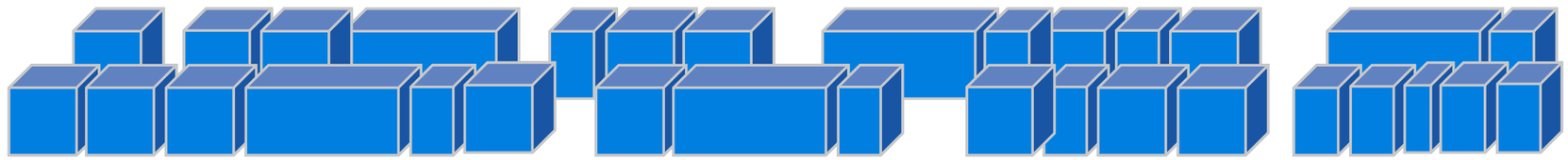
ELS

Custom Equipment Drivers

DATA & CONTROL

SMART FACTORY

Factory Equipment, Tools, Sensors



INDUSTRIAL IOT

Quelle: Sapience

„Vision ist die selbstorganisierte Fabrik, in der intelligente und teilautonome Objekte interagieren und es gelingt, die zunehmende Individualisierung der Produkte mit den Vorteilen von Großserienproduktion zu verbinden (Mass Customization).“

- ★ Intelligentes Objekt
- ★ Teilautonomes Objekt
- ★ Individualisiertes Produkt
- ★ Dezentrale Steuerung

Quelle: Gronau 2020



Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

IT als Treiber







mehr Daten

bessere Algorithmen

weltweite Vernetzung

höhere Geschwindigkeit (Realtime)

Hindernisse bei Anbietern von Industrie 4.0-Technologien

1: Mangelnde Langfristorientierung

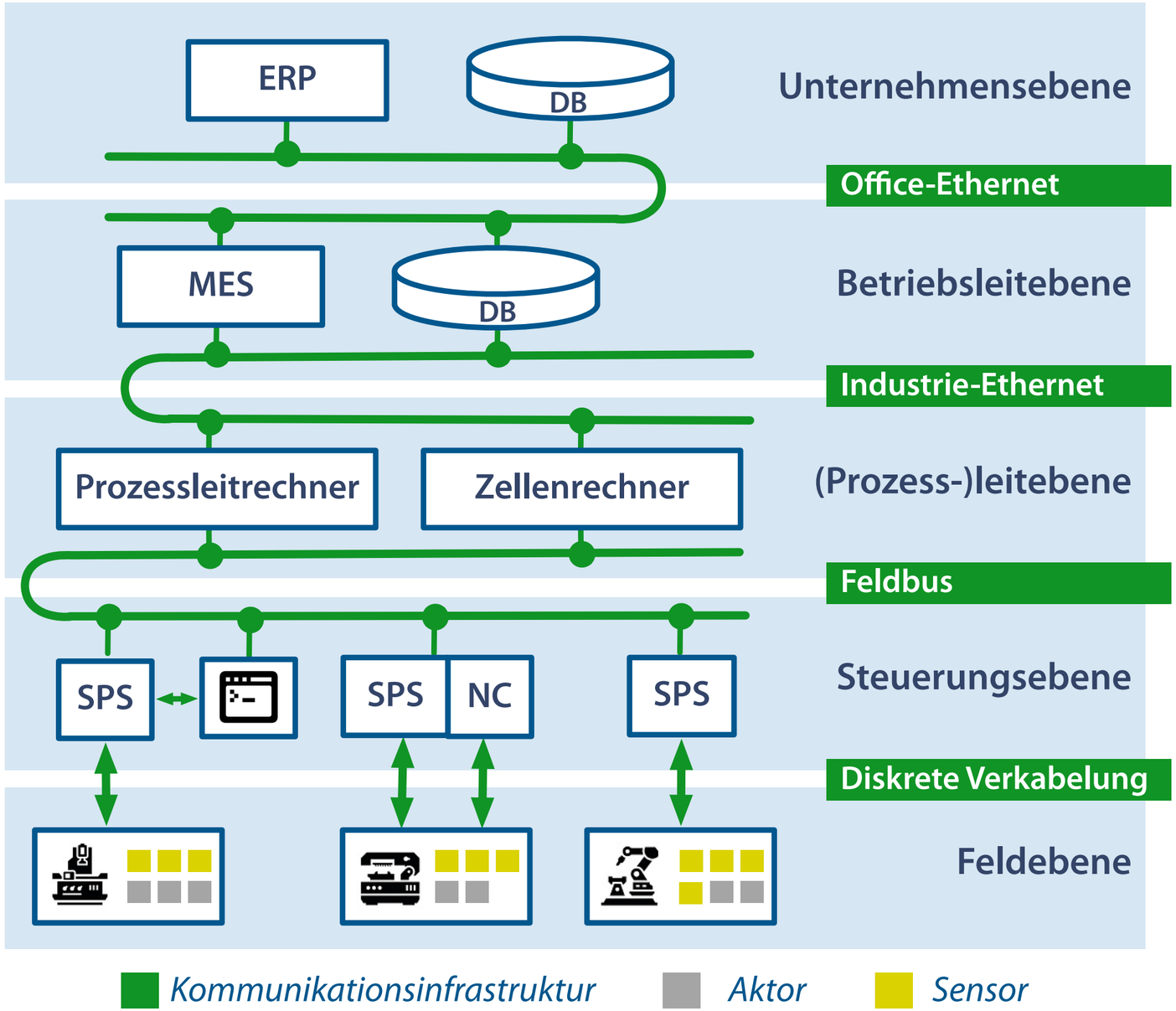
- Erst den Begriff verkaufen und die Lösung dann später entwickeln
- Auf Kostendruck mit Kostensteigerung antworten
- Immer den Blick auf das Quartalsende

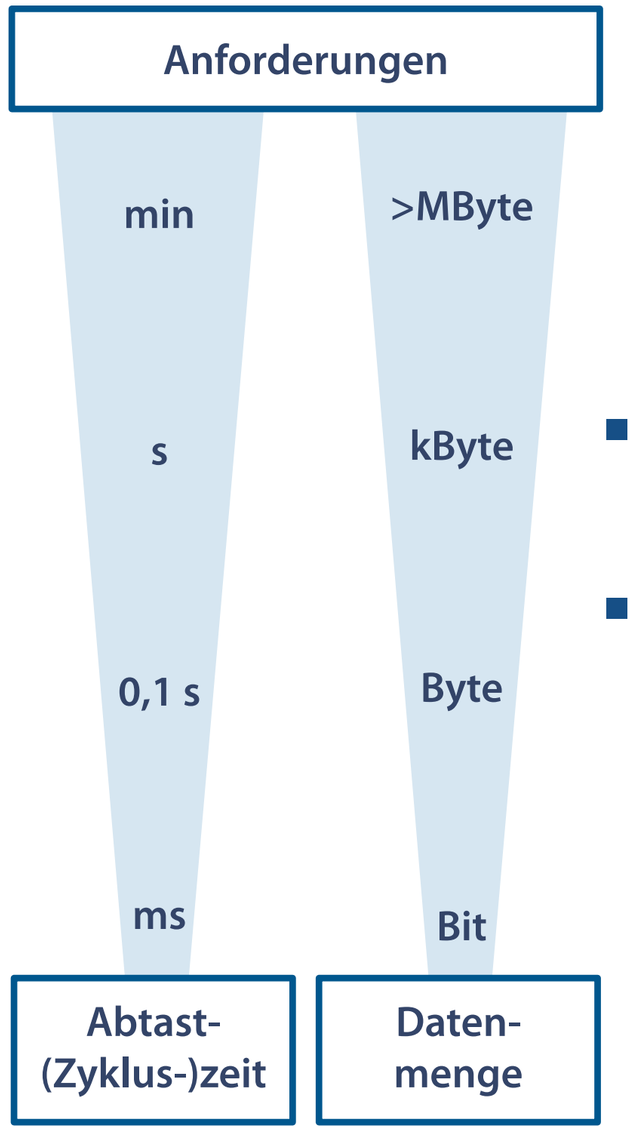
2: Egoismus

- Zu wenig Interesse an der Entwicklung von Standards
- Schwerfälligkeit bei Kooperationen
- Eigener Nutzen vor Kundennutzen

Quelle:

Hindernis 3: Architektur





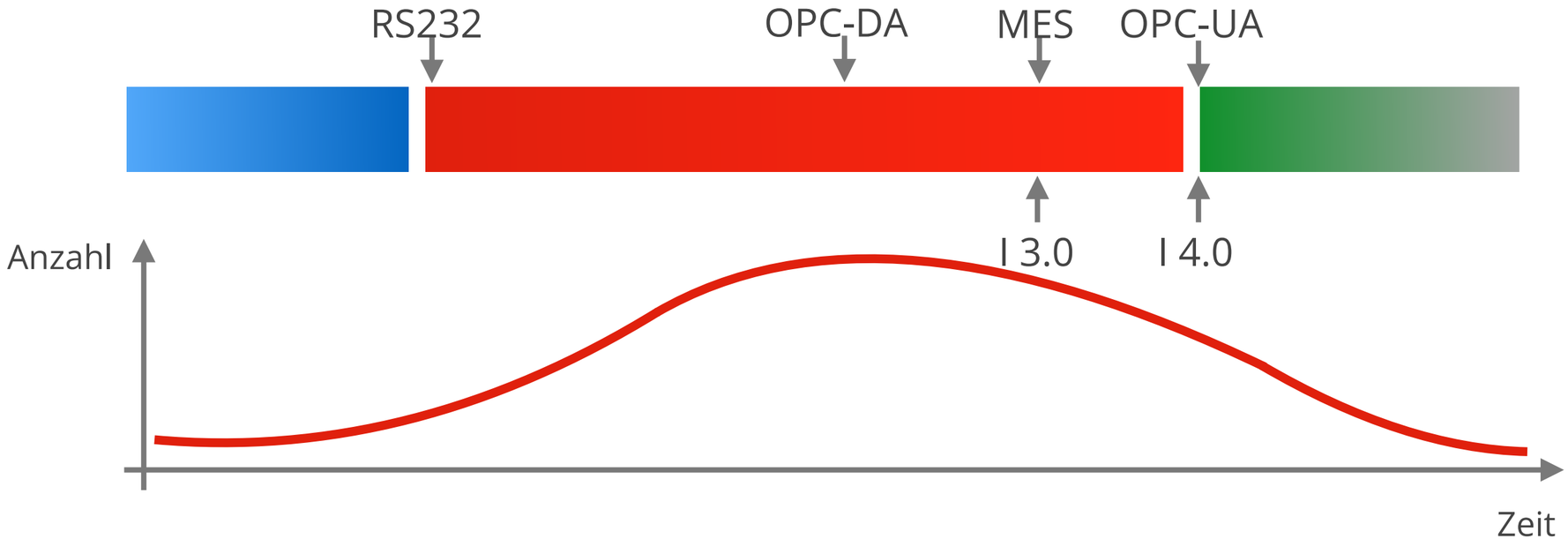
- Echtzeitfähigkeit für herkömmliche ERP/MES?
- Massive DV-Fähigkeit für die Automatisierungs-ebene?

Quelle:i. A. a. Schnell 2013, S. 102]

Herausforderung Brownfield
I4.0-Implementierung in Bestandssystemen

- Viele Generationen an Subsystemen
- Zoo von Schnittstellen und Adaptoren
- Proprietäre Dateninseln
- Workflows mit viel Papier

- OPC-UA: Open Platform Communications - Unified Architecture
- OPC-DA: Open Platform Communications - Data Access



Die Implementierung von I4.0 muss unter Verwendung vorhandener Systeme und Anlagen erfolgen.



Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

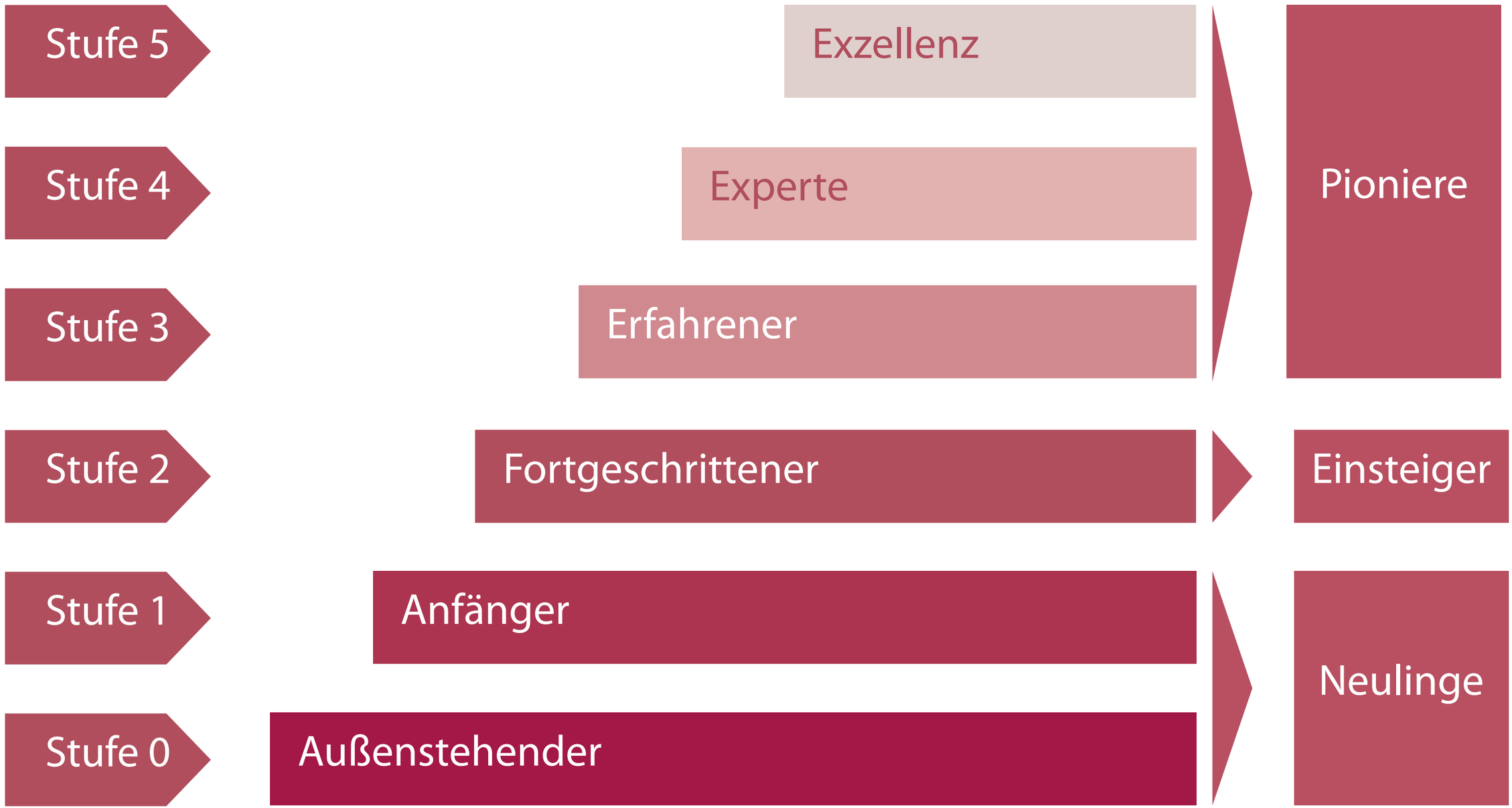
Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

Industrie 4.0 Readyness-Index



Quelle: VDMA

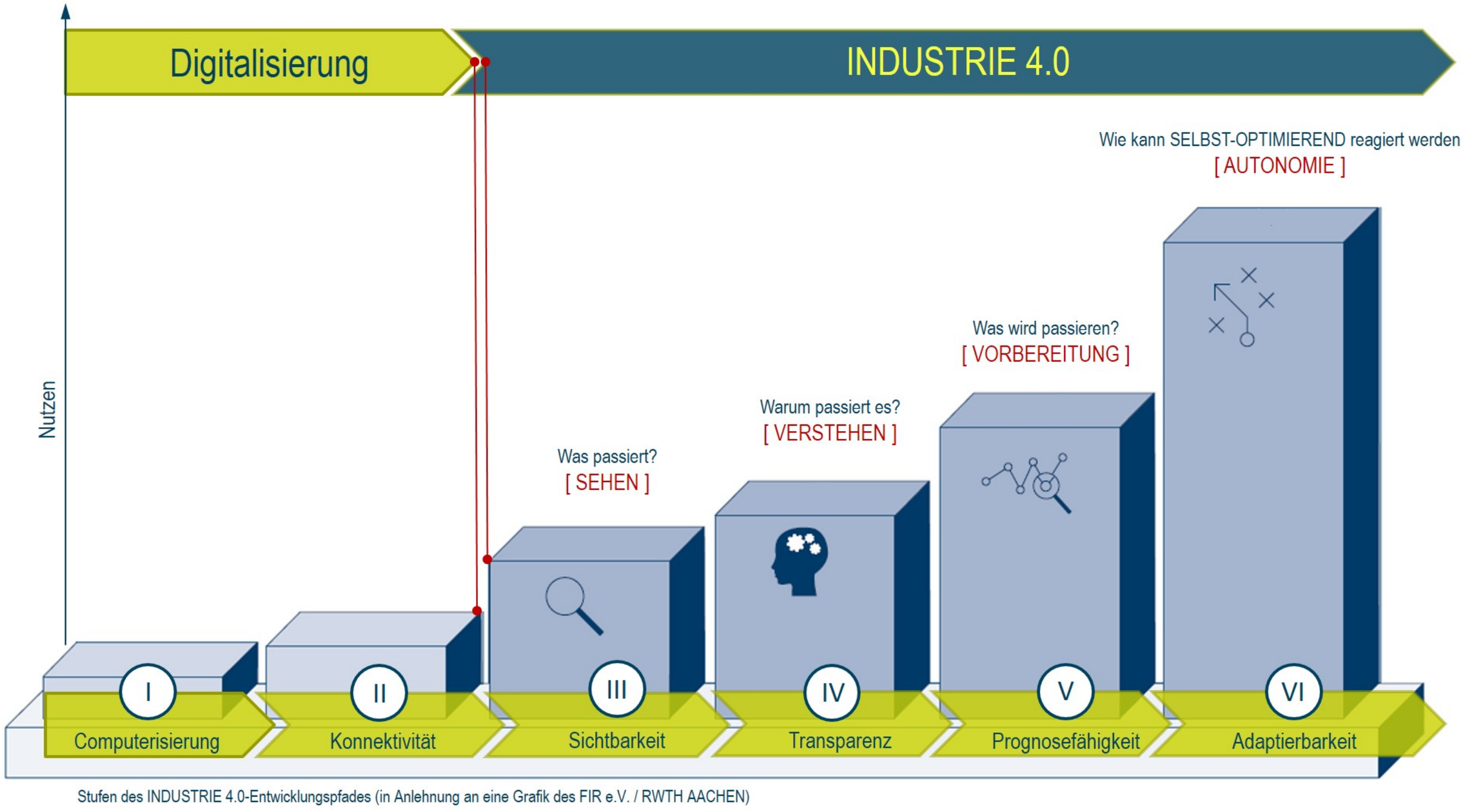
In vier Stufen zur Industrie 4.0

	Prozesse	IT
Industrie 4.0	Weitere Flexibilisierung der Fertigungsorganisation, flexible Produktionssysteme	Vernetzung aller Ressourcen (CPS), MES-basiertes integratives Datenmanagement
Stufe 3	Supply-Chain Integration (Lieferanten/Kunden)	Volle vertikale und horizontale Integration (VDI 5600)
Stufe 2	Fertigungssegmentierung, Fließfertigung (FIFO/Kanban)	MES-basierte reaktive Feinplanung (dezentral)
Stufe 1	Stabile Produktionsprozesse, wenig organisiert	MES-basierte Datenerfassung (MDE, BDE, CAQ)
Stufe 0	Instabile Produktionsprozesse, wenig organisiert	Nur ERP-System und Insellösung

Personal Veränderungsbereitschaft

Quelle: mpdv

Maturity-Index des FIR



Stufen des INDUSTRIE 4.0-Entwicklungspfades (in Anlehnung an eine Grafik des FIR e.V. / RWTH AACHEN)

Quelle: FIR



Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

Wirkung von Internet of Things und Industry 4.0 auf Geschäftsprozesse



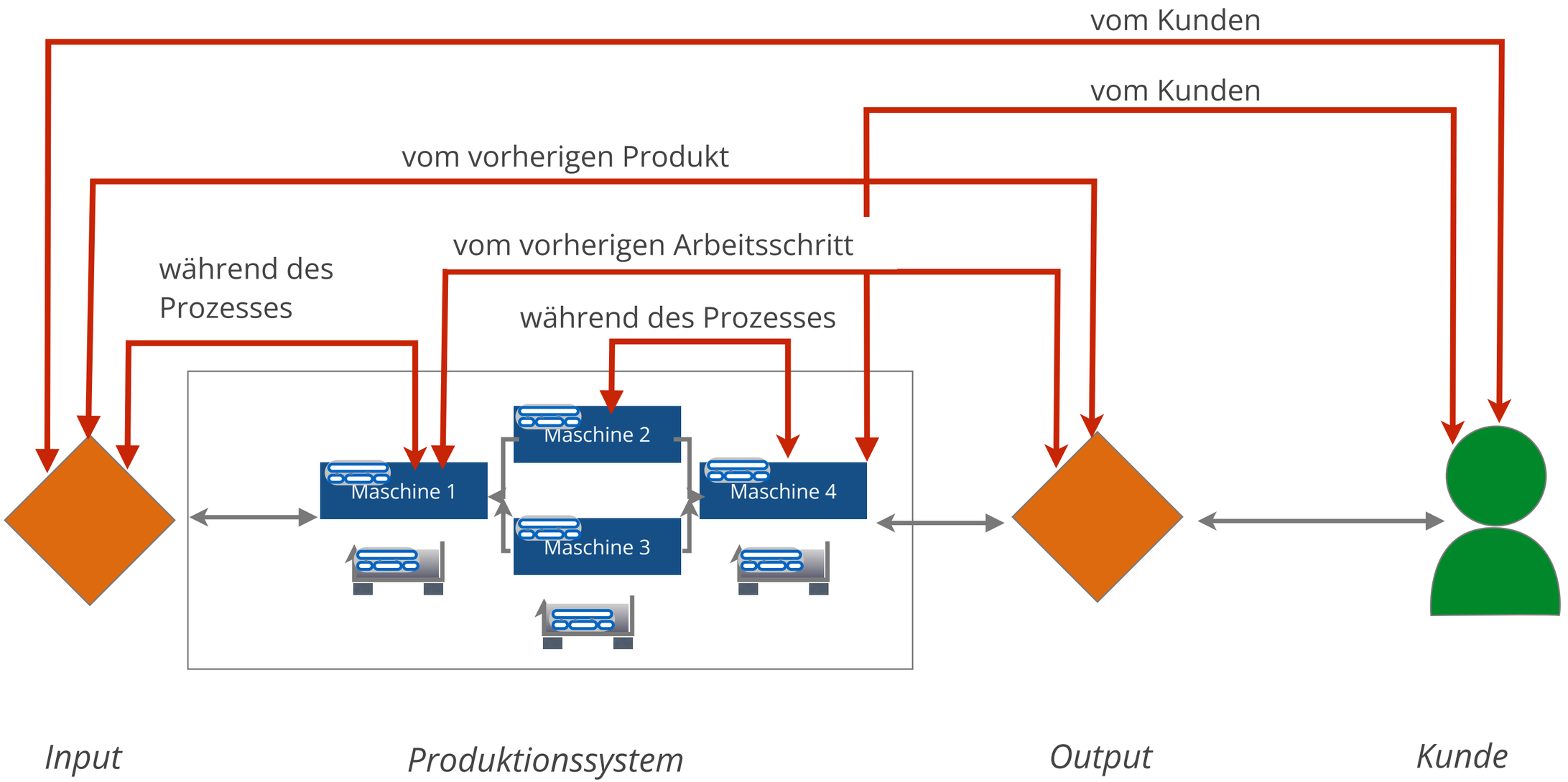








Mit cyber-physischen Systemen mögliche Rückkopplungen



Einflussbereiche





Diese Wirkkräfte wirken im Verbund!





Diese Einflussbereiche werden die vier Wirkkräfte von Industrie 4.0 genannt.



Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

Vorgehensmodell zur Identifikation möglicher Vorteile von Industrie 4.0

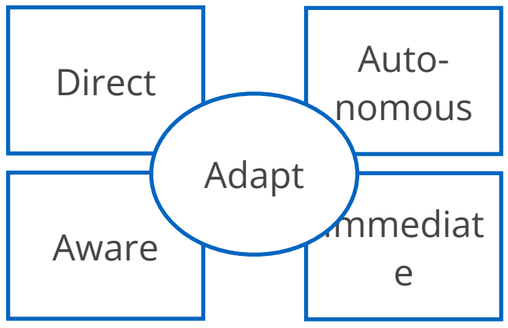


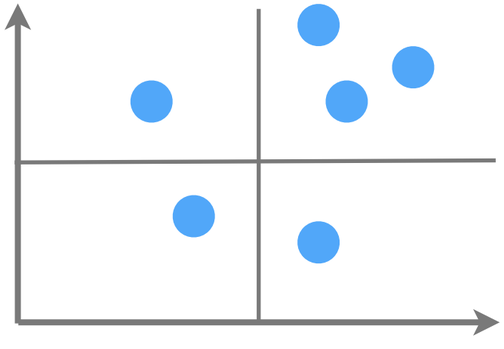
Dabei müssen alle Wertschöpfungsprozesse betrachtet werden.

Quelle: Gronau 2016

Die Schritte des Vorgehensmodells







Quelle: Gronau 2016

Identifikation von Treibern des Geschäfts

- Marktkräfte
- Turbulenzanalyse
- Rahmenbedingungen

Ideengenerierung

- Leitmotive als Ideengeber
- Progressive Abstraktion
- Betrachtung jedes Prozesselements

Evaluierung

- Beurteilung der Ideen
- Identifikation von Abhängigkeiten
- Ausformulierung des Maßnahmenplans

Beispiel aus der Konsumgüterindustrie

Prozess

- Bins observe consumption
- Flexible material procurement
- Faster product ramp-up
- New storage organization

Produkt

- Personal scent
- Individual wrapping
- Individual components
- Stain recognition

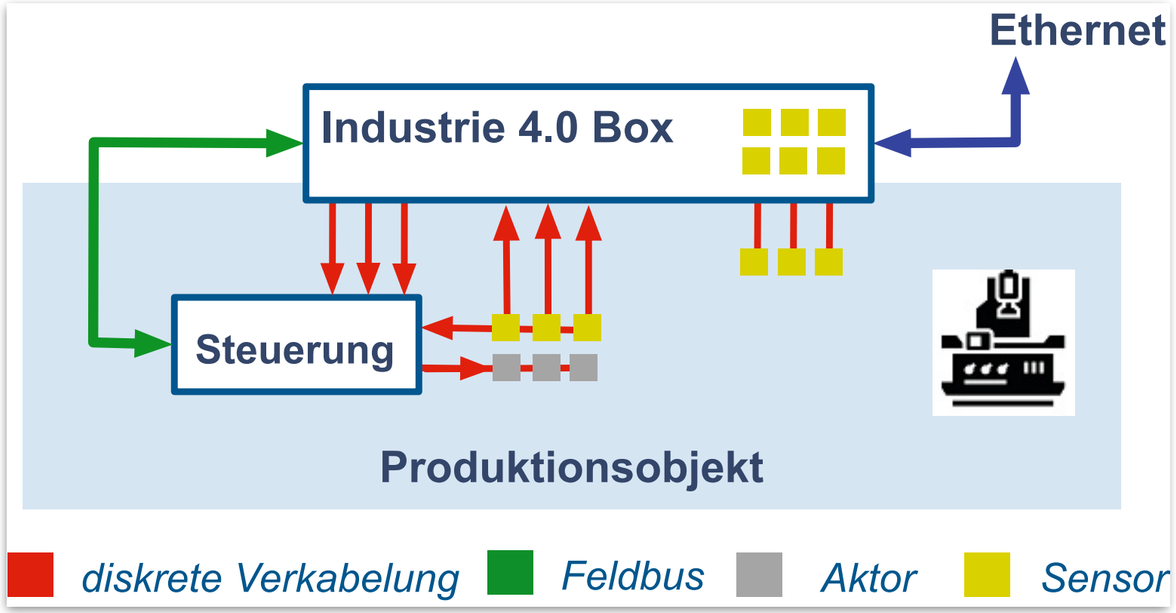
Markt

- Communication between machine
- Individual dosage depending on contamination
- Personal detergent subscription

Mitarbeiter

- Individual employee work plan
- Competency-based worker-machine allocation

Industrie 4.0 mit Bestandssystemen
I4.0 Box des Forschungs- und Anwendungszentrums I4.0

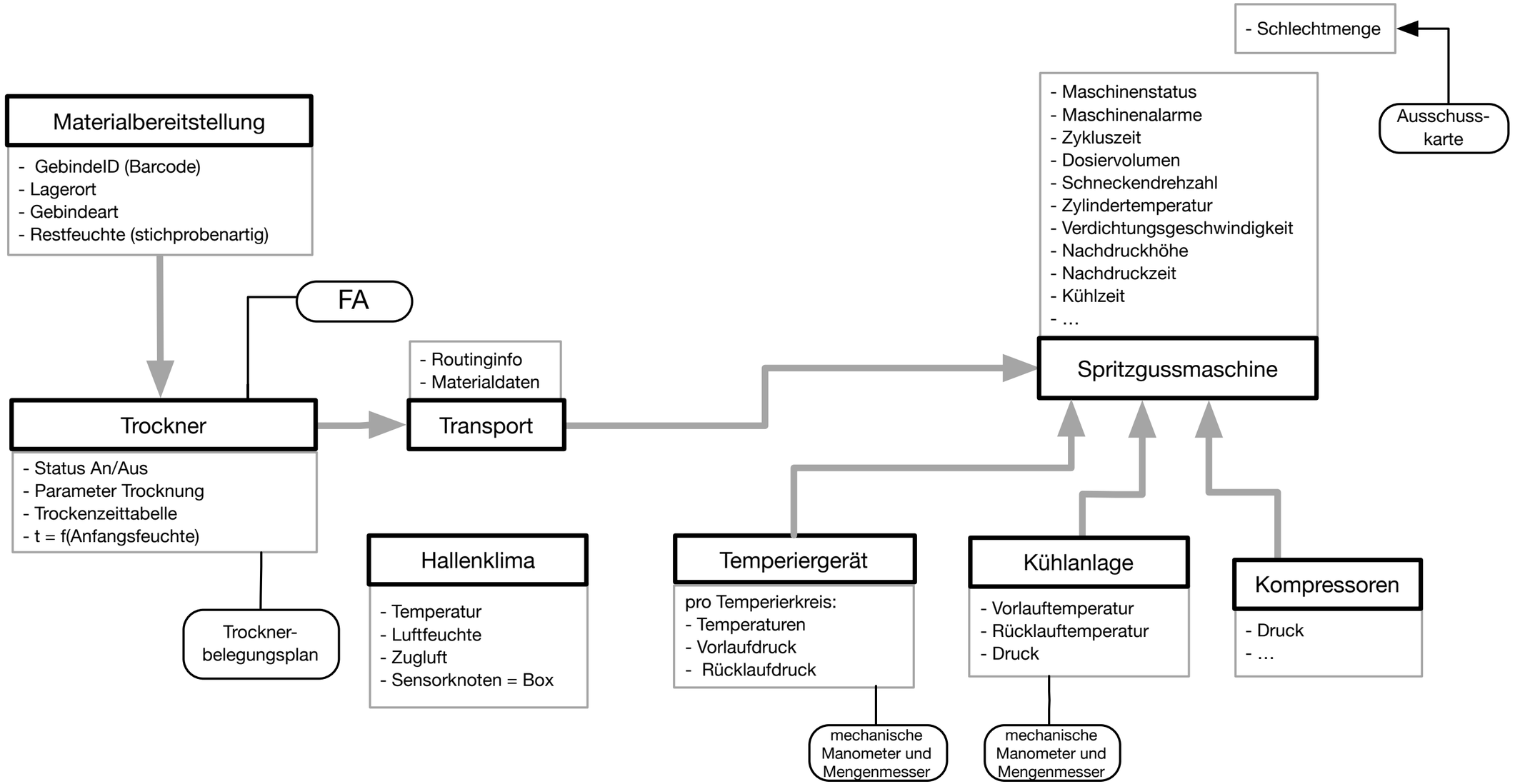




- Grundlage ist RaspberryPi als flexibles Rechensystem
- IO-Platine zum bedarfsgerechten Anschluss diverser Aktorik und Sensorik (z.B. 24V-basierte Industriekomponenten)

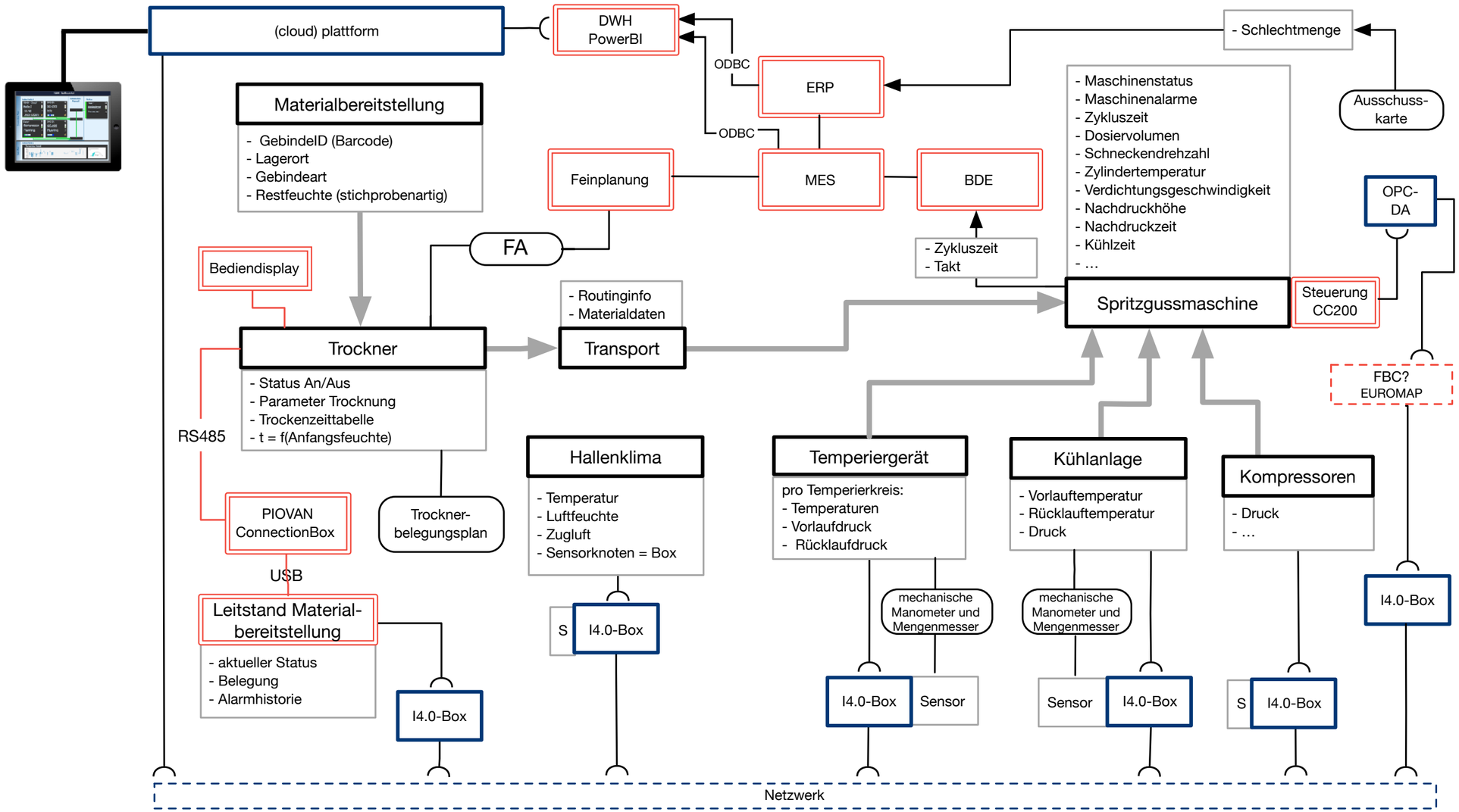
Die CPS-Befähigung der Produktionsobjekte geschieht durch Ergänzung bestehender Systeme (Retrofit).

Anwendungsfall: Ganzheitliches Monitoring im Spritzguss Prozess



FA: Fertigungsauftrag

Retrofit mit der I4.0-Box
Beispiel Ganzheitliches Monitoring im Spritzguss



FA:	Fertigungsauftrag	BDE:	Betriebsdatenerfassung
ERP:	Enterprise Resource Planing System	ODBC:	Open Database Connectivity
MES:	Manufacturing Execution System	DWH:	Data Warehouse

Visualisierung;
Mobiles Dashboard





Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

Recap
Vermittelte Inhalte in IIoT

Entwickeln

- Produktentwicklung
- CAD
- Rapid Prototyping

Vernetzen

- Sensorik
- Protokolle und Standards
- Infrastrukturen

Automatisieren

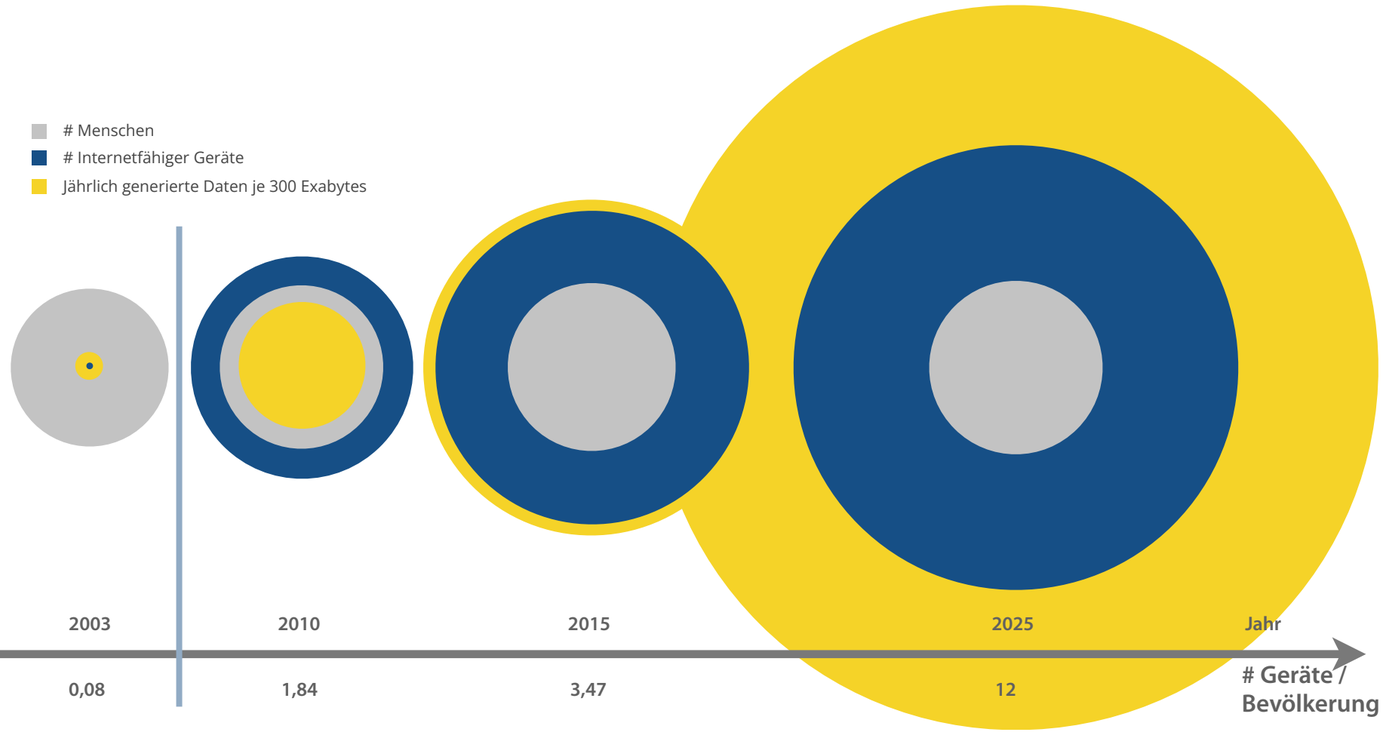
- Automatisierungstechnik
- Robotik
- Rapid Prototyping

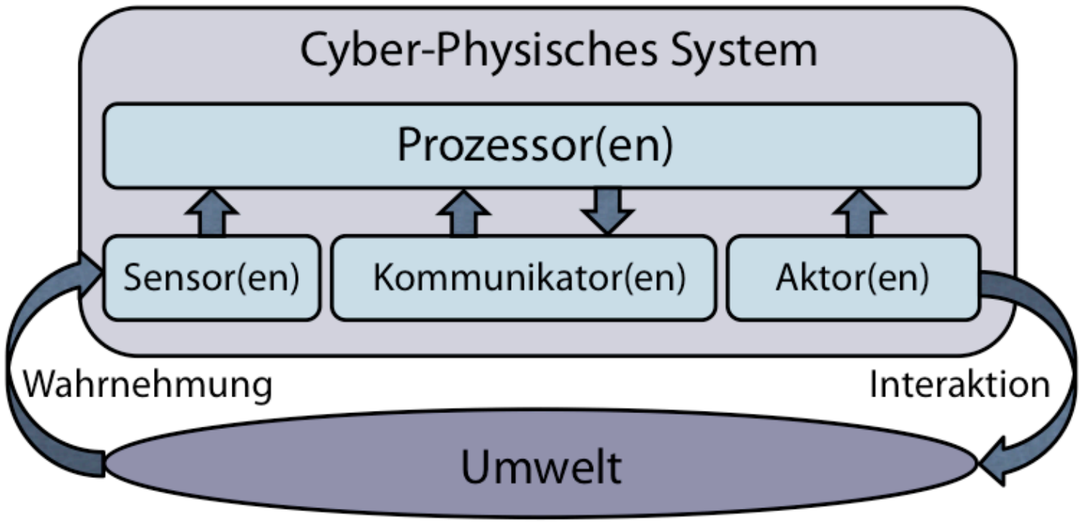
Auswerten

- Manufacturing Analytics
- Big Data

Grundlagen für Industrie 4.0 sind Internet of Things und Cyber-physische Systeme. Daraus können Smarte Produkte, Sensornetzwerke und Autonomie in der Produktion erreicht werden.

IIoT und CPS



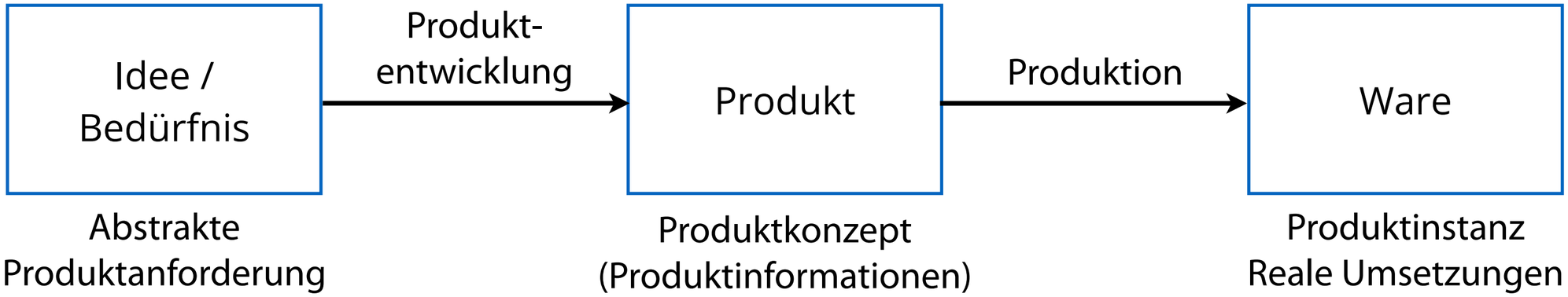


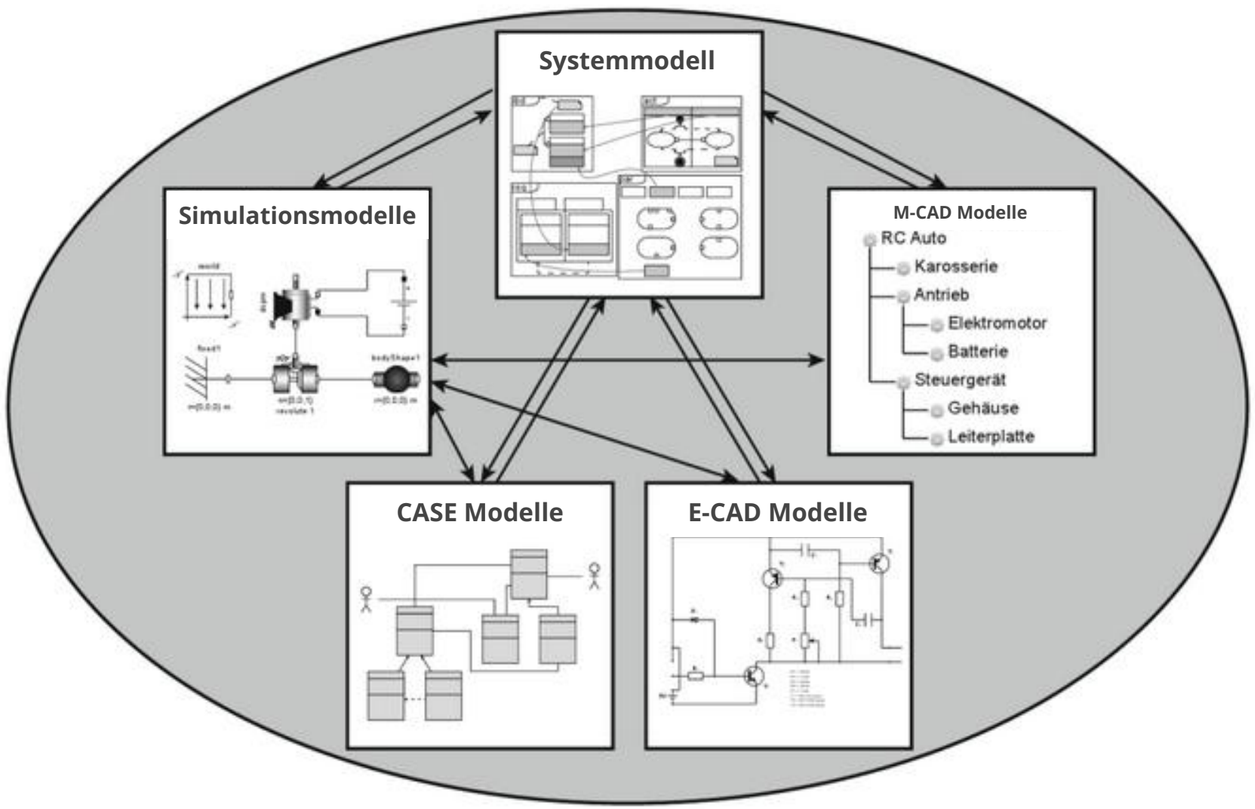
Strukturelemente cyber-physischer Systeme

- Sensoren zur unmittelbaren Erfassung physikalischer Daten
- Sensoren bilden Grundlage für die Erfassung der Umgebungssituation und somit für Adaptivität von CPS-Komponente
- CPS können Sensordaten lokal (vor-)verarbeiten und darauf basierend Entscheidungen treffen
- Aktoren dienen der Umsetzung der Aktionen durch Einwirkung auf die Umwelt
- Kommunikatoren ermöglichen die Übertragung von Informationen, Steuersignalen sowie Abstimmung

Quelle: basierend auf Statista (2023)

Produktentwicklung



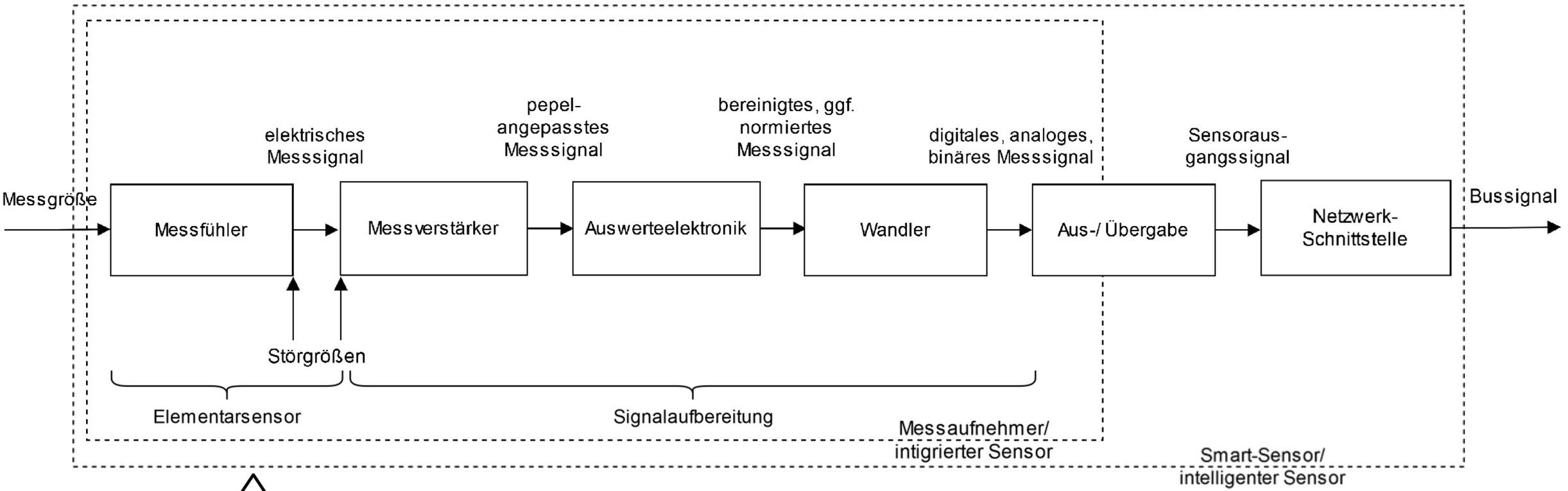


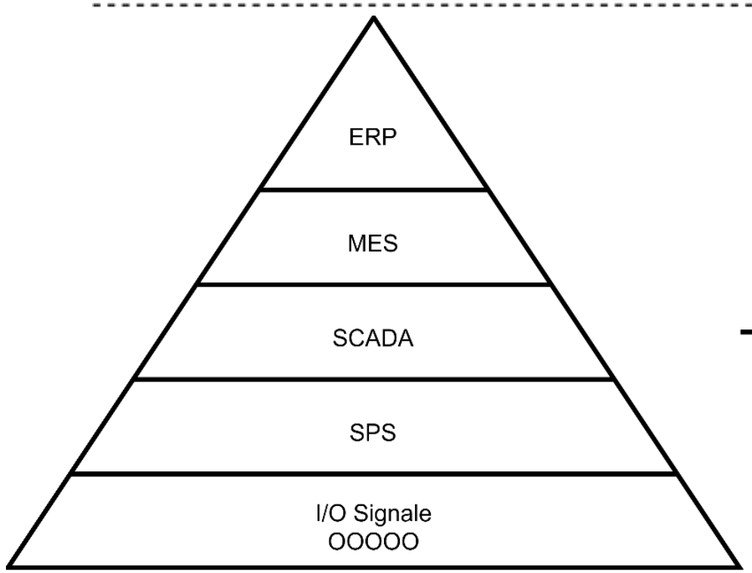
Verkürzung der Time-to-Market durch Modularisierung

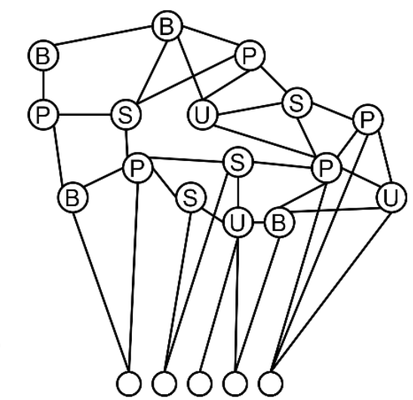


Quelle: Eigner et al. 2014, BioNTec

Sensorik





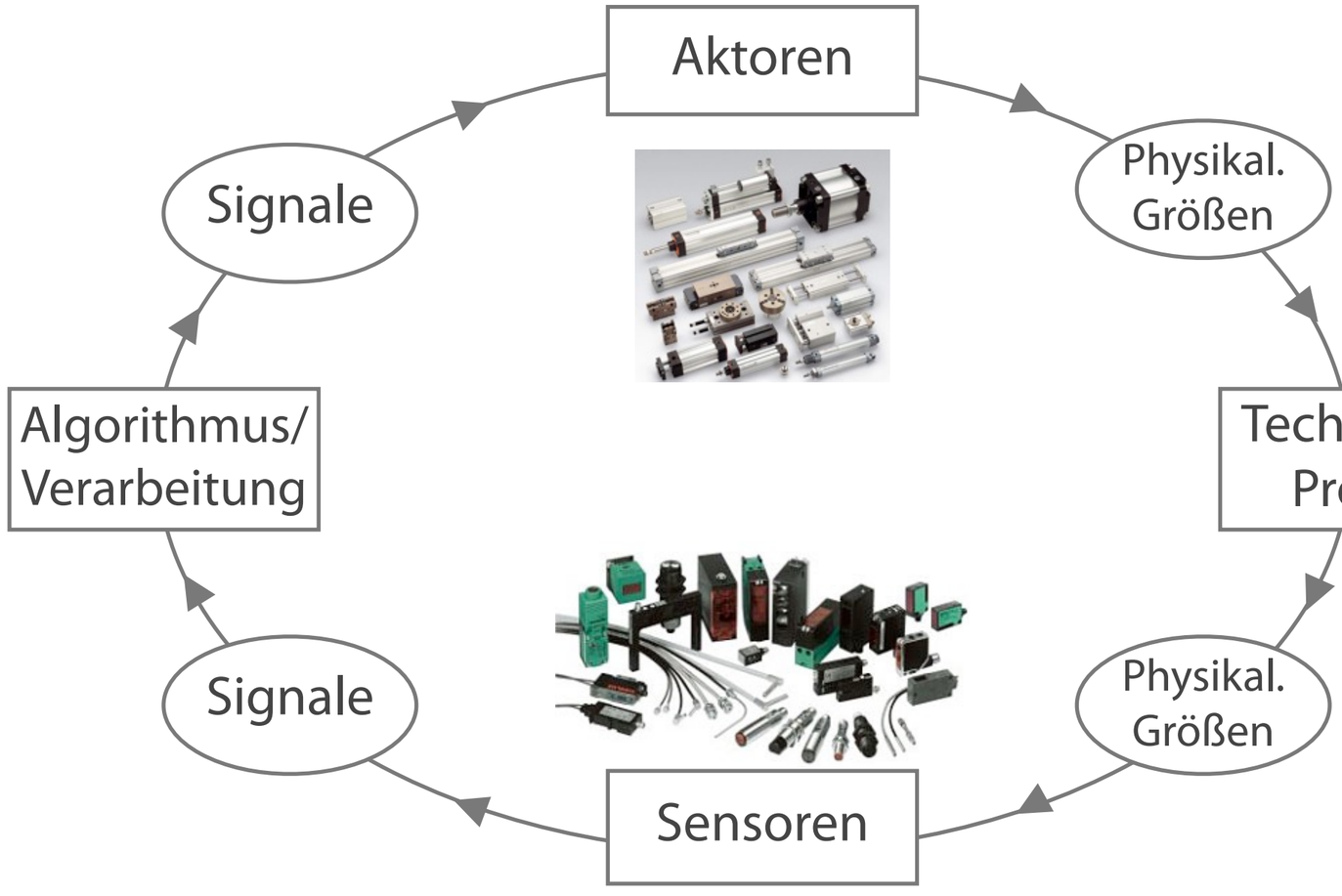


Datengenerierung durch Sensoren

- Generierung umfangreicher Datenmengen im Millisekundentakt
- Zeitnahe Verarbeitung erforderlich, damit Informationen sinnvoll genutzt werden können
- Aggregation als wesentlicher Schritt der Weiterverarbeitung erforderlich

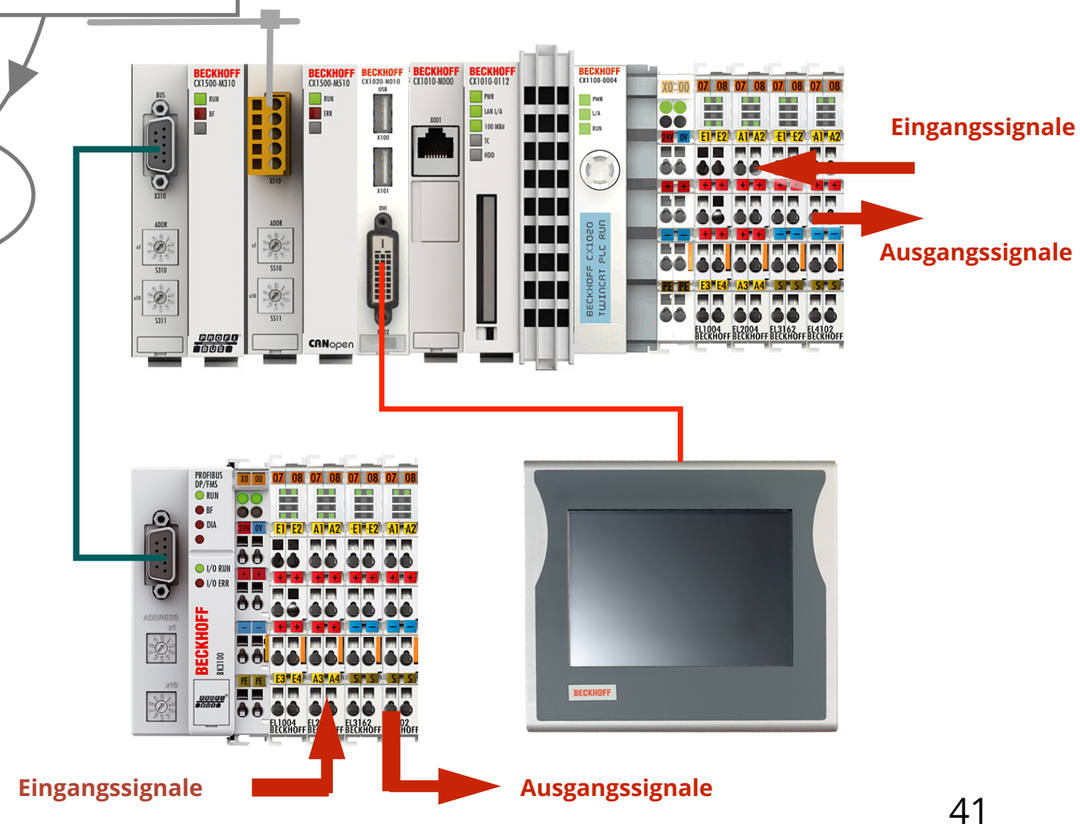
Quelle: Heinrich et al. (2020)

Automatisierungstechnik
Informationskreislauf und SPS



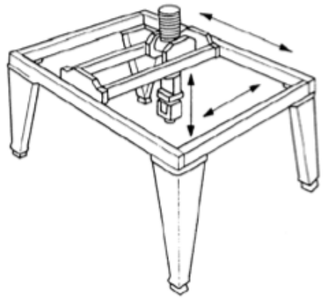
Speicherprogrammierbare Steuerung SPS

- Einsatz von Geräten mit Zertifizierungen
- Proprietäre Hardware mit oft langfristigen Zusagen für die Ersatzteillieferung
- Verknüpfung binärer Signale in einfacher Darstellungen

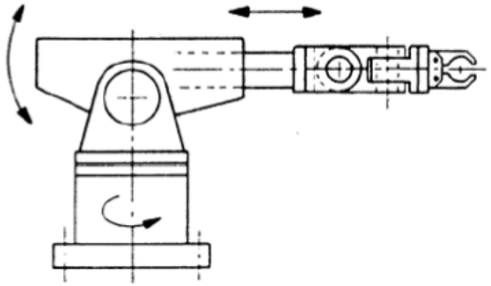


Quelle: Beckhoff , Jelali 2013, Zander 2015

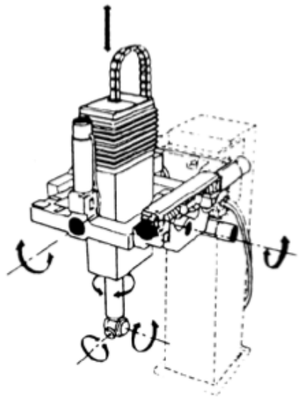
Robotik
Arten, Kinematik und Arbeitsraum



Kartesischer Roboter: Portalroboter

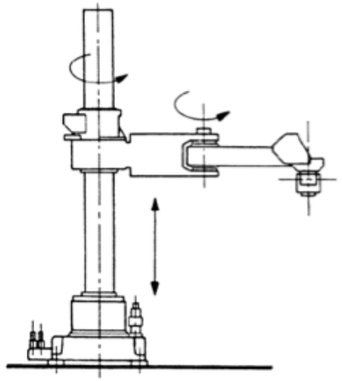


Polarroboter

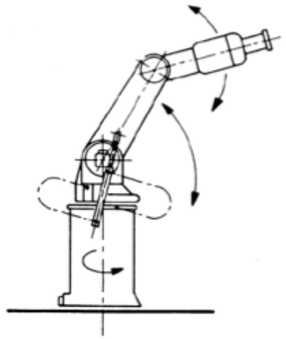


Pendularroboter

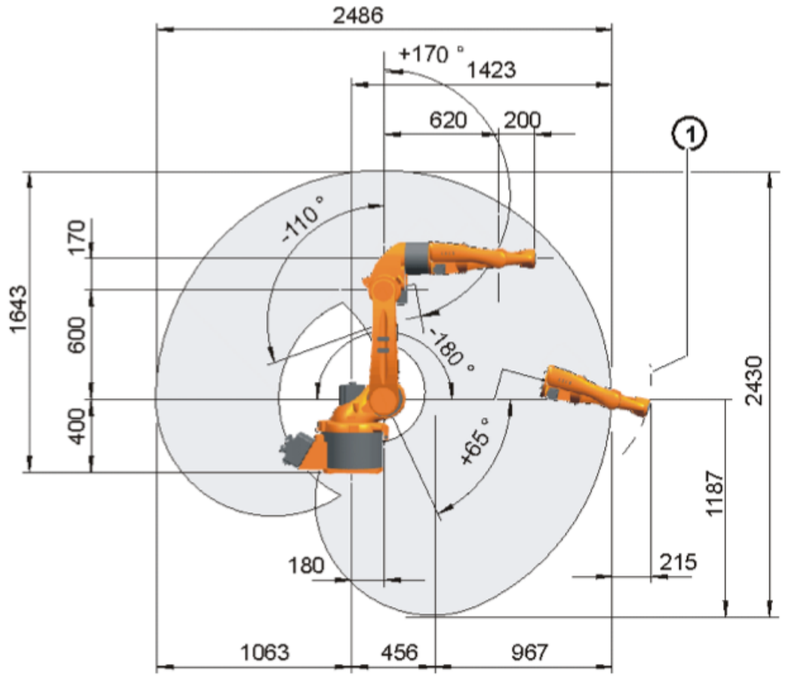
Nach DIN EN ISO 8373, 1996

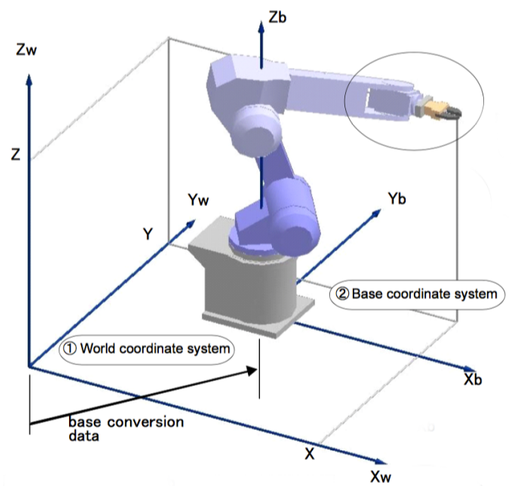


Zylindrischer Roboter
(Horizontal-Knickarmroboter)



Gelenkroboter
(Vertikal-Knickarmroboter)

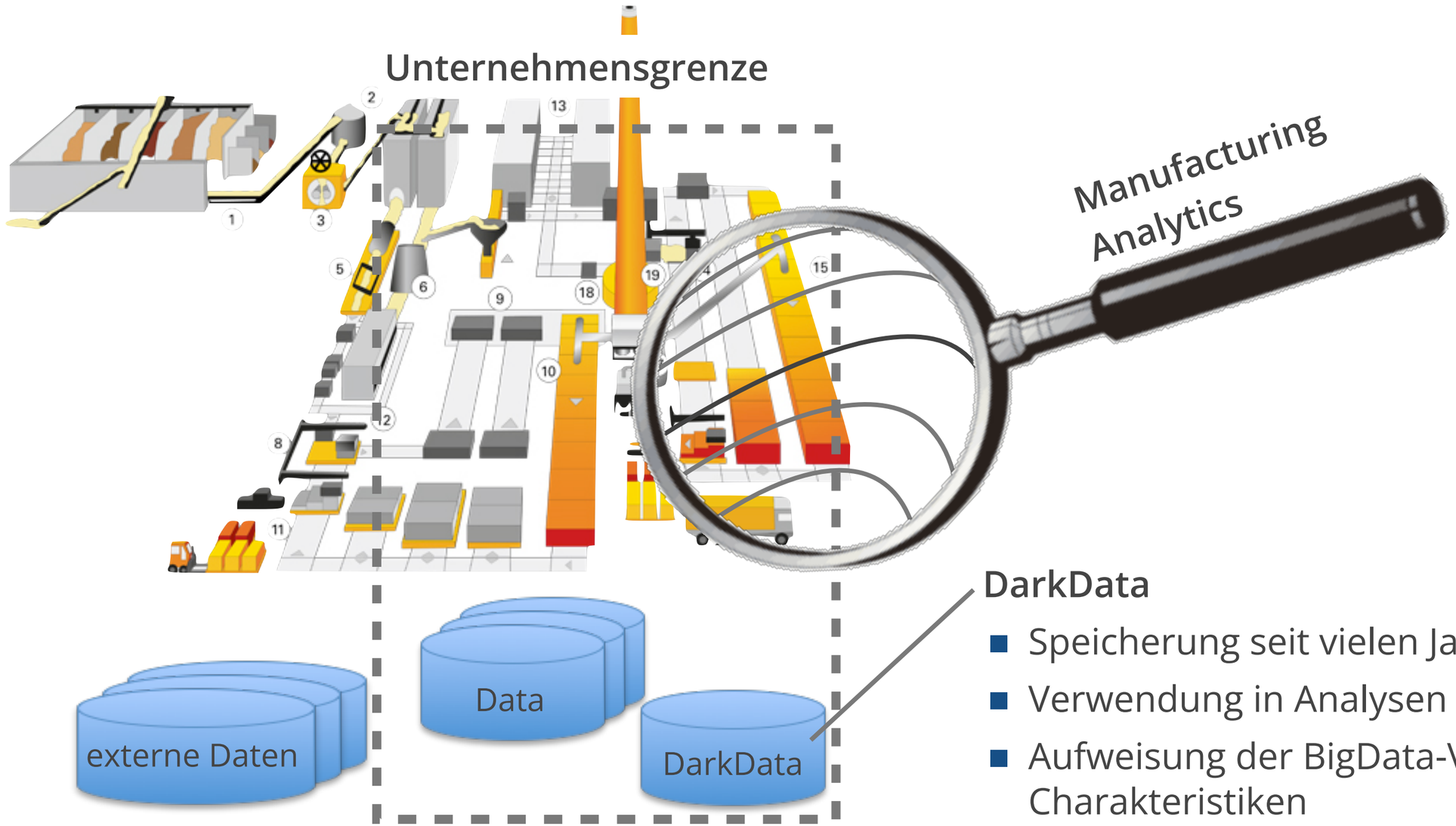




Industrieroboter sind universelle Bewegungsautomaten. Kinematik, Arbeitsraum und Koordinatensysteme bilden die Grundlage für ihre Steuerung und Programmierung.

Quelle: KUKA Roboter GmbH

Manufacturing Analytics
Ein Beispiel für die Ansätze zum Umgang mit Big Data



DarkData

- Speicherung seit vielen Jahren
- Verwendung in Analysen erfolgte nicht
- Aufweisung der BigData-V-Charakteristiken

Als Beispiel dient die Erschließung von DarkData einer Produktionsanwendung.

Hörsaal-Quiz
QuickCheck Runde 2 – Recap VL IIoT

Öffnet die App über den QR-Code oder über den Link.

https://quiz.lswi.de/login

Passwort: iiot



Der Begriff Industrie 4.0

Treiber und Hemmnisse

Reifegradmodelle

Wirkung von Industrie 4.0

Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0

Recap IIoT

Industrial Transformation Lab

Maschine / Arbeitsplatz

Cockpit

Microcontroller
Kommunikation



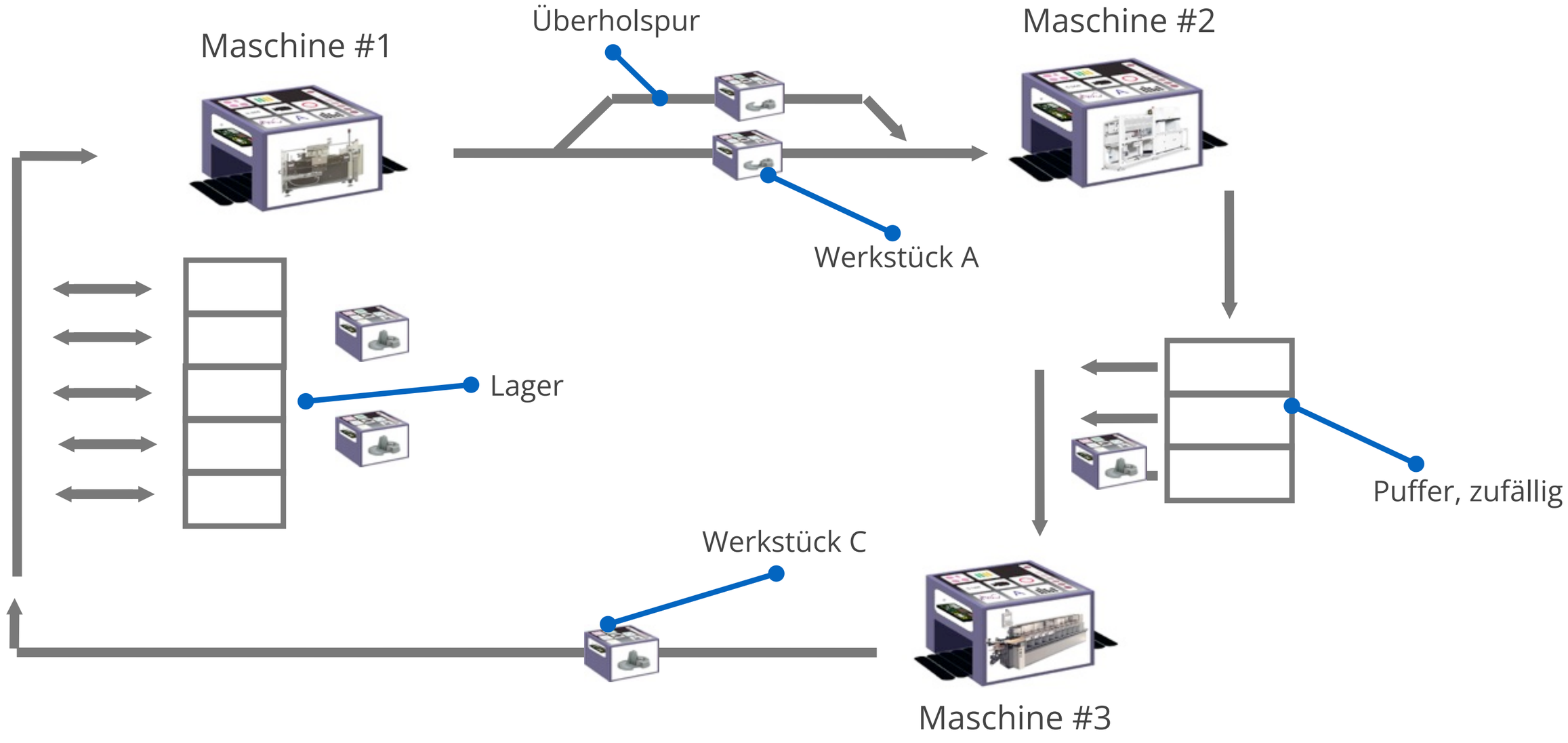
Werkstück

Visualisierung

Rollenbahn = Prozess

Quelle: Lass 2016

Variable Relationen



Quelle: Lass/Gronau 2012

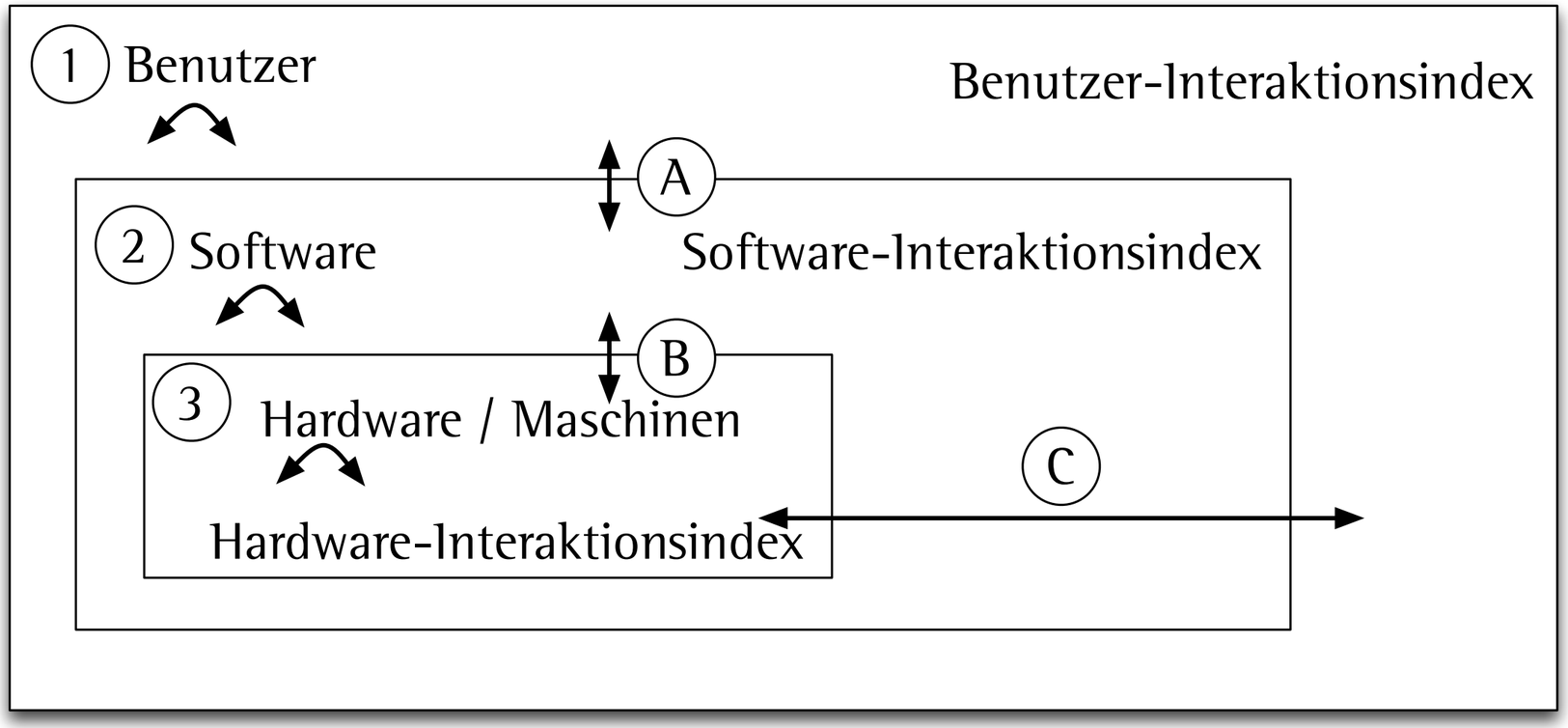
Mögliche Untersuchungen (Auswahl)

- Push- oder Pull-Mechanismen
- Fertigungssteuerung durch MES oder ERP
- Passive oder aktive Teileidentifikation
- Anforderungen an Funkinfrastrukturen
- Einbindung der Werkzeugverwaltung
- Zuordnung von Ladungsträgern
- Geplante versus adaptive Instandhaltung

```
12:57:26,430  INFO DefaultListableBeanFactory:557 - Pre-instantiating singletons in
        org.springframework.beans.factory.support.DefaultListableBeanFactory@14f2c
            8b: defining beans [MachineAccess]; root of factory hierarchy
    12:57:26,492  INFO ProcessEvaluationHandler:145 - Transport Job Started
12:57:56,335  INFO ProcessEvaluationHandler:155 - Transport Job stopped after seconds
                                                    1710
 12:57:56,335  INFO IntelligentWorkingPieceProcessHandlerImpl:271 - Machine checken
12:57:57,630  INFO ServerUtil:279 - Lese aus DATEI: resource\Settings.properties Wert
                                                    false
     12:57:57,630  INFO IntelligentConnectionHandler:98 - Display zu ende
12:57:57,755  INFO IntelligentWorkingPieceProcessHandlerImpl:313 - Maschine wird geladen
    12:57:58,956  INFO ProcessEvaluationHandler:145 - Transport Job Started
 12:58:00,204  INFO ProcessEvaluationHandler:155 - Transport Job stopped after seconds 0
12:58:00,204  INFO IntelligentWorkingPieceProcessHandlerImpl:358 - Träger wird gestartet
      12:58:00,204  INFO ProcessEvaluationHandler:200 - Assembling started
 12:58:01,577  INFO ProcessEvaluationHandler:210 - The Assembling stopped after seconds
                                                    -1
    12:58:01,592  INFO ProcessEvaluationHandler:120 - Production Timer started
 13:02:40,817  INFO ProcessEvaluationHandler:131 - Production Simulation stopped after
                                                    seconds: 1260
```

Quelle: Gronau/Theuer 2016

Welches Maß an Selbstorganisation ist nötig?



Informations-/Datenfluss

$$\text{Autonomy Index AI} = \frac{DE_{aut}}{DE_{all}} = \frac{\sum_{z \in Z} \sum_{j=1}^{m} D_{zxj} + \sum_{i=1}^{n} D_{xxi}}{\left(\sum_{z \in Z} \sum_{j=1}^{m} D_{zxj} + \sum_{i=1}^{n} D_{xxi} \right) + \left(\sum_{z \in Z} \sum_{j=1}^{m} DN_{zxj} + \sum_{i=1}^{n} DN_{xxi} \right)}$$

Quelle: Lass/Theuer/Gronau 2012

Zum Nachlesen



Gronau, N. (Hrsg.):
Industry 4.0 Science
6 issues per year
https://industry-science.com



Nutzenvalidierung cyber-physischer Systeme in komplexen Fabrikumgebungen
Ein hybrides Simulationskonzept für Industrie 4.0

ISBN: 978-3-95545-224-7

Kontakt

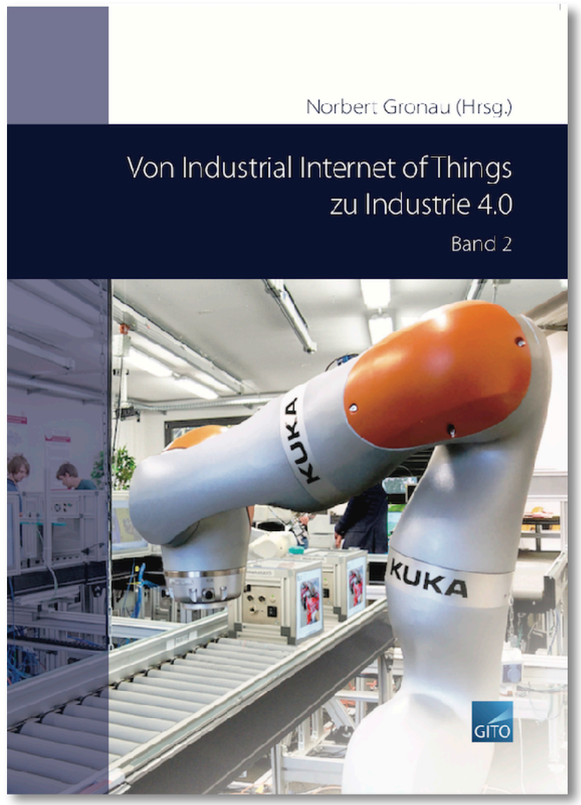
Univ.-Prof. Dr.–Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhlinhaber | Chairholder

Mail August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany
Visitors Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam
Tel +49 331 977 3322

E-Mail ngronau@lswi.de
Web lswi.de

Zum Nachlesen





Gronau, N.:
Industrial Internet of Things – Grundlagen
Berlin 2018, ISBN 978-3955452476 und 978-3955452612

Kontakt

Univ.-Prof. Dr.–Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhlinhaber | Chairholder

Mail August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany
Visitors Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam
Tel +49 331 977 3322

E-Mail ngronau@lswi.de
Web lswi.de

Literatur

Anwendungszentrum Industrie 4.0: www.industrie40-live.de

Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R. (Hrsg.): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung, Springer, 2014.

Gronau, N.: Wandlungsfähige Informationssystemarchitekturen. 2. Aufl. Berlin 2006

Gronau, N.: Wandlungsfähigkeit in Produktion und Logistik. Productivity Management 2 / 2014, S. 23-26

Gronau, N.: Identifikation von Potenzialen durch Industrie 4.0 in der Fabrik, Productivity Management 3/2016, S. 21-23

Gronau, N., Theuer, H.: Determinants of an appropriate degree of autonomy in a cyber-physical production system. Procedia CIRP (2016) pp. 1-5. DOI information: 10.1016/j.procir.2016.07.063

Gronau, N.: Industrie 4.0, Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik – Online-Lexikon (2020). https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/cyber-physische-systeme/industrie-4.0/?searchterm=industrie%204.0 (Abruf: 15.06.20).

Heinrich, Berthold, Linke, Petra & Glöckler, Michael. (2020). Grundlagen Automatisierung, Erfassen - Steuern - Regeln. 10.1007/978-3-658-27323-1.

Hoffmann, D.: Wie man Industrie 4.0 in die Praxis bringt. 2017. https://www.it-zoom.de/mittelstand/e/wie-man-industrie-40-in-die-praxis-bringt-16498/ (Abruf: 09.04.2025)

Industrie 4.0 Management: www.industrie40-management.de

Jelali, M.: Skript: Prozessautomatisierungstechnik, Wintersemester 13/14, Fachhochschule Köln.

Lass, S.: Anwendungszentrum Industrie 4.0 Potsdam. Industrie Management 4/2016, S. 66-67

Lass, S.; Gronau, N.: Efficient Analysis of Production Processes with a Hybrid Simulation Environment. In: Proceeding of the 22nd International Conference of Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2012), Helsinki, Finnland.

Lass, Theuer, Gronau: A New Approach for Simulation and Modeling of Autonomous Production Processes. In: 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences

PoCCi: Ruiu, M.; Ullrich, A. and Weber, E. (2012): Change Capability as a Strategic Success Factor - A Behavior Pattern Approach for Operationalizing Change Capability. Proceedings of the Conference on Strategic Management 2012, 25-27 May, Bor, Serbia.

Schöning, Harald & Dorchain, Marc (2014). Data Mining und Analyse. Springer.

Veigt, M. u.a.: Entwicklung eines Cyber-Physischen Logistiksystems. Industrie Management 29 (2013) 1, S. 15-18

Weber, E.: Methoden der Wandlungsfähigkeit. Dissertation Univ. Potsdam 2015

Weck, M.: Werkzeugmaschinen. Bd. 3: Automatisierung und -steuerungstechnik. 3. Aufl. Düsseldorf 1989

Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J.H.; Breitenbach (2005): Planung modularer Fabriken. Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München [u.a.]: Hanser.

Zander, H.: Einführung Steuerung ereignisdiskreter Prozesse, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.