Vorlesungsreihe 2017: Künstliche Intelligenz für den Menschen: Digitalisierung mit Verstand

Mainz, 23. Mai 2017

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Industrie 4.0: Das Internet der Dinge kommt in die Fabriken

Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. mult.

Wolfgang Wahlster

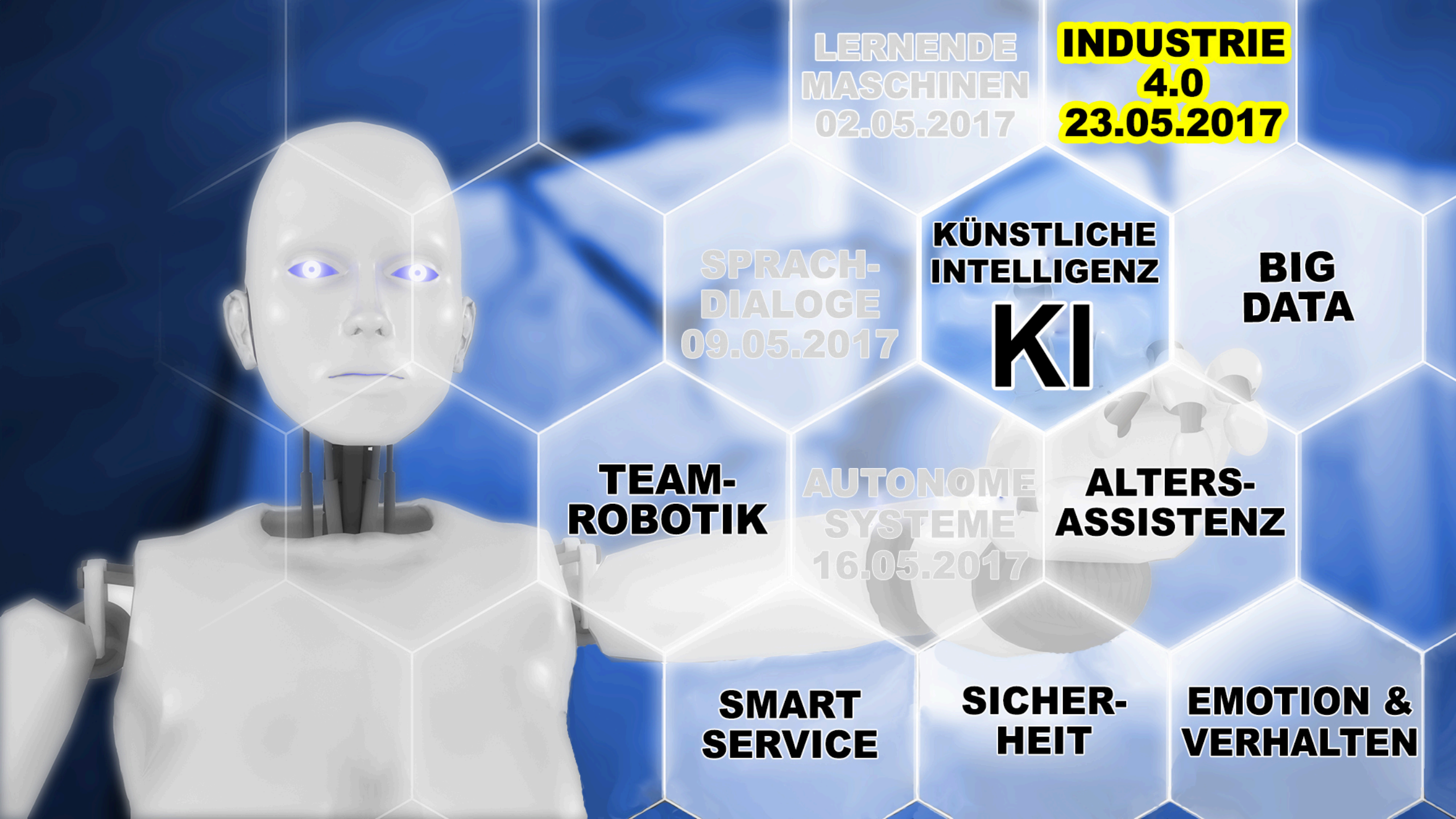
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH

Saarbrücken/Kaiserslautern/Bremen/Berlin/Osnabrück

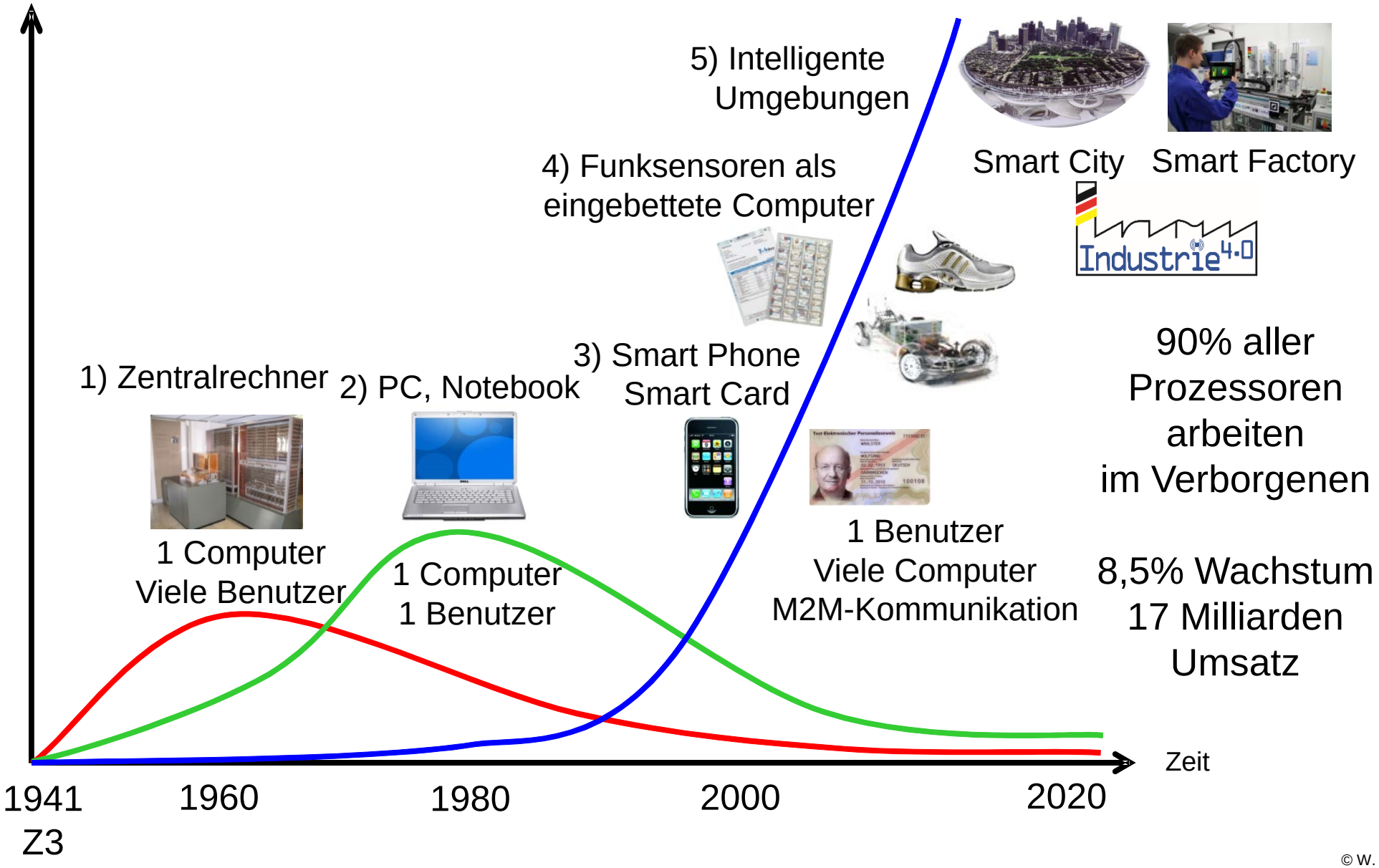
Tel.: (0681) 85775-5252

E-mail: wahlster@dfki.de

www.dfki.de/~wahlster


LERNENDE MASCHINEN 02.05.2017
INDUSTRIE 4.0 23.05.2017
SPRACH-DIALOGE 09.05.2017
KÜNSTLICHE INTELLIGENZ
KI
BIG DATA
TEAM-ROBOTIK
AUTONOME SYSTEME 16.05.2017
ALTERS-ASSISTENZ
SMART SERVICE
SICHER-HEIT
EMOTION & VERHALTEN

Vom Zentralcomputer über den PC und eingebettete Systeme zur intelligenten Umgebung



© W. Wahlster

Zukunftsprojekt von Kanzlerin Dr. Merkel: Industrie 4.0

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Vision: Internet der Dinge

Intelligente Umgebungen
z.B. Smart City

Cyber-Physische Systeme
z.B. *Smart Factory*, Smart Grid

Vernetzte eingebettete Systeme
z.B. Bremsassistent

Eingebettete Systeme
z.B. Airbag

Nationale Roadmap Embedded Systems

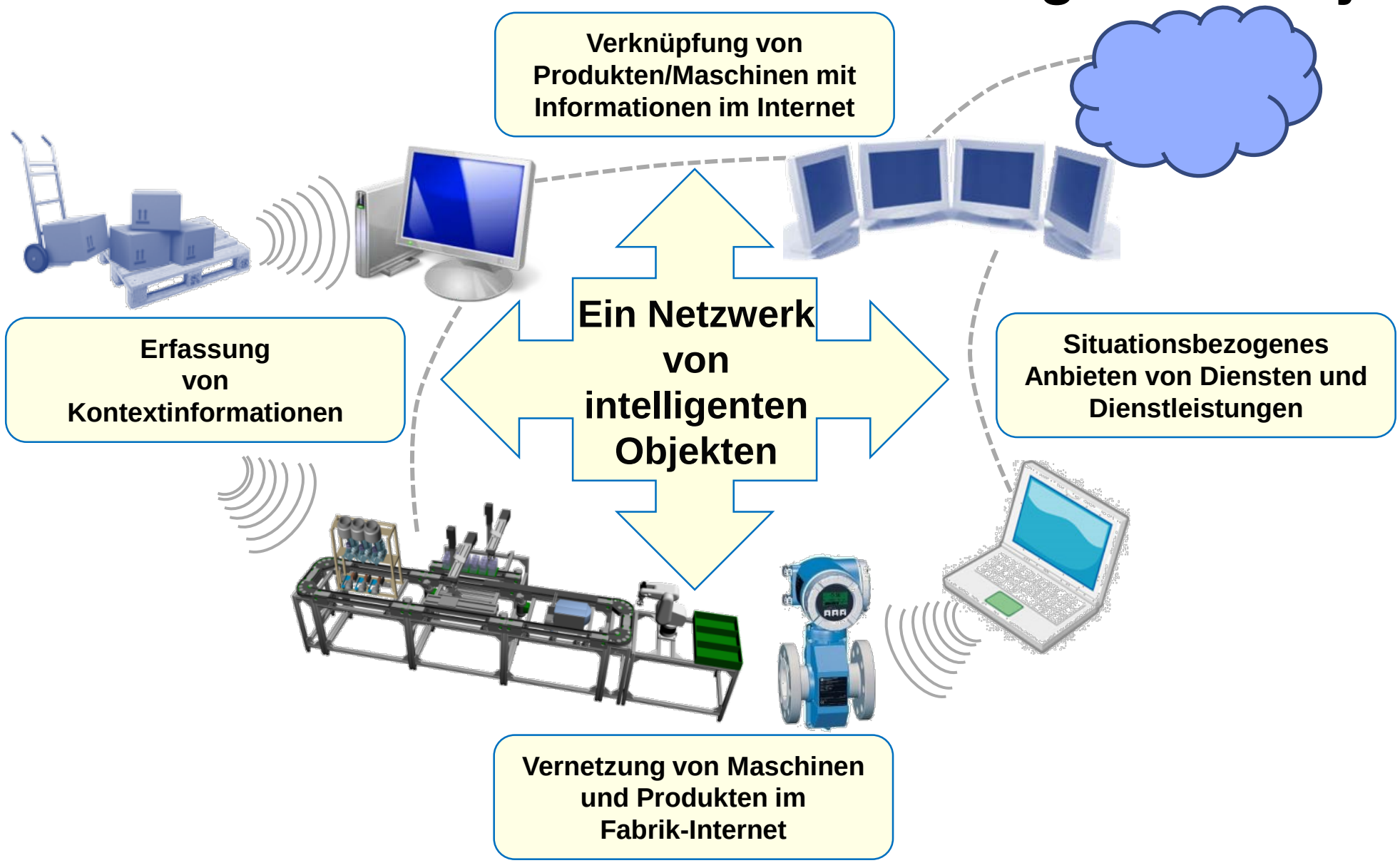
Agenda Cyber-Physical Systems

Evolution von Eingebetteten Systemen zum Internet der Dinge

© PG Kommunikation der Forschungsunion

© W. Wahlster

Die Smart Factory im Internet der Dinge: Ein Netzwerk von kommunzierenden intelligenten Objekten



© W. Wahlster

Die drei Väter von Industrie 4.0

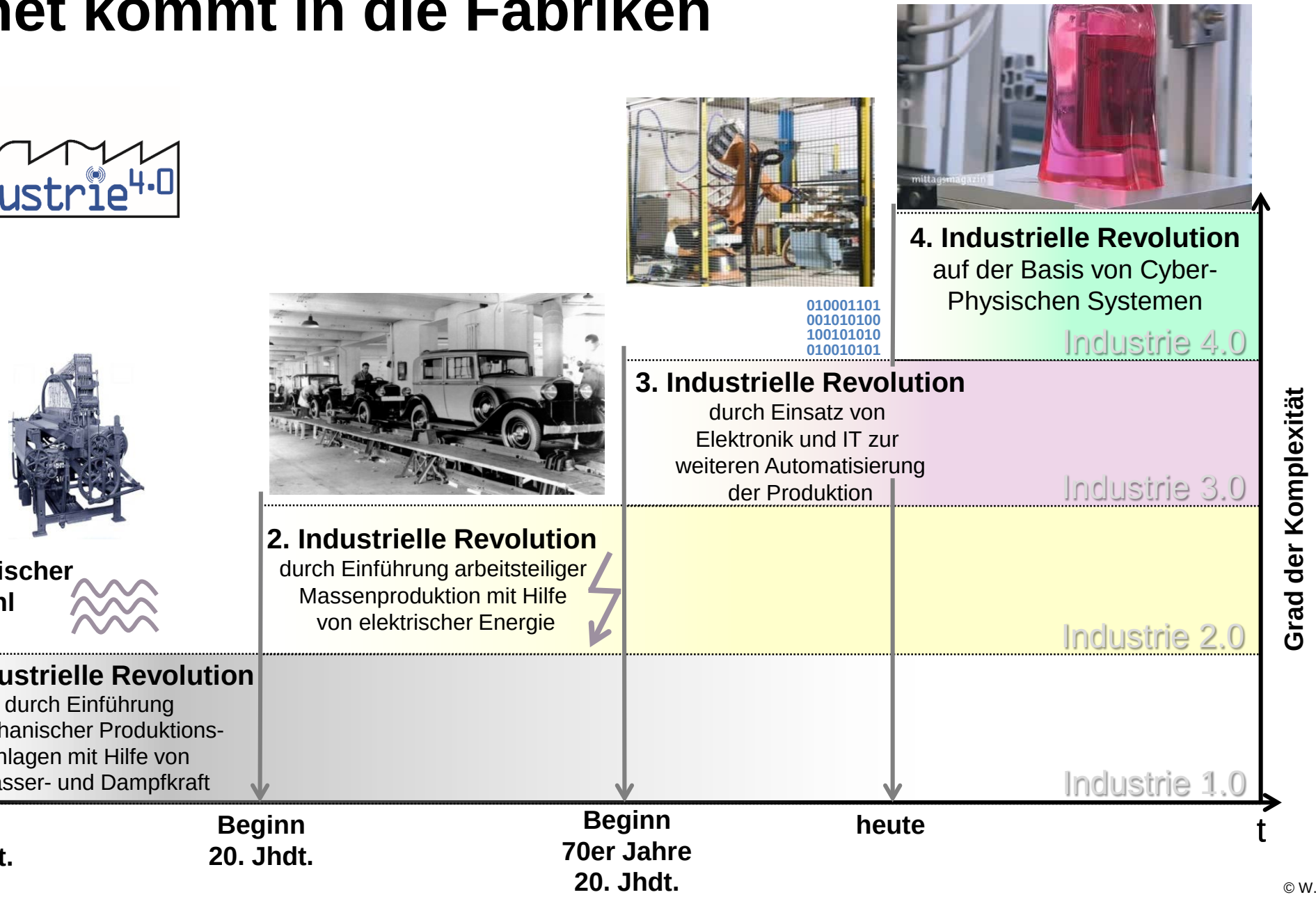
Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Prof. Wolfgang Wahlster (DFKI),
Prof. Henning Kagermann (acatech),
Prof. Wolf-Dieter Lukas (BMBF)

© W. Wahlster

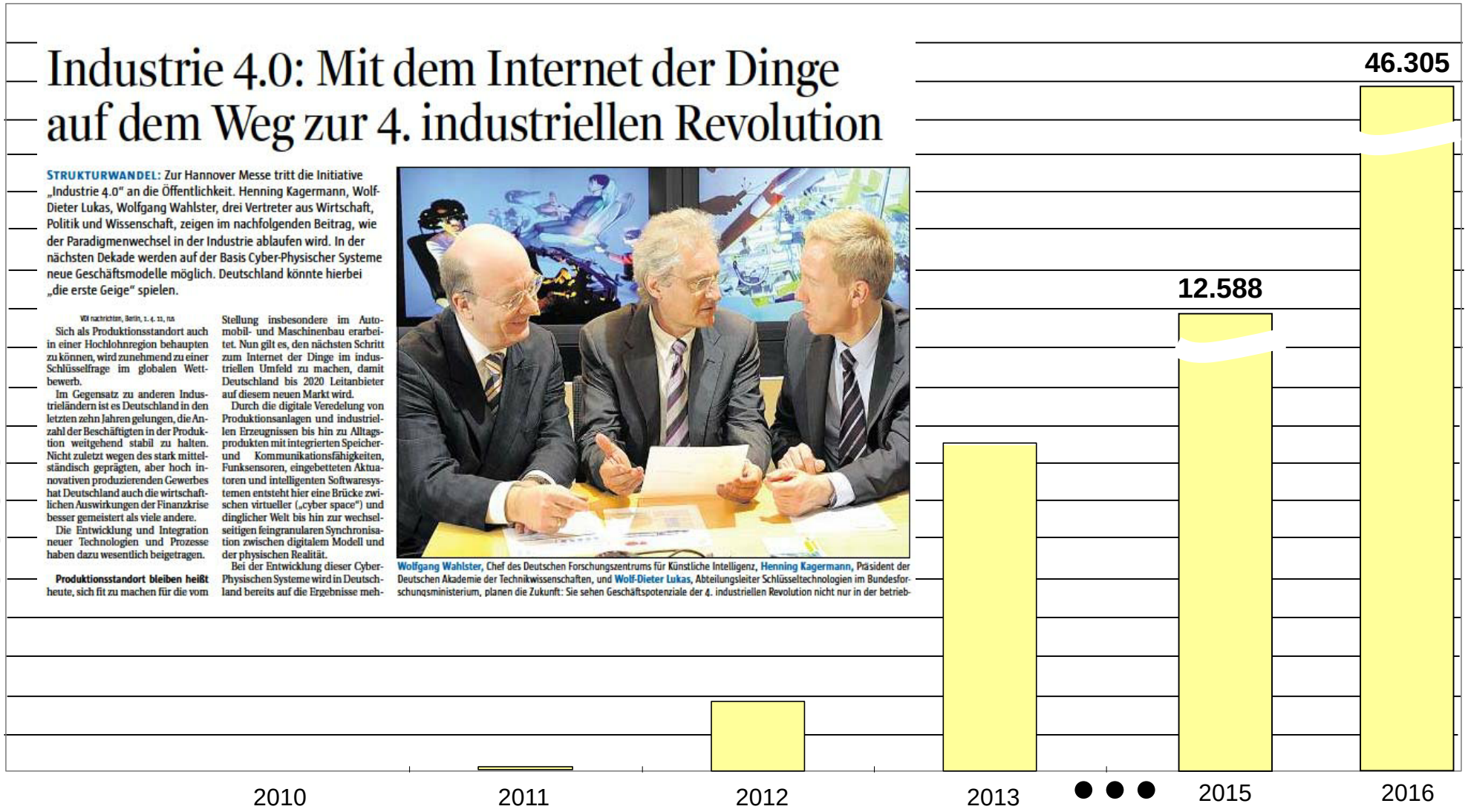
Von Industrie 1.0 zu Industrie 4.0: Das Internet kommt in die Fabriken

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur



© W. Wahlster

Das DFKI hat mit Industrie 4.0 einen weltweiten Megatrend ausgelöst



Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution

STRUKTURWANDEL: Zur Hannover Messe tritt die Initiative „Industrie 4.0" an die Öffentlichkeit. Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas, Wolfgang Wahlster, drei Vertreter aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft, zeigen im nachfolgenden Beitrag, wie der Paradigmenwechsel in der Industrie ablaufen wird. In der nächsten Dekade werden auf der Basis Cyber-Physischer Systeme neue Geschäftsmodelle möglich. Deutschland könnte hierbei „die erste Geige" spielen.

VDI nachrichten, Berlin, 1. 4. 11, rus

Sich als Produktionsstandort auch in einer Hochlohnregion behaupten zu können, wird zunehmend zu einer Schlüsselfrage im globalen Wettbewerb.

Im Gegensatz zu anderen Industrieländern ist es Deutschland in den letzten zehn Jahren gelungen, die Anzahl der Beschäftigten in der Produktion weitgehend stabil zu halten. Nicht zuletzt wegen des stark mittelständisch geprägten, aber hoch innovativen produzierenden Gewerbes hat Deutschland auch die wirtschaftlichen Auswirkungen der Finanzkrise besser gemeistert als viele andere.

Die Entwicklung und Integration neuer Technologien und Prozesse haben dazu wesentlich beigetragen.

Produktionsstandort bleiben heißt heute, sich fit zu machen für die vom Stellung insbesondere im Automobil- und Maschinenbau erarbeitet. Nun gilt es, den nächsten Schritt zum Internet der Dinge im industriellen Umfeld zu machen, damit Deutschland bis 2020 Leitanbieter auf diesem neuen Markt wird.

Durch die digitale Veredelung von Produktionsanlagen und industriellen Erzeugnissen bis hin zu Alltagsprodukten mit integrierten Speicher- und Kommunikationsfähigkeiten, Funksensoren, eingebetteten Aktuatoren und intelligenten Softwaresystemen entsteht hier eine Brücke zwischen virtueller („cyber space") und dinglicher Welt bis hin zur wechselseitigen feingranularen Synchronisation zwischen digitalem Modell und der physischen Realität.

Bei der Entwicklung dieser Cyber-Physischen Systeme wird in Deutschland bereits auf die Ergebnisse meh-

Wolfgang Wahlster, Chef des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz, **Henning Kagermann**, Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften, und **Wolf-Dieter Lukas**, Abteilungsleiter Schlüsseltechnologien im Bundesforschungsministerium, planen die Zukunft: Sie sehen Geschäftspotenziale der 4. industriellen Revolution nicht nur in der betrieb-

Datenquelle wiso-net von GENIOS

Quelle: Dr. Peter Fettke (DFKI)

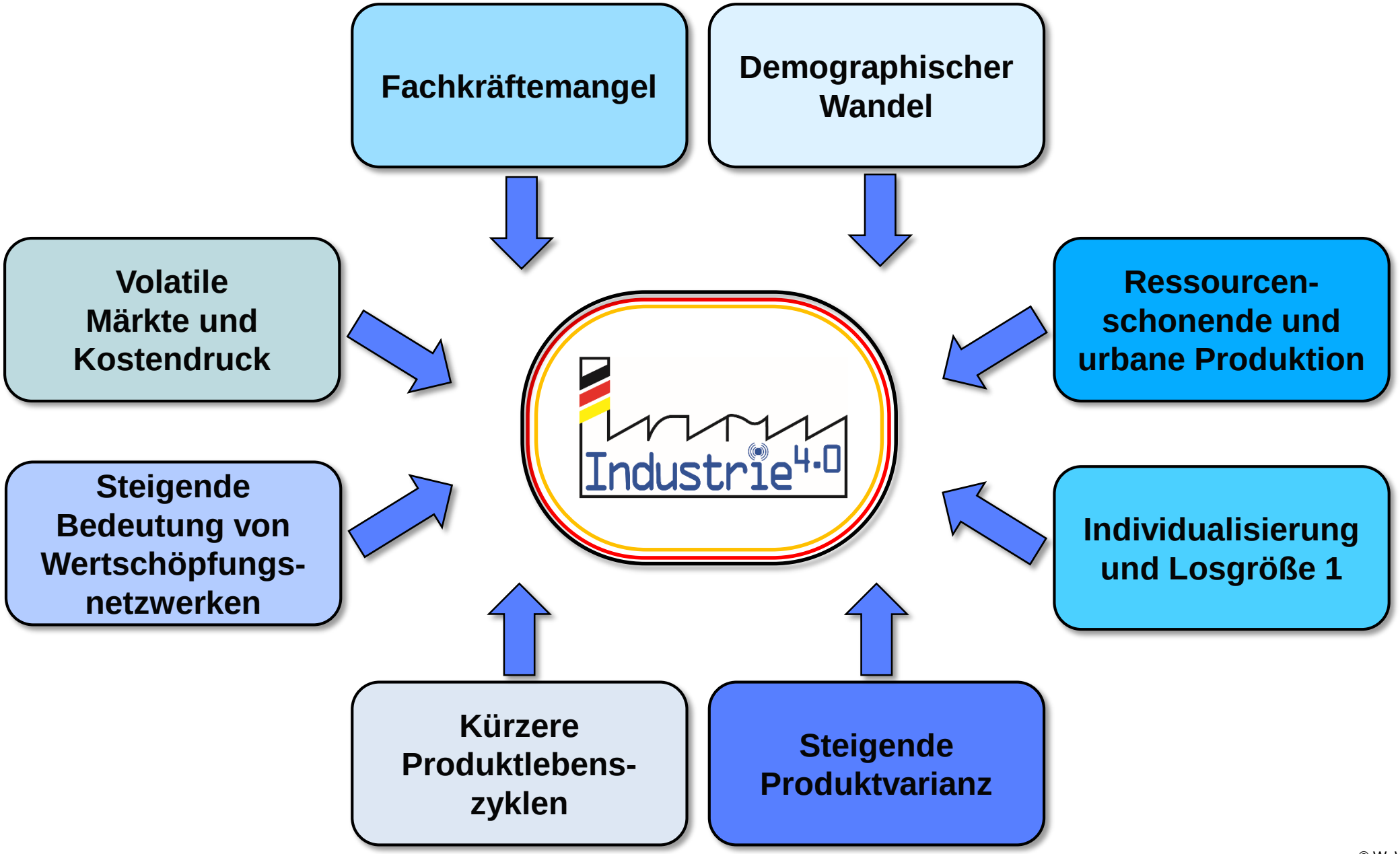
© W. Wahlster

Cyber-physische Systeme: Drahtlos über Internet-Protokoll kommunzierende Sensor-Aktuator Systeme

1. Drahtlose M2M-Kommunikation von Microcomputern
2. Kontext-sensitives Verhalten (hier: relative Lage zu anderen Komponenten)

© W. Wahlster

Wirtschaftliche Treiber für Industrie 4.0



© W. Wahlster

Zukunftsprojekt: Industrie 4.0

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

- Die Produktion ist das **Rückgrat des deutschen Wohlstands**
  - Arbeitsplätze direkt: 7,7 Mio. indirekt: : 7,1 Mio, damit jeder 2. Arbeitsplatz
  - mehr als **266 Milliarden Handelsüberschuss** durch Industrieexporte, besonders Automobilproduktion
- Durch **zentrale Paradigmenwechsel in der Industrie** verändern sich die Grundlagen der Produktion:

1. **Auflösung der klassischen Produktionshierarchie** hin zu dezentraler Selbstorganisation
2. Durch **digitale Veredelung** entstehen **intelligente Produkte** (Smart Products)
3. **Produkt unterstützt den Produktionsprozess** aktiv
4. Die Losgröße 1 wird zu Preisen einer Massenproduktion möglich
5. Die Produktion folgt dem **Takt des Menschen**
6. **Ressourcen- und Energieschonung** wird zur neuen Randbedingung für Produktionserfolge

Deutschland muss diese 4. Industrielle Revolution maßgeblich mitgestalten, um sich auch in Zukunft erfolgreich als Produktionsstandort behaupten zu können!

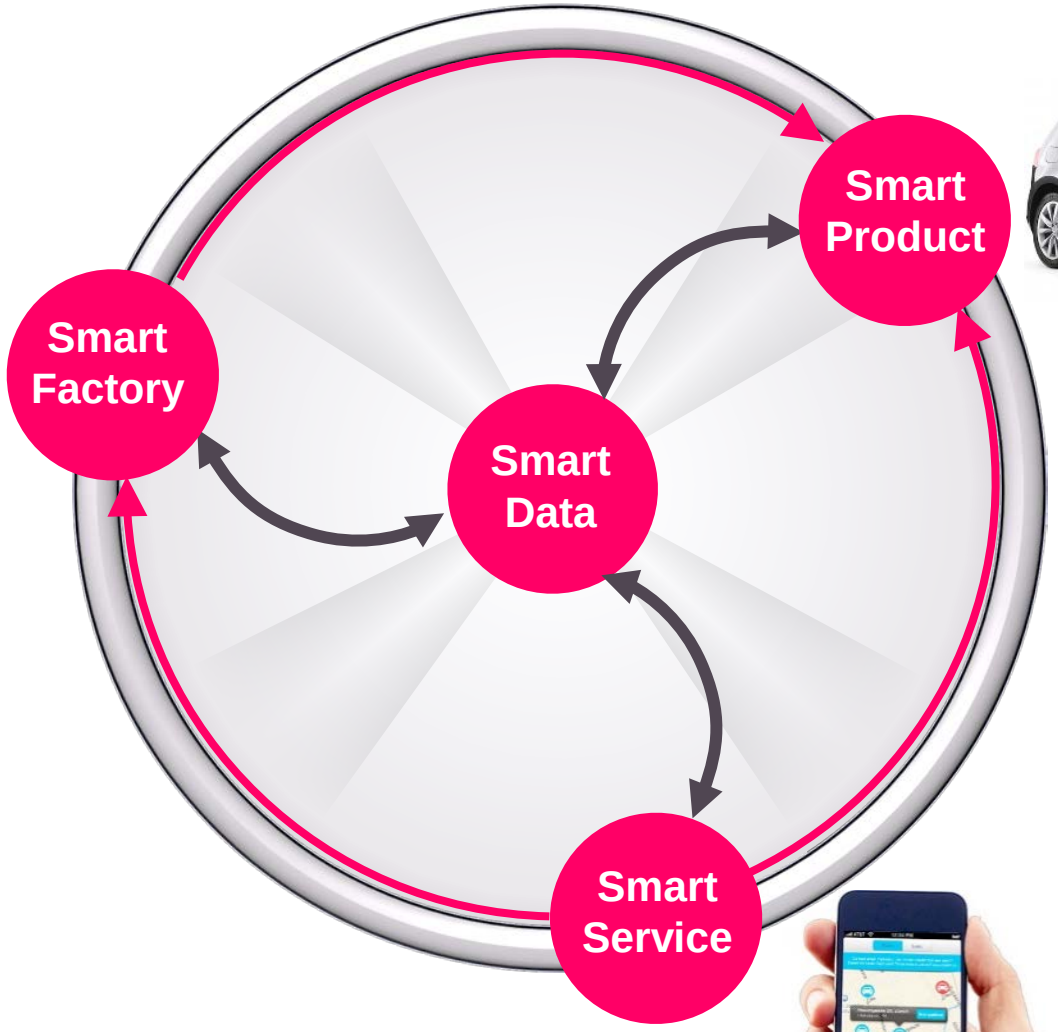
© W. Wahlster

Die Vision von Industrie 4.0

- **Individualisierung** (Losgröße 1) zu den ökonomischen Konditionen eines Massenherstellers wird Realität
- Produktion wird **hoch-flexibel**, hoch-produktiv (bis zu +50%), ressourcenschonend (bis zu -50%) und urban-verträglich
- Wertschöpfungsprozesse werden **bedarfsorientiert in Echtzeit** optimiert
- **Vereinbarkeit von Beruf und Familie** mit Rücksichtnahme auf die individuelle Verfügbarkeit der Mitarbeiter
- Ältere Arbeitnehmer profitieren von **intelligenten Assistenzsystemen**
- Die bestehende Infrastruktur kann **schrittweise nachgerüstet** werden

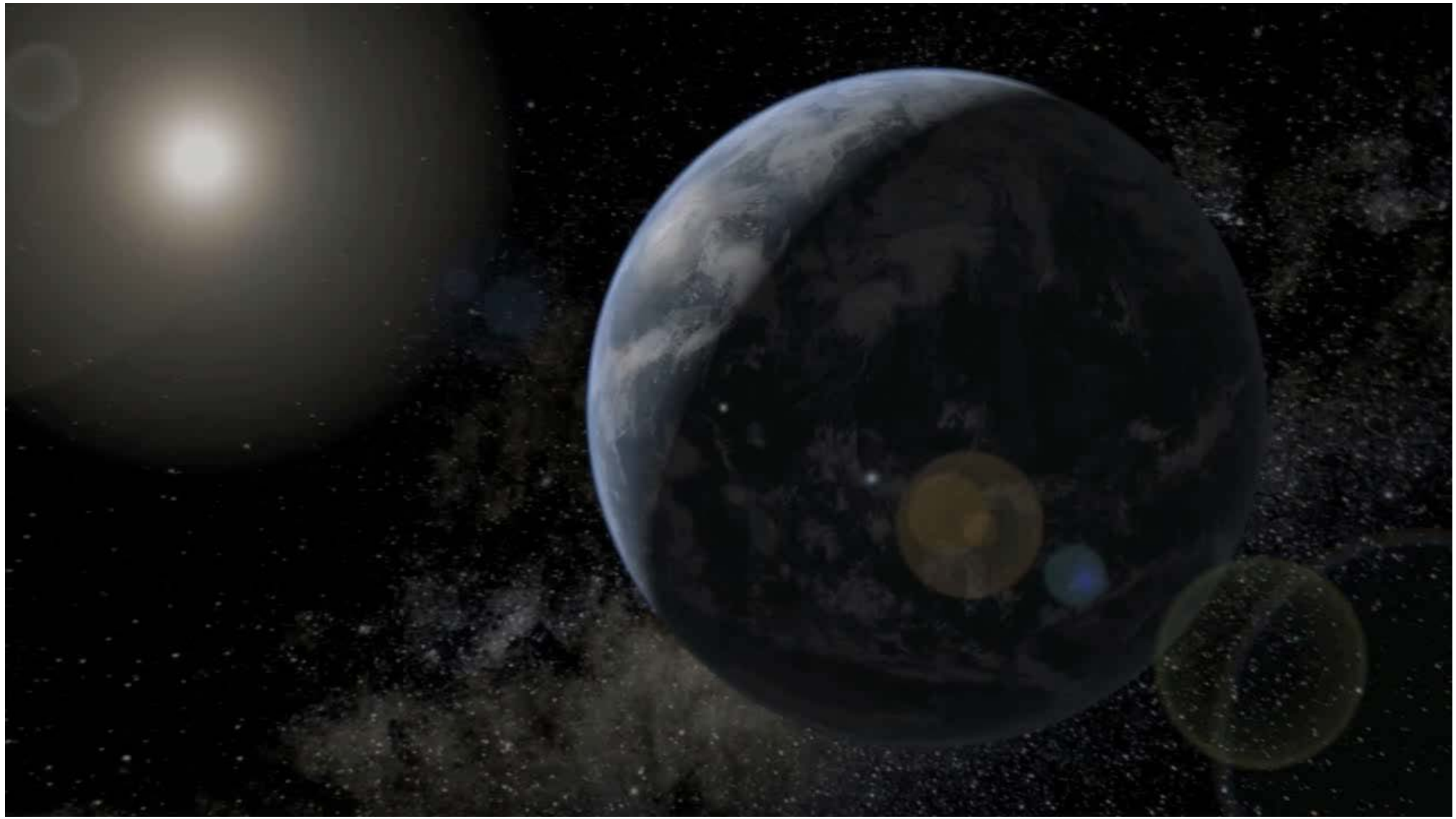
→ **Wettbewerbsfähigkeit** einer Hochlohn-Wirtschaft ist gesichert

Smart Data als Turboantrieb: Von der Smart Factory über das Smart Product zum Smart Service



© W. Wahlster

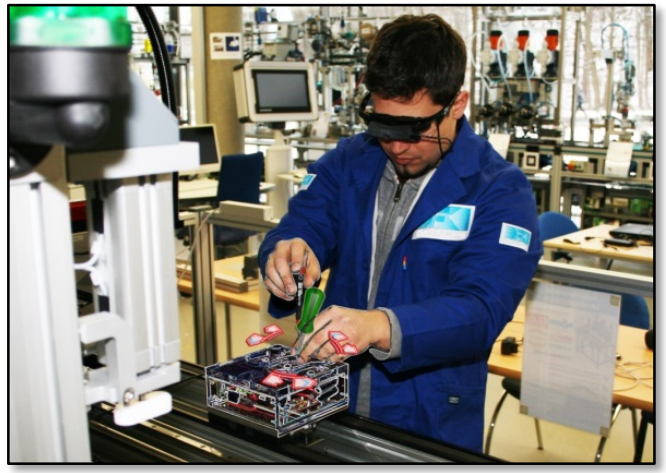
Industrie 4.0: Die technische Revolution geht weiter



KI ist ein Motor von Industrie 4.0

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

- Durch konsequentes Zusammenführen der digitalen und realen Welt wird die zunehmende **Dynamik und Komplexität in den Fabriken beherrschbar**.
- Das Internet der Dinge, Dienste & Daten wird zur **prägenden Infrastruktur** für die nächste industrielle Revolution.
- **Industrie 4.0 adressiert alle großen Herausforderungen**: Wettbewerbsfähigkeit unseres Hochlohn-Standorts, Ressourcen- und Energieeffizienz, demographischer Wandel und urbane Produktion.
- Deutschland hat beste Voraussetzung, **Leitanbieter** und **Leitmarkt** zu werden.



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Digitale Produktion von Unikaten

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Internet der Dienste

Zukunftsprojekt:

Durchgängige diensteorientierte Architektur für Produktion und Vertrieb
Bestell-Portale und Apps für Konfigurierung

CLOUD Computing

Smart Shop:
Innovative Handelssoftware

Make to Order

Kundenindividuelle Produktion von Unikaten
z.B. 566 Billiarden Müslivarianten bei

mymuesli custom-mixed cereals

Smart Factory:
Innovative Fabriksoftware

Internet der Dinge

Zukunftsprojekt:

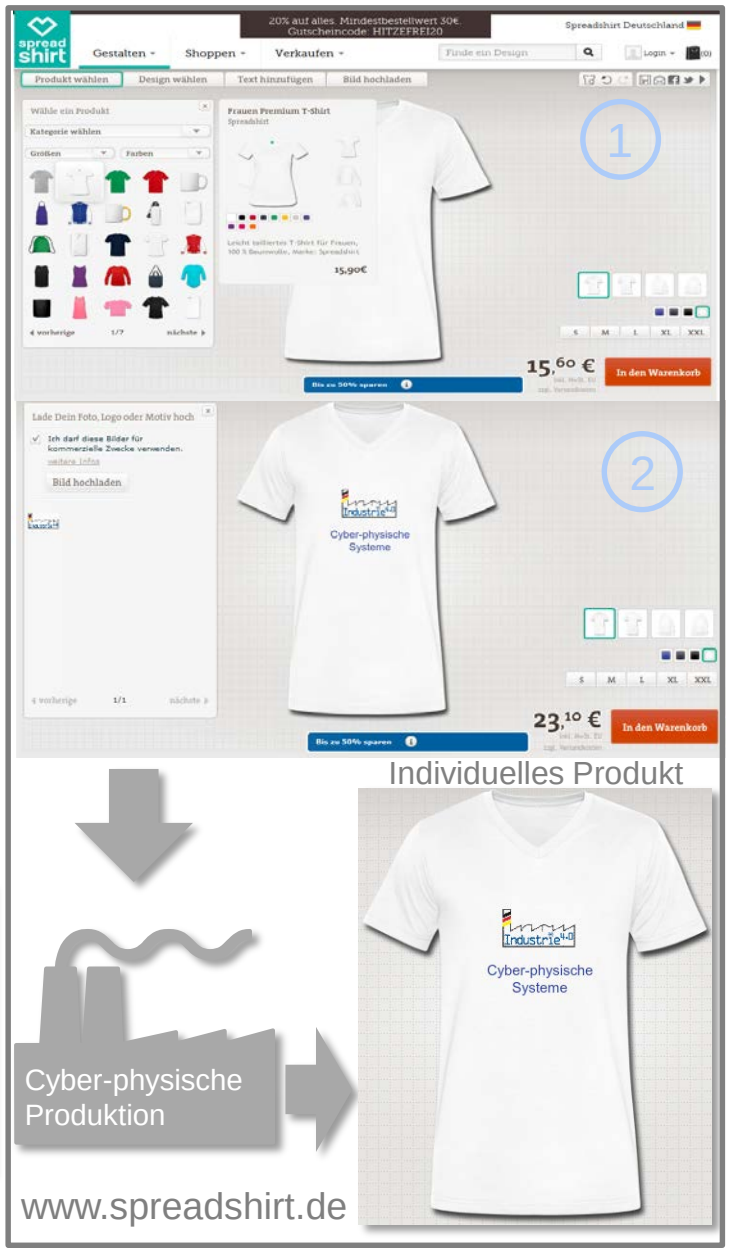
Aktive Digitale Produktgedächtnisse
Dezentrale Fabriksteuerung durch Cyber-Physische Produktionsysteme

Industrie 4.0

© W. Wahlster

Industrie 4.0: Die kostengünstige Fertigung kundenindividueller Produkte

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur



© W. Wahlster

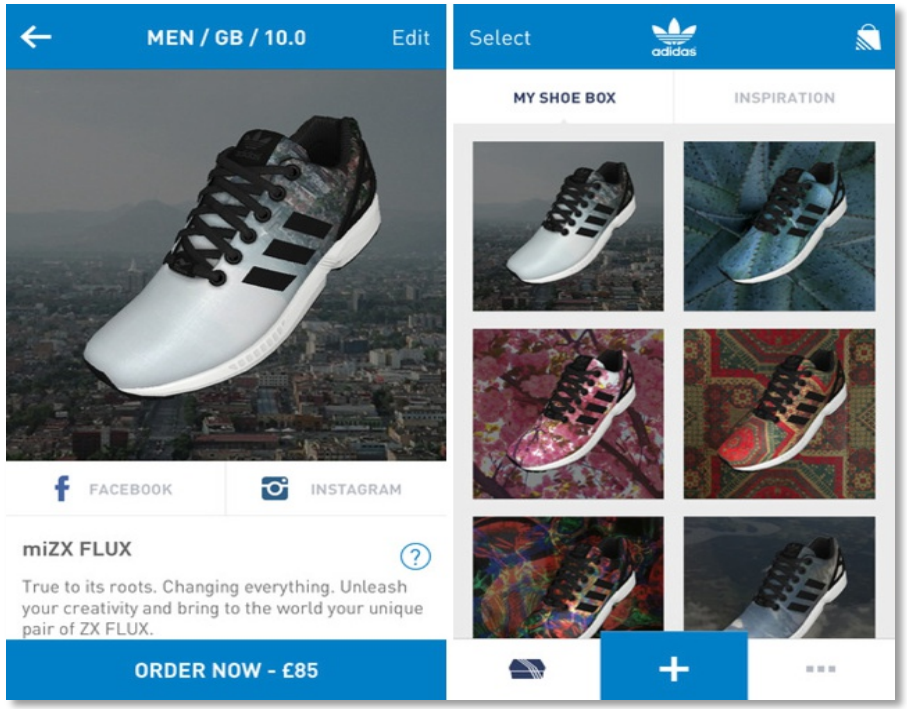
Individualisierte Parfüm-Produktion

- **Aus mehreren Millionen Möglichkeiten an Duftkompositionen, Flakons, Sprayköpfen und Verpackungen kann der Kunde im Webportal wählen.**
- **Pro Tag werden in der Smart Factory 36000 Parfüm-Unikate samt individualisierter Verpackung produziert.**
- **Nach 24 Stunden ist das Produkt gemäß der Bestellung über Internet versandbereit.**

Da der Kunde auf selbst konfigurierte Produkte nicht lange warten will, muss die Produktion in Kundennähe erfolgen → Produktionsstätten in Deutschland.

© W. Wahlster

Die Adidas Speedfactory: Industrie 4.0 holt die Herstellung von Sportschuhen für die flexible Massenproduktion nach Deutschland zurück

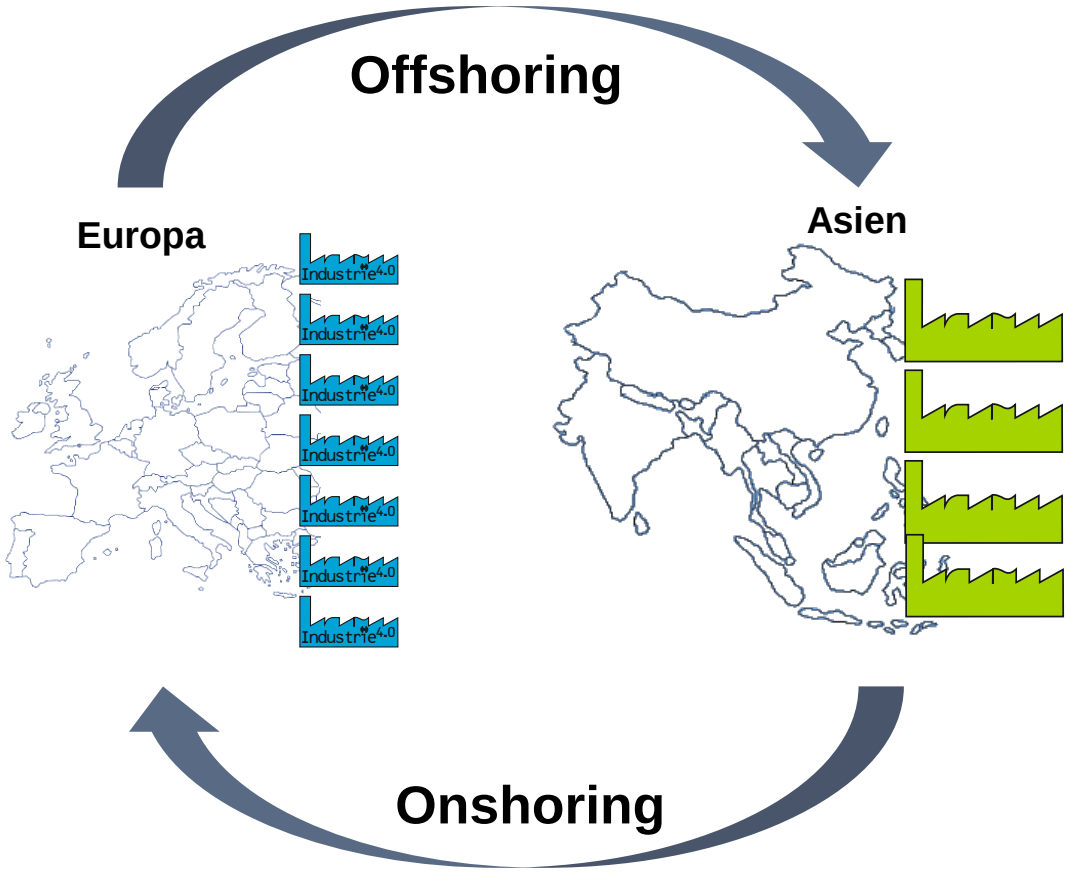


- Der Kunde kann sein Schuhmodell selbst mittels einer App entwerfen.
- Da der Kunde seine Schuhe so schnell wie möglich bei sich zu Hause erwartet, sind im Zeitalter der flexiblen Massenproduktion lange Transportwege aus Billiglohnländern nicht mehr akzeptabel.
- Adidas hat sich daher dafür entschieden, kundennah in Deutschland, mehrere sog. “Speedfactories" für die Herstellung von individualisierten Schuhmodellen und unter Verwendung von Cyber-physischen Produktionssystemen (CyProS) zu eröffnen.

© W. Wahlster

Onshoring in Industrie 4.0 versus Offshoring in Industrie 3.0

- Hochlohnländer
- Industrie 4.0
- Losgröße 1
- Kurze und flexible Logistikketten zum Kunden innerhalb Europas
- Kleine vernetzte Intelligente Fabriken



- Niedriglohnländer
- Industrie 2.0 - 3.0
- Massenproduktion
- Lange und komplexe Logistikketten bis zum Kunden in Europa
- Große traditionelle Fabriken

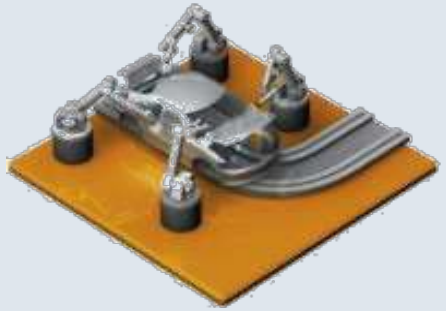
z.B.: Sportschuhe, Kleidung, Küchen, Ausrüstung, Unterhaltungselektronik, Spielzeuge, Fahrräder…

© W. Wahlster

Aktive semantische Produktgedächtnisse haben sich zu einem zentralen Wegbereiter von Industrie 4.0 als „digitale Zwillinge“ entwickelt

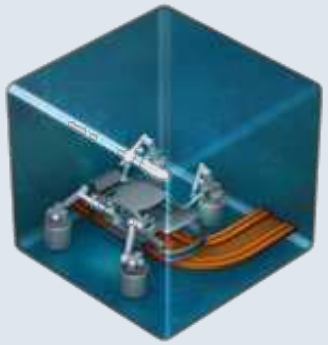
Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Cyber-physisches System (CPS)



Physische Produktions-komponente

+

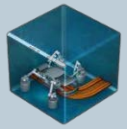


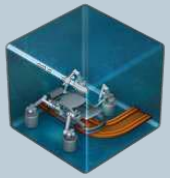
Aktives Produktgedächtnis als digitales Modell

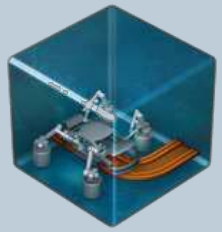
Enthält alle Informationen über …

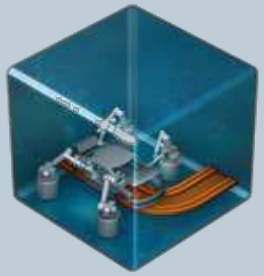
- Softwareversion
- Wartung
- Identität
- Ort
- Sicherheit
- Kontext,
- Zustand
- Schnittstellen
- Eingebaute Komponenten

Das digitale Produktgedächtnis wird ständig erweitert und dient als virtuelles Abbild der Komponente über ihre gesamte Lebensdauer









Produkt-entwurf → **Produktions-planung** → **Produktions-engineering** → **Produktion** → **Smart Services**

Paradigmenwechsel: Das entstehende Produkt als aktive Systemkomponente

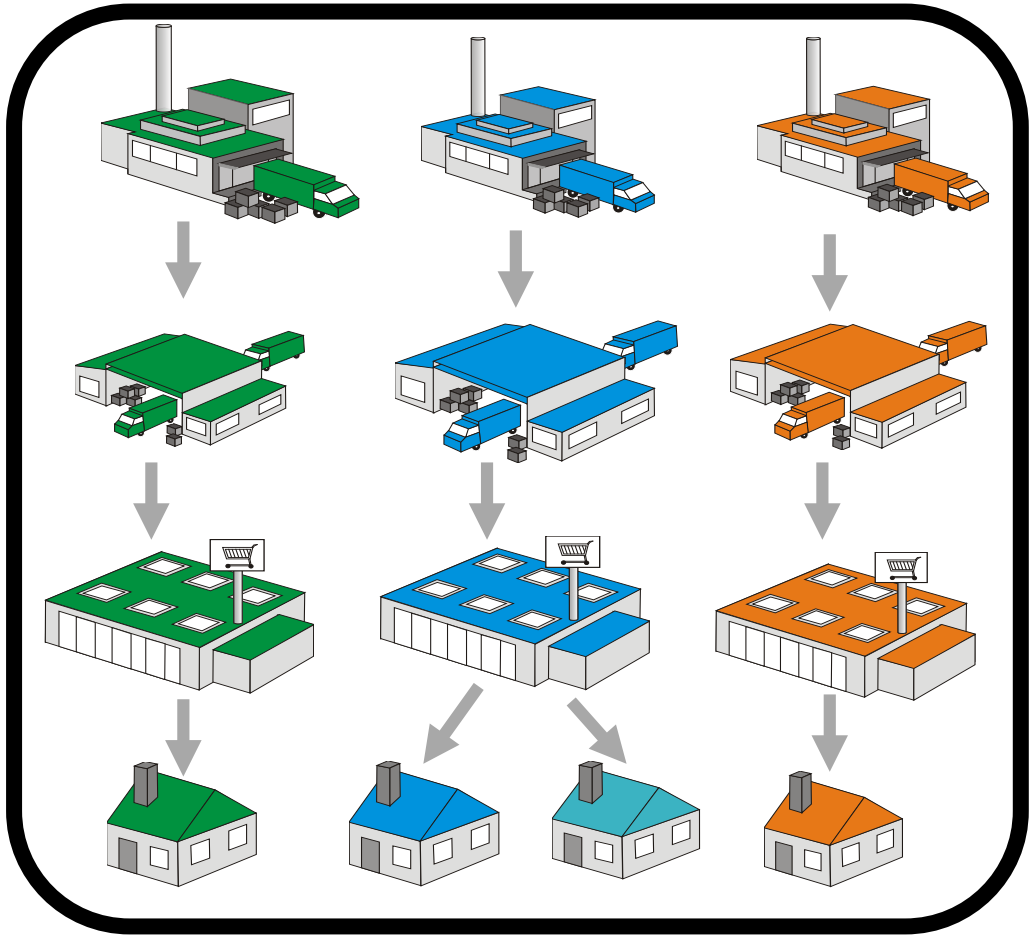
- Das **Produkt steuert** seine **Herstellung** durch proaktive M2M-Kommunikation
- Das **Produkt** als **Beobachter und Akteur** durch eingebettete Sensorik und Aktuatorik
- Das **Produkt entscheidet autonom** auf Basis übergeordneter Prozessdaten

© W. Wahlster

Die Anwendung von Produktgedächtnissen in offenen Regelkreisen erfordert semantische Technologien zur Interoperabilitätssicherung.

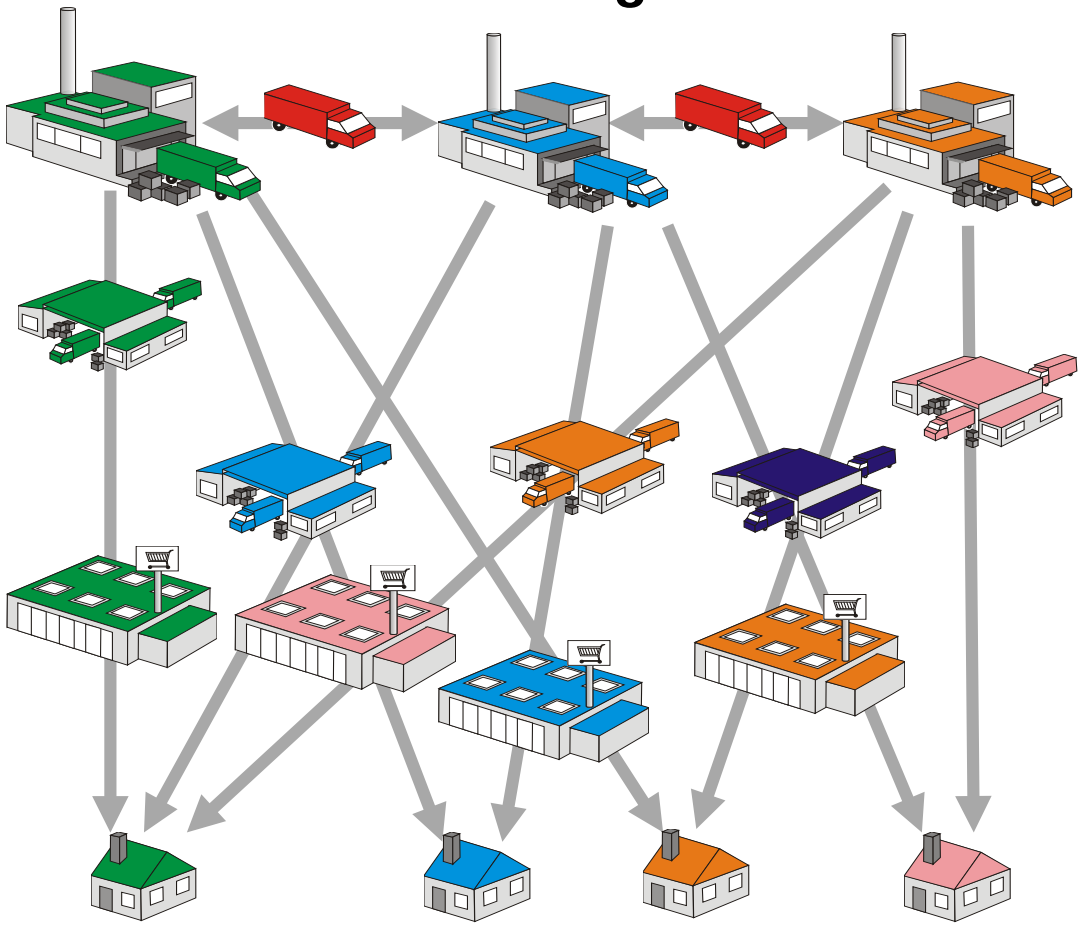
Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Produktgedächtnis im Geschlossenen Regelkreis



Ad-hoc Datenformat

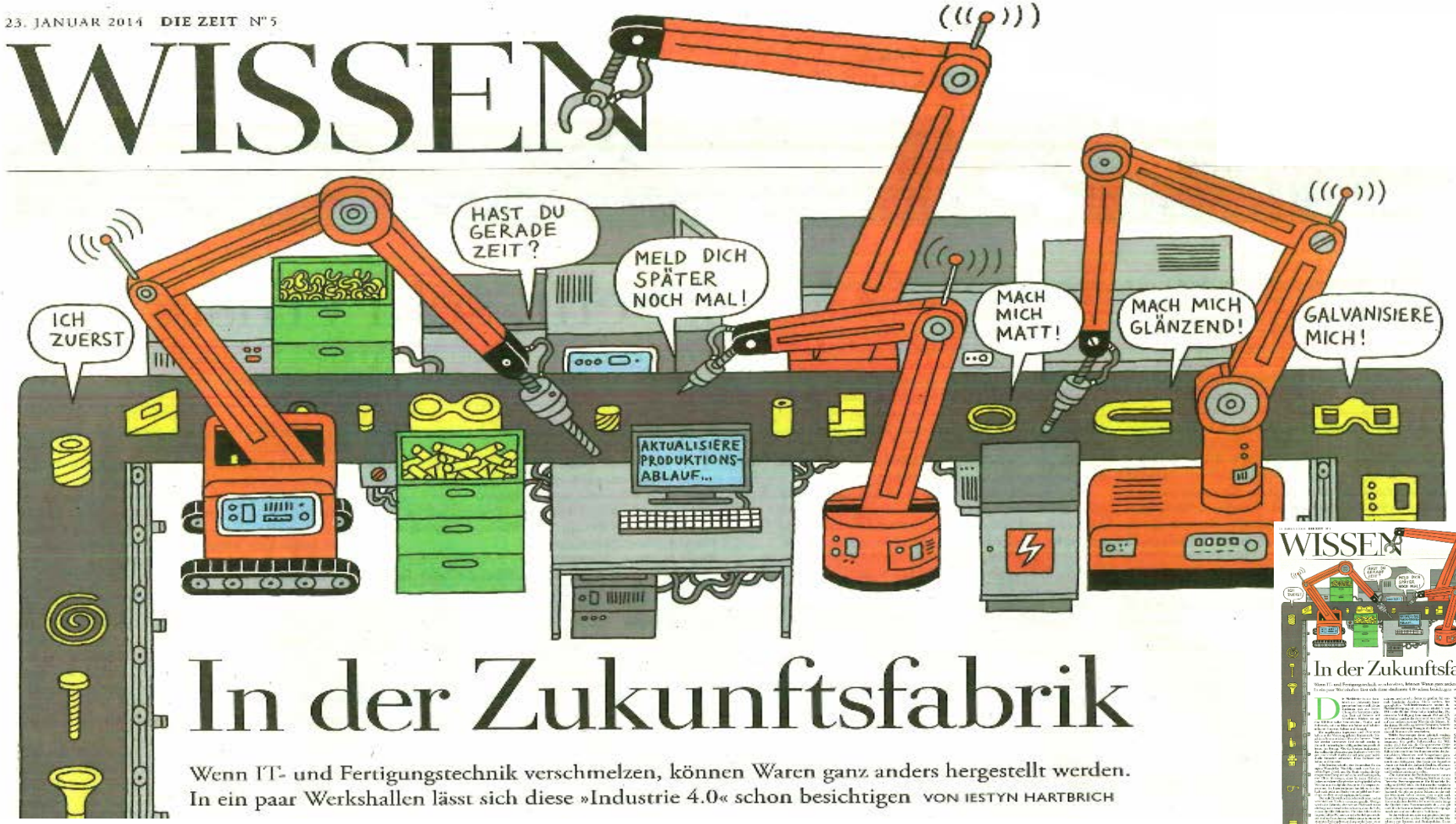
Produktgedächtnis im Offenen Regelkreis

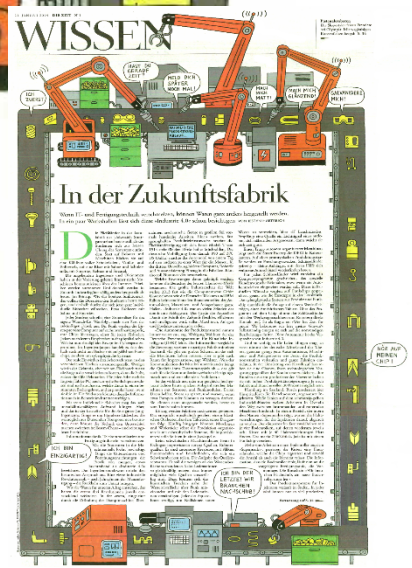


Semantisches Datenformat

© W. Wahlster

Jazz versus Klassik in der Fabriksteuerung



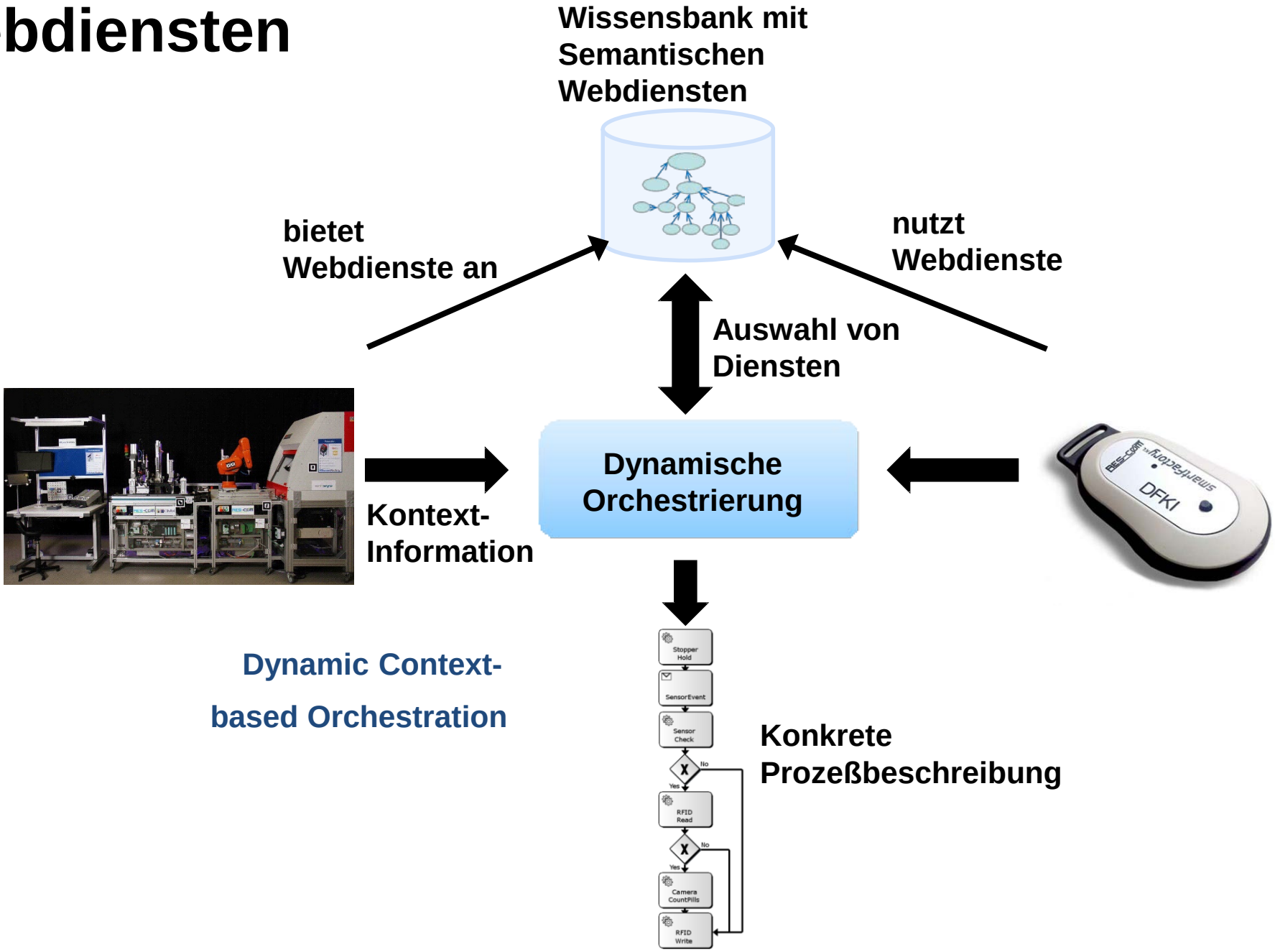


aus: Die Zeit,
23. Januar 2014

“Von der Kommunikation der Musiker untereinander hängt die Qualität ihres Zusammmenspiels ab.”

Industrie 4.0: Dynamische Orchestrierung von Webdiensten

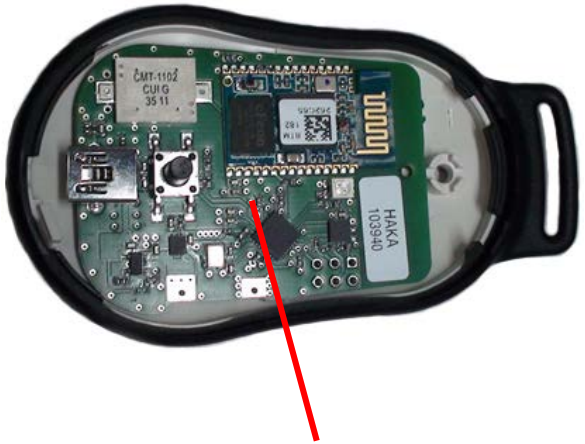
Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur



© W. Wahlster

Produktion eines intelligenten Schlüsselfinders mit cyber-physischen Technologien in der Smart Factory

Digitales Produktgedächtnis
im Rohling

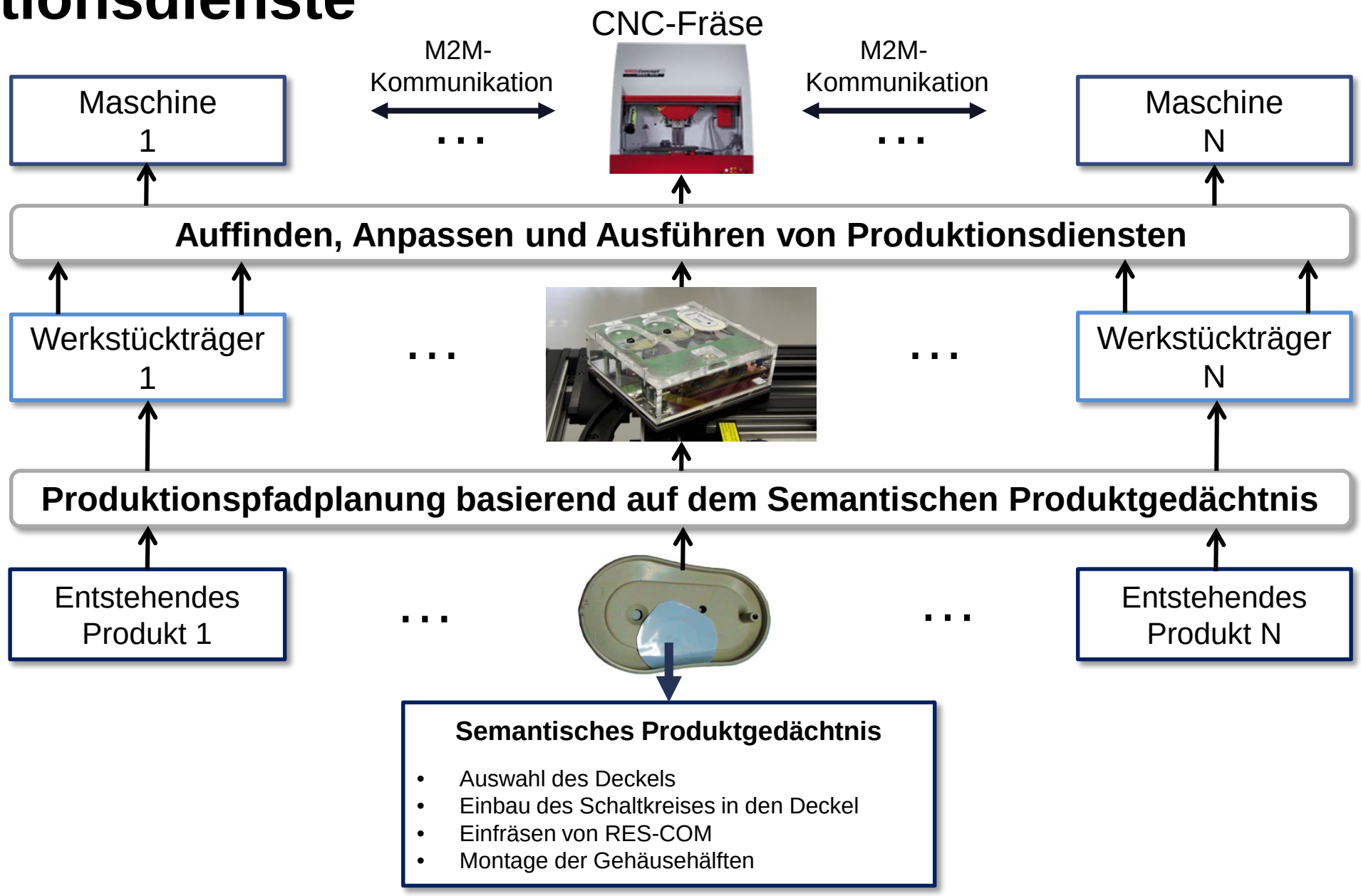


Eingebettetes System
mit Funkmodul im Schlüssel

Assemblierter intelligenter
Schlüsselfinder

© W. Wahlster

Das Werkstück sucht sich die passenden Produktionsdienste



© W. Wahlster

Dynamischen Dienste-Orchestrierung mit Wahl zwischen Ressourcenschonung oder Liefertreue

Plug&Play
Geräteintegration

Ressourcen-
schonung

Abstrakte Prozess-
beschreibung

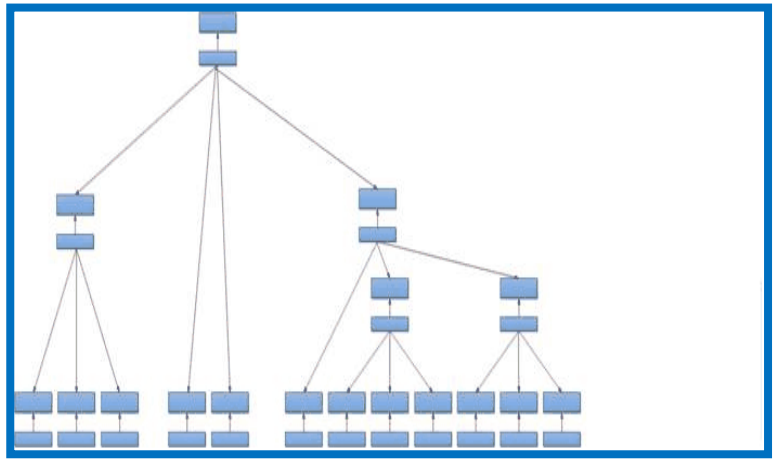
Conveyor1.transport (lowSpeed) → Pick&Place.insertBottom (AssemblyPlace4) → Pick&Place.insertBoard (AssemblyPlace4) → Pick&Place.insertCap (AssemblyPlace4) → AssemblyPlace4.compress

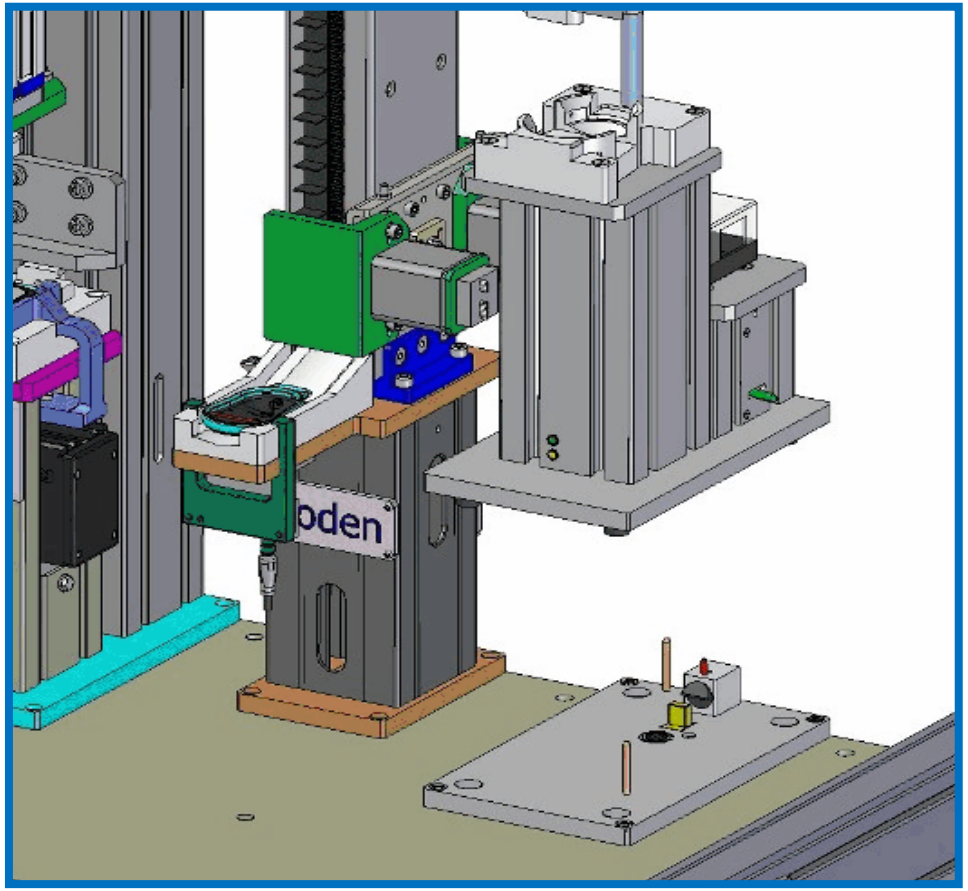
Adaptiert von Losykll 2013

© W. Wahlster

Plug&Produce basiert auf der adaptiven Servicebeschreibungen

- Plugin neuer CPS auf physischer, digitaler und semantischer Ebene
- Diensteontologien werden automatisch erweitert





Im laufenden Betrieb wird eine neue Komponente nachgerüstet

Adaptiert von Losykll 2013

© W. Wahlster

Der Mensch im Mittelpunkt beim Entwurf CPS-basierter Assistenzsysteme

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Physische Assistenz durch Exoskellette

Kontextadaptive Assistenz bei der Diagnose von Fehlfunktionen

Mobile, personalisierte, situationsadaptive Lernsysteme

AR/VR/DR-Assistenz bei komplexen Arbeitsprozessen

Multimodale Mensch-Maschine Interaktion

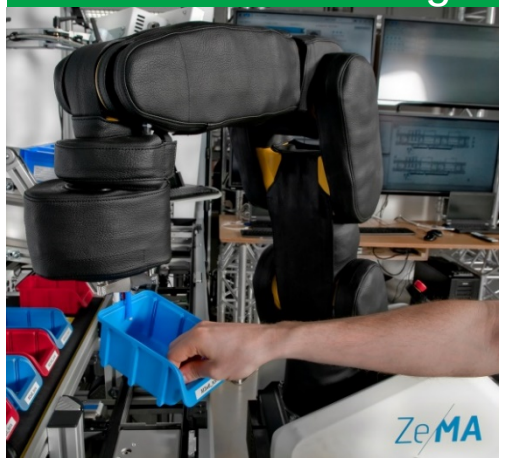
Lokationsbasierte Wartungs- und Planungsassistenz

© W. Wahlster

Assistenz auf dem betrieblichen Hallenboden: Mensch-Roboter-Kooperation und Prozessüberwachung

- Ein MRK-fähiger Roboter reicht dem Werker prozessbegleitend immer die richtigen benötigten Schrauben an
- Überwachung des richtigen Ablaufs und Ausführung des Schraubprozesses (Position, Parameter, Schraubverfahren)
- Der Einsatz des Schraubers wird via Ultraschall überwacht
- Dokumentation der Schraubprozesse

MRK - Anwendung



Überwachung Schraubprozess

© W. Wahlster

Boschs APAS Cobot in der SmartFit-Anlage des DFKI: Das richtige Werkstück wird im richtigen Moment angereicht

© W. Wahlster

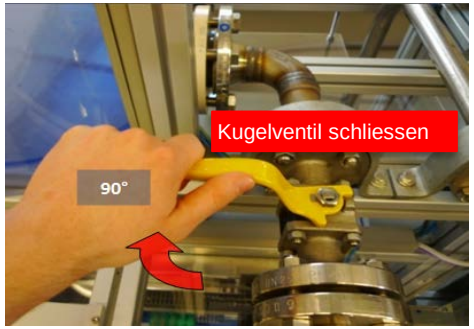
IKT-Technologien der erweiterten und dualen Realität helfen den Beschäftigten beim Erlernen komplexer Arbeitsschritte vor Ort in der Fabrik

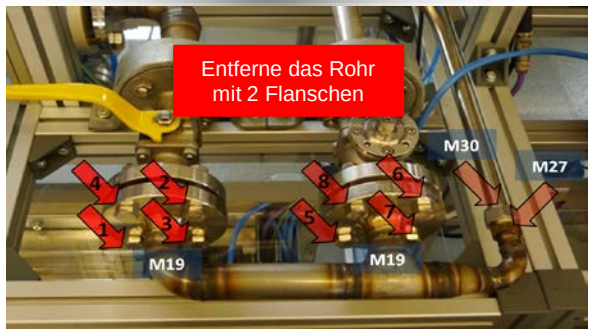
Cyber-physische Produktionssysteme

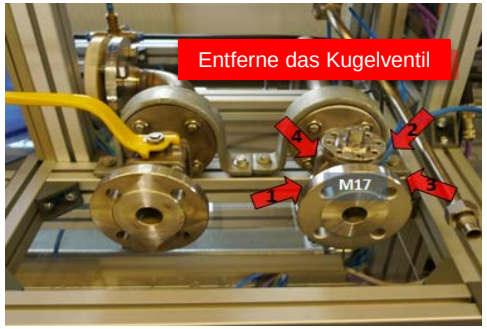
Werker mit Datenbrille

Werkzeuge

Mobiles, Interaktives und Situationsadaptives Lernen
In-situ Tutorsystem

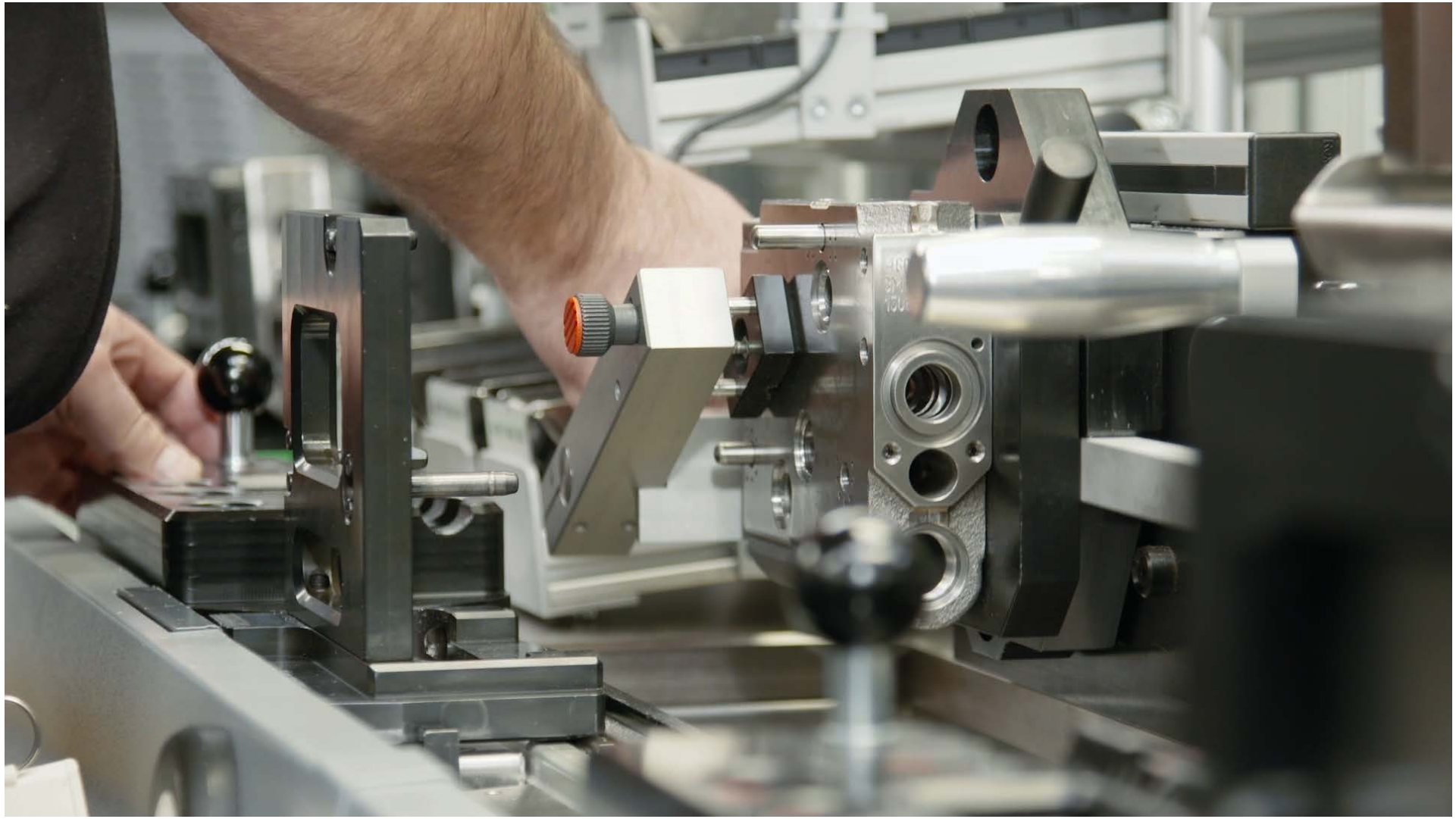






© W. Wahlster

Smart Automation Line bei Bosch-Rexroth in Homburg



Kooperation mit dem DFKI im Power4Production-Zentrum im SmartF-IT-Projekt

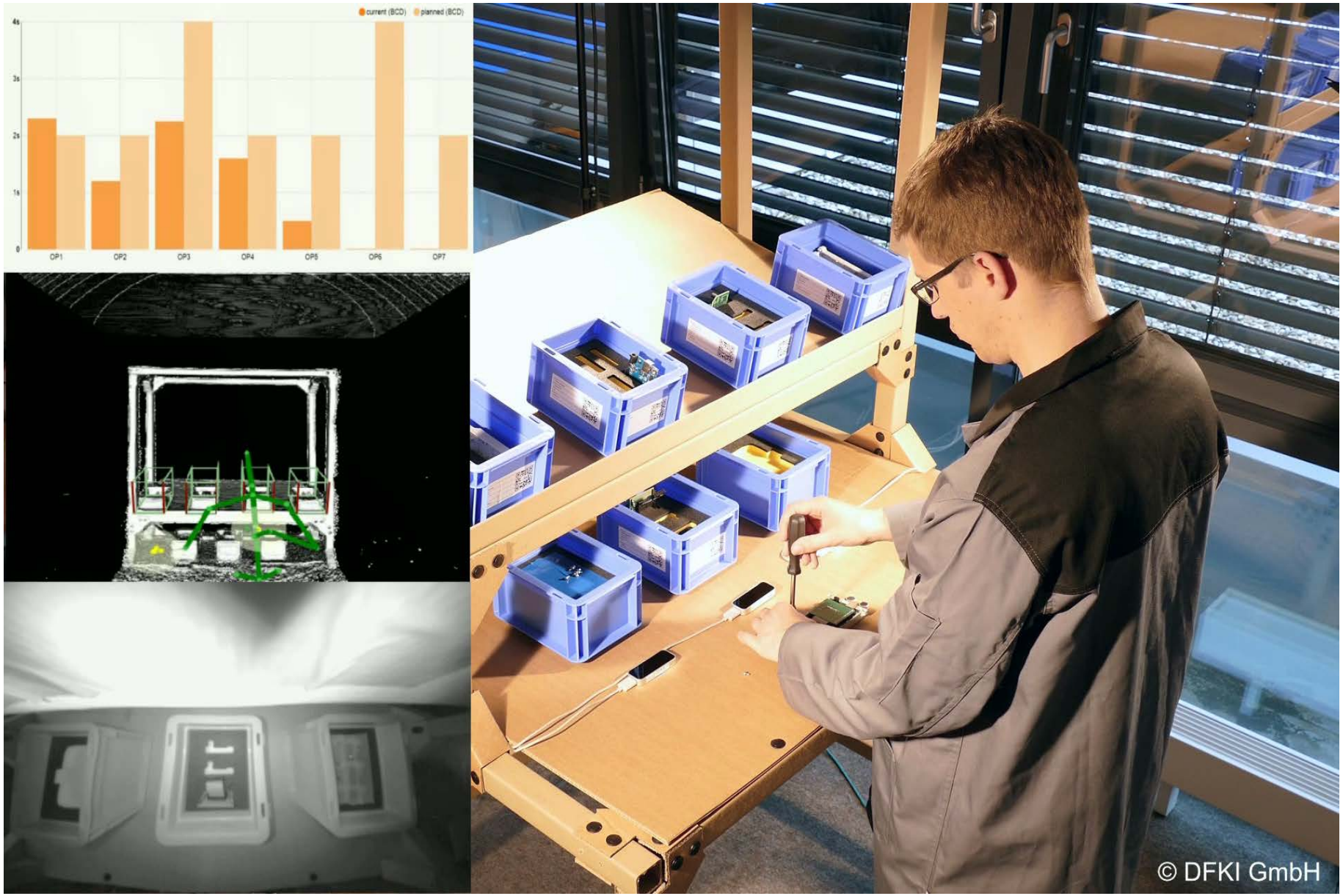
Quelle: Bosch-Rexroth

Industrie 4.0: Digitale Assistenten in der Fabrikwelt von Morgen

© W. Wahlster

DFKI Spin-Off IOXP ermöglichen intelligente Werkerassistenzsysteme auf der Basis erweiterter Realität durch Datenbrillen

Optische Arbeitsschrittanalyse



Assistenzsysteme als „Fähigkeitsverstärker“ physischer und kognitiver Leistungen

ExoHand © FESTO

RoboGlove © General Motors

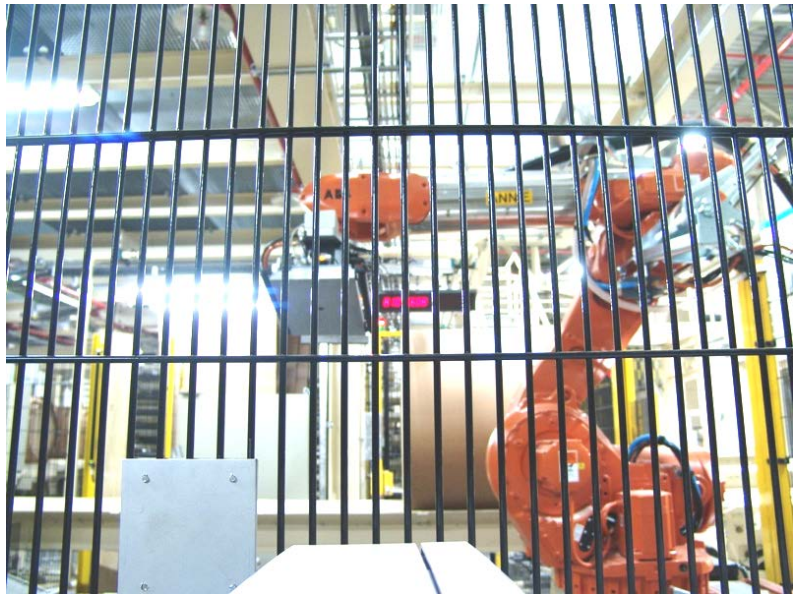
- Vermeidung von Belastungsstörungen bei Mitarbeitern, die ständig ähnliche Bewegungen mit den Händen ausführen
- HGA (Human Grasp Assist) enthält Aktoren, mechanische Sehnen, sowie eine feine Drucksensorik
- HGA erkennt, wie der Träger Hände und Finger einsetzen möchte und erlaubt Bewegungen mit deutlich weniger Kraftaufwand
- Sensibel genug, um Händedruck zu erkennen

© W. Wahlster

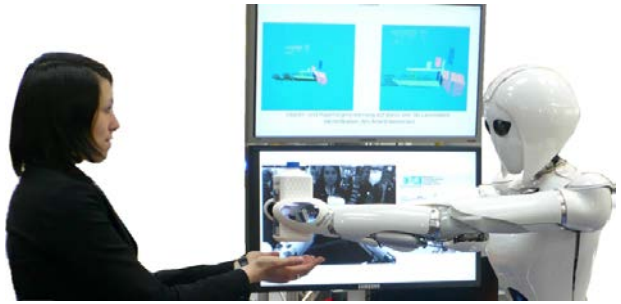
Industrie 4.0: Roboter werden aus ihren Käfigen befreit und kooperieren mit den Werkern

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

heute



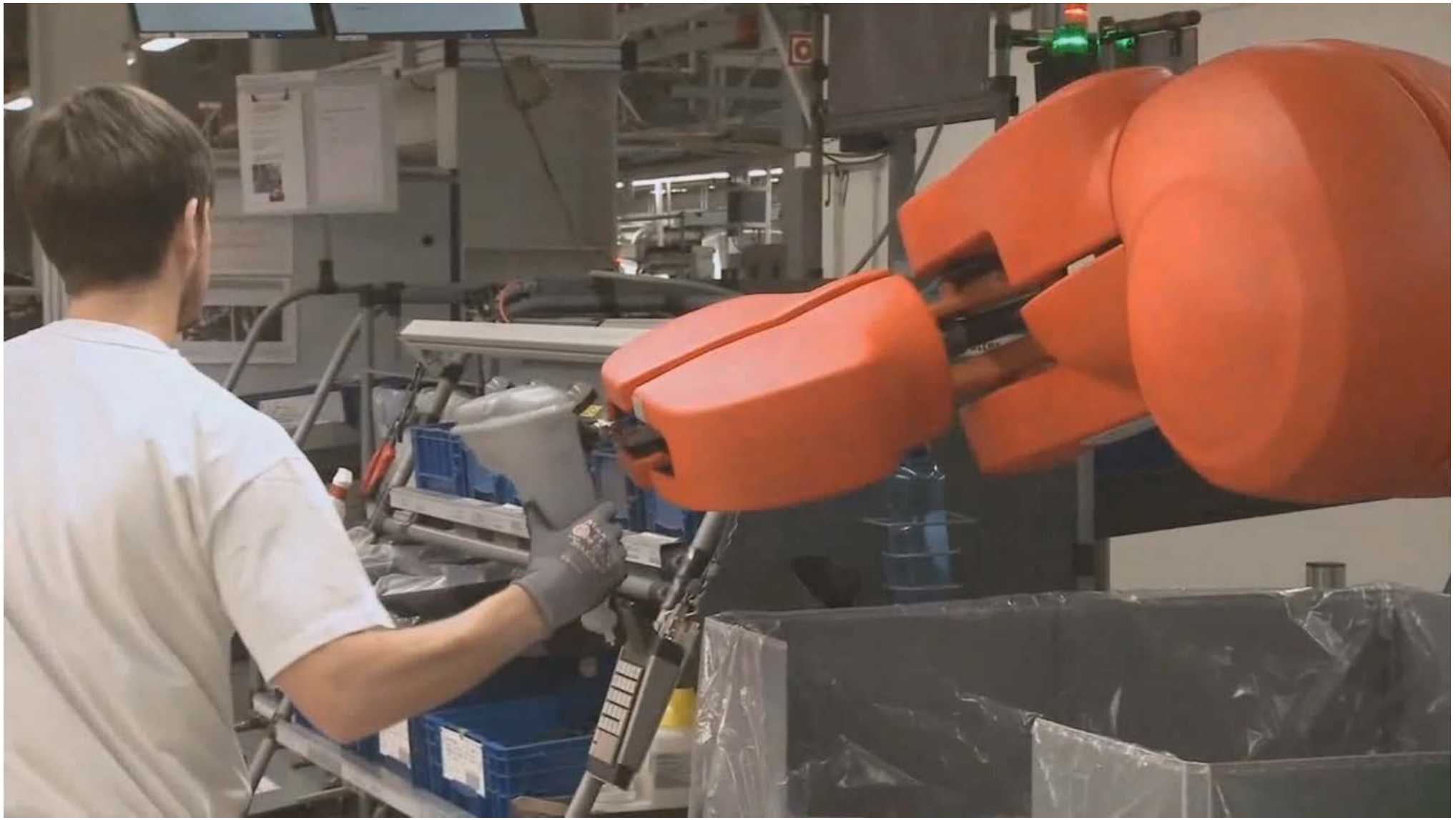
morgen



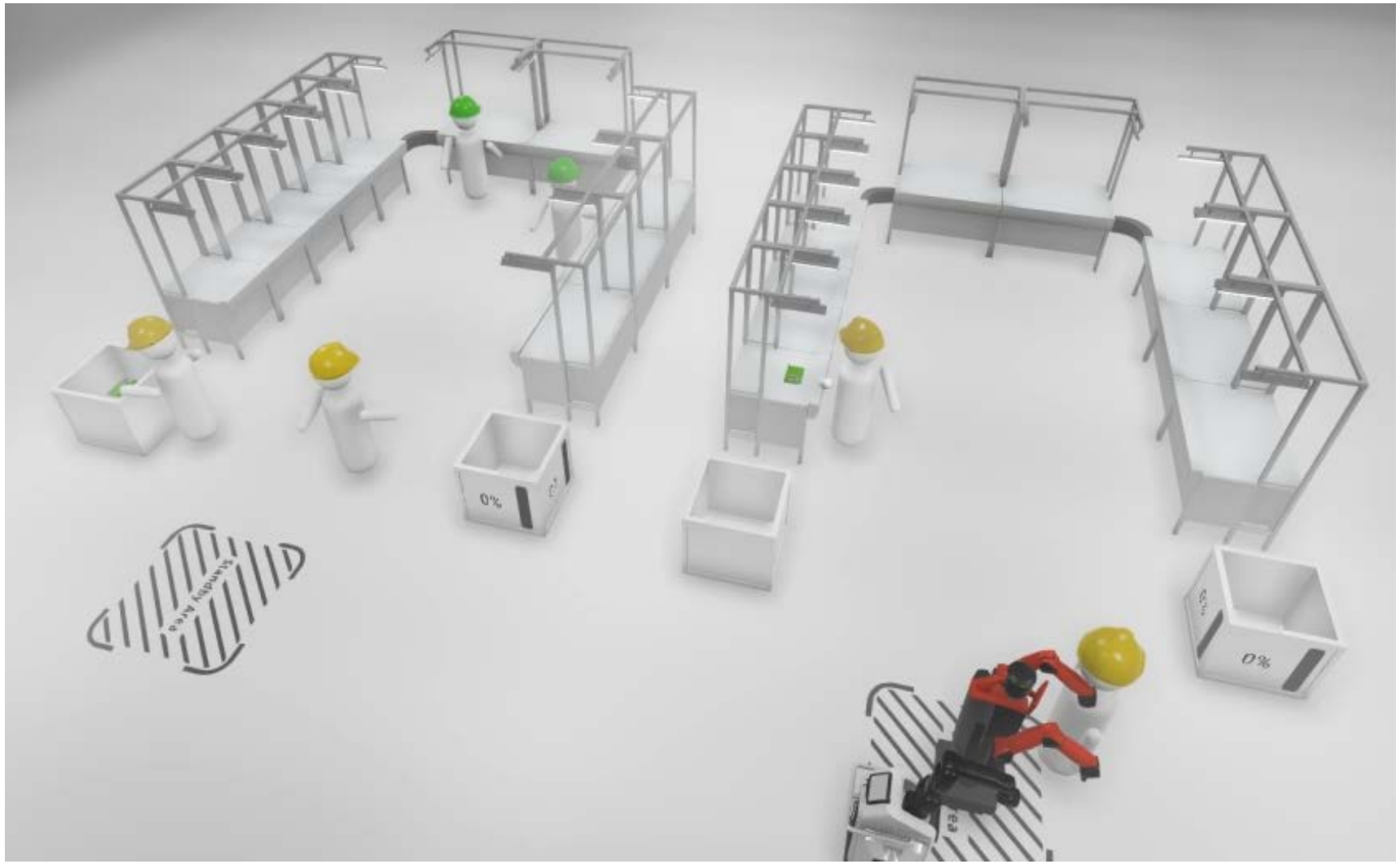
Die **neue Generation von Leichtbaurobotern** arbeitet mit dem menschlichen Werker als Assistenzsysteme „hautnah“ zusammen mit humanoidem Ausweichverhalten ohne Verletzungsgefahr für die Mitarbeiter.

© W. Wahlster

Kollaborative Roboter bei Audi



KI-basierte Echtzeitplanung von hybriden Mensch-Roboter-Teams



© W. Wahlster

Hybride Automobilmontage durch Mensch-Roboter-Kollaboration

Variantenvielfalt

manuelle Montage

hybride Montage

www.mrk-syteme.de

www.universal-robots.com

www.kuka-robotics.com

www.abb.de

www.rethinkrobotics.com

www.dfki.de

automatische Montage

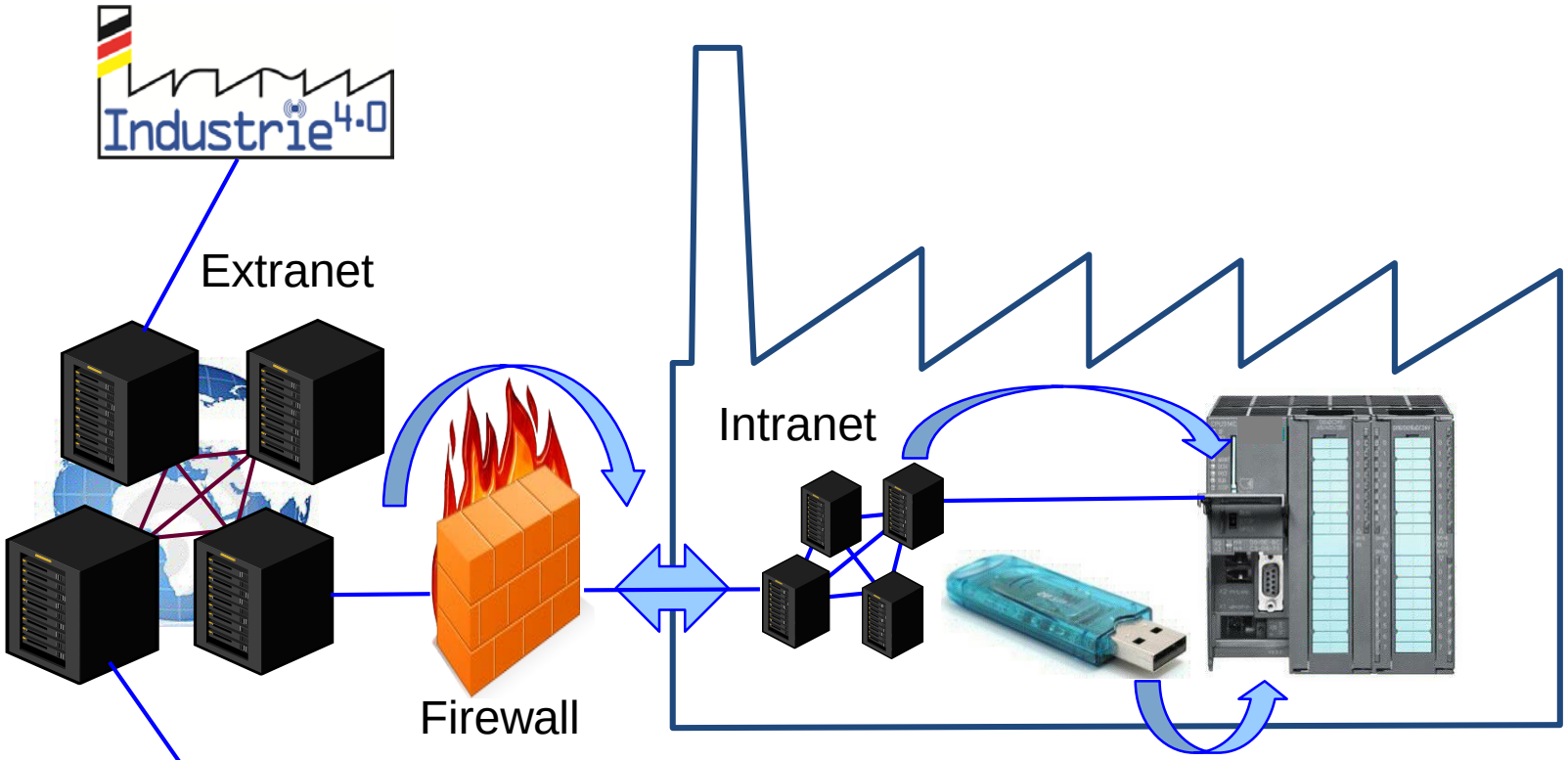
Stückzahl

Aufwand an Sensorik

Angelehnt an B. Lotter

Wahlster

Ohne Sicherheitsstandards sind Smart Factories bedroht



Gefahren:

- Infizierte Privatgeräte in der Fabrik (BYO)
- Spezialviren und Trojaner für eingebettete Systeme (Stuxnet und Duqu)

© W. Wahlster

Industrie 4.0: Grüne und nachhaltige urbane Produktion

Johannes Gutenberg Stiftungsprofessur

Industrie 4.0

Smarte Produktion

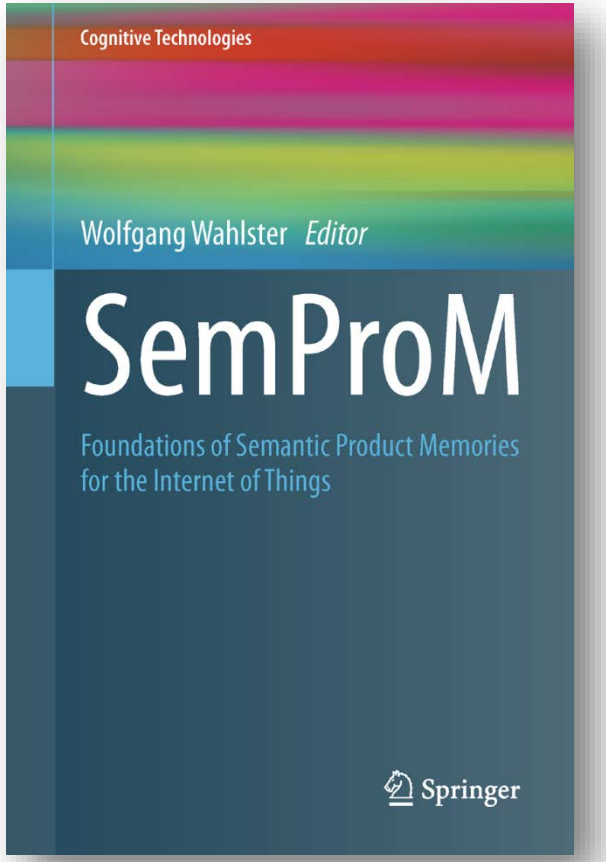
Grüne Produktion

Urbane Produktion

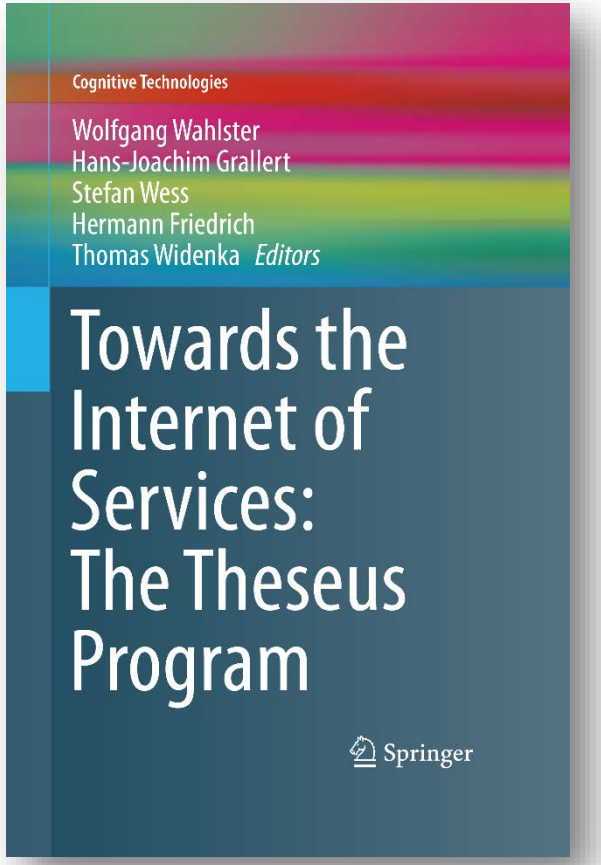
Nahe am Wohnort der Mitarbeiter

© W. Wahlster

Zwei Bücher zu den Grundlagen der Zukunfts-projekte Industrie 4.0 und Smart Service Welt

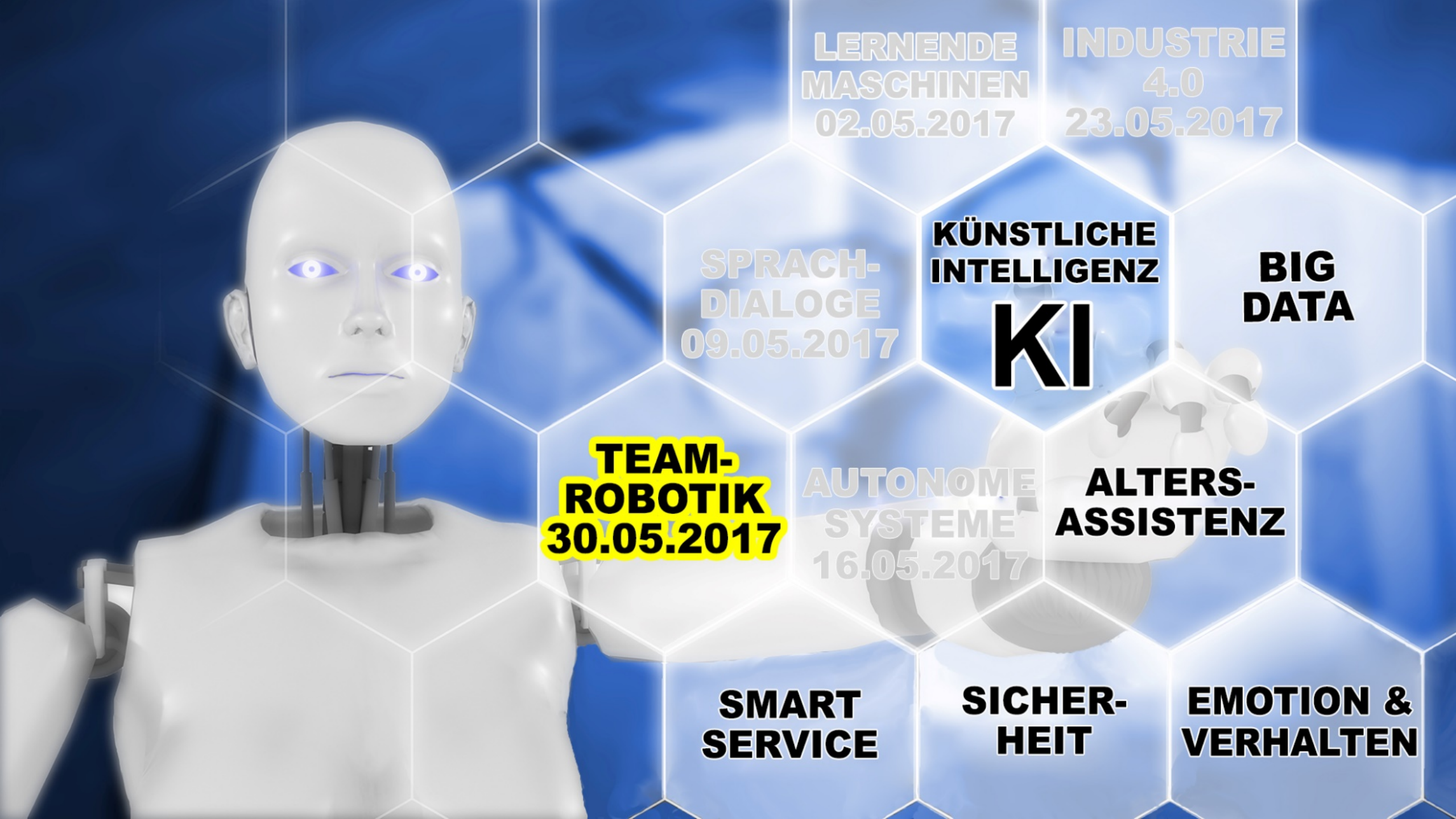


Springer 2013
400 Seiten



Springer 2014
500 Seiten

© W. Wahlster


LERNENDE MASCHINEN 02.05.2017
INDUSTRIE 4.0 23.05.2017
SPRACH-DIALOGE 09.05.2017
KÜNSTLICHE INTELLIGENZ
KI
BIG DATA
TEAM-ROBOTIK 30.05.2017
AUTONOME SYSTEME 16.05.2017
ALTERS-ASSISTENZ
SMART SERVICE
SICHER-HEIT
EMOTION & VERHALTEN

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Johannes Gutenberg
Stiftungsprofessur