
DIE PRODUKTION DER ZUKUNFT ZWISCHEN MASS PERSONALIZATION UND MASS SUSTAINABILITY

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
10. März 2015



Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart

- 60 Mio Euro Budget
- 22,3 Mio Wirtschaftsertrag
- über 1.000 Mitarbeiter
- Geschäftsfelder
 - Automotive
 - Maschinen- und Anlagenbau
 - Energiewirtschaft
 - Elektronik und Mikrosystemtechnik
 - Medizin- und Biotechnik
- Forschungshighlights
 - Arena 2036
 - Virtual Fort Knox
 - Fast Storage BW
 - Care-O-bot® 4



A large number of national flags are flying on tall, silver poles against a clear blue sky with scattered white clouds. The flags are of various colors and designs, including the Union Jack, the German flag, the Canadian flag, and the Chinese flag. The perspective is from a low angle, looking up at the flags.

Internationaler Vergleich – Der Wettlauf hat begonnen

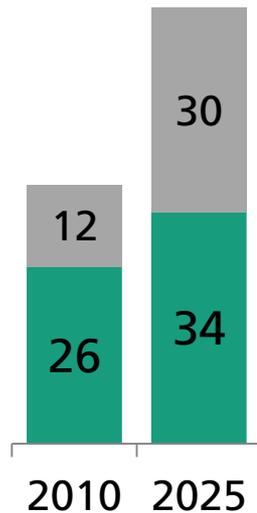
Globale Perspektive

Kundenzentrierte und nachhaltige Lösungen machen das Rennen

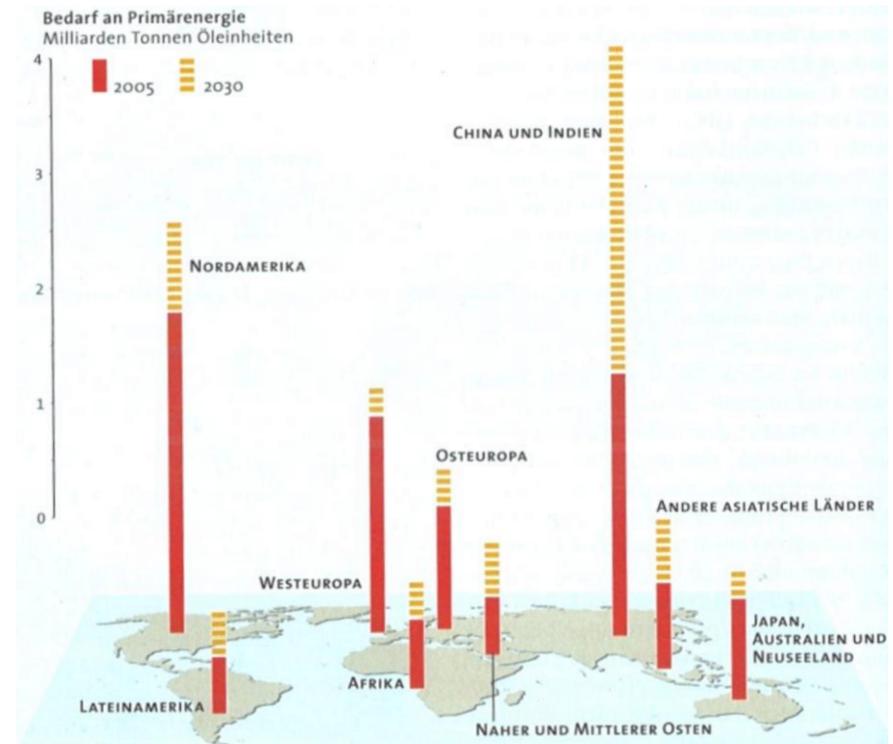
Mass Personalization

Weltverbrauch
(Billiarden US Dollar)

- Entwicklungsmärkte
- Entwickelte Märkte



Mass Sustainability



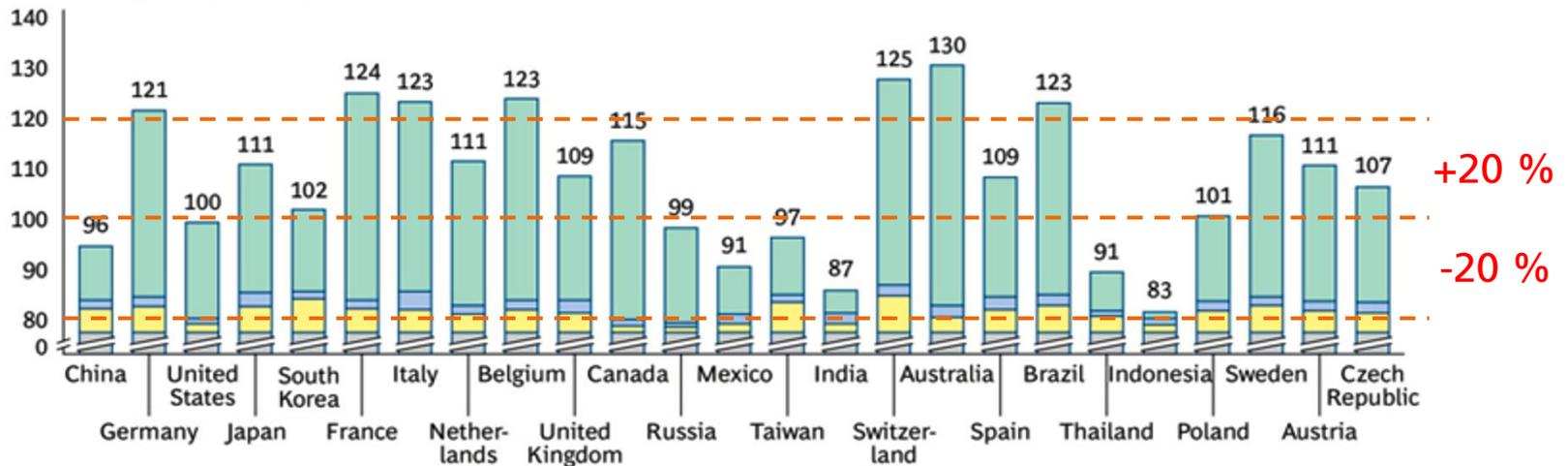
Quellen: Wolfeshorn Center for Development, Brookings Institution); Groningen Growth and Development Centre; McKinsey Global Inst.

Produktionskostenindex 2014

Die Produktionskosten konvergieren immer mehr

EXHIBIT 1 | Comparing the Top 25 Export Economies

Manufacturing cost index, 2014 (U.S. = 100)



Volume of exports (highest to lowest)

■ Labor¹
■ Electricity
 ■ Natural gas
 ■ Other

Sources: U.S. Economic Census; U.S. Bureau of Labor Statistics; U.S. Bureau of Economic Analysis; International Labour Organization; Euromonitor International; Economist Intelligence Unit; BCG analysis.

Note: The index covers four direct costs only. No difference is assumed for other costs, such as raw-material inputs and machine and tool depreciation. Cost structure is calculated as a weighted average across all industries.

¹Adjusted for productivity.



Mass Sustainability

Die Wende in der Produktion

Von der Wertschöpfung zur Wertschaffung



Informations- und Kommunikationstechnologie als Enabler

Bildquellen: hbw-cs.de; freemalaysiatoday.com; t2.ftcdn.net; livingwater-online.de; verkehrsrundschau.de; wieland-edelmetalle.de, SEW Eurodrive

Das Konzept der Ultraeffizienz in der Produktion

Von der Wertschöpfung zur Wertschaffung



Die Energiewende in der Fabrik

Systemische Konzepte sind die Lösung

Energiegewinnung:

- Regenerative Energiequellen (z.B. Sonnenenergie, Windenergie, ...)

Energieverteilung:

- Smart Grids (z.B. Lokale Micro Grids)
- Speichertechnologie (z.B. Redox Flow Batterien)

Energierückgewinnung:

- Verstromung von Abwärme (z.B. ORC)
- Rekuperation (z.B. Superkondensatoren)
- Energy Harvesting (z.B. Thermoelektrik)



Bildquellen: elektro-ruehl.com, muelacker.de

Internet of Everything (IoX)

Holistische Vernetzung der Welt als Basis neuer „Business-Ecosystems“

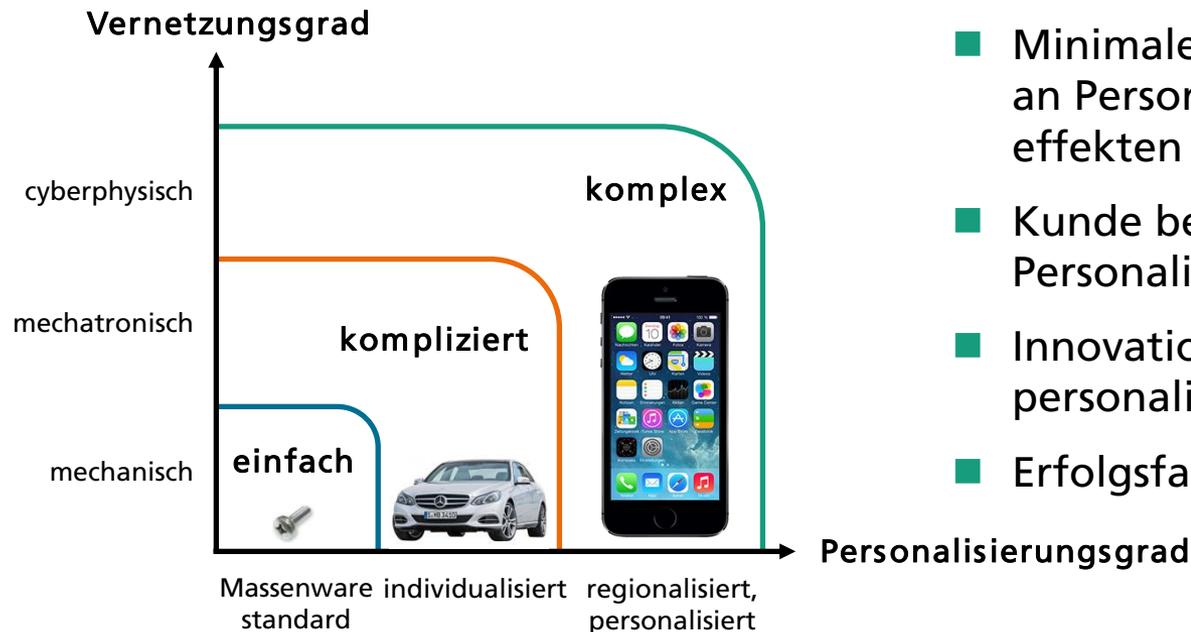
- 3 Mrd Menschen nutzten 2014 das Internet
- 3,8 Mrd Dinge sind 2014 über das Internet vernetzt. (2020 werden vors. 25 Mrd Dinge vernetzt sein.)
- Die Anzahl der Services im Internet sind ungezählt
Bsp.: über 1,3 Mio Apps im Apple Store wurden mehr als 75 Mrd mal heruntergeladen
- Neue Formen des Wirtschaftens entstehen:
 - Shared Economy
 - Prosumer
 - Industrie 4.0
 - ...



Bildquelle: <http://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-the-digital-universe-in-2020.pdf>

Wandel der Produktarchitektur aufgrund von steigender Vernetzung und Personalisierung

Offene Architekturen in Verbindung mit Cyber-physischen Systeme legen die Basis für „Big Bang Disruptions“

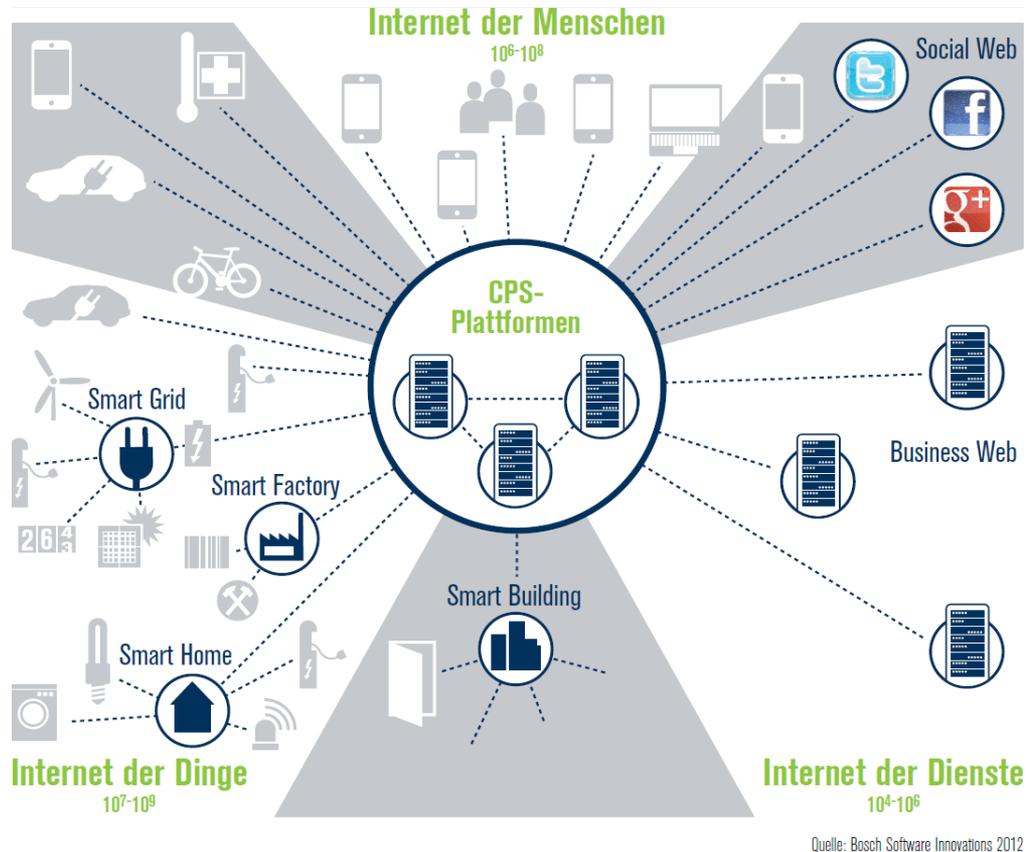


- Minimale Komplexität bei Maximum an Personalisierung und Skaleneffekten
- Kunde beteiligt sich am Personalisierungsprozesses
- Innovationsfokus: Eco System, personalisierte Assistenz und HMI
- Erfolgsfaktor: Offenheit

Quellen: Wildemann, H.: Wachstumsorientiertes Kundenbeziehungsmanagement statt König-Kunde-Prinzip; Seemann, T.: Einfach produktiver werden – Komplexität im Unternehmen senken; Bildquellen: apple.de

Entwicklungsstufen der CPS

Von der BUS-Fähigkeit zur IP-Fähigkeit



CPS: cyber-physical System, RFID: radio-frequency identification

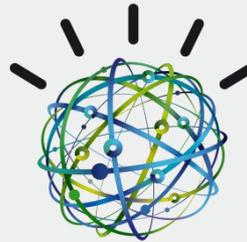
Die Basis: Rechenleistung und Vernetzung

Moore und Metcalfe behalten recht und bestimmen die Möglichkeiten und Wert eines Unternehmens

Vernetzung

Metcalfe:

Der Nutzen eines Kommunikationssystems wächst mit dem Quadrat der Anzahl der Teilnehmer.“



Leistung

Moore:

„Die Rechnerleistung verdoppelt sich alle 18 Monate.“

Ökosysteme für Smart Business Modelle

Transparenz

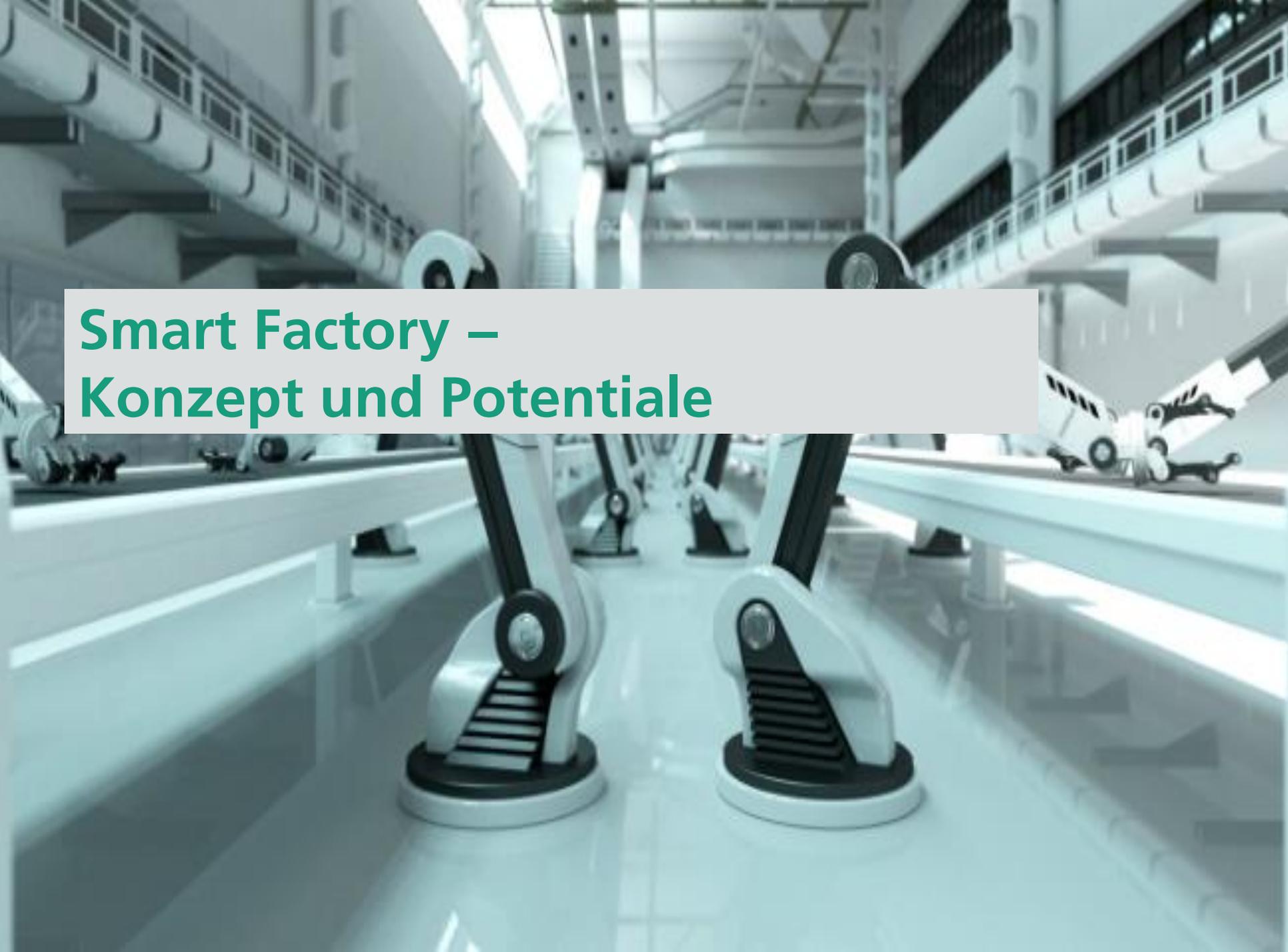
- cyber-physische Systeme
- Internet der Dinge und Dienste
- Real time & at run time
- Everything as a Service

Wissen



Bildquellen: wikipedia.de, ibm.com, abcnews.com

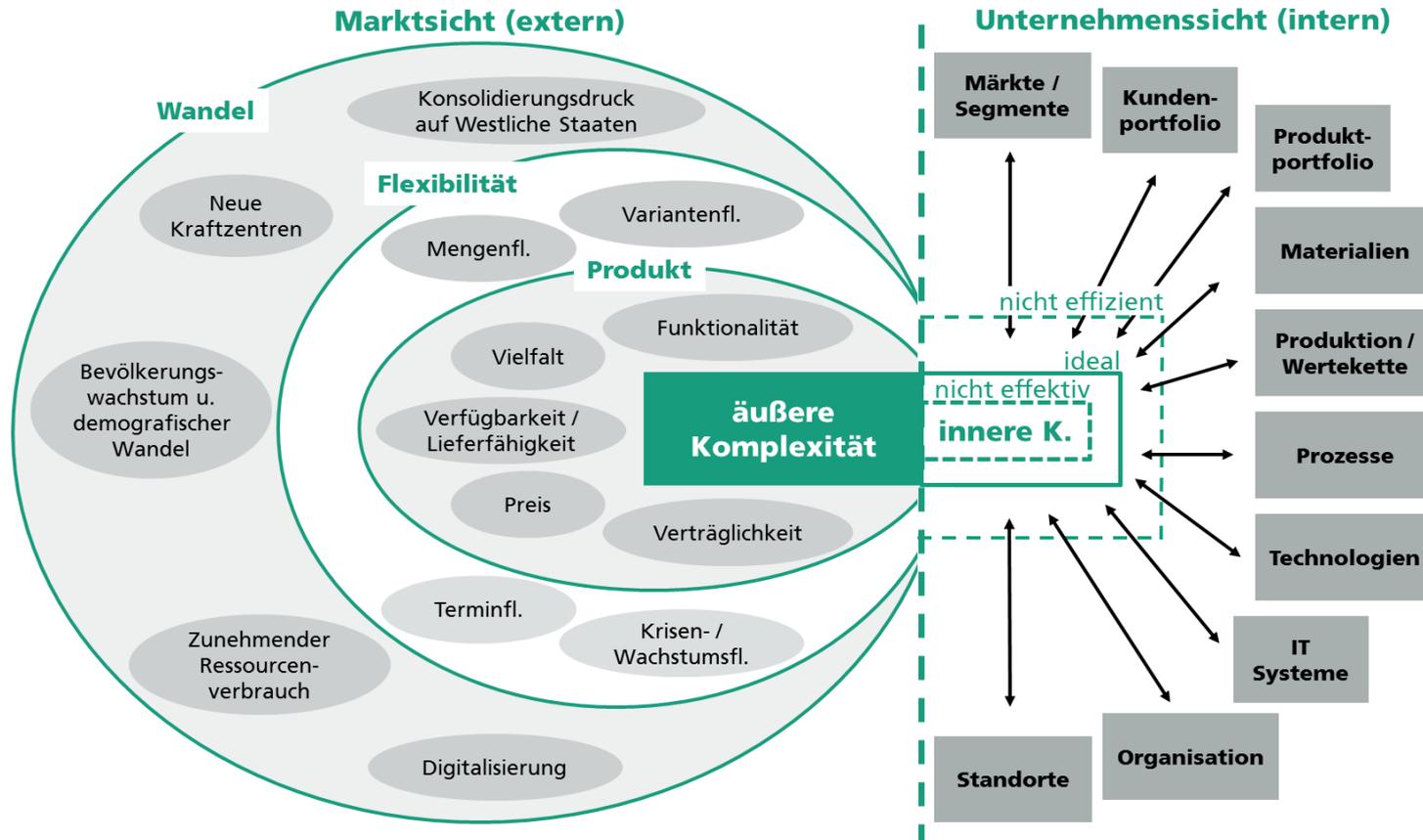


The image shows a clean, modern industrial environment. In the foreground, two white robotic arms with black joints are mounted on a white base. They are positioned on a white conveyor belt system. In the background, more robotic arms and conveyor belts are visible, creating a sense of depth and automation. The lighting is bright and even, highlighting the sleek, white surfaces of the machinery.

Smart Factory – Konzept und Potentiale

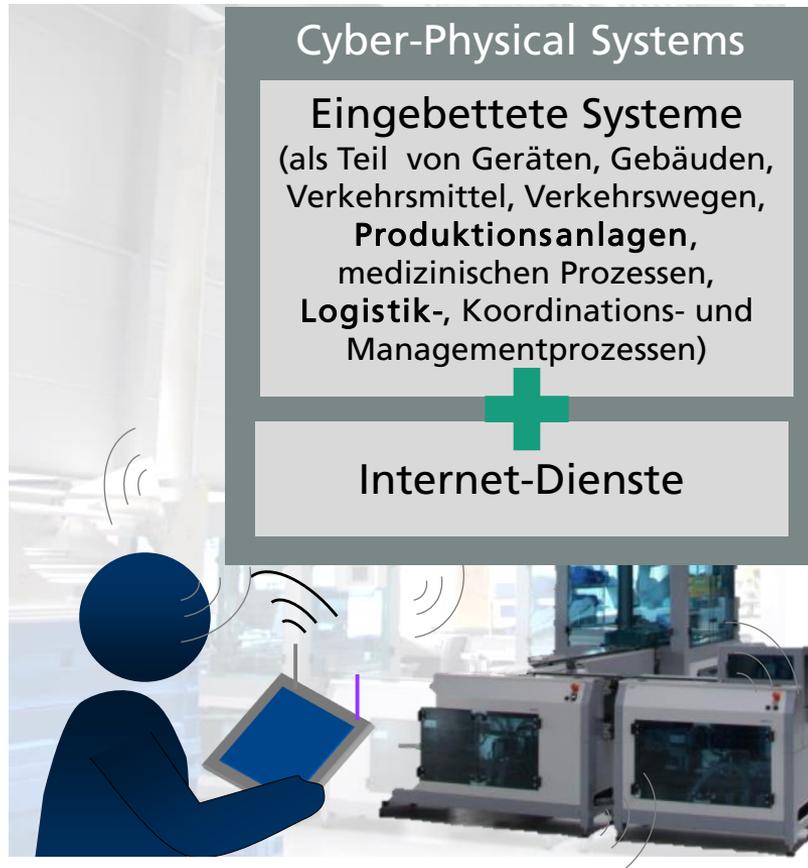
Gegenüberstellung äußere – innere Komplexität

Die Bewirtschaftung von Komplexität wird zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor



Die nächste Ebene der Dezentralisierung

Von der fraktalen Fabrik zum cyber-physischen Produktionssystem



Nach ACATECH, 2012

Kennzeichen:

- Erfassung unmittelbar physikalische Daten mit Sensoren
- Verwendung weltweit verfügbarer Daten und Dienste
- Daten auswerten und speichern
- Vernetzung über digitale Kommunikationstechnologien
- Einwirken auf physikalische Welt mit Aktoren
- Verwendung multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen

Kontextmanagement ersetzt die operative Planung

Die Smarte Fabrik organisiert sich dezentral und selbst in Echtzeit



Cyber-physische Systeme (z.B. Maschinen, Anlagen)

- haben eine Identität
- kommunizieren untereinander und mit der Umgebung
- konfigurieren sich selbst (Plug and Produce)
- speichern Informationen

dezentrale Selbstorganisation in Echtzeit

Fragmentierung und Neuverteilung der Wertschöpfung

Kunden-Integration und Service-Orientierung

Kunde als Teil der Wertschöpfung im Produktlebenszyklus

- Co-Creation (community driven)
- Crowd X (-Innovation, -Funding, -Creation,...)
- XaaS (Infrastruktur, Plattform, Software, Capability)

The screenshot shows the eMachineShop website. At the top left is the logo "eMachineShop® machine custom parts online". To the right is a newsletter sign-up form: "JOIN OUR NEWSLETTER" followed by an input field "Enter Your Email Address" and a "GO" button. Below that is a link "? Ask a Question". A navigation bar contains links: Home, About Us, Machining, Capabilities, Software, Pricing, Resources, Contact. Below the navigation bar is a blue banner with the text "Create custom metal and plastic parts through our ONLINE machine shop!". The main content area is divided into three vertical panels: 1. "1 DOWNLOAD" with the text "Get our free easy-to-use CAD software" and a "DOWNLOAD CAD SOFTWARE" button. 2. "2 DESIGN" with the text "Use our software to design your custom part" and a "DEMONSTRATION >>" button. 3. "3 ORDER" with the text "Get an instant price and click to order." and an "ORDER HELP >>" button. To the right of these panels is a search bar with "SEARCH" and "GO" buttons. Below the search bar is a "DOWNLOAD FREE CAD SOFTWARE for Windows" section with a "LATEST VERSION" button. At the bottom right is an "ORDER STATUS" section with input fields for "E-MAIL" and "PASSW" and a "GO" button.



Quellen: emachineshop.com, ocalmotors.com

Additive Manufacturing

Drucke dein personalisiertes Produkt

Additive Manufacturing (3D-printing)

- 3D-Druck auf dem Höhepunkt für Consumer-Anwendungen (Gartner)
- Der industrielle Bereich erreicht die optimalen Produktivität erst in 2–5 Jahren.

Neuentwicklungen im Bereich

- Materialauswahl und -entwicklung
- Geschwindigkeit
- zunehmende Präzision
- zunehmende mechanische Belastbarkeit der Bauteile



Quellen: Arburg, Fraunhofer IPA

Rechnertechnik früher und heute

Bauraumreduzierung und Weiterentwicklung der IT-Integration

1972–1976

SINUMERIK „System 500“
aus NC wird CNC



- 1 Kanal/bis zu 6 Achsen
- G-Code-Programmierung (ISO (DIN 66025))
- Doppelwickler (Programmspeicher) für 250m Lochstreifen
- Rechneranschluss (online, DNC) an Siemens-Prozessrechner der Familie 300 als Glied in der Kette einer integrierten Datenverarbeitung in einer Fertigung

2005–2014

SINUMERIK 840D sl



- Bis zu 30 Kanäle/93 Achsen
- Multitechnologie-CNC
- Hochsprachen- und Arbeitsschrittprogrammierung, ISO Codes
- CNC Anwenderspeicher 15MB + CF-Card 6GB oder 12 GB auf SSD der PCU
- IT-Integration in die Fertigung standardmäßig über USB, CF-Card und TCP/IP-Ethernet sowie über die Produktsuite SINUMERIK Integrate for Production.

SINUMERIK 550

Bahnsteuerung, 6 Achsen, Fräsen

SINUMERIK 540

Streckensteuerung, 4 Achsen,
Bohren und Fräsen

SINUMERIK 530/45

Bahnsteuerung, 2 Achsen,
Stanz- und Nibbeln

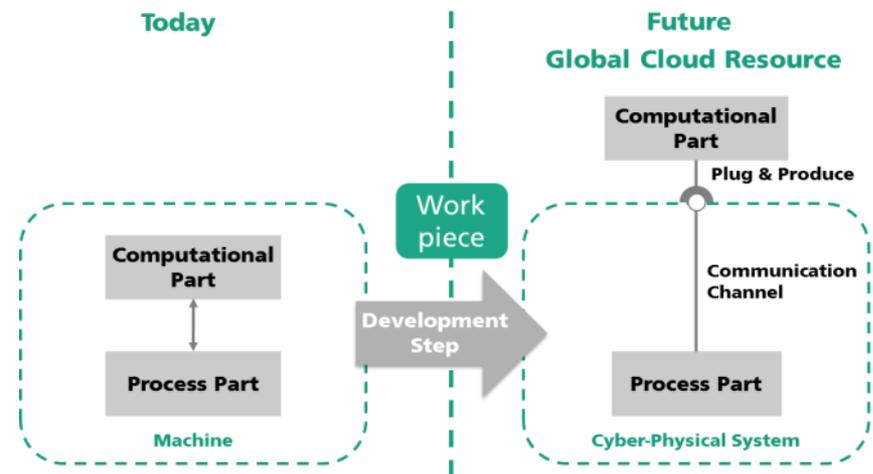
SINUMERIK 520

Bahnsteuerung, 2 Achsen, Drehen

De-Materialisierung der Software

Beispiel: Über Cloud Services gesteuerte Automation

- Neues Produkt (von der Produkt- zur Serviceorientierung)
- Kostenreduzierung durch kombinierte Steuerungseinheiten (gain by scaling)
- Einfachere System-Migration/ Erweiterung, Upgrade
- Vereinfachtes Management der Systemversionen bzw. Test neuer Versionen
- Vertrieb/Verkauf von zusätzlichen Funktionen und Services (Taktzeit-optimierung, Energiesparmodule etc.)
- Engere Kundenbeziehungen

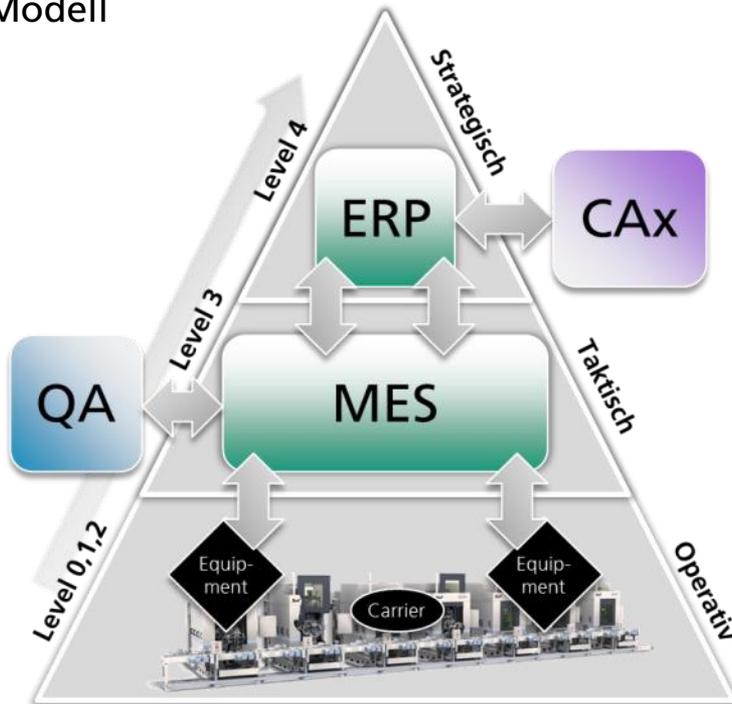


Alte IT-Architekturen lösen sich auf

Die Pyramide wird zum Netz in der Cloud

Bisher

Historisch klar hierarchisch strukturiertes Modell



Zukünftig

■ Serviceorientierung

- Weitergehende Serviceorientierung (XaaS)
- Serviceorientierte IT-Architekturen (SoA)

■ De-Hierarchisierung

- Auflösung der hierarchischen Gliederung
- Neue Funktionen basierend auf Services

■ App-isierung

- App-Entwicklung durch Endanwender
- Simulationen in Echtzeit

■ Offene Standardisierung

- Effizienzvorteile von IT-Clouds
- Fokus auf Information / Semantik

ERP: Enterprise-Resource-Planning; MES: Manufacturing Execution System; QA: Qualitätssicherung; CAx: Computer-Aided x

Menschorientierte Maschinschnittstelle

Intuitive Kommunikation treibt neue Automatisierungsprinzipien

Schnittstellen für hybride Montagesysteme

- **Remote** Schnittstellen über
 - Sehen
 - Gesten
 - Sprache
- **Physische** Schnittstellen
 - Haptische Schnittstellen
 - Headmounted Displays
 - Force-feedback Systeme



Bildquelle: google.com

ARENA 2036

Forschungscampus Stuttgart



ARENA2036 – Stuttgart Research Campus

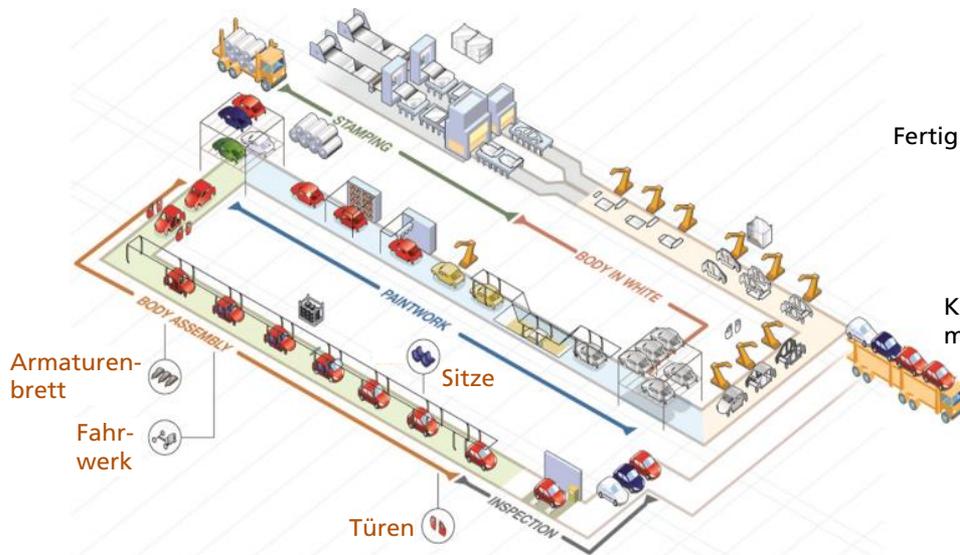
Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles



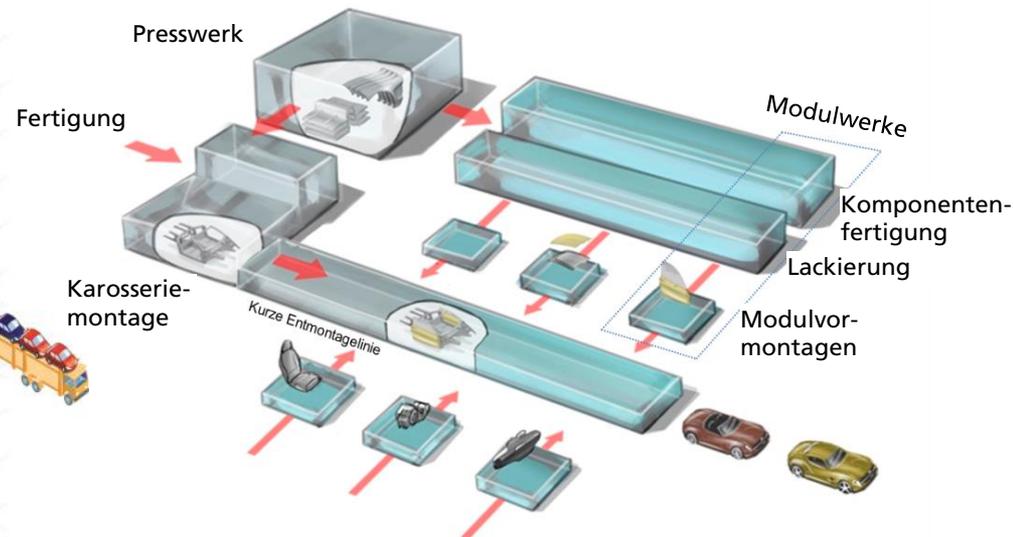
Frei anfahrbare Prozessmodule

Lösung für die (Fahrzeug)Produktion der Zukunft

Heute



Arena 2036

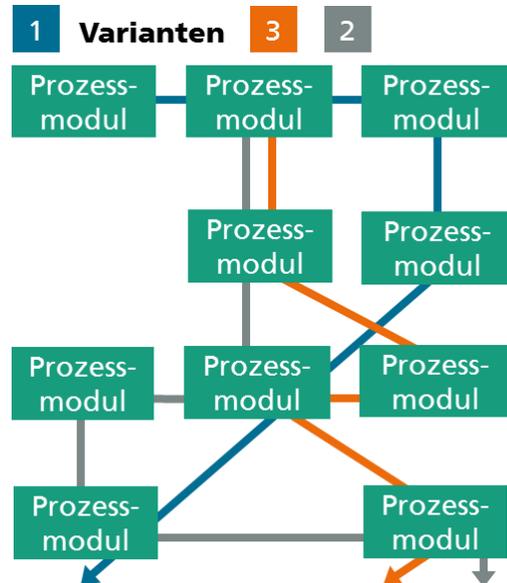


Herausforderung:

- Auflösen der klassischen Linienfertigung ohne die Nachteile der klassischen Werkstatt
- Wandlungsfähigkeit erzeugt zusätzliche Komplexität

Frei anfahrbarer Prozessmodule

Robust gegenüber Reihenfolgenanpassung



Kapazitätsanpassung <ul style="list-style-type: none"> Stückzahlveränderung Variantenänderung → Veränderung Arbeitsumfang (3 Nietpunkte → 4 Nietpunkte) 	Anpassen Betriebszeit		<ul style="list-style-type: none"> Organisationsanpassung Begrenzt auf 24h
	Anpassen Stationsanzahl <ul style="list-style-type: none"> Sequentiell Parallel 		<ul style="list-style-type: none"> Strukturanpassung auf Produktionssystemebene
	Anpassen Prozess-Geschwindigkeit		<ul style="list-style-type: none"> Maschinenanpassung Technisch begrenzt (Prozesseigenschaften)
Reihenfolgenanpassung <ul style="list-style-type: none"> Variantenänderung → Veränderung der notwendigen Stationsreihung 	Anpassen Relationen (Routenänderung)		<ul style="list-style-type: none"> Strukturanpassung auf Produktionssystemebene
Fähigkeitsanpassung <ul style="list-style-type: none"> Variantenänderung → Veränderung Arbeitsinhalt (Veränderte Lage Nietpunkte) Variantenänderung → Technologieänderung (Schrauben statt Nieten) 	Integration neuer Technologie auf bestehenden Stationen		<ul style="list-style-type: none"> Strukturanpassung auf Betriebsmittelebene
	Integration neuer Stationen		<ul style="list-style-type: none"> Strukturanpassung auf Produktionssystemebene

- Problem der Reihenfolgenanpassung ist durch frei anfahrbare Prozessmodule lösbar
- Aufgabe der Planung:
 - optimale Anzahl Prozessmodule
 - Fähigkeiten der Prozessmodule, für eine optimale Zuordnung von Verrichtungen
 - flussorientierte Anordnung der Prozessmodule im Raum festlegen

Zellulare Fördertechnik

Schwarmintelligenz für die Logistik



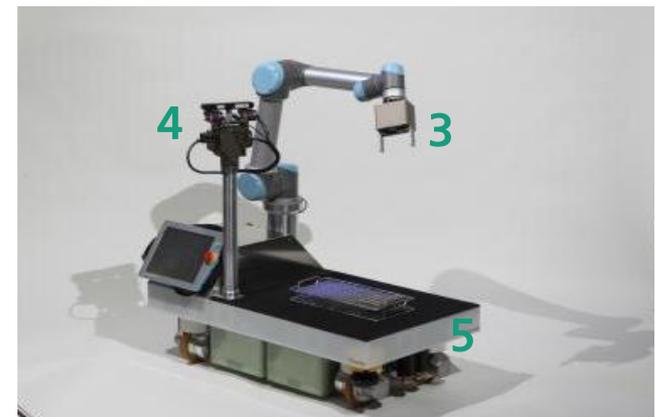
Quelle: Fraunhofer IML, Prof. Dr. Michael ten Hompel

Beispiel: Roboter CPS in der Intralogistik

Mobile Helfer im Niedriglohnbereich

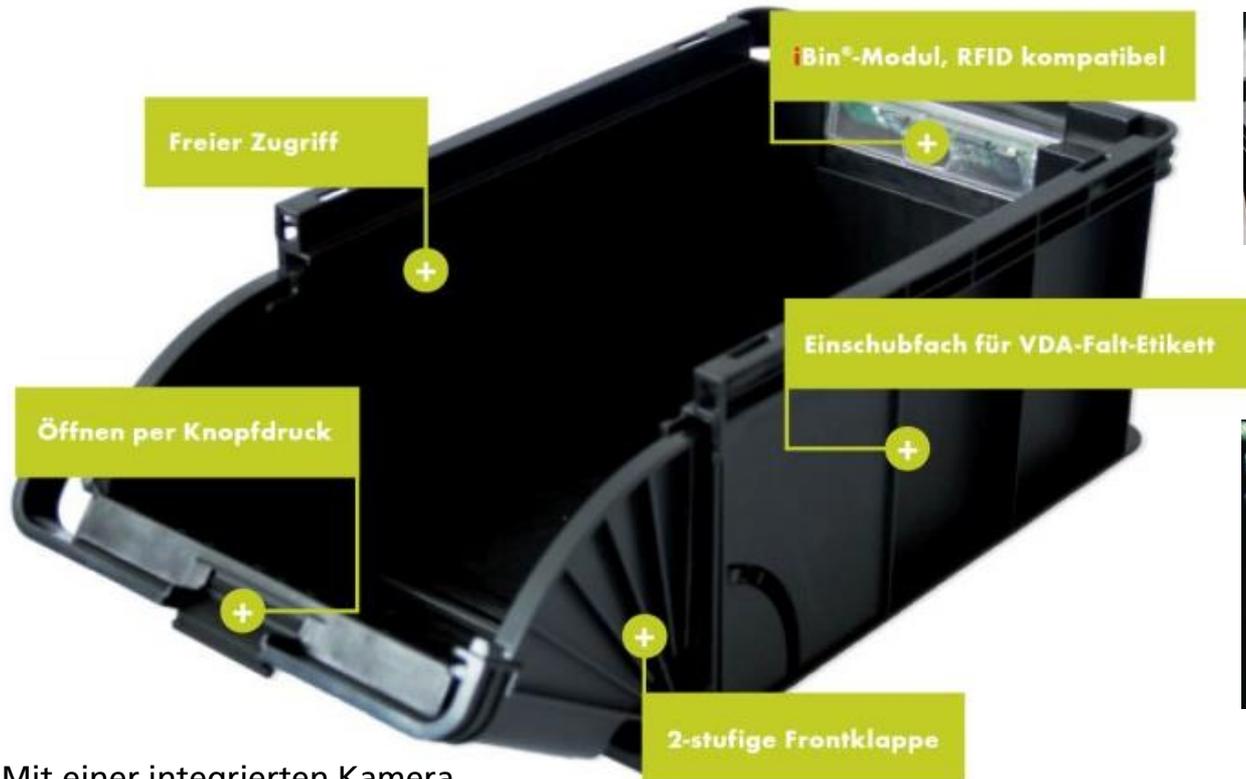
- Mobiler Roboter/Arm füllt Montageplätze nach, nimmt leere Boxen zurück.
- Mobiler Roboter mit ausreichender Speicherkapazität bewegt sich durch den Supermarkt und füllt Artikel in Kisten.

1. Mobiler Manipulator (omnidirektional)
2. Lagermöglichkeit
3. Fähigkeit, Behälter zu greifen
4. 3D Umwelterfassung (stereo vision, 3D sensor)
5. Zaunlose Nutzung im industriellen Umfeld



Alle Objekte in der Fabrik werden smart

iBin – Intelligente Behälter bestellen ihre Befüllung autonom



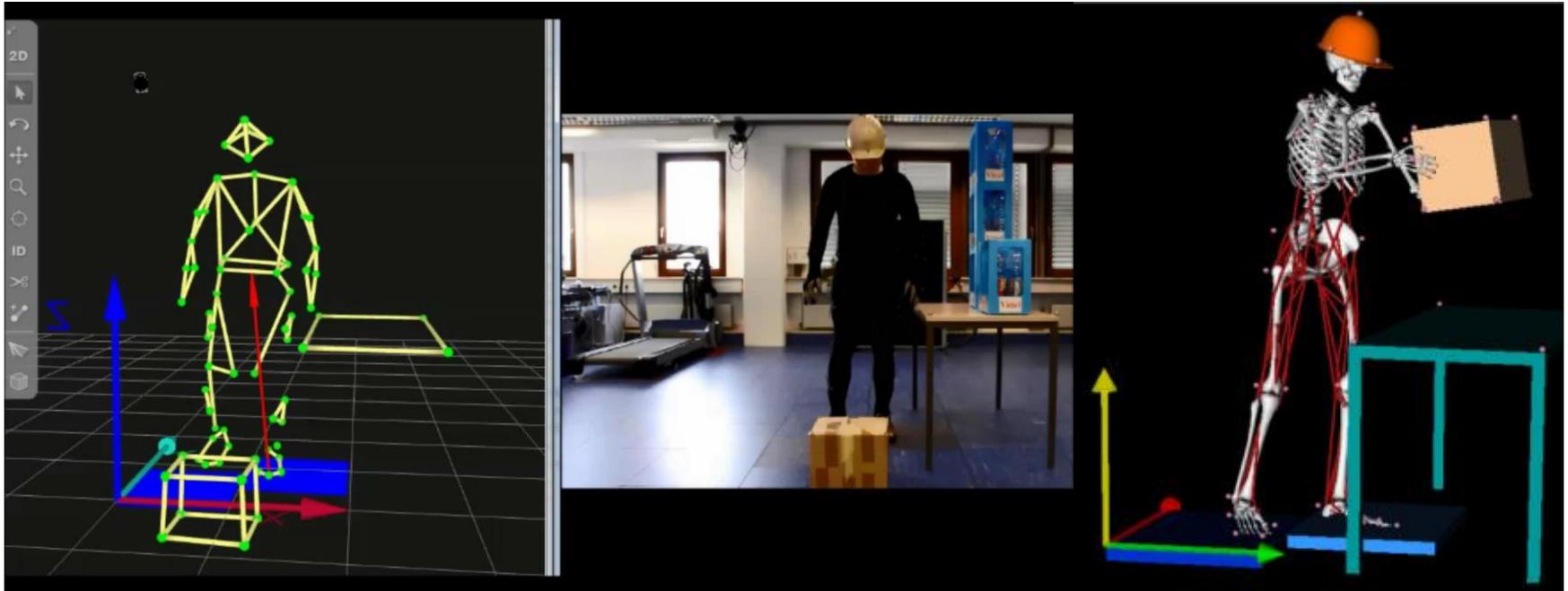
Mit einer integrierten Kamera und im Zusammenspiel mit seiner Cloud zählt der iBin die Teile, die in ihm liegen.

Quelle: Fraunhofer IML, Prof. Dr. Michael ten Hompel



Smart Feed-back

Motion Capturing zur Rückführung der realen Abläufe in die Planungsmodelle



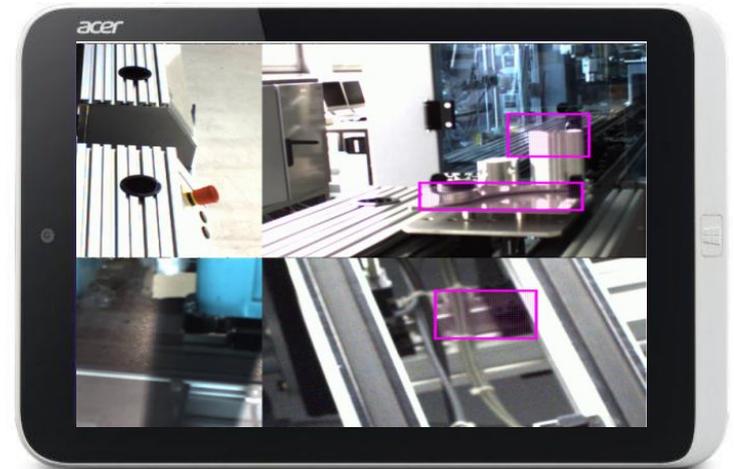
Automatisierte Erkennung von Abhängigkeiten zwischen Prozessen und Ableiten von Verbesserungspotenzialen

Durch:

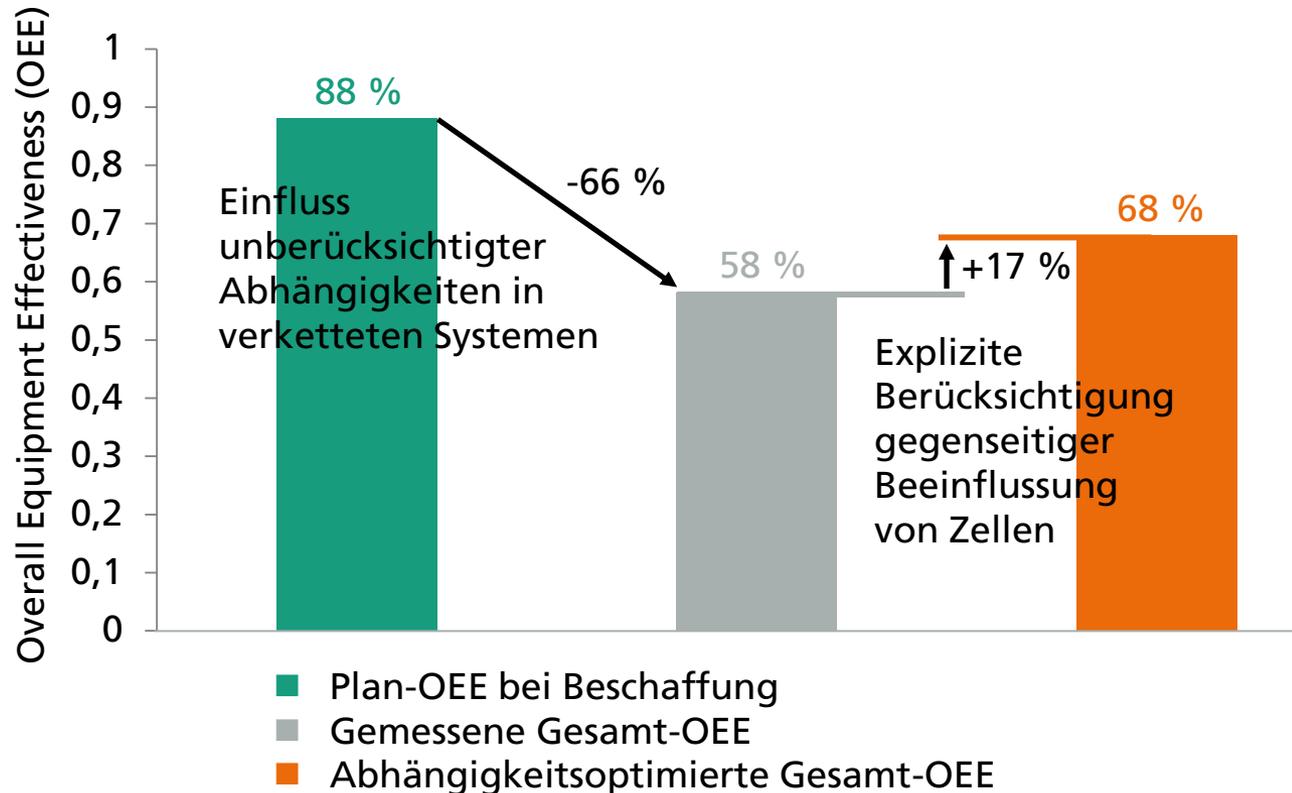
- „Minimalinvasive“ Prozessbeobachtung mit Kameras ohne aufwendige Systemintegration
- Merkmalsbasierte Konfiguration und Wiedererkennung von Zuständen in den Videos mittels adaptiver Auswertelgorithmen

Vorteile:

- Echtzeitnahe Prozessanalyse mit direkter Zuordnung von Verlustursachen
- Ermittlung und quantitative Bewertung von Potenzialen zur Prozessoptimierung
- Ständige Transparenz durch Bereitstellung der Störungen und Anlagenzustände für Bediener und Planer

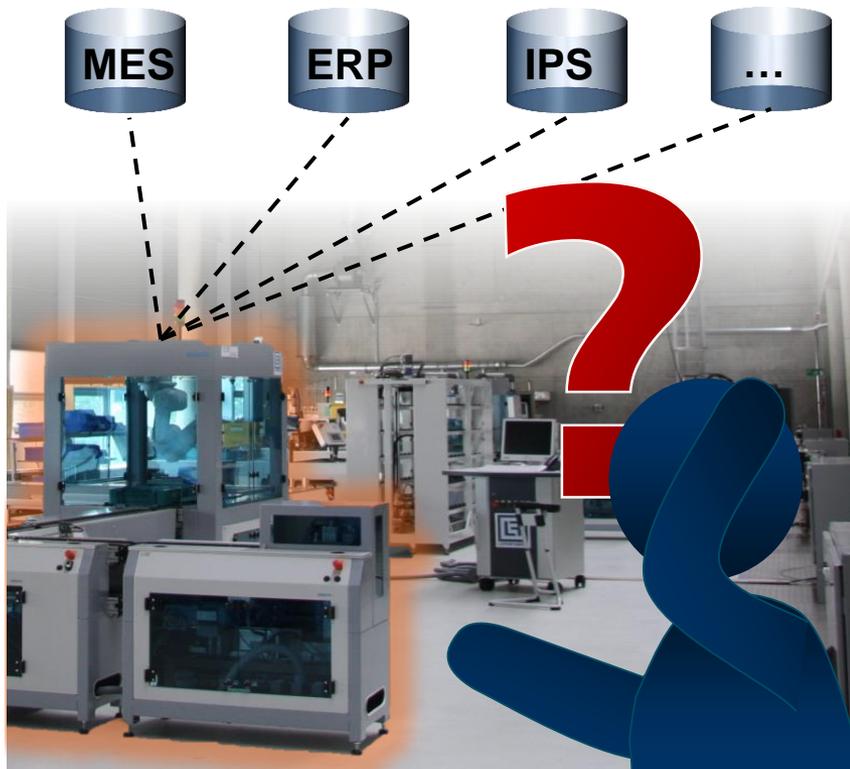


Gegenseitig bedingte Verluste in verketteten Systemen vermeiden



Sense&Act

Einfache und flexible Vernetzung in der Produktion



Heutige Anforderungen an die Produktion:

- Schnelle Anpassung an die aktuelle Situation
- Integration neuer Maschinen
- Einführung neuer Produkte und Varianten
- Auftragschwankungen

Vernetzung von IT-Systemen und realer Produktion heute:

- Monolithische und starre Systeme
- Hoher Aufwand für Anpassungen und Neuintegrationen
- Ungenutzte Vernetzungspotenziale

Sense&Act

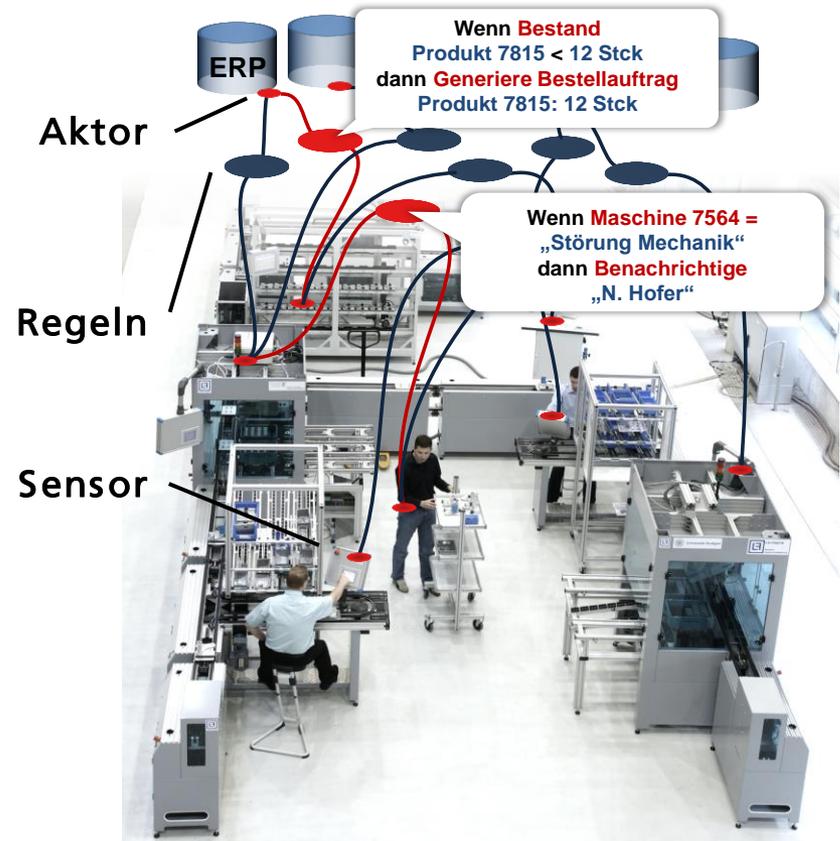
Regelbasierte Produktions- und Logistiksteuerung

Funktion:

- Einfaches Erstellen von individuellen Regeln zur Vernetzung der Produktion
- Überwachung der Sensorwerte
- Automatisches Auslösen definierter Aktionen

Nutzen:

- Flexibilisierung der Vernetzung
- Einfache Anpassung an Unternehmen und Situationen
- Ermöglicht regelbasierte Produktion
- Wandlungsfähige Produktions-IT



Sense&Act

Konfiguration von Regeln durch den Anwender

Wenn das (Sensor)...

...dann das (Aktor)!

The screenshot displays the Sense&Act configuration interface. At the top, a navigation bar includes 'Home', 'Sensors', 'Actors', 'Create', 'View Rules', 'Explore', 'Settings', and 'Log Out admin'. Below this, there are two main panels: 'Available Sensors' and 'Available Actors', each with a 'Filter' button. The 'Available Sensors' panel lists several sensors, with 'Wenn ein Material das Lager erreicht...' highlighted in a green box. The 'Available Actors' panel lists several actors, with '... buche den Wareneingang im ERP-System!' highlighted in a green box. A green line connects the highlighted sensor to the highlighted actor. At the bottom of the interface, there is a row of 12 blue icons representing various sensors and actors.

Available Sensors	Available Actors
Android-RFID Stuttgart/IPA/R.2.201	email-send Stuttgart/IPA/R.2.201
Wenn ein Material das Lager erreicht... Stuttgart/IPA/R.2.201	sap-wareneingang Stuttgart/IPA/R.2.201
Android_QR Stuttgart/IPA/R.2.201	sap-warenausgang Stuttgart/IPA/R.2.201
Ubisense Stuttgart/IPA/R.2.201	... buche den Wareneingang im ERP-System! Stuttgart/IPA/R.2.201
iBin Stuttgart/IPA/R.2.201	database Stuttgart/IPA/R.2.201
RFID_Steuerungserfassung Stuttgart/IPA/R.2.201	

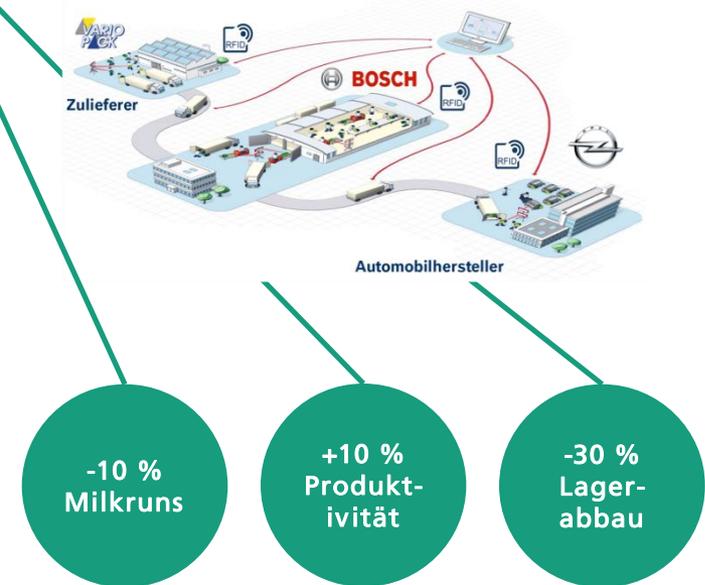
Unternehmenspotenziale durch Industrie 4.0

Experten erwarten eine Gesamt-Performance-Steigerung von 30–50 % in der Wertschöpfung

Abschätzung der Nutzenpotenziale

Kosten	Effekte	Potential
Bestandskosten	<ul style="list-style-type: none"> Reduzierung Sicherheitsbestände Vermeidung Bullwhip- und Burbridge-Effekt 	-30 % bis -40 %
Fertigungskosten	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung OEE Prozessregelkreise Verbesserung vertikaler und horizontaler Personalflexibilität 	-10 % bis -20 %
Logistikkosten	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Automatisierungsgrad (milk run, picking, ...) 	-10 % bis -20 %
Komplexitätskosten	<ul style="list-style-type: none"> Erweiterung Leitungsspannen Reduktion trouble shooting 	-60 % bis -70 %
Qualitätskosten	<ul style="list-style-type: none"> Echtzeitnahe Qualitätsregelkreise 	-10 % bis -20 %
Instandhaltungskosten	<ul style="list-style-type: none"> Optimierung Lagerbestände Ersatzteile Zustandsorientierte Wartung (Prozessdaten, Messdaten) Dynamische Priorisierung 	-20 % bis -30 %

Pilotprojekt von Bosch, bei dem der gesamte Versandprozess über das werksinterne Logistikzentrum in einem Industrie 4.0-Projekt neu strukturiert wurde.



Quelle: IPA/Bauernhansl, Bosch

Erfolgsfaktoren für die Industrie

Maximale Kundennähe bei höchster Produktivität

- **Erweitertes Wertschöpfungssystem**
(Ecosystem, Geschäftsmodell, Kunden- und Lieferantenintegration, Kundenorientierung)
- **Umfassende Transparenz**
(Vertikale und horizontale Vernetzung in Echtzeit, Kommunikationsorientierung)
- **Schnelle Prozessfähigkeit**
(Big Data, Predictive Analytics, Qualifikation, Lernkurvenorientierung)
- **Hohe Flexibilität und Skaleneffekte**
(Alles wird zum Service/XaaS, Dezentralisierung, Vernetzung, Serviceorientierung)
- **Maximale Effizienz und Verbundeffekte**
(Zero Waste Technologien, Wandlungsbereitschaft- und -fähigkeit, Autonomie, Ressourcenorientierung)
- **Neue Sicherheitskultur**
(Safety, Security und Privacy, Risikoorientierung)
- **Optimale Rahmenbedingungen**
(Infrastruktur, Finanzierung, Forschungslandschaft, lebenslanges Lernen)

DIE PRODUKTION DER ZUKUNFT ZWISCHEN MASS PERSONALIZATION UND MASS SUSTAINABILITY

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
10. März 2015

