INDUSTRIE 4.0: KONZEPT, CHANCEN, KONSEQUENZEN

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
15. Oktober 2015

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

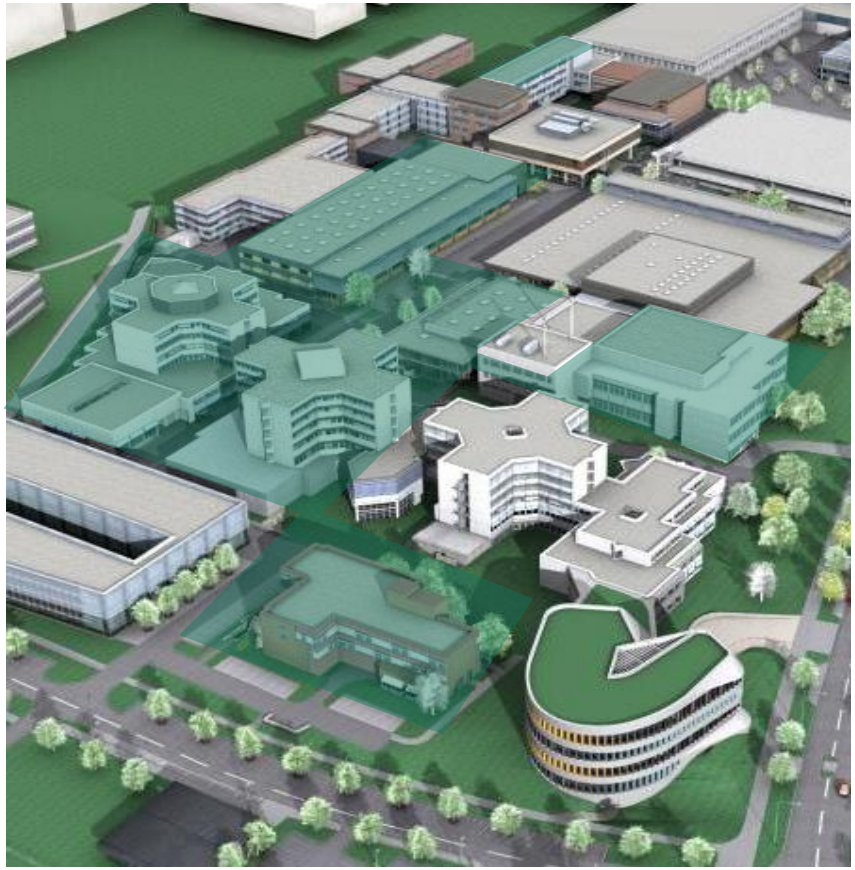
Universität Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF)

Fraunhofer IPA

Fraunhofer IPA in Stuttgart

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
  - Prozessindustrie
- Forschungshighlights
  - ARENA2036
  - Virtual Fort Knox
  - FastStorageBW
  - Care-O-bot® 4



© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

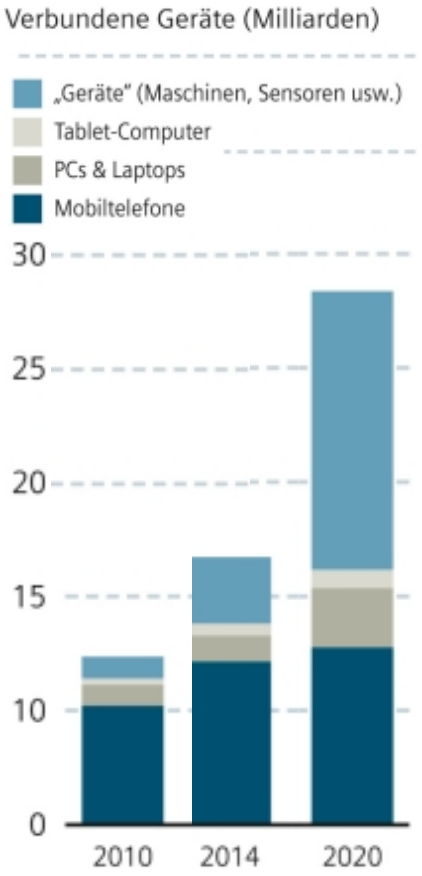
Internationaler Vergleich – Der Wettlauf hat begonnen

Die digitale Welt von heute und morgen

Internet of Everything

Holistische Vernetzung der Welt als Basis neuer Business Ecosystems

- 3 Milliarden Menschen nutzten im Jahr 2014 das Internet.
- 17 Milliarden Dinge waren im Jahr 2014 über das Internet vernetzt. Im Jahr 2020 werden es voraussichtlich 28 Milliarden Dinge sein.
- Die Anzahl der Services im Internet sind ungezählt. Beispiel Apple Store: > 1 Millionen Apps wurden mehr als 75 Milliarden mal heruntergeladen
- Neue Formen des Wirtschaftens entstehen:
  - Shared Economy
  - Prosumer
  - Industrie 4.0 …

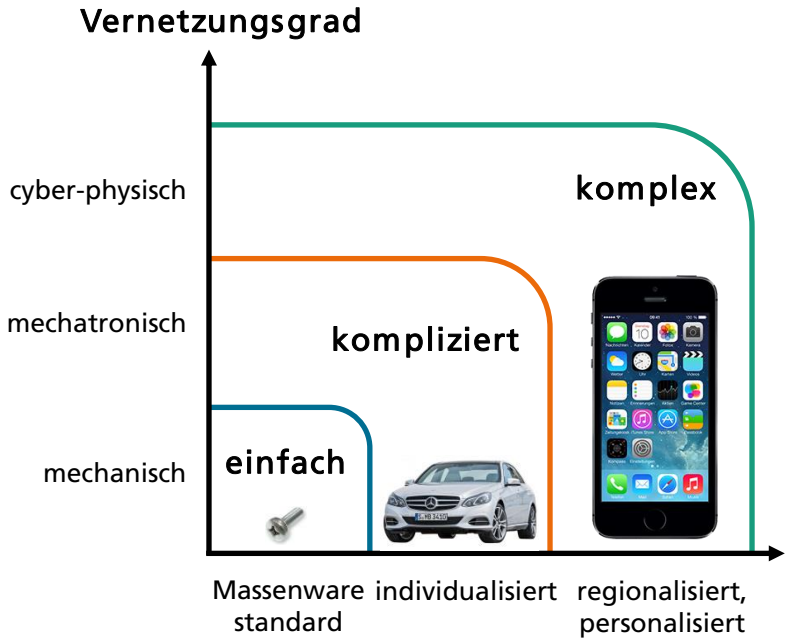


Quelle: The Internet of Things, MIT Technology Review, Business Report, Siemens

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Wandel der Produktarchitektur aufgrund von steigender Vernetzung und Personalisierung

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



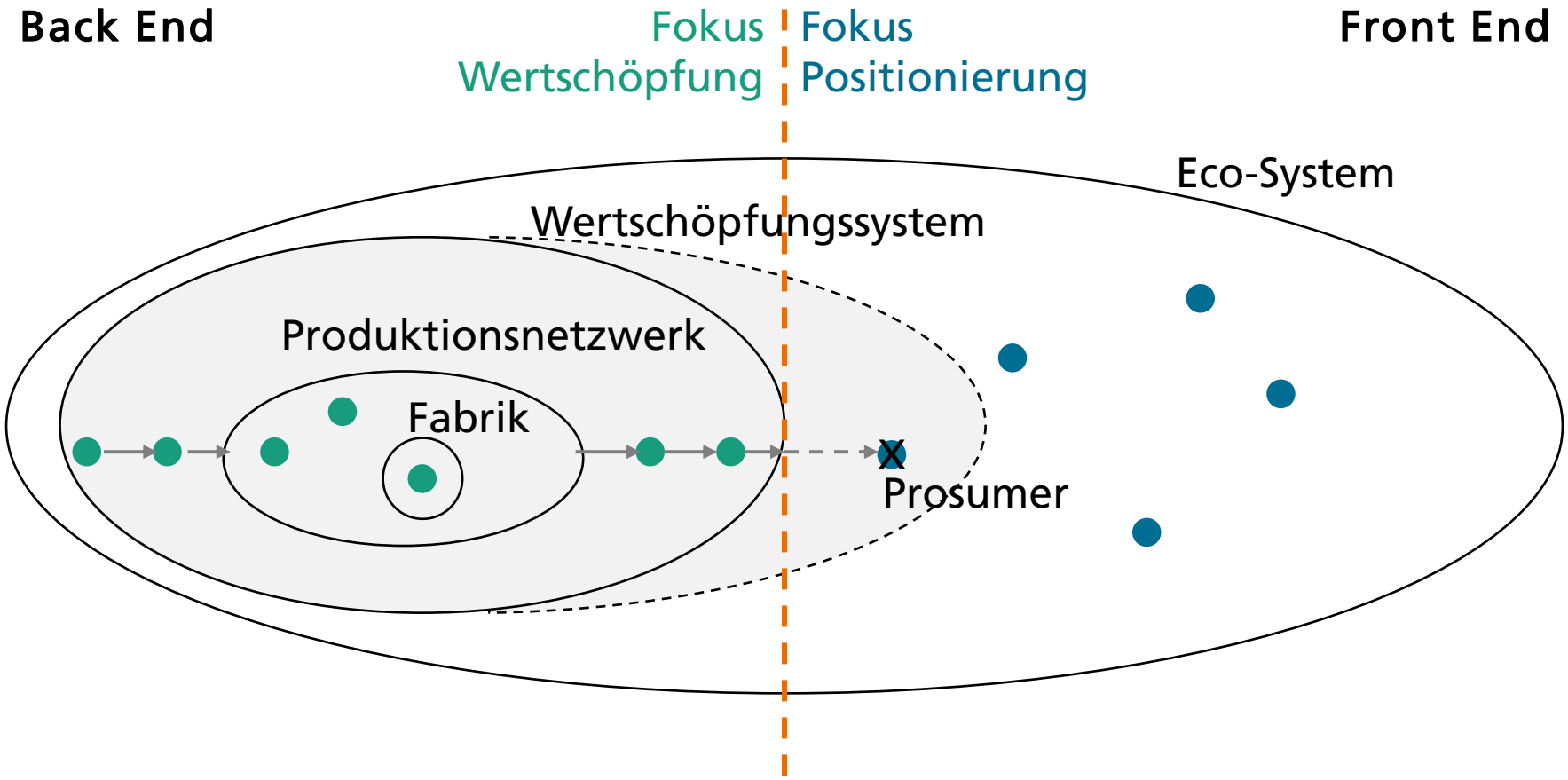
- Minimale Komplexität bei Maximum an Personalisierung und Skalen-effekten
- Kunde beteiligt sich am Personalisierungsprozesses
- Innovationsfokus: Eco System, personalisierte Assistenz und HMI
- Erfolgsfaktor: Offenheit

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Aufbau von Eco-Systems

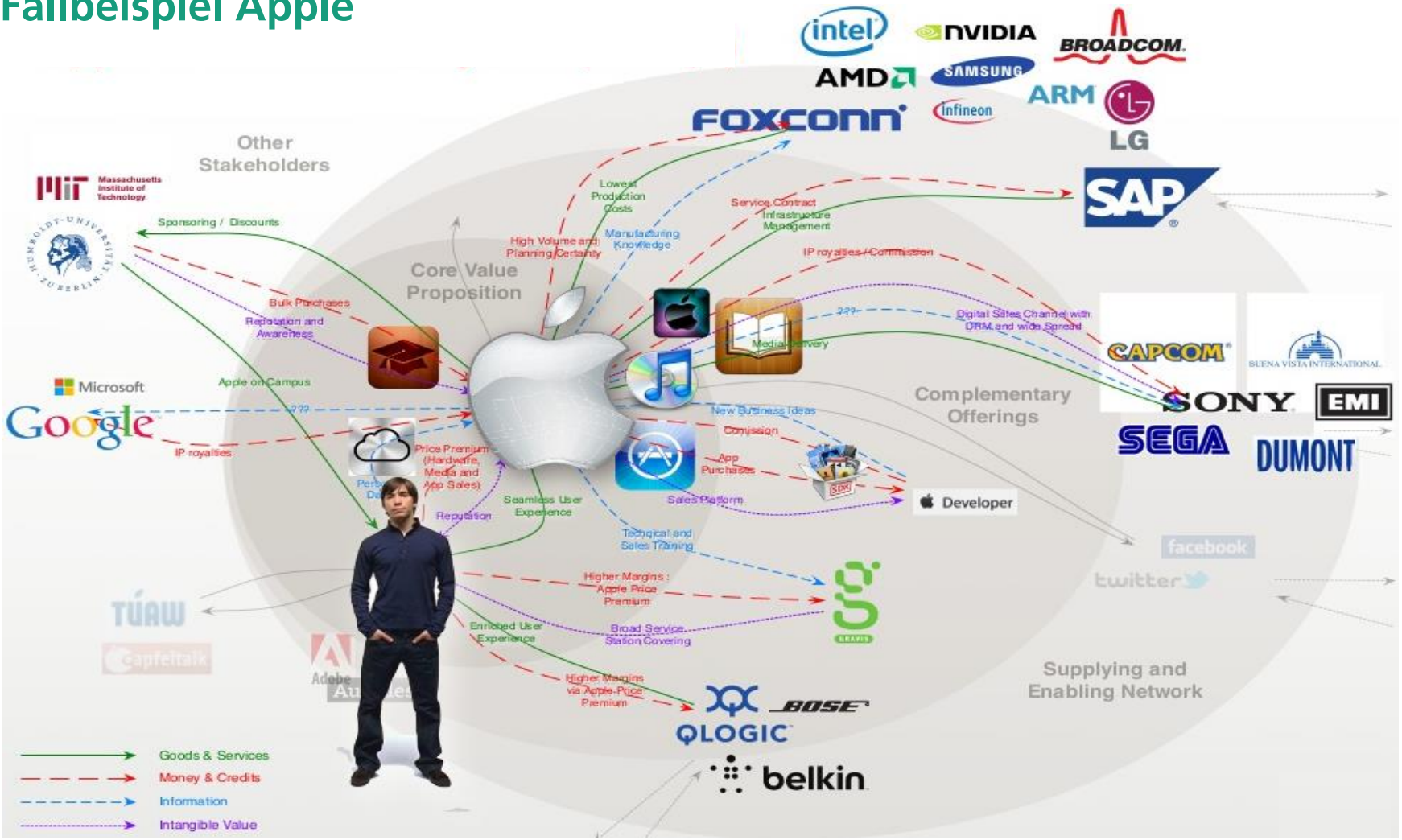
Integrierte Gestaltung von Front und Back End



© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Business Ecosystem

Fallbeispiel Apple



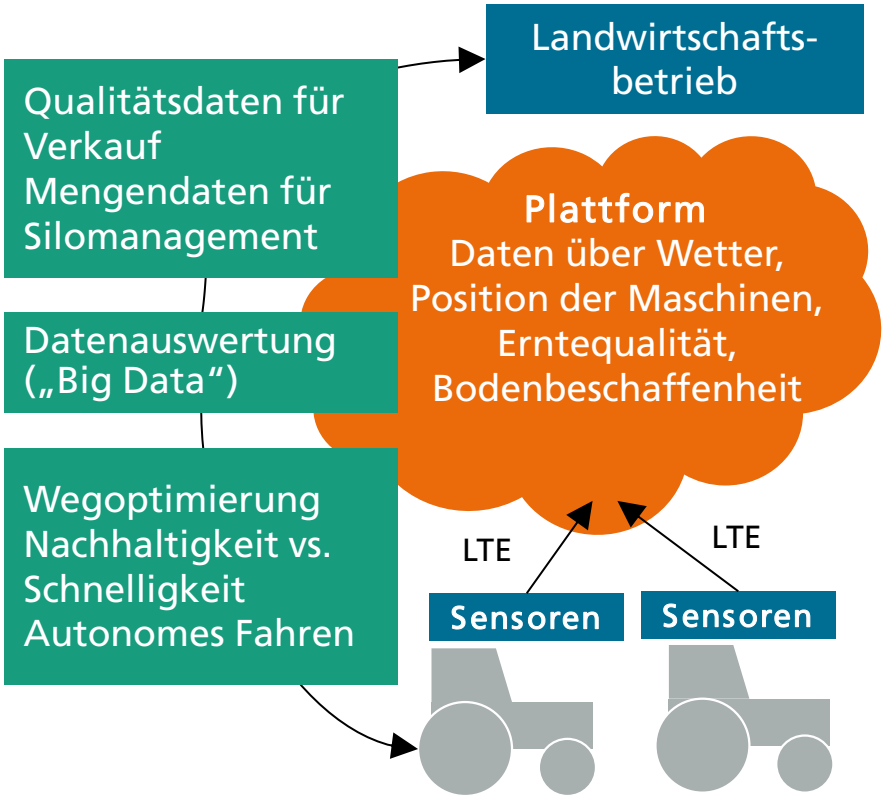
Quelle. Schmiedgen, 2013

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Business Ecosystems

„Farmnet 365“ – eine Initiative aus dem Landmaschinenbau

- Pilotprojekt 2013/2014 Digitalisierung der Landwirtschaft zunächst durch Vernetzung der Landmaschinen
- Auswertung der Kundendaten zur Optimierung des gesamten landwirtschaftlichen Betriebs durch Serviceapplikationen
- Bereitstellung der Applikationen durch Partner aus verschiedenen Branchen auf der Online-Plattform von Farmnet
- Speicherung der Daten auf der Plattform als zentraler Zugriffsort
- Mittlerweile: Eco-System mit 15 Partnern rund ums Farmmanagement (u. a. Allianz, GEA, Horsch)



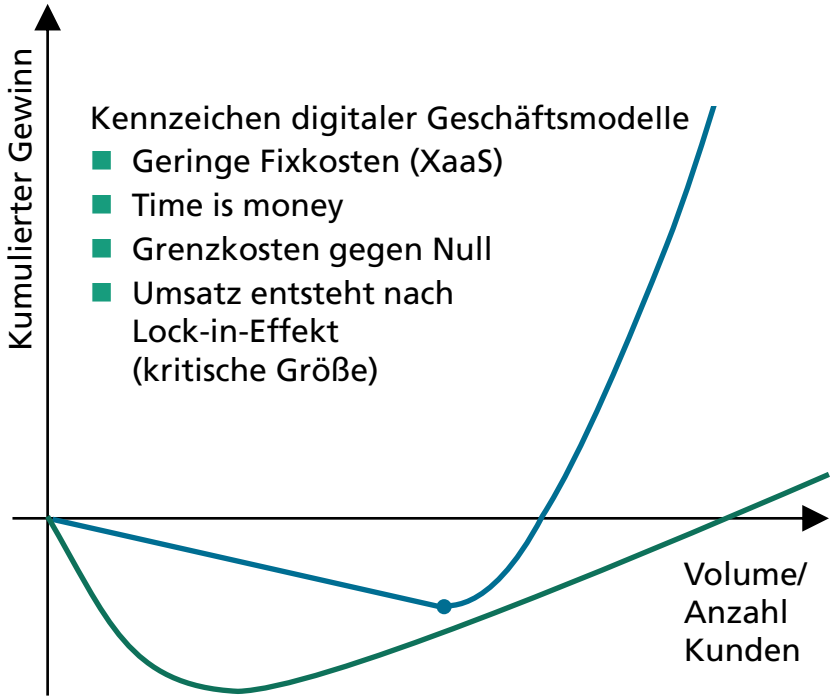
Quelle: Farmnet 365

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Bewertung digitaler „Born Global“ Start-Ups

Der Lock-in-Effekt besiegelt die Disruption der Branchenlogik

Gewinnentwicklung klassischer Geschäftsmodelle im Vergleich zu digitalen Geschäftsmodellen



- Whatsapp
  - 2009 gegründet
  - April 2015 800 Mio aktive Nutzer
  - Februar 2014 für 19 Mrd Dollar an Facebook verkauft
  - Zu diesem Zeitpunkt hatte Whatsapp 35 Mitarbeiter
  - Mai 2015 sind es 55 Mitarbeiter
  - Umsatz 2013 10 Mio Dollar
- Instagram
  - 2010 veröffentlicht
  - Juli 2015 300 Mio aktive Nutzer
  - 2012 für rund 1 Mrd Dollar an Facebook verkauft
  - Zu diesem Zeitpunkt hatte Instagram 13 Mitarbeiter und kein Ertragsmodell

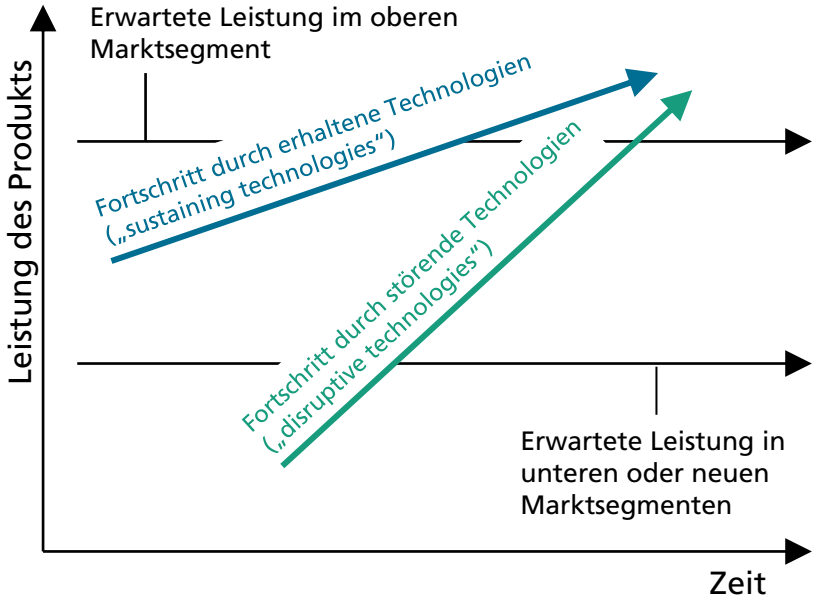
Quelle: shoponless.com, instagram.com, wikipedia.de

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Geschäftsmodell-Innovation

Das Innovator's Dilemma beschreibt die Bedrohung bestehender Technologien durch disruptive Ansätze

- Durch stetige Innovationen schießen Marktführer schnell über eigentliche Bedürfnisse des Kunden hinaus („overshooting the market")
  - Weniger anspruchsvolle Kunden werden durch disruptive und günstigere Produkte/Dienstleistungen bedient (Minimal Viable Product)
  - Etablierte Unternehmen sind in ihrem Entwicklungsmodell gefangen und erkennen Gefahr meist zu spät
- Allerdings: Hohes Risiko bei innovativer Grundhaltung des Unternehmens:
  - Fehlschläge/Sackgassen
  - Imageschäden

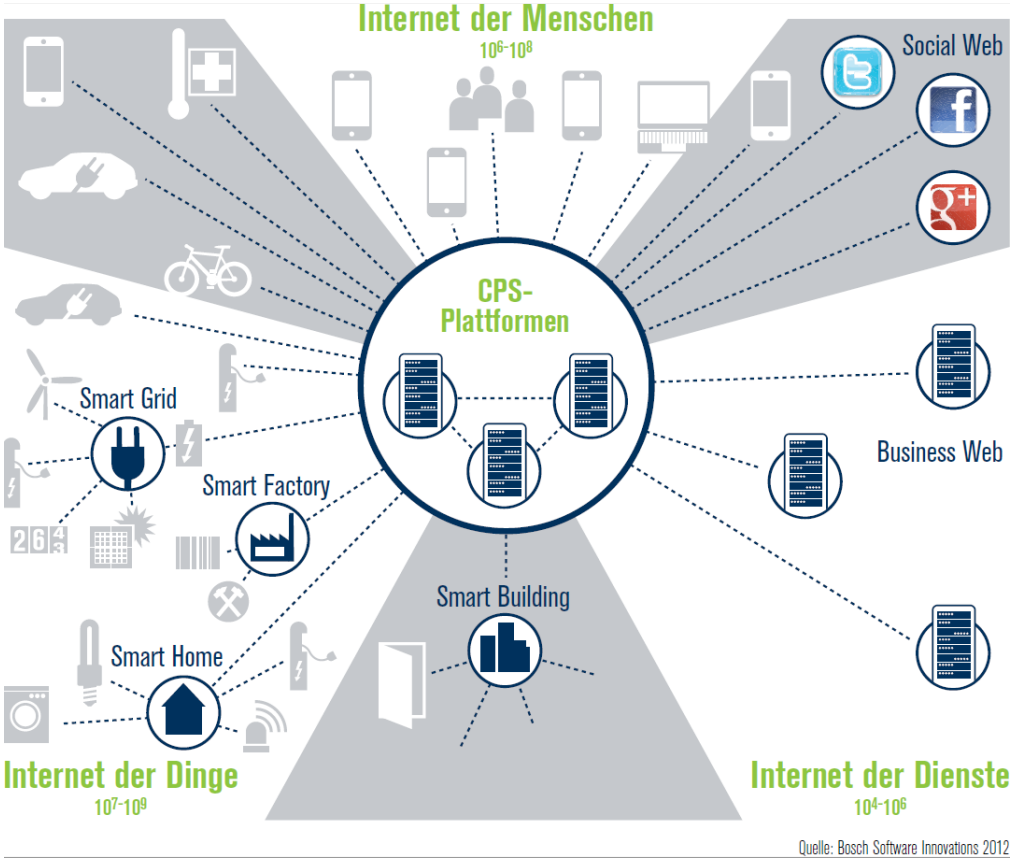


Quelle: The Innovator's dilemma C. Christensen, Strategisches Management G. Müller-Stewens/C. Lechner

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Digitalisierung von Geschäftsmodellen

Alles wird smart und verändert die Industriesektoren



Quelle: Bosch Software Innovations 2012

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

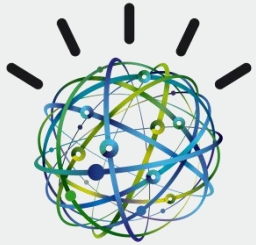
Die Basis: Rechenleistung und Vernetzung

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

Vernetzung

Metcalfe:

„Der Nutzen eines Kommunikations-systems 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

LOCAL MOTORS ebay amazon.com facebook Google

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Volkswirtschaftliche Potenziale durch Industrie 4.0

Steigerung Bruttowertschöpfung von 15–30 % möglich bis 2025*

- Bitkom/IAO erwarten ein zusätzliches Wachstum von 1,7 %/a bis 2025
- John Chambers, CEO Cisco: „… 2 % zusätzliches Wachstum pro Jahr für die dt. Volkswirtschaft …“**
- Deutsche Unternehmen planen Investitionen von 40 Mrd € in den nächsten 5 Jahren***

Wirtschaftsbereiche	Bruttowertschöpfung [Mrd. €]		Potenzial durch Industrie 4.0	Jährliche Steigerung	Steigerung [Mrd. €]
	2013	2025*	2013-25	2013-25	2013-25
Chemische Industrie	40,08	52,10	+30%	2,21%	12,02
Kraftwagen- und Kraftwagenteile	74,00	88,80	+20%	1,53%	14,80
Maschinen- und Anlagenbau	76,79	99,83	+30%	2,21%	23,04
Elektrische Ausrüstung	40,27	52,35	+30%	2,21%	12,08
Land- und Forstwirtschaft	18,55	21,33	+15%	1,17%	2,78
Informations- und Kommunikationstechnik	93,65	107,70	+15%	1,17%	14,05
Potenzial der 6 ausgewählten Branchen	**343,34**	**422,11**	**+23%**	**1,74%**	**78,77**
Beispielhafte Hochrechnung für die Gesamtbruttowert-schöpfung in Deutschland	2.326,61	2.593,06**	+11,5%**	1,27%**	267,45**

* Bei den Hochrechnungen für 2025 wurde kein Wirtschaftswachstum berücksichtigt. Es handelt sich um eine reine Relativbetrachtung mit und ohne die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen.

** Gesamtsumme enthält die Industrie 4.0-Potenziale für die sechs ausgewählten Branchen sowie die Hochrechnung der restlichen Branchen unter der Annahme, dass für diese ein Potenzial in Höhe von 50% des für die ausgewählten Branchen gilt.

Quelle: * Bitkom/IAO 2014, ** Sueddeutsche.de, *** PwC Studie 2014, wiwo.de

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Forschungsförderung im Vergleich

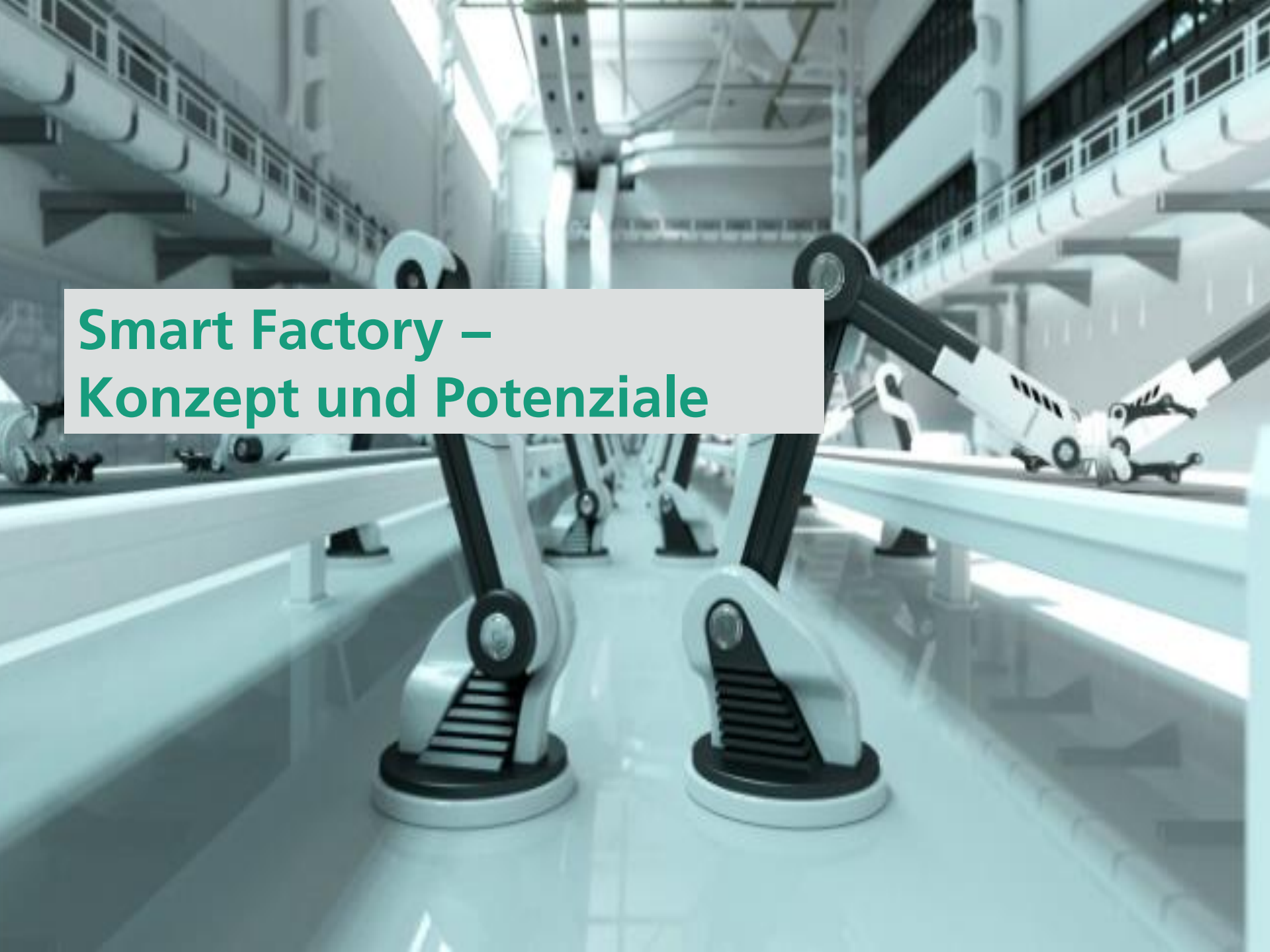
Das Rennen um den Kundenzugang hat begonnen

- Advanced Manufacturing Partnership (AMP): +50 Mio Dollar
- Cybersecurity R&D and Standards: +45 Mio Dollar
- Cyber-Physical Systems: +40 Mio Dollar
- Nationales Netzwerk für Produktionsinnovation (NNMI): 1 Mrd Dollar
- Public-Private Partnerships, z.B. Industrial Internet Consortium

- Bis 2015 werden 1,2 Bil Euro für die Erreichung der globalen Technologieführerschaft zur Verfügung gestellt
- Juli 2014 Gründung des „Chinesische Innovationsbündnis für die Verbindung von Internet und Industrie“
  - Ziel: Die Digitalisierung des Vertriebs und die Nutzung von IKT in der Produktion zu voranzutreiben

- Förderung mehrere Initiativen zur Implementierung des Internets der Dinge in der Produktion
- Mehr als 9 Mrd Euro stehen zur Verfügung

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart



Smart Factory – Konzept und Potenziale

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

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 unter-einander und mit der Umgebung
- konfigurieren sich selbst (Plug and Produce)
- speichern Informationen

dezentrale Selbst-organisation in Echtzeit

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

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)

Quellen: emachineshop.com, localmotors.com

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

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, Stanzen und Nibbeln

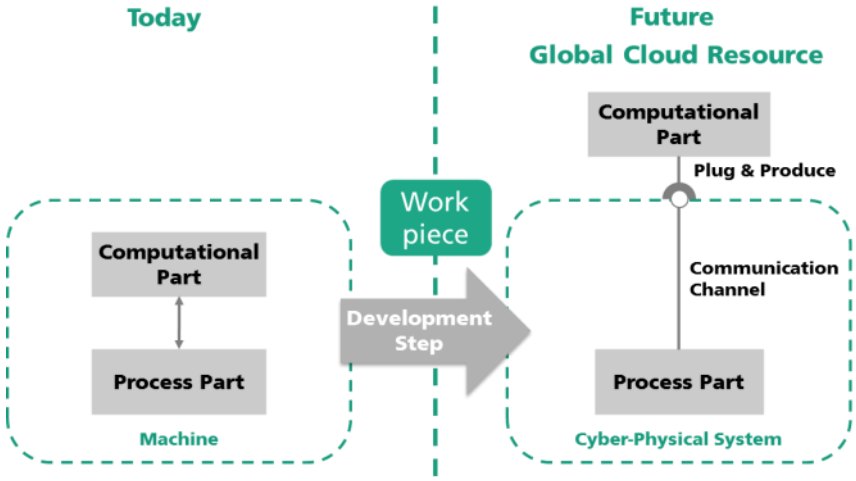
SINUMERIK 520
Bahnsteuerung, 2 Achsen, Drehen

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

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



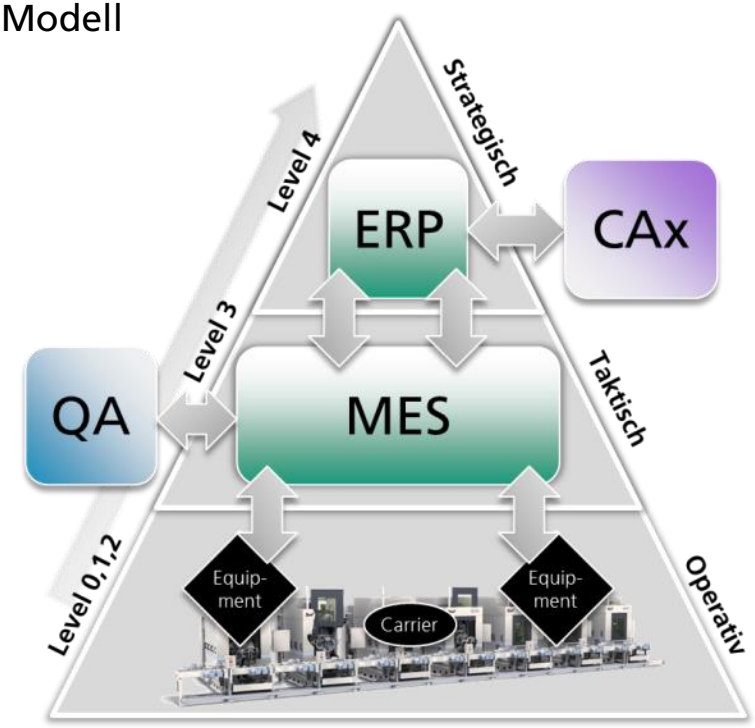
© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Additive Manufacturing

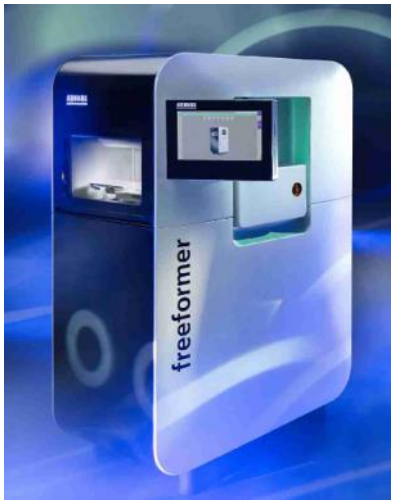
Drucken von personalisierten Produkten

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 Belast-barkeit der Bauteile



Quellen: Arburg, Fraunhofer IPA

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Herausforderungen im Umgang mit Big Data

Perspektivenwechsel

Umgang mit komplizierten Zusammenhängen	Umgang mit komplexen Zusammenhängen
Komplizierte Zusammenhänge werden systematisch analysiert (Kausalität)	Komplexe Zusammenhänge werden nicht mehr auf ihre Ursache hin untersucht (Korrelation ersetzt Kausalität)
Dabei wird das komplizierte Geflecht in überschaubarere Einheiten aufgeteilt und Abhängigkeiten untereinander werden untersucht	Aus der Gesamtheit der verfügbaren Daten werden Regelmäßigkeiten abgeleitet (Mustererkennung, z.B. Verhaltensmuster von Kunden)
Stichprobenanalyse, deduktives Vorgehen	Vollständiges Datenbild wird untersucht, induktives Vorgehen
Frage nach dem „Warum“	Frage nach dem „Was“

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Menschorientierte Maschinenschnittstelle

Intuitive Kommunikation treibt neue Automatisierungsprinzipien

Schnittstellen für hybride Montage-systeme

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

Bildquelle: google.com

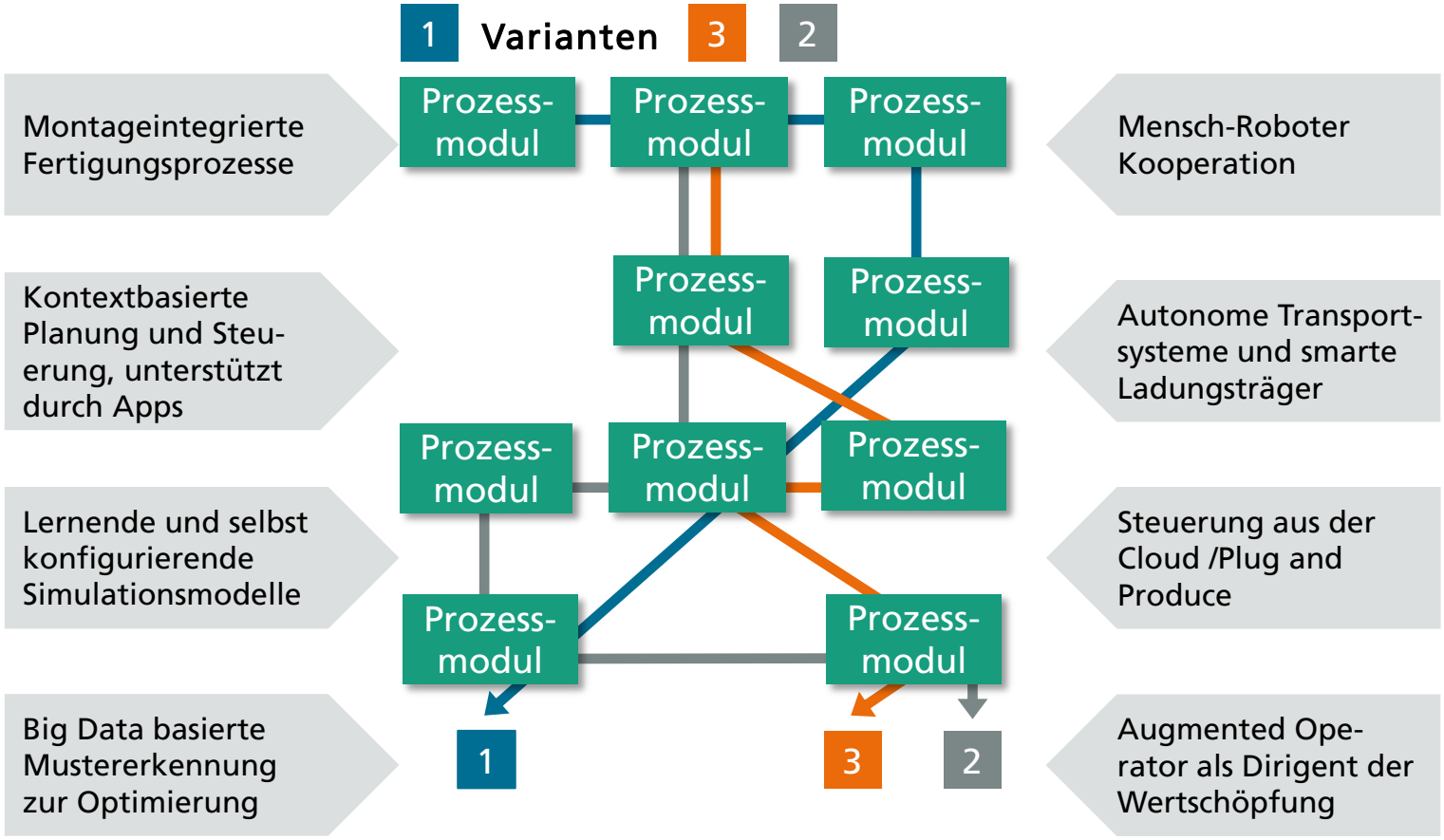
© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Optimierung der Wertschöpfung

ARENA2036 – Stuttgart Research Campus
Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

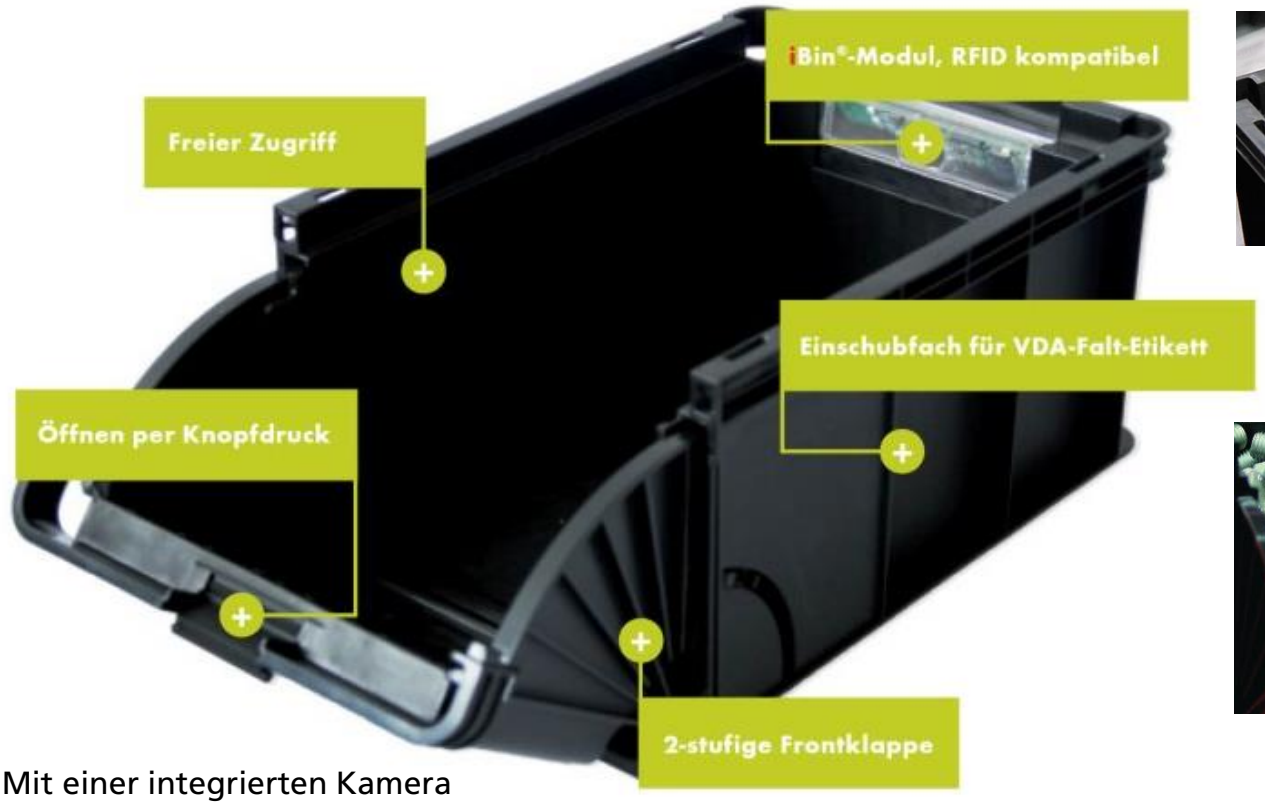
Automobilproduktion morgen – Entkopplung von Band und Takt durch flexibel vernetzbare und skalierbare Prozessmodule im Produktionsraum



© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung
und Fabrikbetrieb (IFF)

Fraunhofer IPA

Alle Objekte in der Fabrik werden weitestgehend mobil

Beispiel: Schwarmintelligenz für die Logistik

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

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Alle Objekte in der Fabrik werden weitestgehend mobil

Beispiel: Audi R8 – frei navigierendes FTS (navigation as a service)

Quelle: audi-mediaservices.com

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

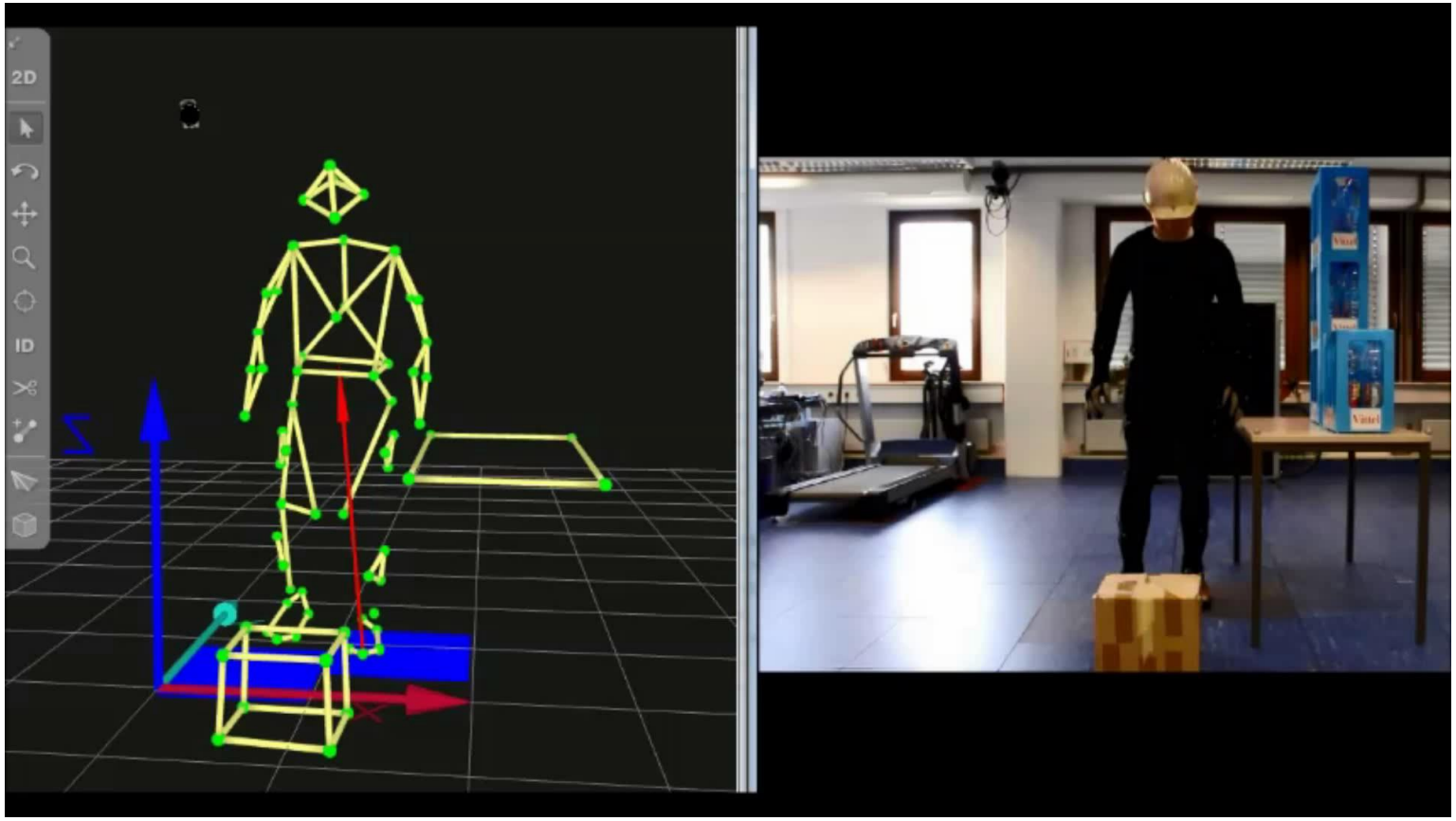
Roboter werden mobil, flexibel und sicher

Beispiel: SEW Eurodrive – frei navigierendes FTS trägt Roboter für „Griff in die Kiste“

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

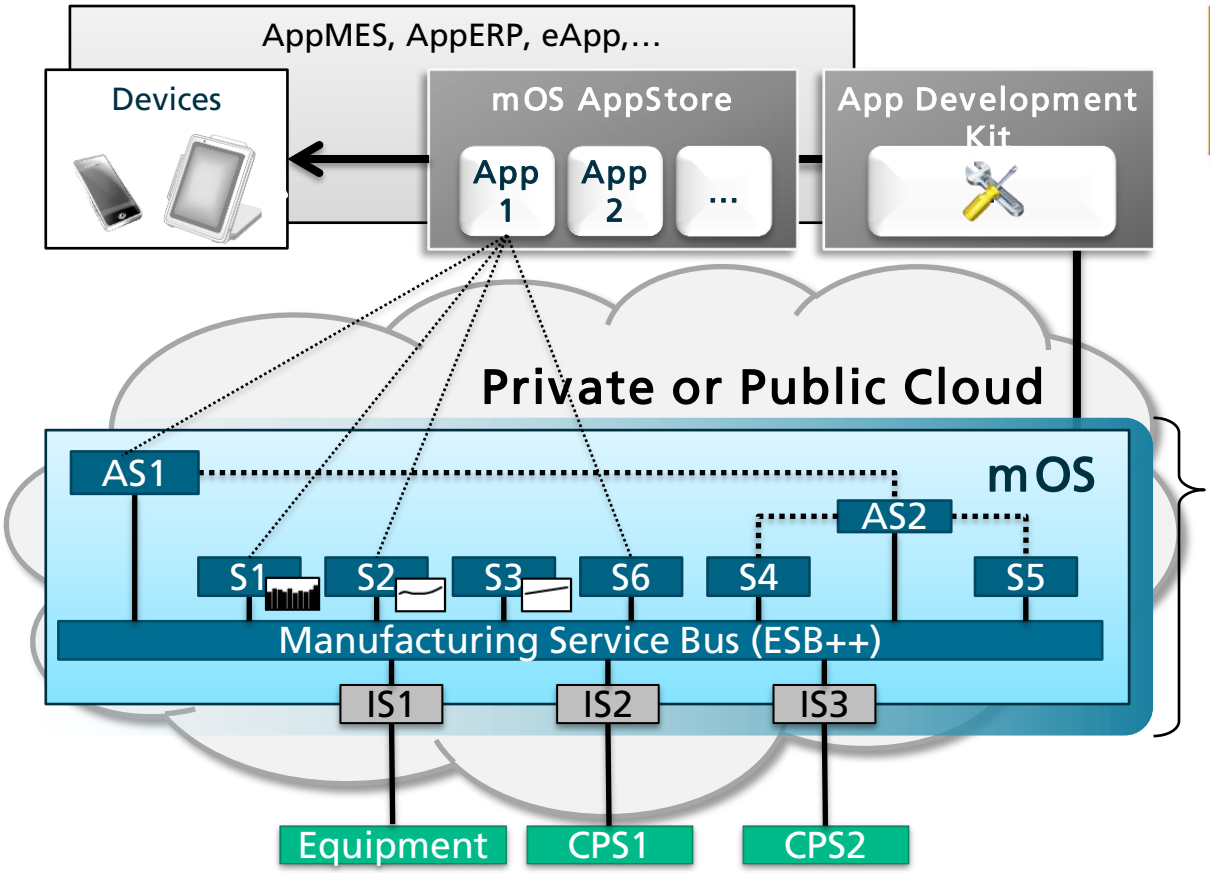
Alle Entitäten der Fabrik haben einen „Digitalen Schatten“

Beispiel: Motion Capturing zur Rückführung der realen Abläufe in die Planungsmodelle



© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

IT-Architekturen für die Produktion –
Anwendungsbeispiel Virtual Fort Knox – Integrationsplattform



VIRTUAL FORT KNOX

SOA, WS

Legende:

S	Service
AS	Aggregated Service
IS	Integration Service
CS	Cloud Service
CPS	Cyber-Physical-System
mOS	Manufacturing Operating System

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Unternehmenspotenziale durch Industrie 4.0

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

Abschätzung der Nutzenpotenziale

Kosten	Effekte	Potential
Bestandskosten	■ Reduzierung Sicherheitsbestände ■ Vermeidung Bullwhip- und Burbidge-Effekt	**-30 % bis -40 %**
Fertigungskosten	■ Verbesserung OEE ■ Prozessregelkreise ■ Verbesserung vertikaler und horizontaler Personalflexibilität	**-10 % bis -20 %**
Logistikkosten	■ Erhöhung Automatisierungsgrad (milk run, picking, …)	**-10 % bis -20 %**
Komplexitätskosten	■ Erweiterung Leitungsspannen ■ Reduktion trouble shooting	**-60 % bis -70 %**
Qualitätskosten	■ Echtzeitnahe Qualitätsregelkreise	**-10 % bis -20 %**
Instandhaltungs-kosten	■ 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.

-10 % Milkruns

+10 % Produkt-ivität

-30 % Lager-abbau

Quelle: IPA/Bauernhansl, Bosch

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Beispiel: Moonshot Project Google Robotics

Google entwickelt den „Smart Robot“ mit höchster Priorität

Google-Unternehmenskäufe in der Robotik & AI

- Schaft Inc. (Japan): humanoide Roboter
- Industrial Perception, Inc (USA): Roboterarme, Computer Vision
- Redwood Robotics (USA): Roboterarme
- Meka Robotics (USA): humanoide Roboter
- Holomini (USA): High-Tech Räder für omnidirektionale Bewegungen
- Bot & Dolly (USA): Roboterkamerasysteme
- Boston Dynamics (USA): mobile Roboter
- DeepMind Technologies (UK): künstliche Intelligenz
- Titan Aerospace (USA): solarbetriebene Drohnen

Anthony Mullen (Senior Analyst Forrester):
„Robots, like smartphones, are a platform for products and services. Both require data and intelligence to operate well and Google is very good at data and algorithms. To ensure that they aren't disintermediated in the 'last mile' to the consumer (or employee) means getting involved in the physical world with hardware.“

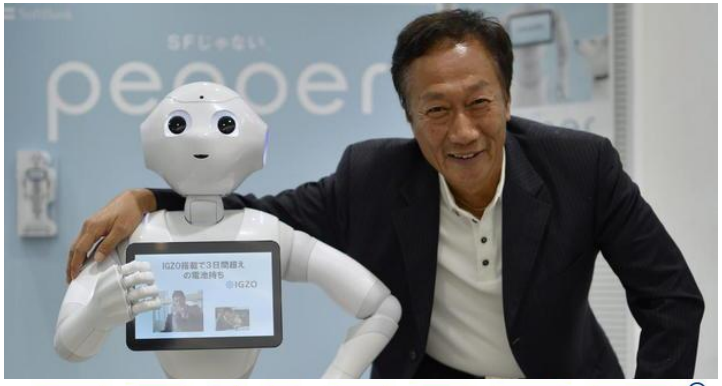
Bildquelle: zdnet.de

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Asiatische Firmen werden in Kooperation mit amerikanischen Firmen völlig neue Roboter entwickeln

Der Foxbot kommt schneller als uns lieb sein kann

- Foxconn, größter High-Tech-Zulieferer der Welt, will künftig Produktionsroboter einsetzen
- Foxconn-Chef Terry Gou verkündet, bald 10.000 Fertigungsroboter anzuschaffen
- Foxconn hat mit Google einen Kooperationsvertrag geschlossen
- Apple soll Foxconn unterstützen: Apple-Jahresbericht von 2013 weist eine Investition von 10,5 Mrd Dollar für „fortgeschrittene Zuliefertechnik“ aus



FOXCONN®
Advancing Through Innovation

Google™

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

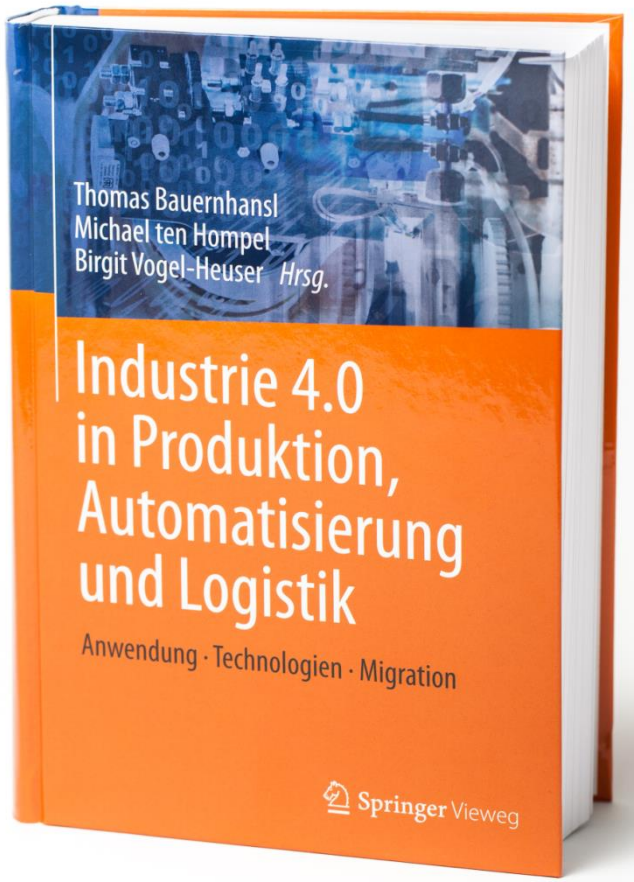
Erfolgsfaktoren für die Industrie

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)

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0



- Herausforderungen und Anforderungen an die IT
- Praxisbeispiele
- Ausblick in die Zukunft

ISBN 978-3-658-04681-1

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

INDUSTRIE 4.0: KONZEPT, CHANCEN, KONSEQUENZEN

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
15. Oktober 2015

© Fraunhofer IPA, IFF Universität Stuttgart

Universität Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF)

Fraunhofer IPA