



Software für Industrie 4.0 (Vorlesung & Übung)

Organisation



- **Zeit & Ort:**

- Dienstag: 14:00 – 15:30, *Vorlesung*, 1058 N
- Dienstag: 15:45 - 17:15, *Übung*, 1058 N

- **Semesterwochenstunden (SWS):**

- 2 Vorlesung
- 2 Übung

- Bei erfolgreichem Abschluss der Vorlesung wissen Sie, wie
 - **klassische Automatisierungssysteme und Industrieroboter** arbeiten,
 - die **Referenzarchitekturen für Industrie 4.0** funktionieren,
 - die **Zusammenarbeit zwischen Mensch und intelligentem Roboter** aussieht und
 - wie **Daten aus industriellen Systemen analysiert** werden können.
- Zudem lernen Sie kennen,
 - welche die **Technologien und Konzepte** (z.B. OPC UA, DDS, eCl@ss) es für Industrie 4.0 gibt und
 - wie diese funktionieren bzw. anzuwenden sind.

- Klassische Automatisierung
 - Automatisierungspyramide
 - Feldbusse
 - Speicherprogrammierbare Steuerungen
 - Industrierobotik
- OPC UA (TSN), DDS und AutomationML
- Referenzarchitekturen für Industrie 4.0 (RAMI 4.0)
- Semantik, Ontologien und Skills in der Automatisierung
- Einführung in die Datenanalyse für Industrie 4.0 mithilfe maschinellen Lernens

- Folgendes haben wir in der Übung vor:
 - Einführung und Besprechung von **Übungsblättern**
 - Verschiedene **Tutorials** zu Tools und Technologien
 - Betreutes **Programmieren** (z.B. für Speicherprogrammierbare Steuerungen)
- Übungsblätter werden zu den verschiedenen Themen der Vorlesung herausgegeben, um die theoretischen Inhalte praktisch anwenden und vertiefen zu können:
 - Übungsblätter können in DigiCampus heruntergeladen werden (spätestens dienstags)
 - Übungsblätter können gemeinsam bearbeitet werden (Gruppengröße: max. 3 Personen)
 - Ausgegebene Übungsblätter werden in der darauf folgenden Woche in der Übung besprochen.

- Um einen Überblick über Industrie 4.0 zu bekommen, empfehlen wir folgende Literatur:
 - [Kagermann 2013] Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster, Johannes Helbig (Hrsg.): „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0“; April 2013; acatech
 - [Dorst 2015] Wolfgang Dorst (Hrsg.): „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0“; April 2015; BITKOM e.V., VDMA e.V. und ZVEI e.V.
- In jeder Vorlesung wird die verwendete/empfohlene/weiterführende Literatur am Ende des Skripts angegeben
- Literaturreferenzen werden in der folgenden Form angegeben: [Autor Jahr]

Buzz Word Bingo





Software für Industrie 4.0 (Vorlesung & Übung)

1. Einführung



- Mobilität
- Globalisierung
- Globale Erwärmung
- Alternde Gesellschaft
- Urbanisierung
- Connectivity
- Individualisierung
- Gesundheitsbewusstsein

Neue Anforderungen (Market Pull)

- Individualisierte Produkte
- Flexible Produktion
- Facharbeitermangel
- Mitarbeiterzufriedenheit

Neue techn. Möglichkeiten (Technology Push)

- Enorme Rechenleistung
- Internet-Technologien
- Low-Cost-IT (Consumer)
- Intelligente Software
(Machine Learning, Big Data)



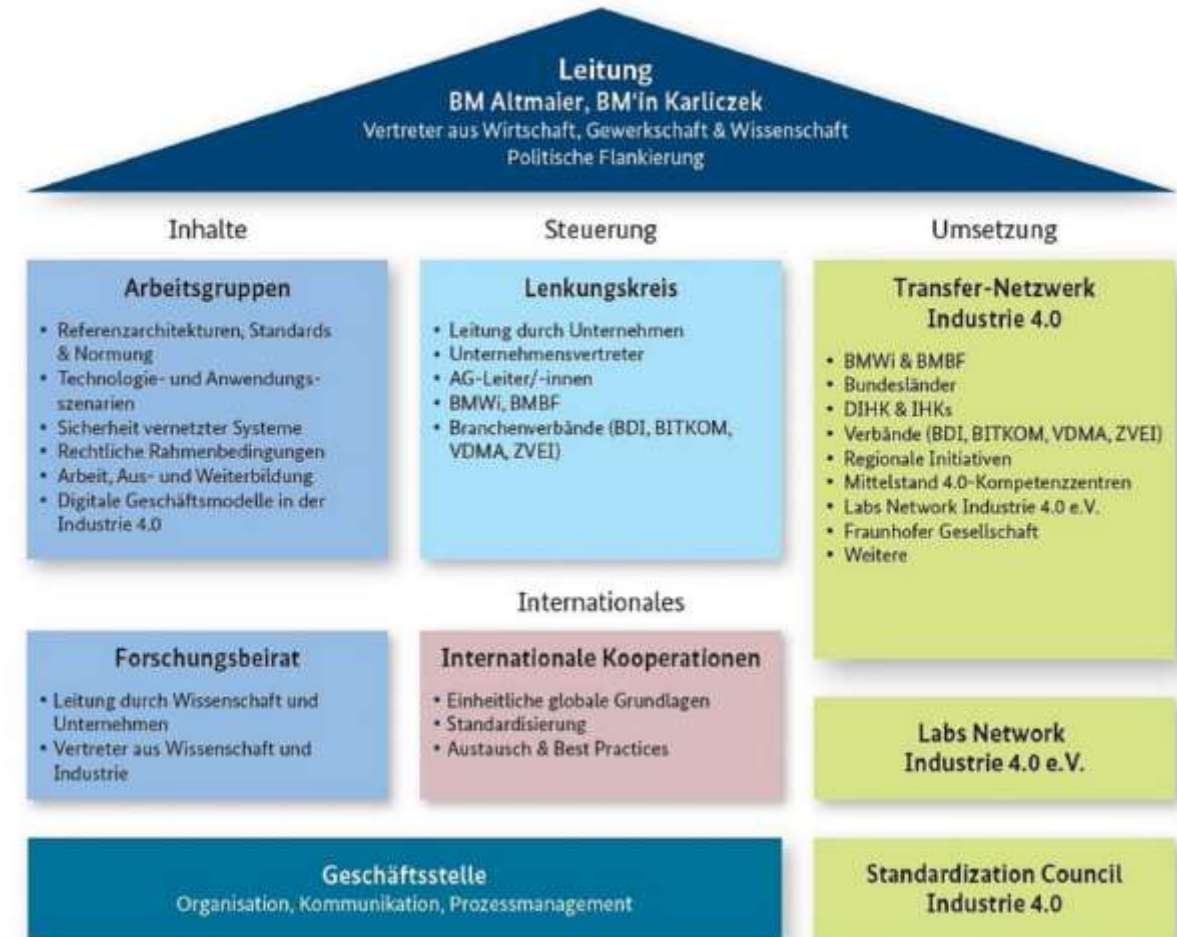
Quelle: [Bösl 2016]

- Digitalisierung verändert alle Lebensbereiche
 - Produktion & Automatisierung (Industrie 4.0)
 - Verkehr und Mobilität
 - Autonomes Fahren
 - Car Sharing
 - Transformation von Automobilherstellern
 - Gesundheit & Pflege
 - Telemedizin
 - Robotische Pflegesysteme
 - ...
- Industrie 4.0 ist nur die Konsequenz einer steigenden Digitalisierung



- Industrie 4.0 ist eines von zehn Zukunftsprojekten der deutschen Bundesregierung
- Gesteuert und verankert im
 - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
 - Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- <https://www.plattform-i40.de>

Plattform Industrie 4.0



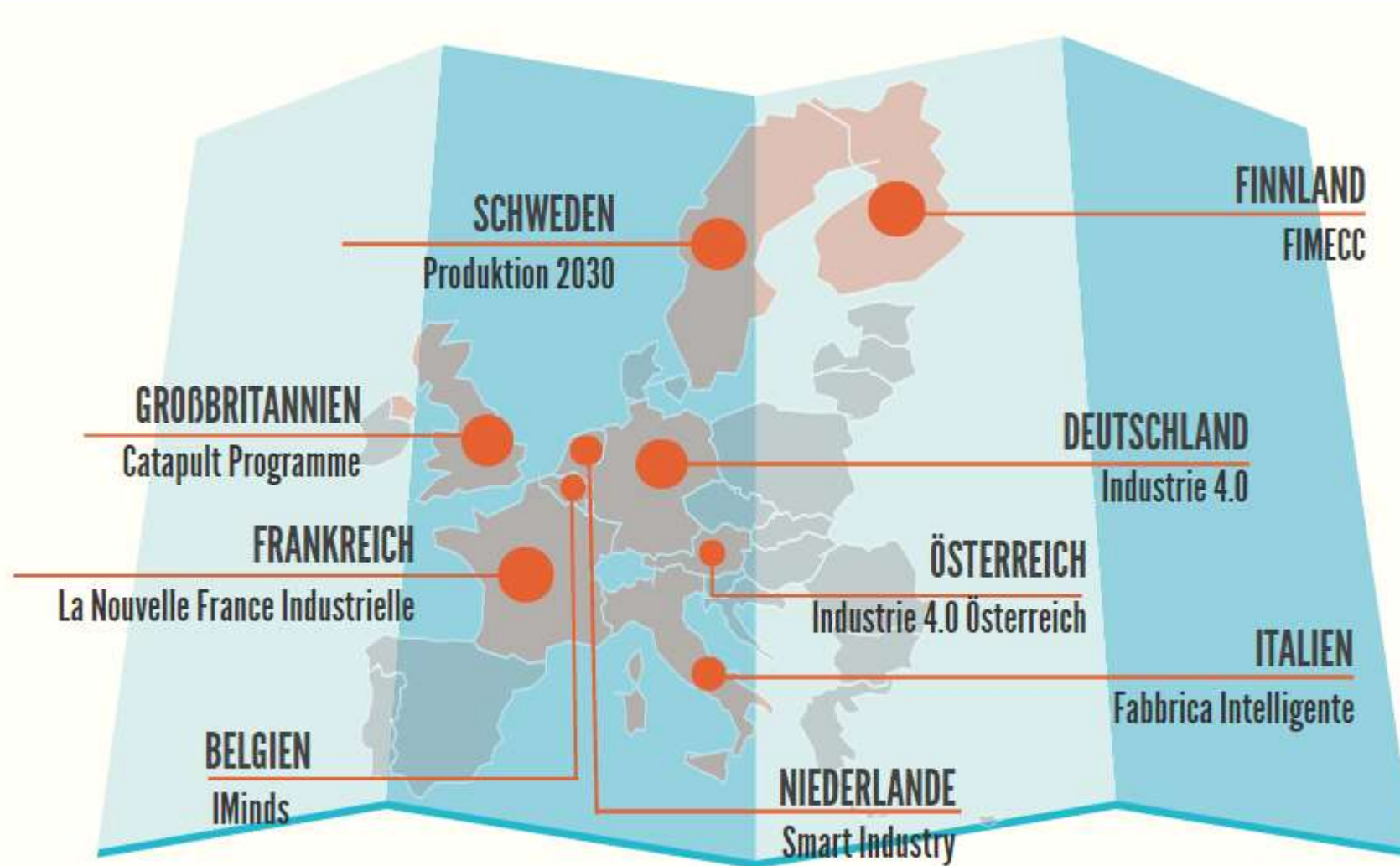
Quelle: BMWi, Juli 2018

„Warum der Deal von VW mit Amazon besonders ist“
<https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/amazon-vw-kooperation-1.4385157>
27.03.19

„BMW und Microsoft gründen den Club der Industriehersteller“
<https://www.golem.de/news/internet-der-dinge-bmw-und-microsoft-gruenden-den-club-der-industriehersteller-1904-140428.html>
03.04.19



Industrie 4.0 europaweit



Quelle: <https://www.ke-next.de/infografiken/industrie-4-0-interaktiv-und-auf-europaeisch-102.html>

„Cincinnati to be the Industry 4.0 Demonstration City“



Industrie 4.0 weltweit

„Hon Hai's Industry 4.0 will focus on integrating **cloud computing, mobile devices, big data**, smart living, **smart work networks and robots**, Gou said. He sees a sound outlook in developing robots, saying *the robot industry will definitely become bigger than the auto industry in the future.*“

Quelle: <http://www.manufacturingglobal.com/lean/391/Terry-Gou-steers-Foxconn-towards-an-Industry-40-future>



The screenshot shows a web page from 'Manufacturing' magazine. The top navigation bar includes 'SECTORS', 'VIDEOS', 'REPORTS', and 'MAGAZINE'. The main image is a portrait of Terry Gou, chairman of Hon Hai Precision Industry, wearing glasses and a white shirt with a purple tie. Below the image is the article title 'Terry Gou steers Foxconn towards an Industry 4.0 future' by Glen White, dated March 01, 2015. The article text states that Terry Gou has vowed to move towards integrating innovation design manufacturing (IIDM) from the original equipment manufacturing (OEM) model, stating that the robot industry will eventually surpass the auto industry. It also mentions that since 2014, Hon Hai, trading as Foxconn Technology Group, has decided to focus on the development of Industry 4.0 following a trend started by Germany.

Manufacturing

SECTORS VIDEOS REPORTS MAGAZINE

Terry Gou steers Foxconn towards an Industry 4.0 future

Glen White - Lean - Mar 01, 2015

Tweet Share

Terry Gou, chairman of Hon Hai Precision Industry has vowed to move towards integrating innovation design manufacturing (IIDM) from the original equipment manufacturing (OEM) model, stating that the robot industry will eventually surpass the auto industry.

Since 2014, Hon Hai, trading as Foxconn Technology Group, the world's largest electronics contractor manufacturer, has decided to focus on the development of Industry 4.0 following a trend started by Germany.

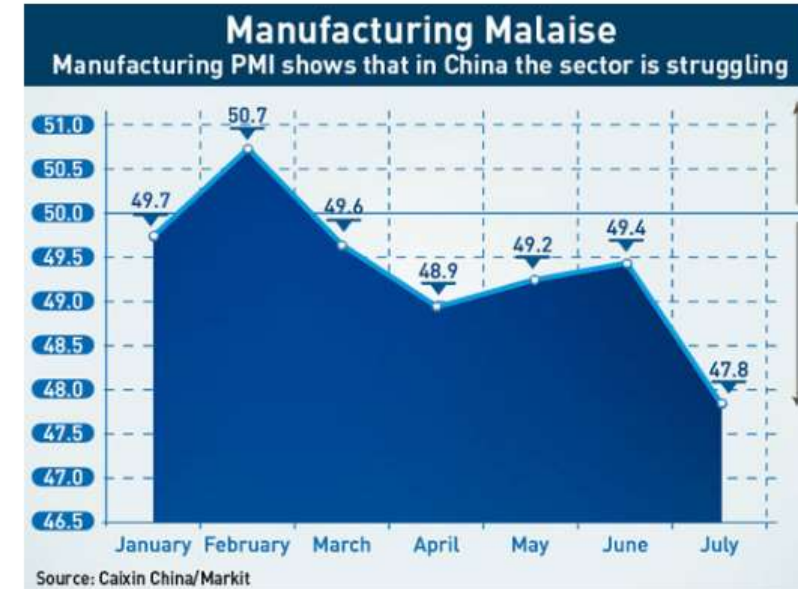
Made in China 2025: A New Era for Chinese Manufacturing

SEPTEMBER 2, 2015 BY XIN EN LEE — 0 COMMENTS



As China's economy matures, the leaders are trying to move manufacturing up the value chain with the Made in China 2025 plan.

And with countries such as Vietnam and Indonesia slowly eroding China's advantage of a huge and cheap labor force, manufacturers are bracing for even harder days ahead. As such, the government now faces a race against time to move Chinese industry up the value chain.



(Click to enlarge)

The Fine Print

MiC2025 aims to remedy China's manufacturing problems with a comprehensive upgrading of the sector. The plan draws inspiration from Germany's Industrie 4.0 as China aims to make use of technologies like the Internet of Things, cloud computing and big data to upgrade its manufacturing. The initiative spans the entire manufacturing industry, including processes, standards, intellectual property rights and human capital, and has a strong focus on integrating production chains and factories.

Quelle: <http://knowledge.ckgsb.edu.cn/2015/09/02/technology/made-in-china-2025-a-new-era-for-chinese-manufacturing/>

Industrie 4.0 bezeichnet die **4. industrielle Revolution**

Die ersten drei industriellen Revolutionen wurde retrospektiv als
Revolutionen bezeichnet.

Bei Industrie 4.0 wird die Revolution *ausgerufen!*

Von der Manufaktur zu Industrie 4.0



Manufaktur:

- Teure individuelle Einzelstücke
- für wenige Wohlhabende
- Kaum Maschineneinsatz



Industrie 1.0:

- Effizienz
- Geschwindigkeit
- Maschineneinsatz



Industrie 2.0:

- Massenproduktion
- Vereinheitlichte, preiswerte Produkte,
- Fließbandfertigung



Industrie 4.0:

- Individuelle Einzelstücke
- für jeden zu geringen Kosten
- autonome, selbstorganisierende Fertigung
- Mensch-Roboter-Kollaboration



Industrie 3.0:

- Produktvarianten
- CNC-Fertigung
- Hohe Qualität



Was ist Industrie 4.0



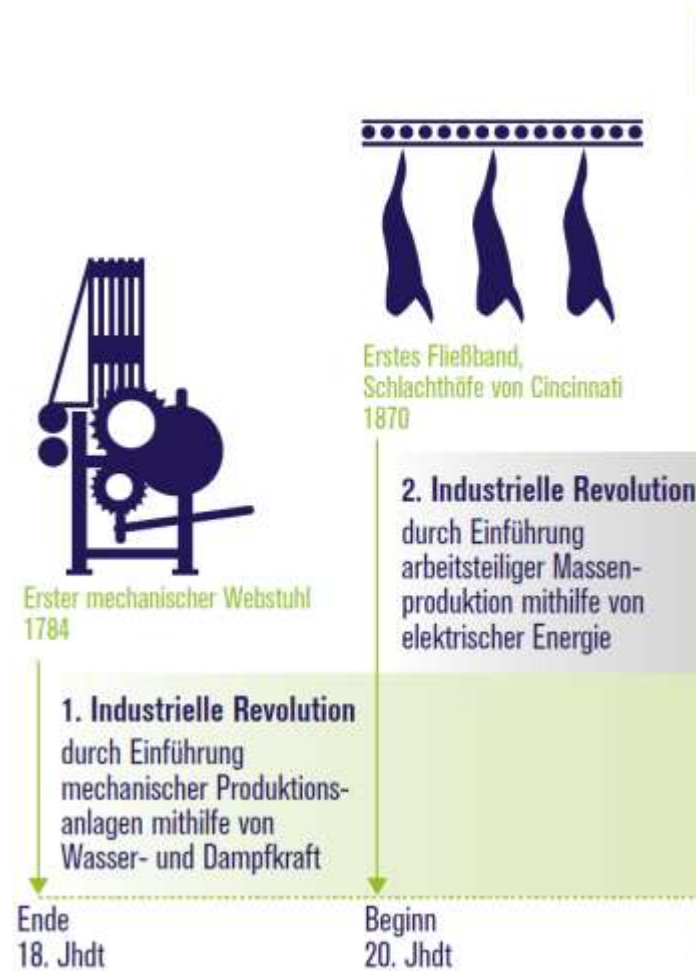
Erster mechanischer Webstuhl
1784

1. Industrielle Revolution
durch Einführung
mechanischer Produktions-
anlagen mithilfe von
Wasser- und Dampfkraft

Ende
18. Jhdt

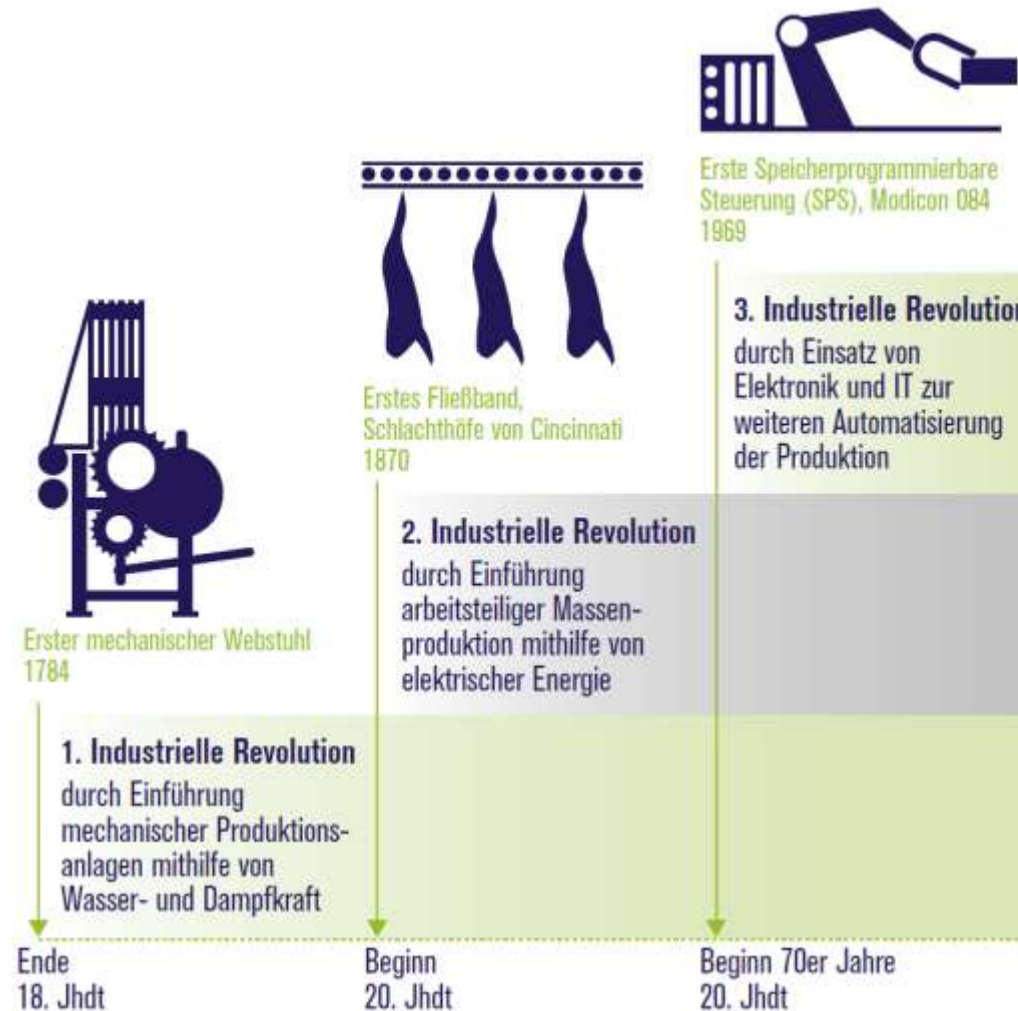
Quelle: [Kagermann 2013]

Was ist Industrie 4.0



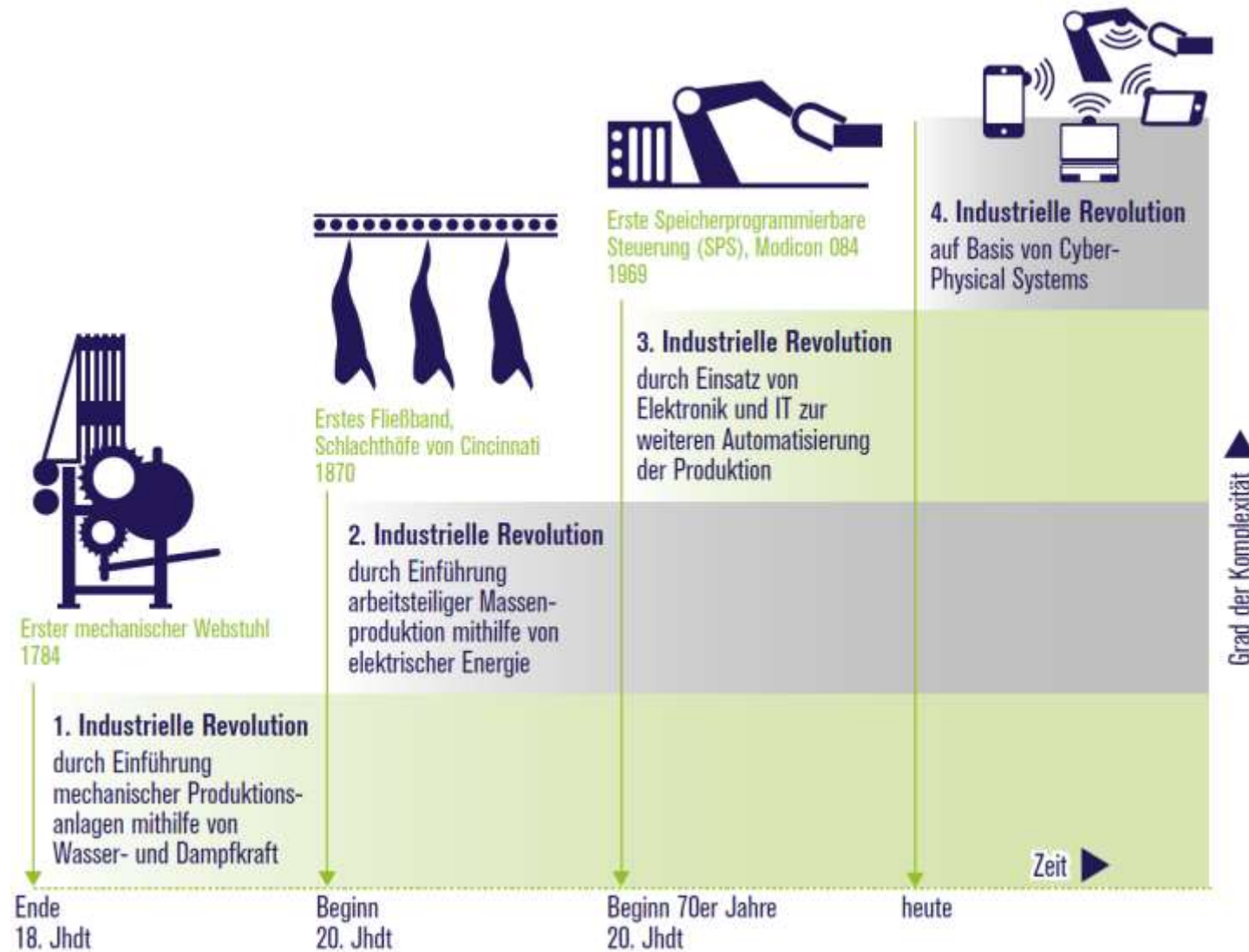
Quelle: [Kagermann 2013]

Was ist Industrie 4.0



Quelle: [Kagermann 2013]

Was ist Industrie 4.0



Quelle: [Kagermann 2013]

Vor Industrie 4.0

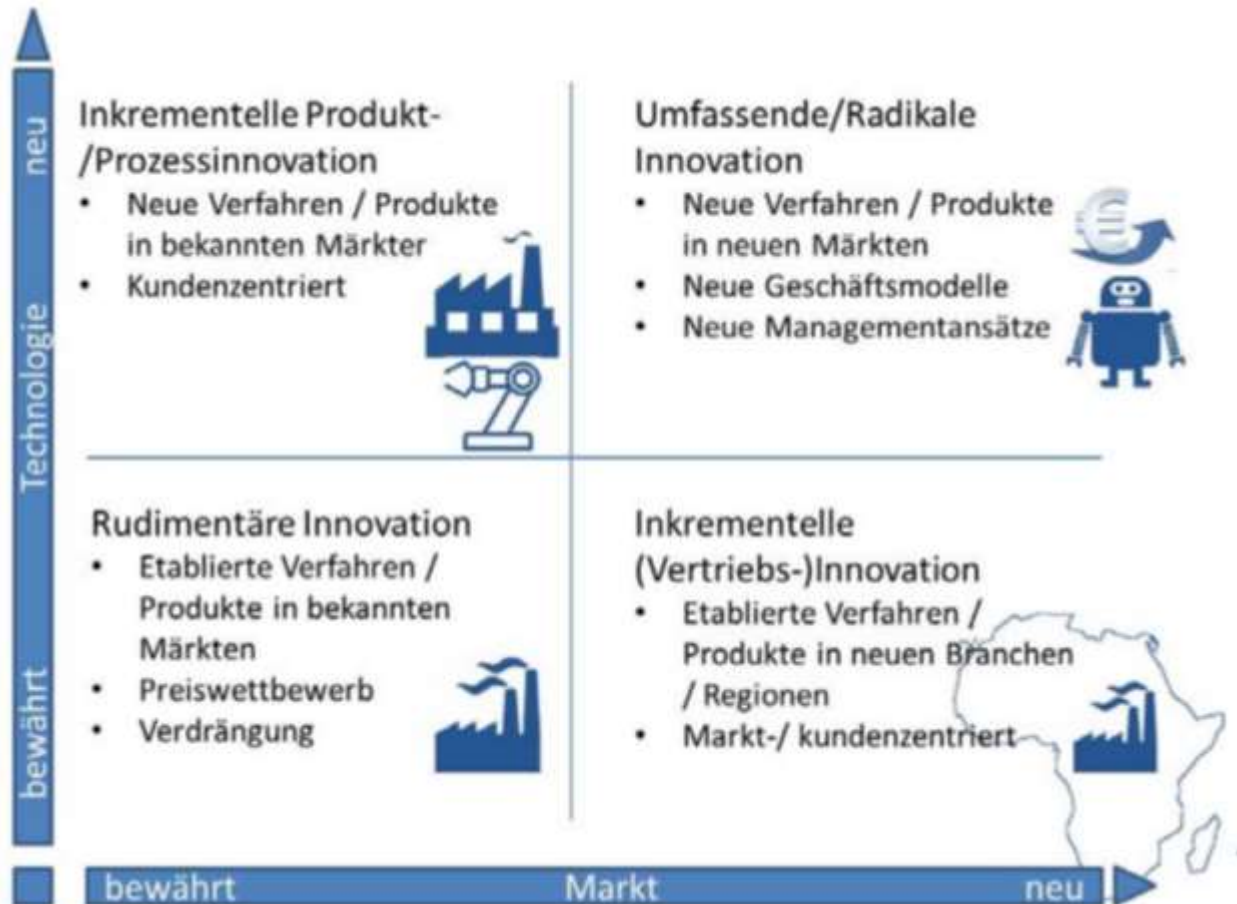
- Hohe **Stückzahlen**, kleine Variabilität
- Takt und **Zykluszeit**
- Weitgehend **statische Struktur** der Produktion

→ Vorab planen und dann möglichst oft unverändert wiederholen

Mit Industrie 4.0

- **Massenindividualisierte** Produkte
- **Flexibilität** und Selbstoptimierung
- **Adaptionsfähigkeit**
(z. B. bei Maschinenausfällen)
- Stark Datengetrieben

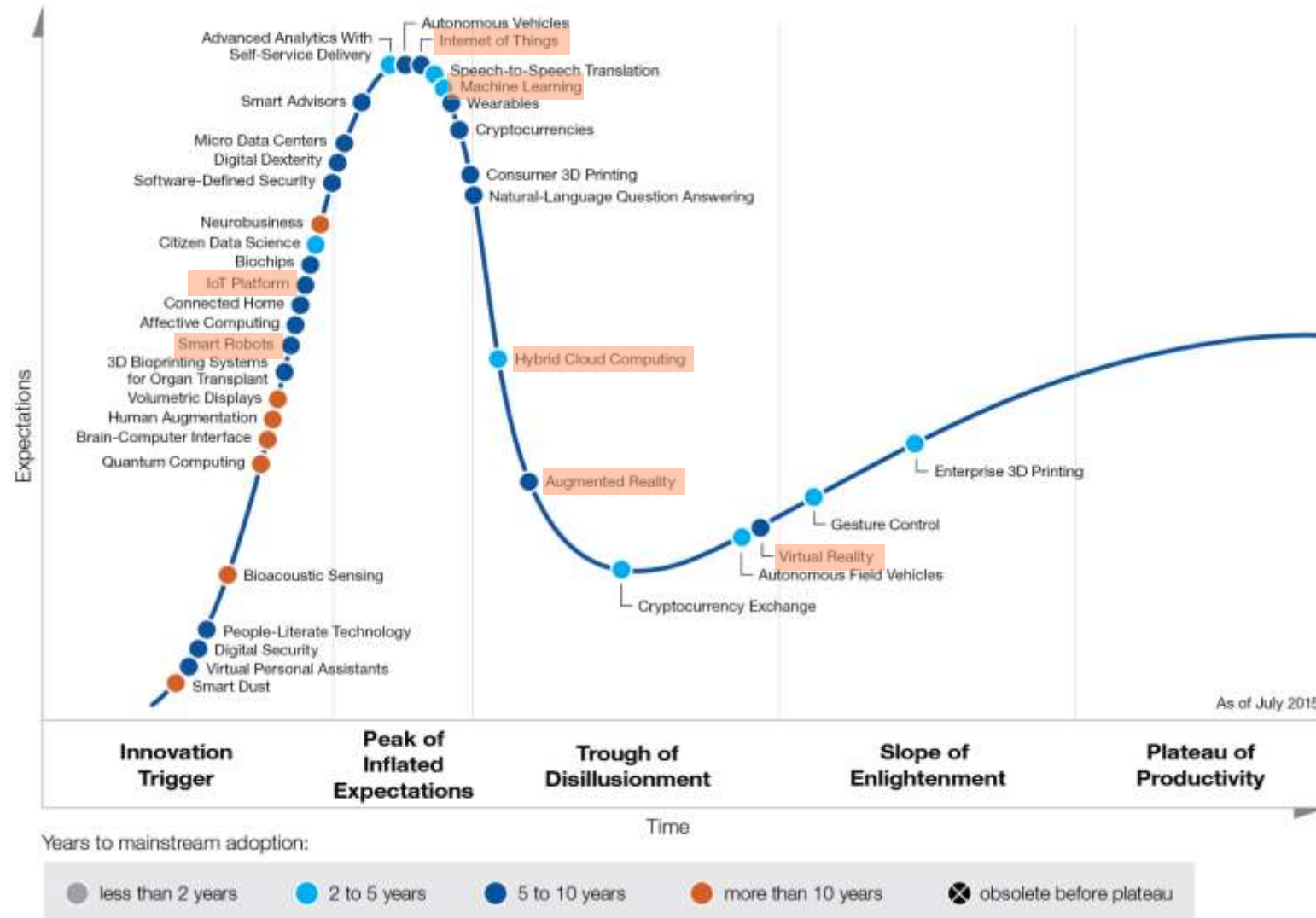
→ Während der Produktion autonom planen, adaptieren und optimieren



Quelle: [Banholzer 2016]

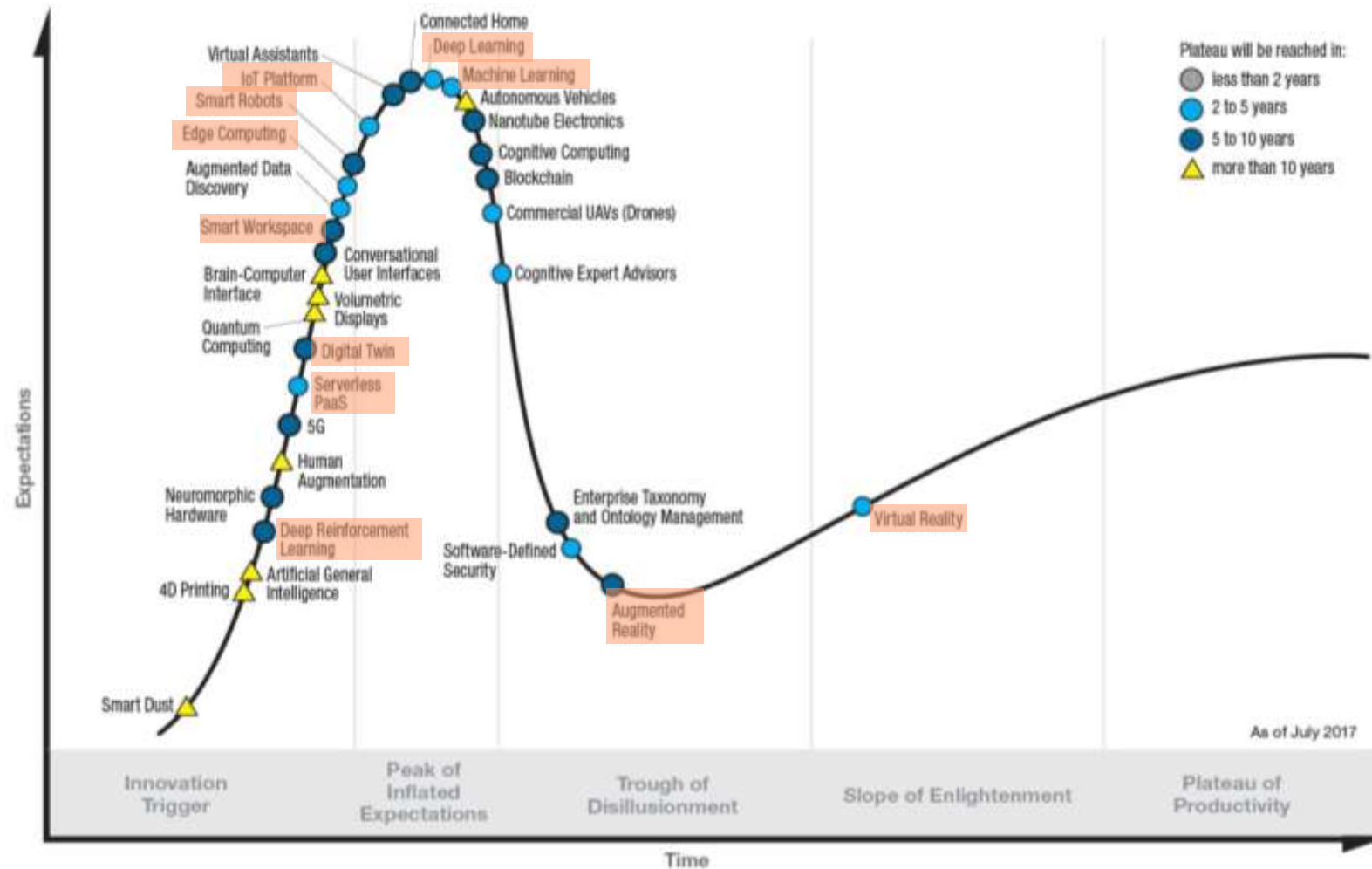
- Industrie 4.0 hat die Anzeichen einer disruptiven/radikalen Innovation
- Eine disruptive Innovation bezeichnet die **Etablierung neuartiger, bisher unbekannter Produkte oder Dienstleistungen**, die als kleine Nischeninnovation beginnt und eine **Marktrevolution auslösen kann**.
- Disruptive Innovationen können einen Prozess in Gang setzen, der **alles Bestehende überholt, Marktführer verdrängt und Branchenregeln neu definiert**.
- Beispiel: Apples iPhone und Nokia

Emerging Technologies - Gartner Hype Cycle (2015)



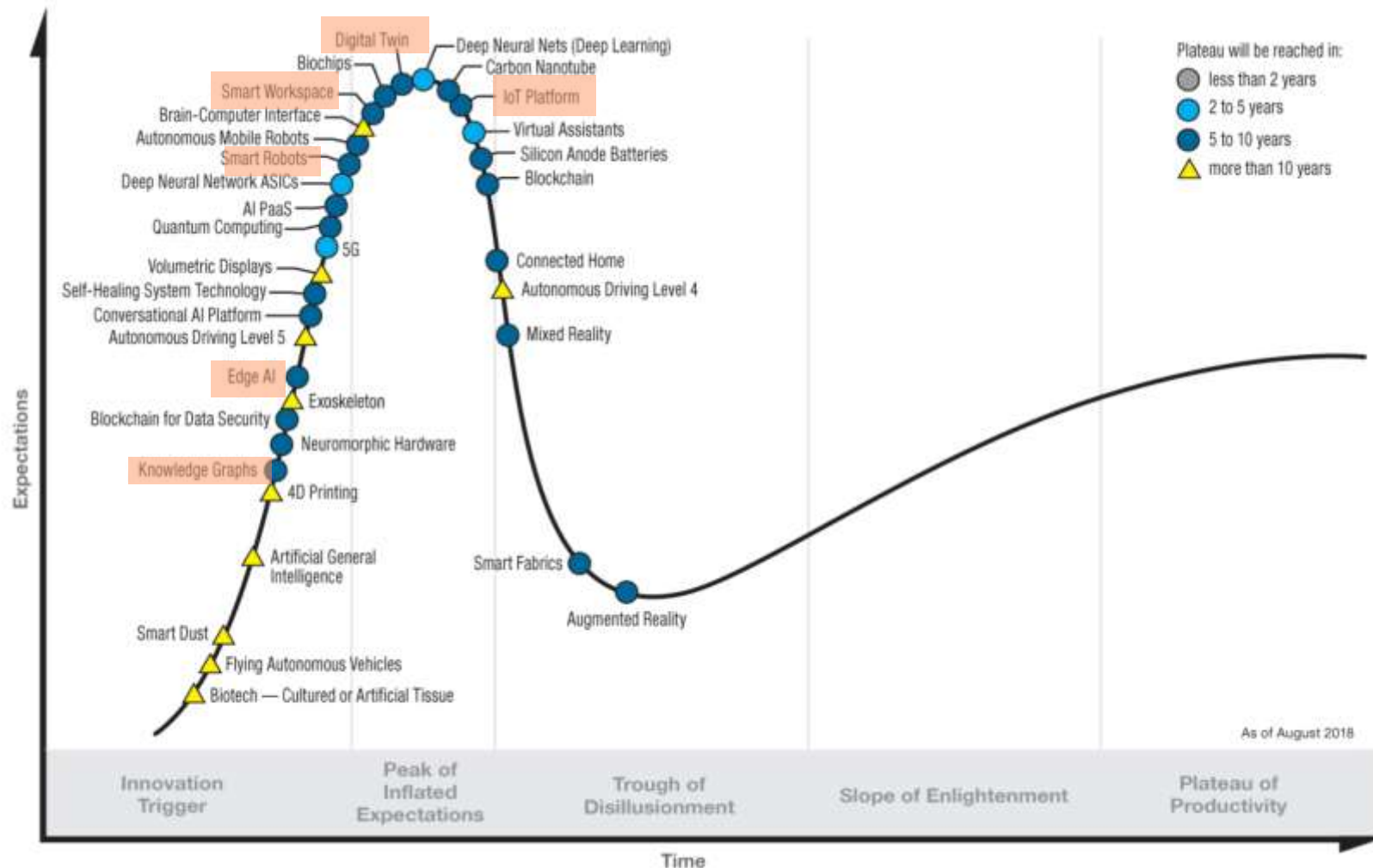
Quelle: https://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2015/10/EmergingTech_Graphic.png

Emerging Technologies - Gartner Hype Cycle (2017)



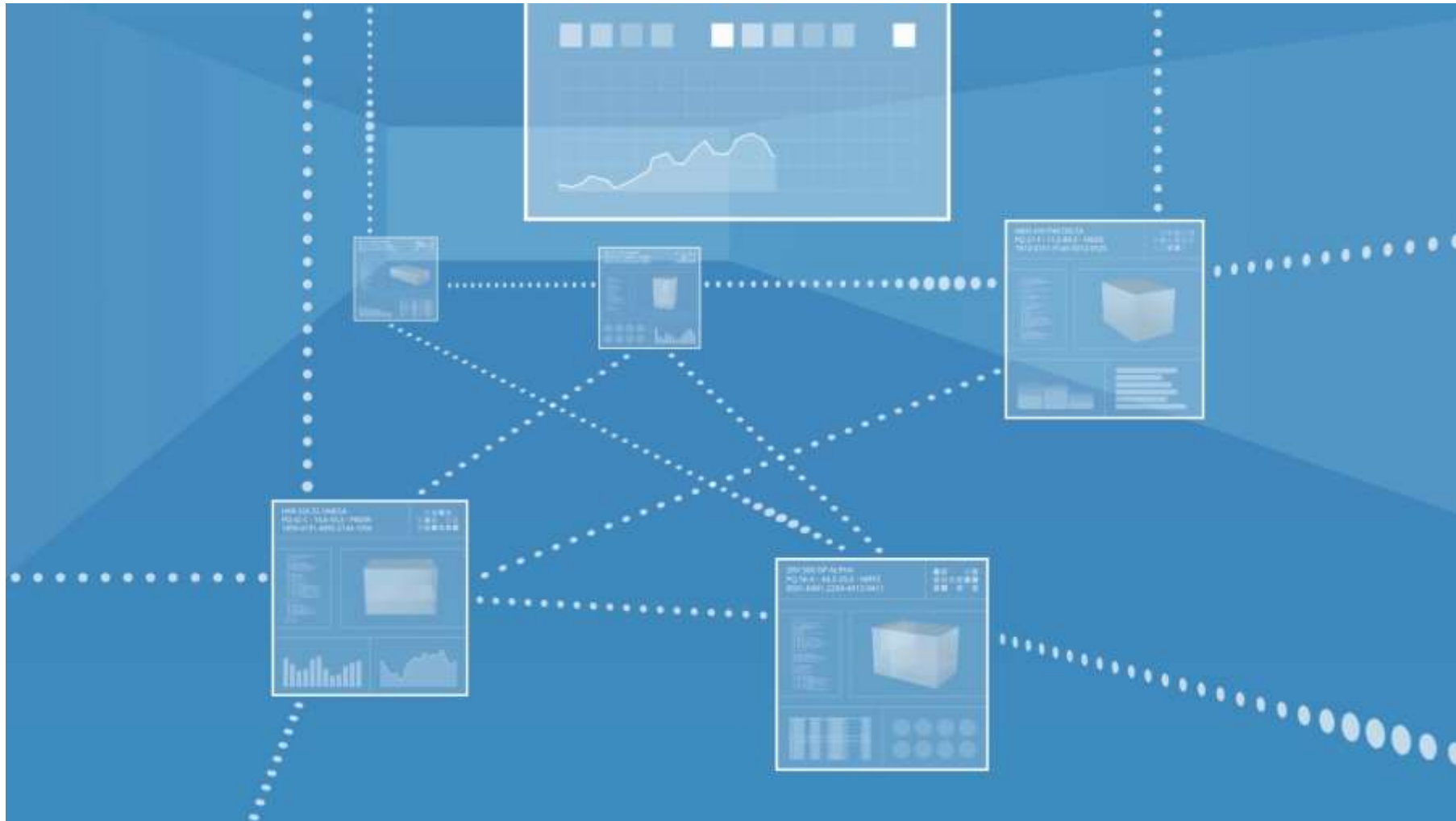
Quelle: https://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2017/08/Emerging-Technology-Hype-Cycle-for-2017_Infographic_R6A.jpg

Emerging Technologies - Gartner Hype Cycle (2018)



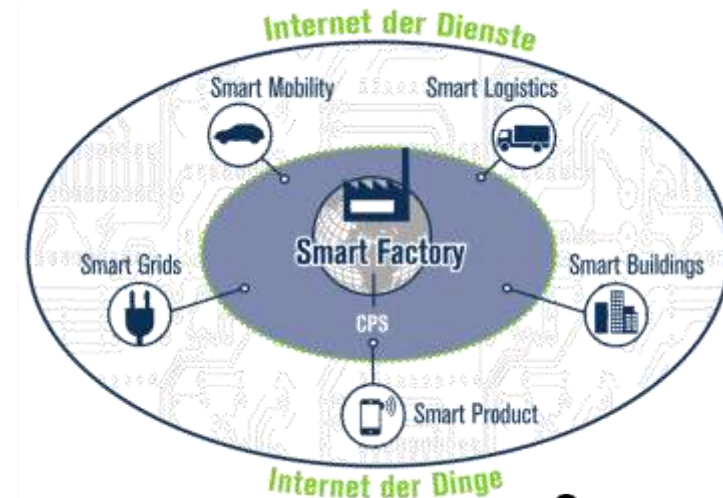
Quelle: https://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2018/08/PR_490866_5_Trends_in_the_Emerging_Tech_Hype_Cycle_2018_Hype_Cycle.png

Industrie 4.0 in 4 Minuten



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=PMEoav353J8>

- **Industrie 4.0 als Teil einer vernetzten, intelligenten Welt [Dorst 2015]:**
„Im Mittelpunkt steht eine **Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen** (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) [...]
Ein Kernelement des Szenarios ist die intelligente Fabrik, die **Smart Factory**.
[Sie zeichnet] sich durch ein durchgängiges Engineering aus, das **sowohl die Produktion als auch das produzierte Produkt umfasst**, in dem die digitale und physische Welt nahtlos ineinandergreifen.“

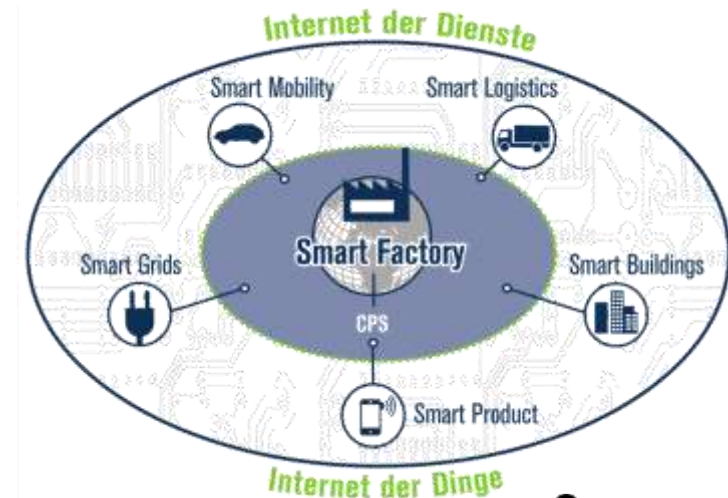


- **Industrie 4.0 als Teil einer vernetzten, intelligenten Welt [Dorst 2015]:**

„In Industrie 4.0 entstehen auch **intelligente Produkte (Smart Products)**, die eindeutig identifizierbar und jederzeit lokalisierbar sind.

Sie verfügen bereits während der Produktion **über das Wissen ihres Herstellungsprozesses**. Deswegen können Smart Products in bestimmten Industriebranchen quasi selbstständig die einzelnen Stationen ihrer Produktion ansteuern.

[Das] fertige Produkt [kennt] die **Parameter seines optimalen Einsatzes und seiner Einsatzbedingungen [...]**.“

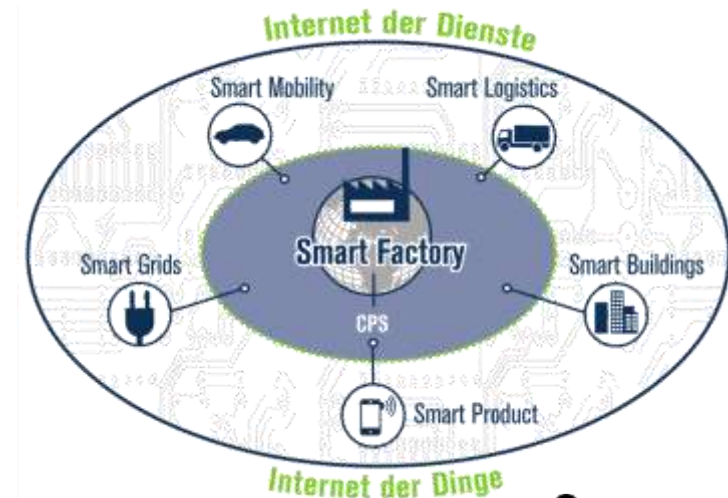


- **Industrie 4.0 als Teil einer vernetzten, intelligenten Welt [Dorst 2015]:**

„Die Umsetzung [...] bietet den Beschäftigten die Möglichkeit, die intelligent vernetzten Produktionsressourcen und –schritte nach **situativen und kontextabhängigen Zielvorgaben zu steuern**, zu regulieren und zu gestalten.

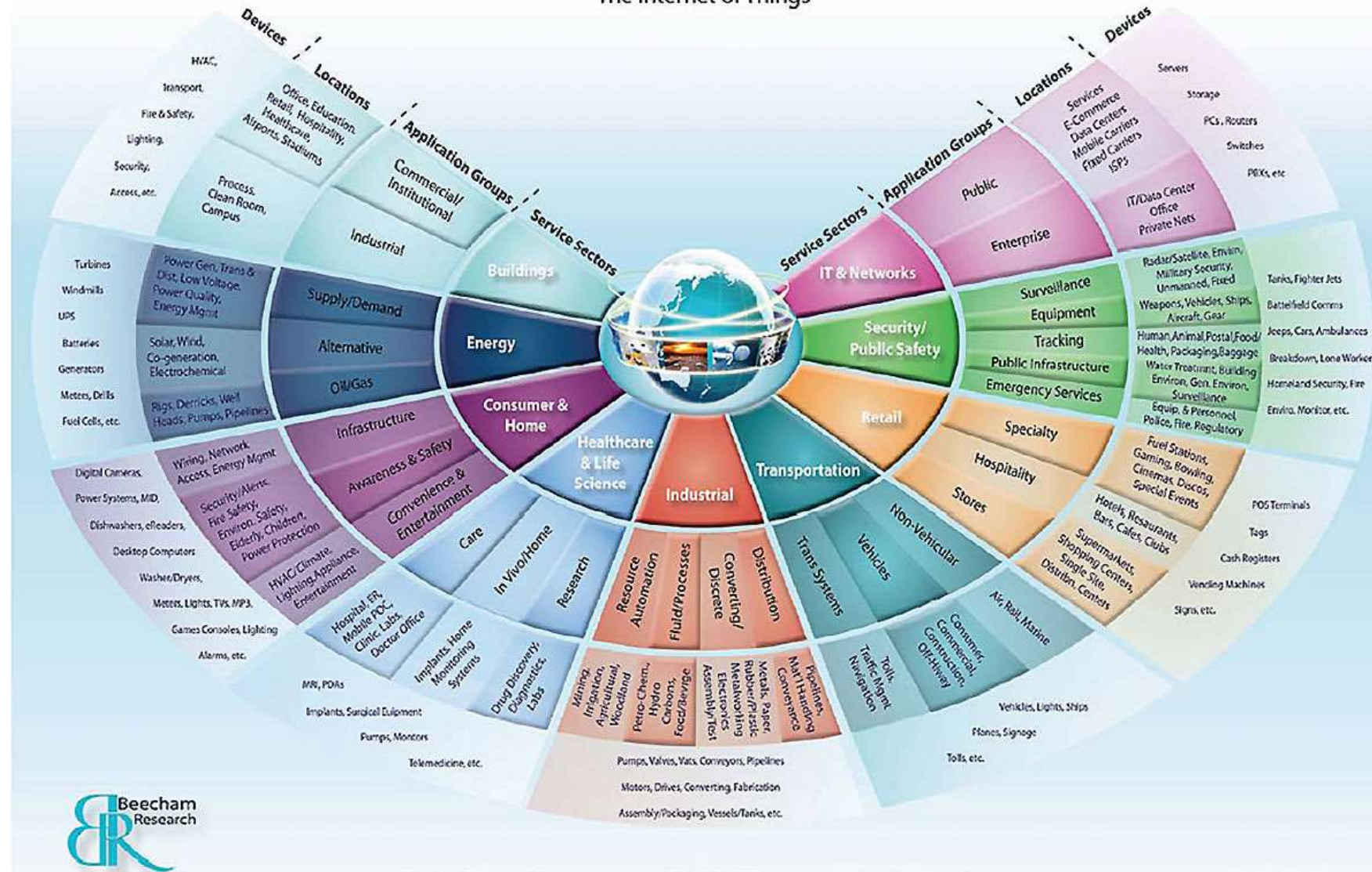
Die **Mitarbeiter können sich auf die kreativen, wertschöpfenden Tätigkeiten fokussieren**, da sie von Routineaufgaben entlastet werden.

Die Beschäftigten spielen damit die entscheidende und vor allem die qualitätssichernde Rolle. Gleichzeitig bieten **flexible Arbeitsbedingungen Möglichkeiten zur verbesserten Vereinbarkeit mit individuellen Bedürfnissen.** “



Internet of Things

The Internet of Things



- Edward A. Lee [Lee 2008] definiert im Jahr 2008 wie folgt:

*„Cyber-Physical Systems (CPS) are **integrations of computation with physical processes.**“*

*Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where **physical processes affect computations and vice versa.**“*

- Die „Forschungsagenda CPS“ [Geisberger 2012] gibt folgende Erläuterung:

*„Cyber-Physical Systems (CPS) sind gekennzeichnet durch eine **Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze.**“*

- Kopplung von informationsverarbeitenden Komponenten mit physischen Objekten und Prozessen ist in der Automatisierung seit den 1970er-Jahren vorhanden.
- Eine ständige Vernetzung von Automatisierungskomponenten ist Stand der Technik.
- **Neu:** Vernetzung über offene und globale Informationsnetze im **Internet of Things**
- **Konsequenzen:**
 - Beliebige Kopplung der Systeme ist möglich
 - Die Kopplung kann zur Laufzeit adaptiert werden
 - Folglich können verfügbare Daten, Informationen und Dienste an beliebiger Stelle im CPS bereitgestellt und verwendet werden.
- **Ergebnis:** Ein vollkommen neues Kommunikationsparadigma in der Automation

- CPS im Kontext der Industrie 4.0 aus [Kagermann 2013]:

„Die physikalische Welt und die virtuelle Welt [...] verschmelzen zu sogenannten *Cyber-Physical Systems* (CPS).

Mit der Einführung des neuen Internetprotokolls IPv6 im Jahr 2012 stehen ausreichend Adressen für die **flächendeckende, unmittelbare Vernetzung von intelligenten Gegenständen per Internet** zur Verfügung.

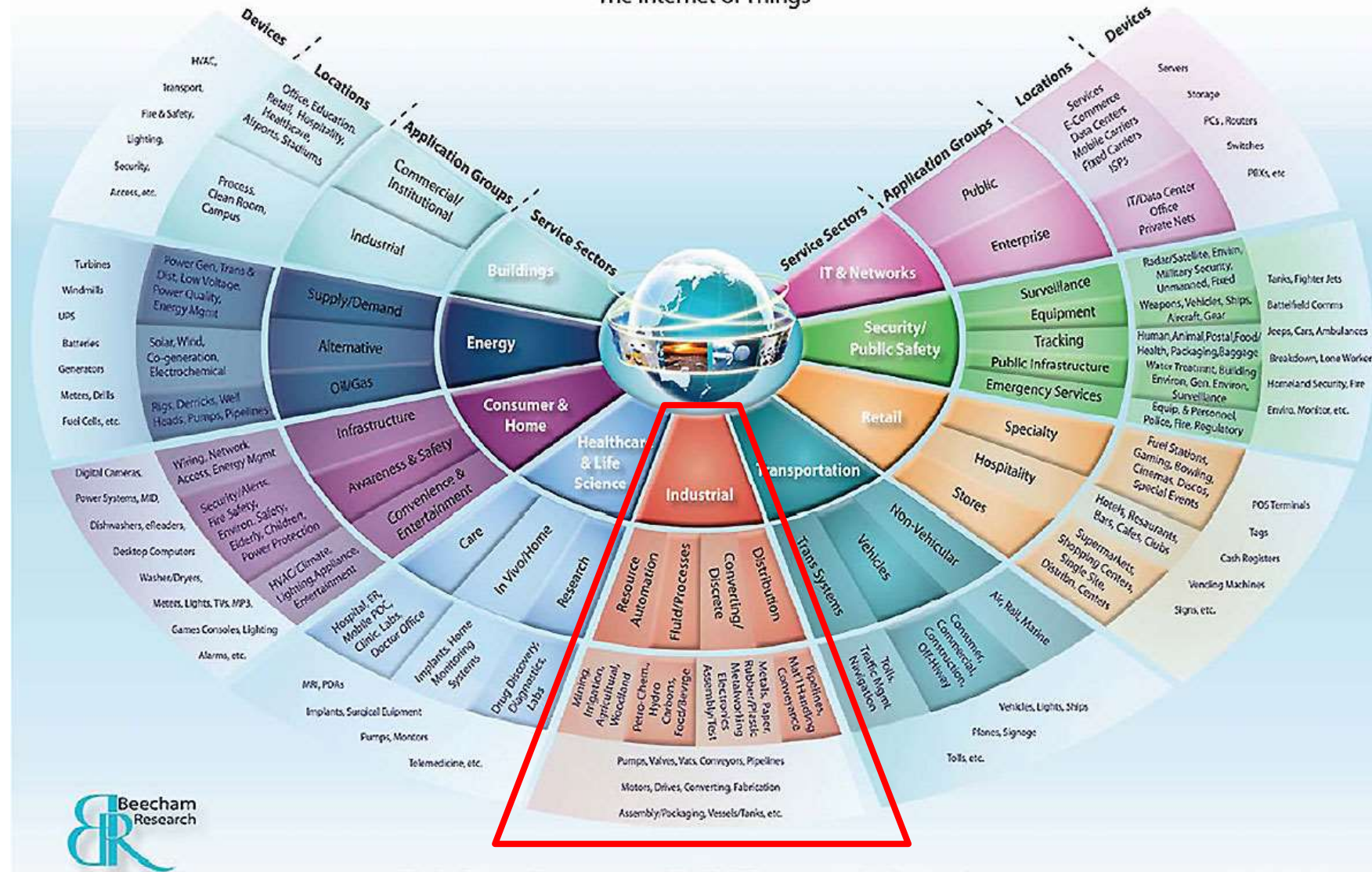
Somit wird erstmals eine Vernetzung von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen möglich, die auch die Industrie betrifft:
das **Internet der Dinge und Dienste.**“

- Zur Entwicklungszeit nicht mehr vollständig
 - voraussehbare Interaktionen und
 - Kontext der CPS-Komponenten
- Höhere lokale Intelligenz und Fähigkeit zur Adaption an geänderte Umgebungsbedingungen und Anforderungen („Self-X“).
- Notwendigkeit für Modelle um die physische Prozesse und Komponenten und deren Interaktion virtuell abzubilden.
- Umfassende Erfassung und Bereitstellung von entwurfs-, produktions- oder betriebsrelevanten Daten führt zu einer neuen Qualität des Engineerings, das von Durchgängigkeit und besseren Optimierungsmöglichkeiten geprägt sein wird.

- **Smart Grids:**
Dezentrale Einheiten zur Erzeugung und Verteilung von Energie werden über IT-Netze verknüpft, um eine optimale, bedarfsgerechte und stabile Energieerzeugung zu gewährleisten.
- **Car-to-X:**
Vernetzung von Fahrzeugen untereinander bzw. mit der Verkehrsinfrastruktur.
Hier haben dynamischen Strukturänderungen (d.h. die Unterbrechung und der Neuaufbau von Verbindungen) eine besondere Bedeutung
- **e-Health:**
Körpernahe Sensorik und medizinische Informationssysteme zur Fernüberwachung werden über das Internet verbunden
- **Cyber-Physical Production Systems:**
Produktionssysteme, die über System-/Komponenten-/Anlagen-/Fabrik- und sogar Firmengrenzen hinweg miteinander vernetzt sind.

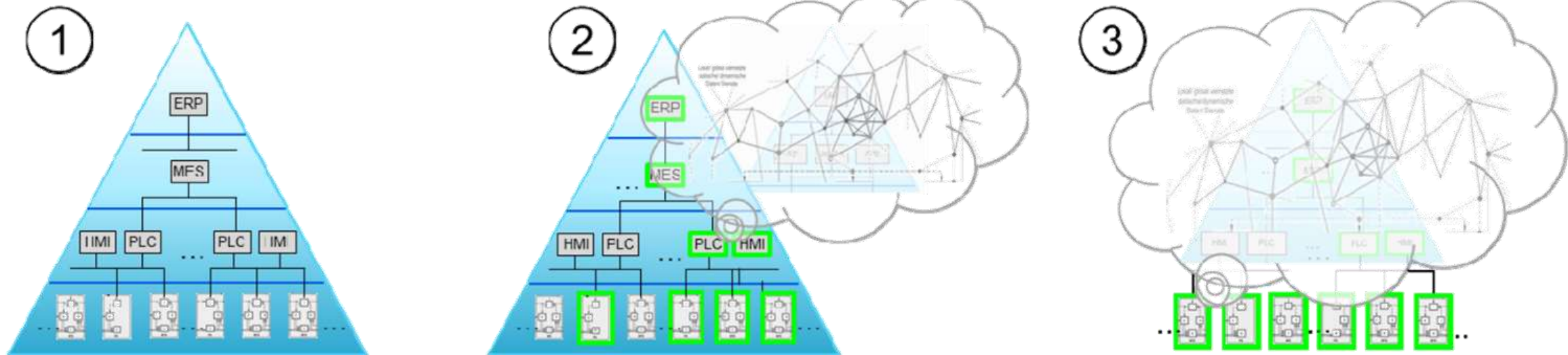
Internet of Things

The Internet of Things



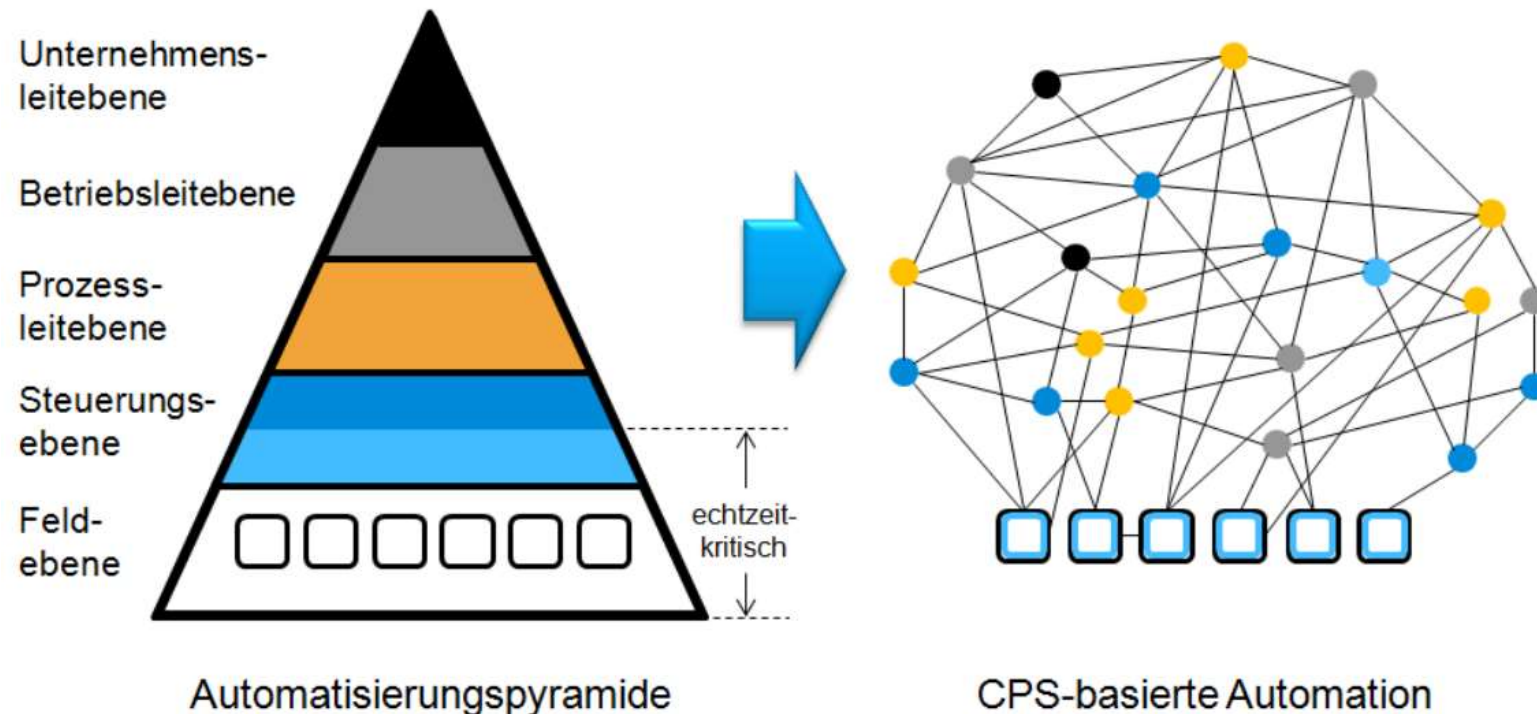
- CPS-basierte Automatisierungssysteme kommunizieren (zumindest teilweise) **über offene, globale Informationsplattformen.**
- Ihre Teilsysteme und Komponenten nutzen bzw. stellen über diese Netze **offen verfügbare Daten und Dienste** zur Verfügung stehen.
- CPS-basierte Automatisierungssysteme sind dadurch charakterisiert,
 - dass sie **herkömmliche System-, Organisations- und Domänengrenzen** überschreiten,
 - dass sich ihre **heterogene Zusammensetzung und Struktur während der Betriebszeit dynamisch ändert,**
 - dass sie die Fähigkeit zur **zielorientierten Adaptivität und Selbstmodifikation** auf der Basis von Modellbeschreibungen ihrer Umgebung und ihrer Aufgaben aufweisen.

- In CPPS werden Daten, Dienste und Funktionen dort gehalten, abgerufen und ausgeführt, wo es im Sinne einer flexiblen, effizienten Entwicklung und Produktion den größten Vorteil bringt.
- Die Automatisierungspyramide wird durch die Einführung von vernetzten, dezentralen Systemen schrittweise aufgelöst:



- Dienste, Daten und Hardwarekomponenten werden auf beliebige Knoten des entstehenden Netzes verteilt werden. Sie bilden abstrakte funktionale Module, aus denen sich das Automatisierungssystem aufbaut

- Klassische Automatisierungspyramide: Verdichtung der Daten und Informationen.



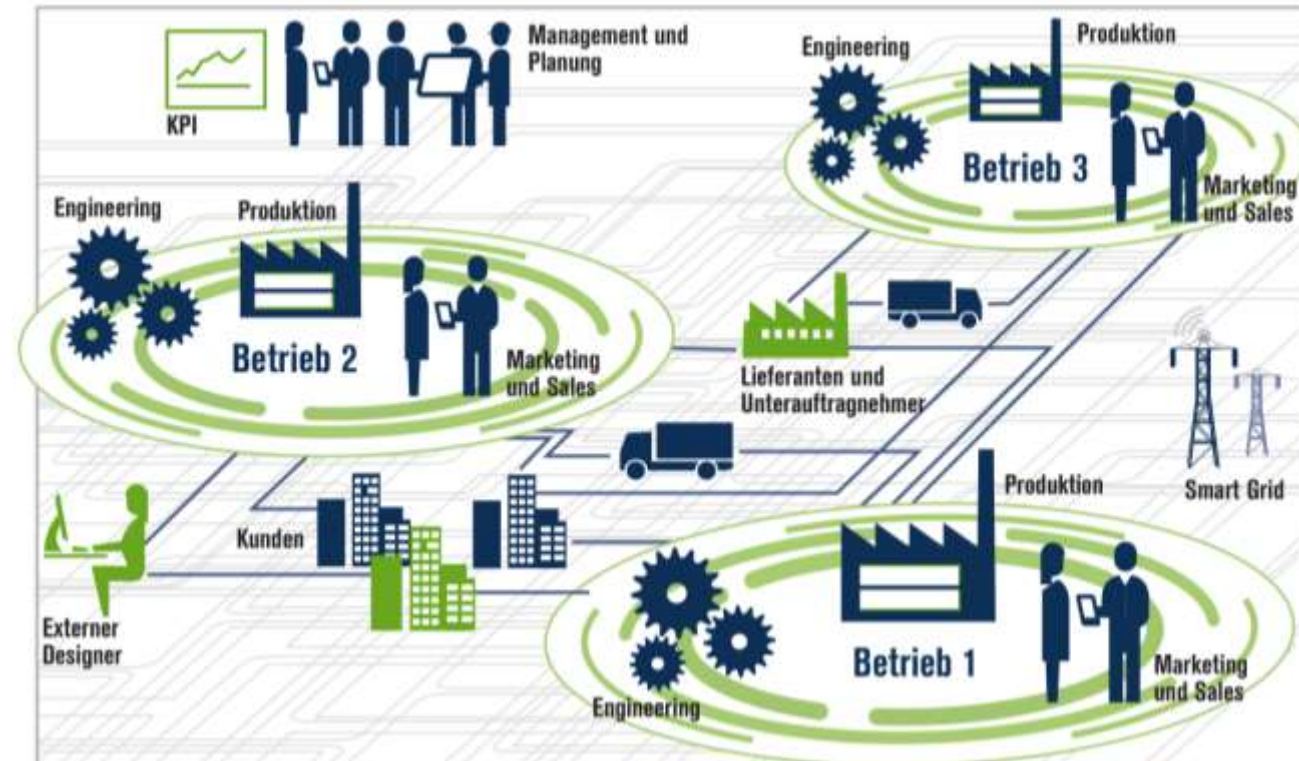
- Mit CPPS wird die Automatisierungspyramide durch dezentrale Dienste in den verschiedenen Knoten schrittweise auf ihre funktionale Struktur abstrahiert.

- **Komplexe Interaktionen** von realer Anlage, steuernder und überwachender Software und offenen, globalen Kommunikationsnetzen.
- Aufgrund der durch die zunehmende Vernetzung komplexer werdenden Anlagen müssen die **Mensch-Maschine-Schnittstellen** angepasst bzw. neu gestaltet werden.
- **Verschiedene Vorgehensweisen und unterschiedlich lange Lebenszyklen** in der IT, Informatik, Mechanik und Automatisierungstechnik.
- **Heterogenen Systemstrukturen** müssen aneinander angepasst werden
→ Referenzarchitekturen
- Zur Entwurfszeit **nicht vorhersehbare Änderungen im Betrieb**
(z.B. nachgeladene Applikationen, veränderte Systemtopologien)
- **Sicherheit** in CPS-basierter Automatisierungslösungen wird ein kritischer Faktor

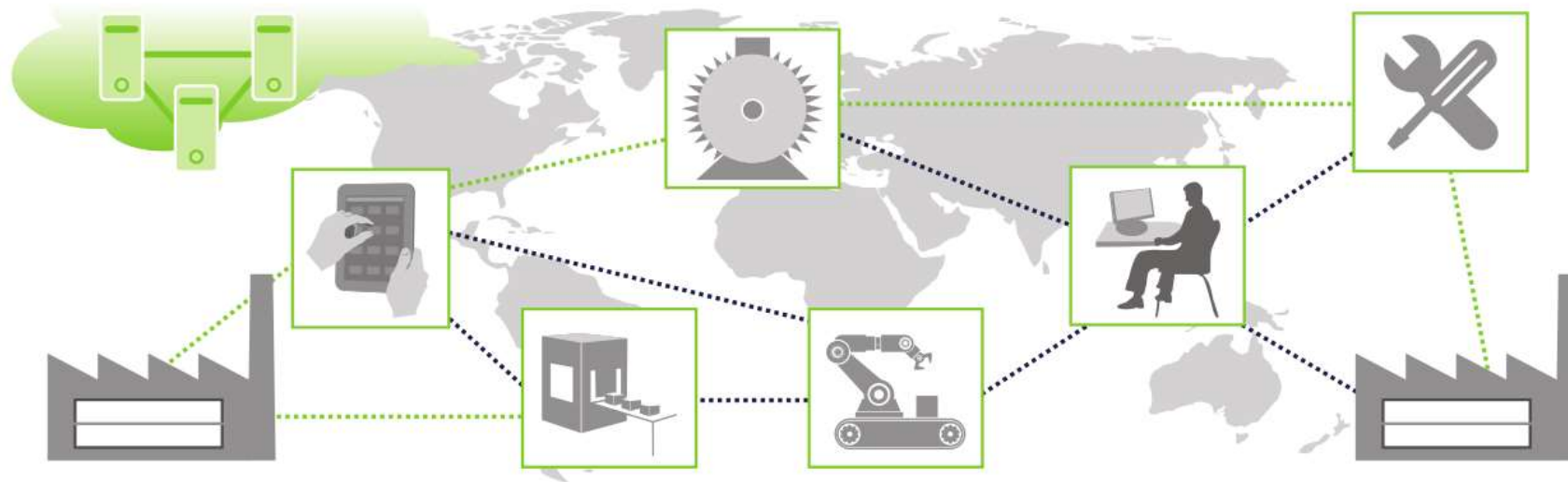
- **Gewinnung und Verarbeitung von Daten** aller Detaillierungsgrade (inklusive ihrer Verfügbarkeit und Qualität)
- Bereitstellung von Algorithmen und Diensten, die diese **Daten miteinander in Beziehung auswerten** und in Entscheidungen umsetzen
- **Disziplinübergreifender, durchgängiger Informationsaustausch** z. B. über Produkt-, Prozess- und Produktionsstatus mit allen erforderlichen Teilnehmern in der Wertschöpfungskette.
- **Selbstdiagnose der Komponenten und Anlagen** zum Ziel der Minimierung von Wartungskosten, Stillstandzeiten und Verschleiß

- **Funktionsmodule**, bestehend aus Hard- und Software, die als funktionale Einheit für die Strukturierung eines Automatisierungssystems genutzt werden können
- **Adaptive, wandlungsfähige Konfiguration bzw. partielle Selbstorganisation** der Produktionsprozesse und der Automatisierungssysteme zur Laufzeit (Plug & Produce) zwecks schnellerer Anpassung an neue Marktbedingungen und Produktvarianten; dies beinhaltet den flexiblen Austausch von einzelnen Komponenten und Anlagenteilen
- **Kontextabhängige Entscheidungen** in Abhängigkeit vom gegenwärtigen oder prognostizierten Status des Produkts, der Prozesse, der Anlage und der Bedienung
- **Das zu fertigende Produkt wird selbst eine Automatisierungskomponente:** es kommuniziert mit der Anlage, die es produziert. Dies erlaubt eine weitere Flexibilisierung und bessere Auslastung der Produktion.

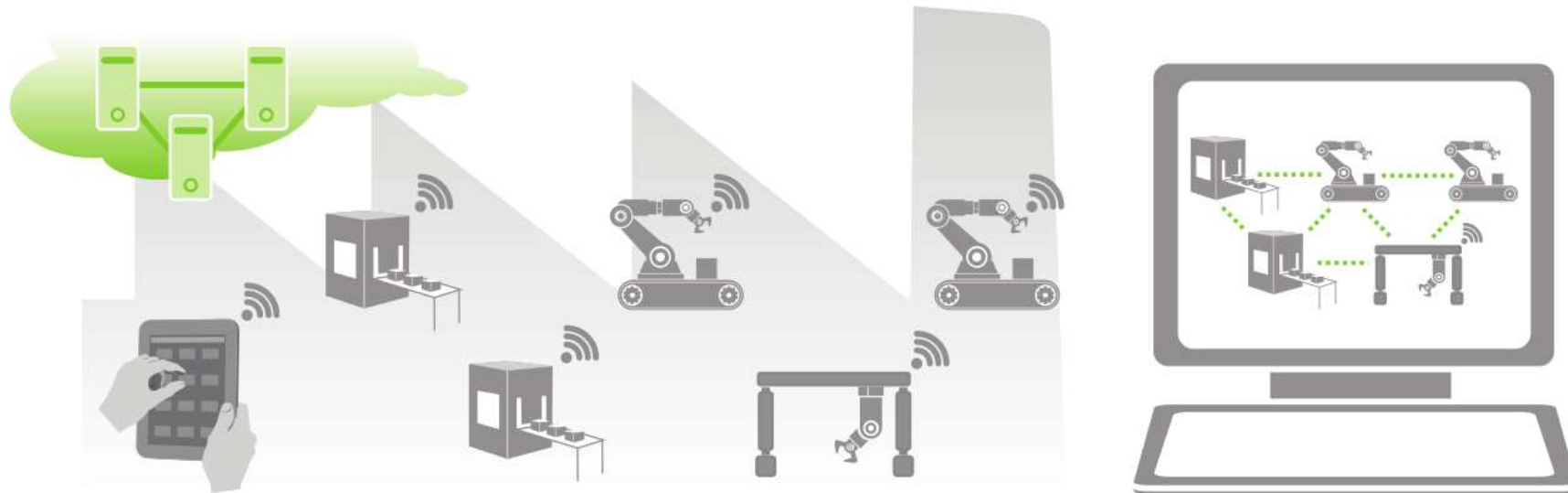
- Laut [Kagermann 2013] entstehen mit Industrie 4.0 neue „**Geschäftsmodelle**, die in der Regel nicht mehr durch eine einzelne Firma, sondern durch ein (möglicherweise) **hoch dynamisches Geschäftsnetzwerk** umgesetzt werden.“
- **Duale Strategie:**
 - Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke
 - Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette
 - Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme



- **Horizontale Integration** nach [Kagermann 2013]:
Integration der verschiedenen IT-Systeme **für die unterschiedlichen Prozessschritte der Produktion und Unternehmensplanung**, zwischen denen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft, sowohl **innerhalb eines Unternehmens** (z.B. Eingangslogistik, Fertigung, Ausgangslogistik, Vermarktung) aber auch **über mehrere Unternehmen (Wertschöpfungsnetzwerke) hinweg** zu einer durchgängigen Lösung.



- **Vertikale Integration** nach [Kagermann 2013]:
Integration der verschiedenen IT-Systeme auf den **unterschiedlichen Hierarchieebenen** (z.B. die Aktor- und Sensorebene, Steuerungsebene, Produktionsleitebene, *Manufacturing & Execution*-Ebene, Unternehmensplanungsebene) **zu einer durchgängigen Lösung.**



- **Demografischer Wandel:**
 - In vielen Produktionsbetrieben liegt das Durchschnittsalter der Beschäftigten bei Mitte 40.
 - Die Zahl der jungen Beschäftigten nimmt stetig ab und bereits heute herrscht ein Fachkräftemangel in bestimmten Berufsgruppen und bei Lehrstellen.
- Um den Lebensstandard zu halten, müssen die **Arbeitsmarktreserven besser ausgeschöpft und gleichzeitig die Arbeitsproduktivität gehalten und erhöht** werden.
- Die **individuelle Produktivität** hängt nicht mit dem kalendarischen Alter zusammen, sondern ist an die Verweildauer auf einer Position sowie an die Gestaltung der Arbeit und des Arbeitsumfelds gekoppelt.
- Neue soziale Infrastrukturen der Arbeit in Industrie 4.0, die eine sehr viel stärkere **strukturelle Einbindung der Beschäftigten in Innovationsprozesse** sicherstellen können.

- **Paradigmenwechsel in der Mensch-Technik-Interaktion:**
 - **Kollaborative Fabrikarbeit** in mobilen Arbeitswelten, der nicht zwangsläufig in der Fabrik stattfinden muss.
 - Maschinen passen sich den Menschen an
 - **Intelligente Assistenzsysteme** mit multimodalen Benutzerschnittstellen
- Voraussetzungen für eine erfolgreiche Veränderung:
 - Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen
 - Neue Organisations- und Gestaltungsmodelle von Arbeit mit einem hohen Maß an selbstverantwortlicher Autonomie mit dezentralen Führungs- und Steuerungsformen kombinieren.





Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=7fDOC3bTpNg>



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=FjfOIYDHCrk>

- [Kagermann 2013] Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster, Johannes Helbig (Hrsg.): „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0“; April 2013; acatech
- [Dorst 2015] Wolfgang Dorst (Hrsg.): „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0“; April 2015; BITKOM e.V., VDMA e.V. und ZVEI e.V
- [Vogel-Heuser 2017] Vogel-Heuser, Birgit, Bauernhansl, Thomas, ten Hompel, Michael (Hrsg.): „Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1“; 2017; Springer
- [Lee 2008] E. A. Lee: “Cyber Physical Systems: Design Challenges”; Technical Report UCB/EECS-2008-8
- [Geisberger 2012] Eva Geisberger, Manfred Broy (Hrsg.): „Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems“; März 2012; acatec
- [Bösl 2016] Dominik Boesl, Bernd Liepert: „4 Robotic Revolutions - Proposing a holistic phase model describing future disruptions in the evolution of robotics and automation and the rise of a new Generation ‘R’ of Robotic Natives“; 2016 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems; 2016
- [VDI 2013] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (Hrsg.): „Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation“; April 2015
- [Banholzer 2016] Volker Banholzer: „Gestaltungsdiskurs Industrie 4.0“; Mai 2016



Übungsaufgabe 1



- Digitaler Zwilling / Digital Twin
- Edge/Cloud Computing
- Digitale Transformation
- Arbeit 4.0
- Cyber-physisches Produktionssystem
- Industrial Internet-of-Things

Definition
White Papers
Tools
Beispiele