Der Hype vergeht - Industrie 4.0 bleibt

Cyberphysical Individuals
Abenteuer für Ingenieure

Konrad Wegener, Andreas Kunz
ETH Zürich

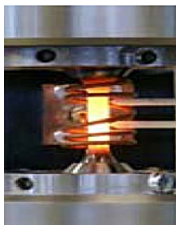
- Vorstellung inspire und IWF
- Versuch einer Definition
- Cyberphysical Systems (CPS, CPPS)
- Konzertierte Technologieentwicklung
- Beispiele / Möglichkeiten mit Potentialen
- Zusammenfassung

inspire AG

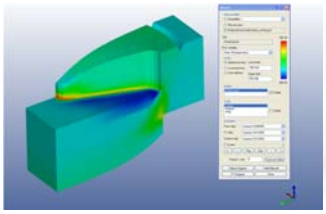
CEO
J. Krebser

ics
P. Ermanni

icmi
E. Mazza

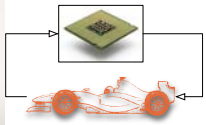


ivp
P. Hora



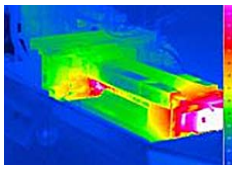
ipdz
M. Meboldt

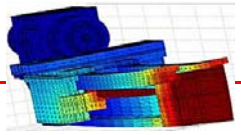
ifa
M. Morari



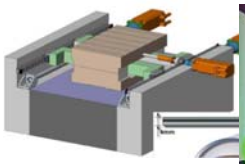
iwf Prozesse
K. Wegener

iwf Maschinen
K. Wegener





iwf Laser/Micro
K. Wegener



icvr
A. Kunz

icams (irpd)
K. Wegener

IWF
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

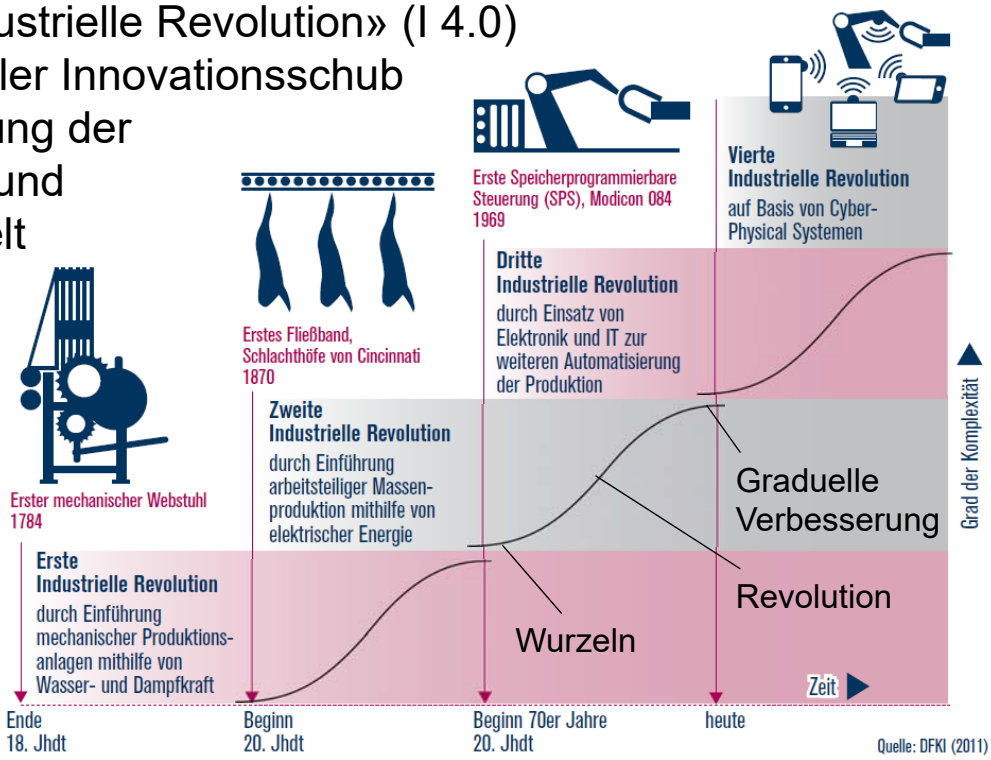
Der Hype vergeht – Industrie 4.0 bleibt

- Vorstellung inspire und IWF
- Versuch einer Definition
- Cyberphysical Systems (CPS, CPPS)
- Konzertierte Technologieentwicklung
- Beispiele / Möglichkeiten mit Potentialen
- Zusammenfassung

Hintergründe von Industrie 4.0

inspire

- «Vierte Industrielle Revolution» (I 4.0)
  - 4. epochaler Innovationsschub
  - Verknüpfung der virtuellen und realen Welt



Was ist Industrie 4.0?

inspire

- «Alle Innovationsleistungen, die derzeitig in der Industrie unternommen werden» (pragmatisch, aber unsinnig)
- Industrie 4.0 adressiert alle grossen Herausforderungen – die Wettbewerbsfähigkeit unseres Hochlohn-Standorts, die Schaffung von Ressourcen- und Energieeffizienz, den demografischen Wandel sowie die Frage der urbanen Produktion. (Kagermann et al. Umsetzungs-empfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0)
- Industrie 4.0 ist ein Marketingbegriff, der auch in der Wissenschaftskommunikation verwendet wird. Er steht für ein "Zukunftsprojekt" der deutschen Bundesregierung. Die sogenannte vierte industrielle Revolution zeichnet sich durch Individualisierung bzw. Hybridisierung der Produkte und die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in die Geschäftsprozesse aus. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/industrie-4-0.html

- **«Industrie 4.0 ist die konsequente Umsetzung der technischen Möglichkeiten des Internets in der betrieblichen Leistungserstellung.»**

Was passiert bei Industrie 4.0?

inspire

- «Verknüpfung reale und virtuelle Welt»
- «Industrie 4.0 ordnet Produkten eine Identität im Internet zu (Internet der Dinge und Dienste), mit der sie ab ihrer "Geburt" kommunizieren und bereits ihre eigene Komplettierung bzw. Herstellung steuern»
- Industrie 4.0 stattet Produkte mit einer zweiten Identität im Internet aus und macht sie zu «cyberphysischen Systemen»
- «Industrie 4.0 = CIM2» (nicht richtig. Bei Industrie 4.0 steht der Mensch im Mittelpunkt, bei CIM war die mannlose Fabrik angestrebt (Halle 54 bei VW))
- Smart Factory: Fabrik aus cyberphysikalischen Produktionssystemen (CPPS) organisiert mit neuer Produktionslogik: Die Produkte sind eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar und kennen ihre Historie, den aktuellen Zustand sowie alternative Wege zum Zielzustand (Kagermann)
- Industrie 4.0 ermöglicht die grossflächige Sammlung grosser Daten-mengen und nutzt diese, um neue Erkenntnisse und Geschäftsmodelle daraus abzuleiten ➔ Big Data
  «Daten sind das Öl der Zukunft»

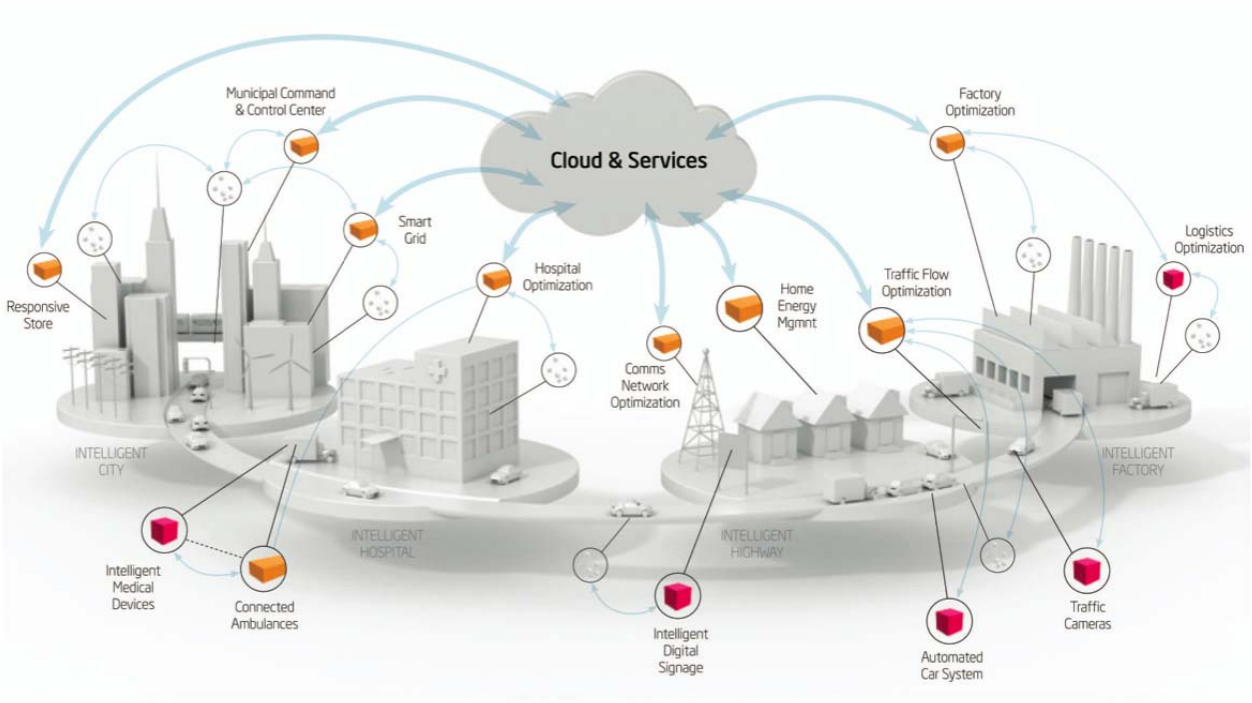
Life 4.0

inspire

- Smart Phones ersetzen das Statussymbol Auto
- Zugang zu Wissen, zu Infor-mationen, zur weiten Welt
- Phantasiewelt
- Freiheit
- Spontan und in Echtzeit
- Identität im Internet

- Selbstorganisierte Gruppen und Einheiten
- Gutes Abbild wie Industrie 4.0 aussieht
- ➔ Industrie 4.0 ohne Industrie
- ➔ cyberphysical individuals

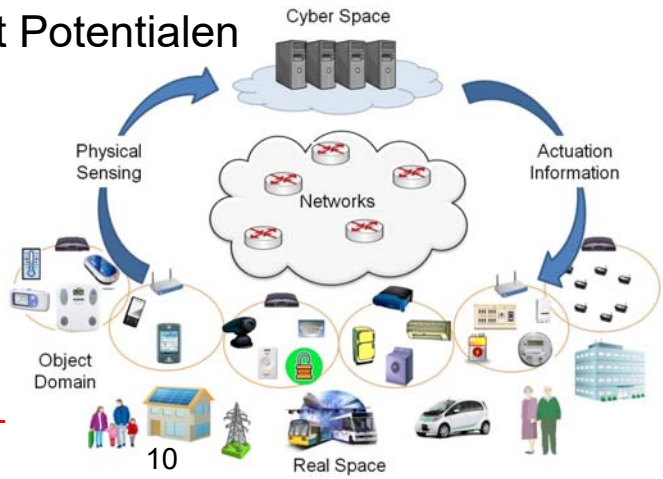
Cloud fürs tägliche Leben



Nach Microsoft

Der Hype vergeht – Industrie 4.0 bleibt

- Vorstellung inspire und IWF
- Versuch einer Definition
- Cyberphysical Systems (CPS, CPPS)
- Konzertierte Technologieentwicklung
- Beispiele / Möglichkeiten mit Potentialen
- Zusammenfassung



Cyberphysical Systems

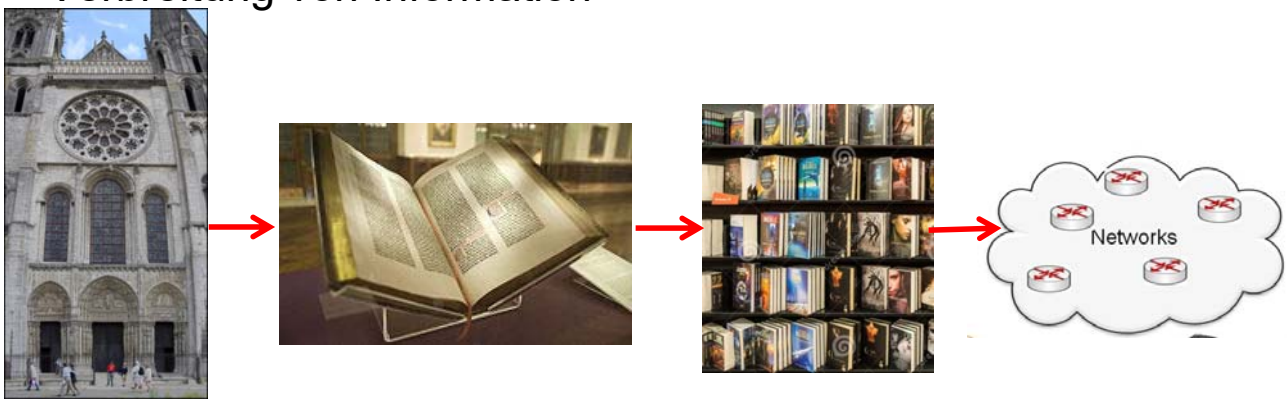
inspire

- Produkte, Mechatronische Systeme werden zunehmend autonom
- Umfassende Sammlung von Daten über ihr Umfeld und Reaktion darauf / Anpassung auf unterschiedlichste Weise ➔ Maschine lernt fühlen
- Werden diese Systeme drahtlos untereinander und mit den Daten und Diensten des Internets vernetzt, entsteht das Internet der Dinge.
- Komponenten an Maschinen und Produkten werden selber wieder zu CPS, die untereinander drahtlos vernetzt werden
- Der Trend hin zu IP-basierter drahtloser Vernetzung in eine mobile *Sensorcloud* ermöglicht inzwischen zunehmend eine Integration der technischen Prozesse mit den Geschäftsprozessen
- *Machine-to-Machine* (*M2M*) zur direkten Kommunikation oder über das Internet (CPPS)
  - eigenständiger Austausch von Informationen
  - Auslösung von Aktionen
  - wechselseitiges Steuern.
- Neue Form der Industrialisierung ➔ Basis für Industrie 4.0

Entwicklungsabteilung Welt

inspire

- Wir sind gewohnt, Wissen aus dem Internet abzuholen.
- Informationsverteilung: Entwicklungsziel: schnellere Verbreitung von Information

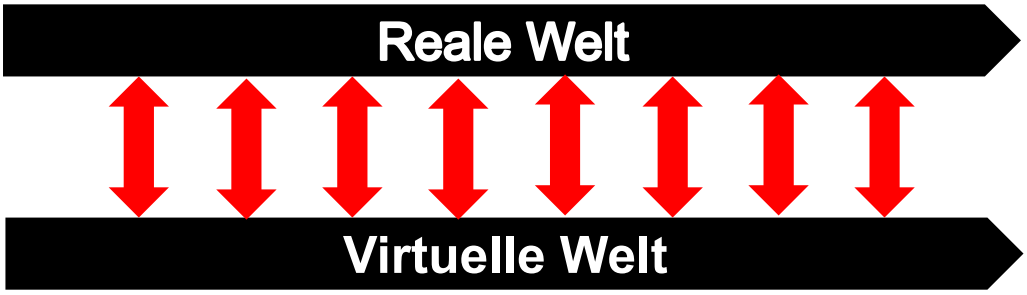


- Wir werden uns daran gewöhnen, dass Funktionalitäten über die Cloud eingespeist werden.
- Jeder ist in der Lage, für jeden eine App zu schreiben. Die Software-Entwicklung erfolgt durch Crowdsourcing.

Hintergründe von Industrie 4.0

inspire

- Bislang lediglich eine Koexistenz von realer und virtueller Welt ohne nennenswerten Bezug zueinander

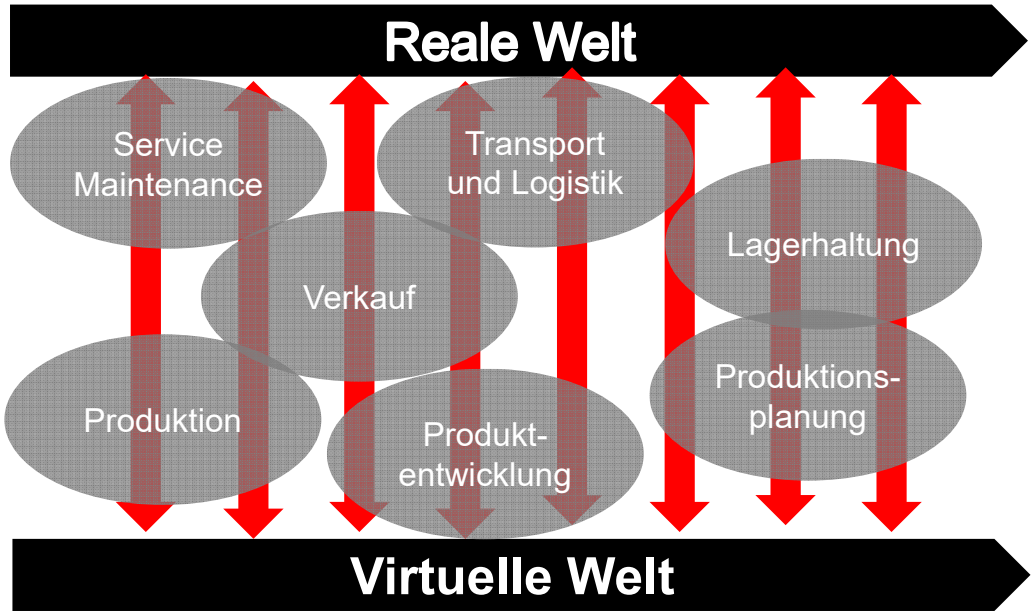


- Industrie 4.0 versucht eine gewinnbringende Verknüpfung dieser beiden Welten
- Sowohl Maschinen als auch Personen haben ein virtuelles Abbild

Überblick Industrie 4.0

inspire

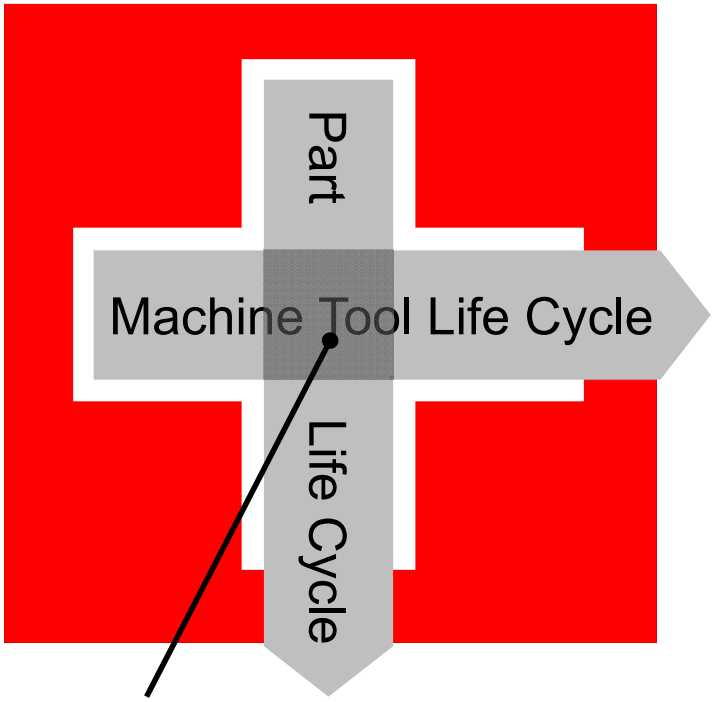
- Anwendungen überall dort, wo vernetzte Daten eine Rolle spielen und wo Visualisierung gefragt ist.
- Ausstattung des Menschen mit 7.+ Sinnen



Smart Factories: CPS und CPPS

inspire

- Produktionsmaschine (CPPS) und gefertigte Produkte (CPS) haben je ihren Lebenszyklus
- Ihre Wege kreuzen sich einmal, in der Produktion
- CPPS können untereinander und mit dem Produkt (CPS) Informationen austauschen
- Produkte steuern ihre eigene Komplettierung
- Dabei Datensammlung für den späteren Use Case
- Smart Factory: CPPS, die horizontal und vertikal und mit dem Produkt verknüpft sind

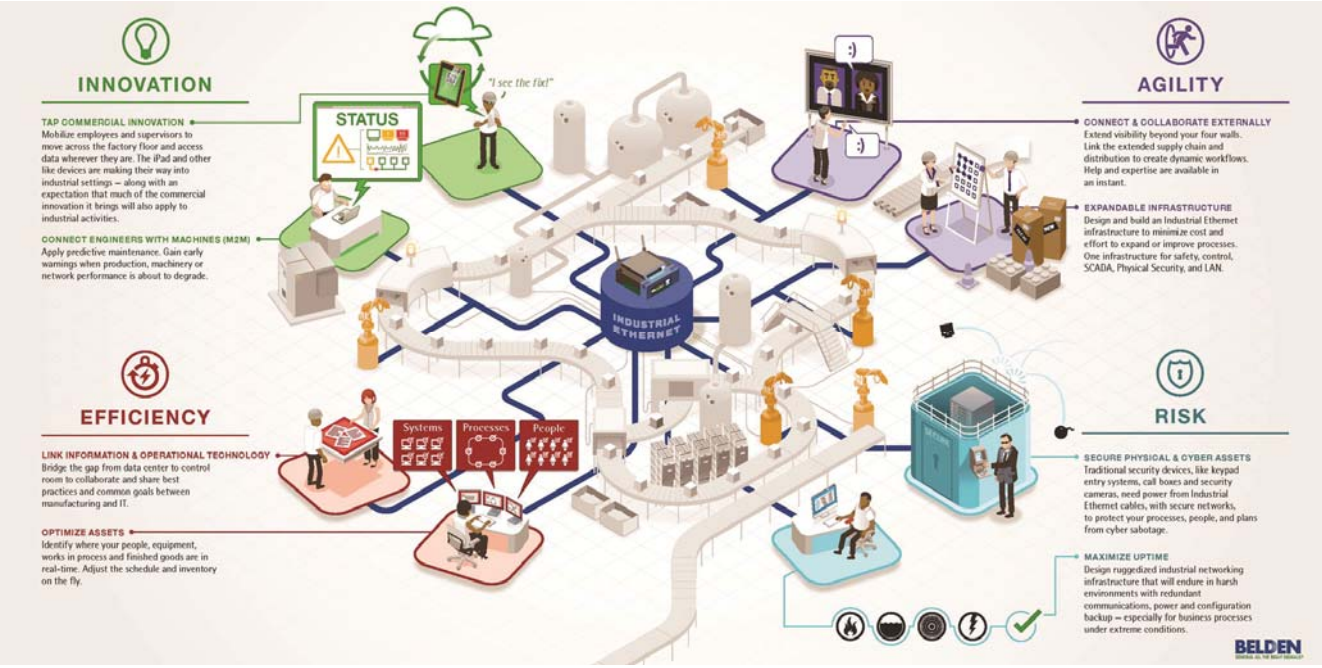


Produktion: Nutzen der CPPS, Herstellung des Produkts

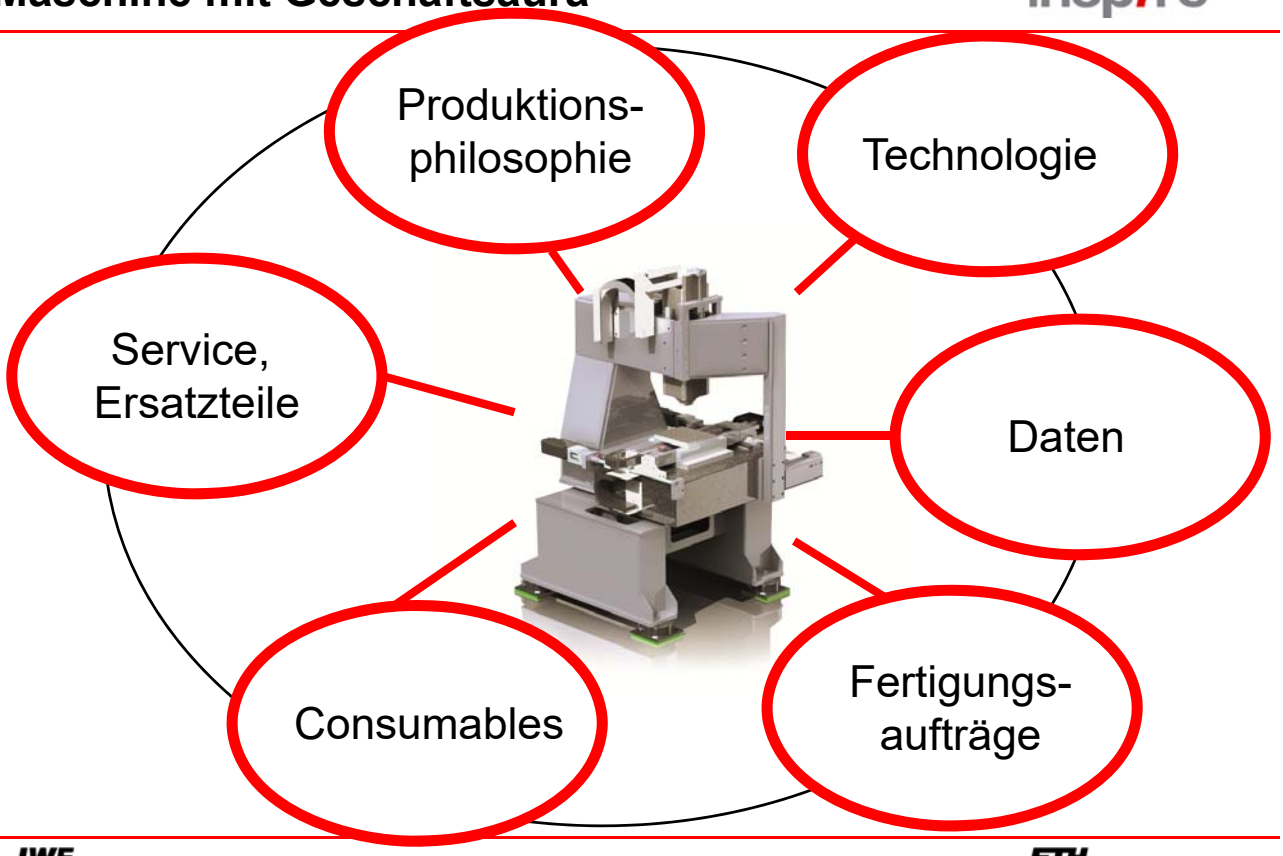
Die verknüpfte Fabrik

inspire

- Datenextraktion, Interpretation und Aktion

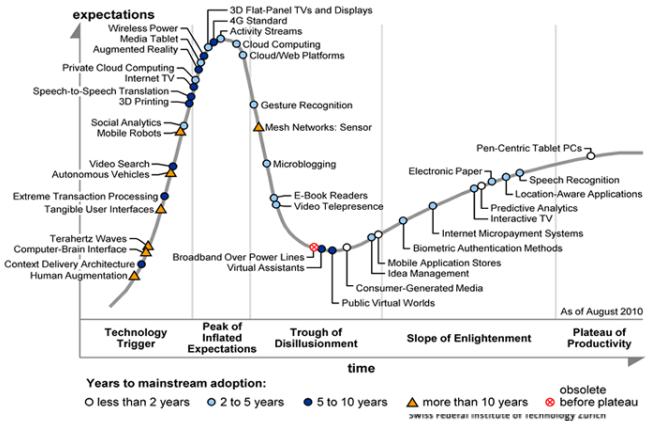


Maschine mit Geschäftsaura



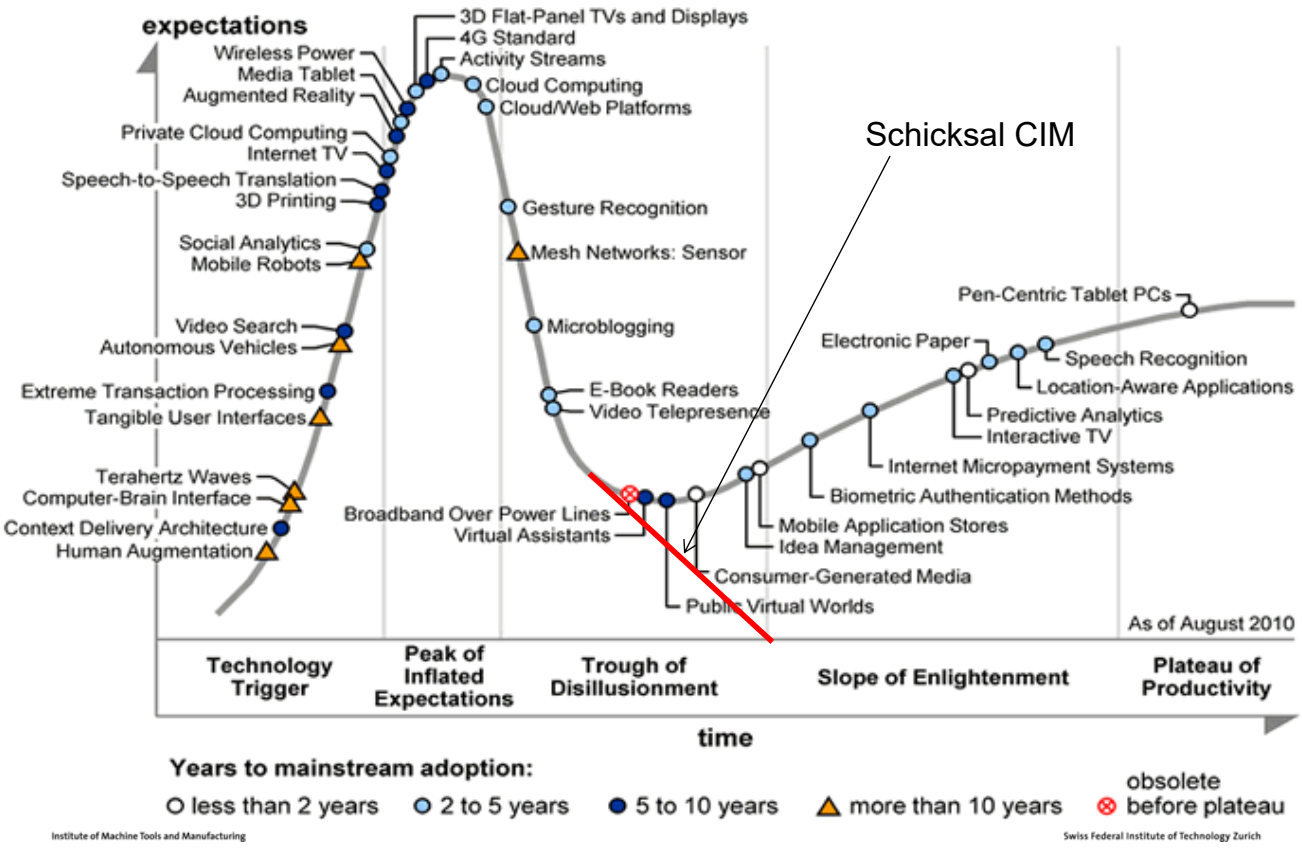
Der Hype vergeht – Industrie 4.0 bleibt

- Vorstellung inspire und IWF
- Versuch einer Definition
- Cyberphysical Systems (CPS, CPPS)
- Konzertierte Technologieentwicklung
- Beispiele / Möglichkeiten mit Potentialen
- Zusammenfassung



Gartner Hype Cycle

inspire



Institute of Machine Tools and Manufacturing

Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Voraussetzungen, zu entwickelnde Begleittechnologien

inspire

➔ Konsequente Umsetzung von Industrie 4.0 erfordert Technologieentwicklung auf der ganzen Linie.

➔ Ein konzertiertes Programm Industrie 4.0 mobilisiert auch nicht mit der Produktion befasste Technologieentwicklung.

- Sicherheit: Datensicherheit, Schutz gegen Produktpiraterie, Funktionssicherheit
- Standardisierung: De Facto Standards abseits der Standardisierungsorganisationen, Referenzarchitektur, Kommunikationsprotokolle
- Datenquellen schaffen – Nutzen neu definieren
- Big Data Handling: Ausbau Breitband-Infrastruktur, Echtzeitfähigkeit, Extraktionsalgorithmen
- Mensch-Maschine-Interaktion: Gestaltung von Interaktionsmetaphern, Beherrschung gesteigerter Komplexität, Mensch als Sensor, Entscheider und Steuerer, Gestaltungsspielraum schaffen, Hands-free operation
- Sichere Steuerung für kooperierende und kollaborierende Maschinen
- Zuverlässige drahtlose Kommunikation

Voraussetzungen, zu entwickelnde Begleittechnologien

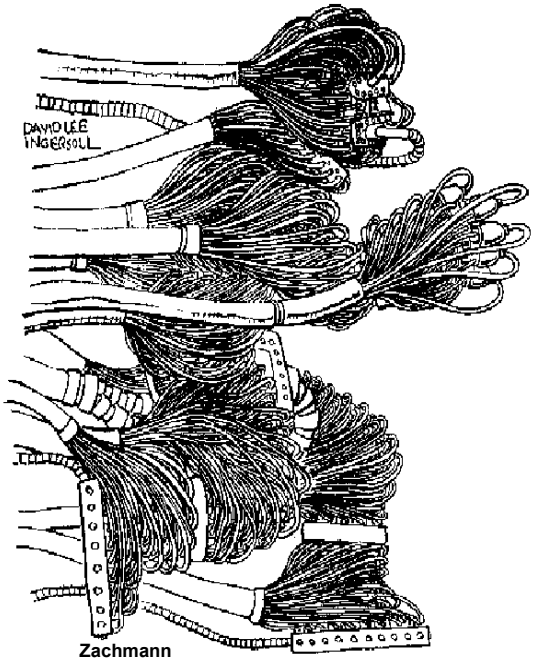
inspire

- Rechtliche Rahmenbedingungen: Haftungsfragen, Urheberrecht, IP-Recht, Kartellrecht
- Business-Modelle
- Virtual und Augmented reality
- Digitale Fabrik und Digitales Produkt
- Entwicklung von Tracking- und Identifikationssystemen
- Sensorik
- Interaktionsgeräte

HMI in Industrie 4.0

inspire

- Das Eintauchen des Menschen in ein Cybersystem wird häufig so empfunden:
- Aber Digitales Produkt, das nicht fährt, ist nichts wert
- Es braucht eine Interaction-Engine



Zachmann

Smart Phone als Bediengerät

inspire

- Schon längst wird die IT vom Consumer Markt getrieben: Grafikkarten, Game Engines, Headsets, Smart Phones
- Intuitive Bedienung
- Ausnutzen der ungeteilten Begeisterung der jungen Generation
- Minimale Kosten aufgrund gigantischer Stückzahlen

Consumer Electronics in Industry

inspire

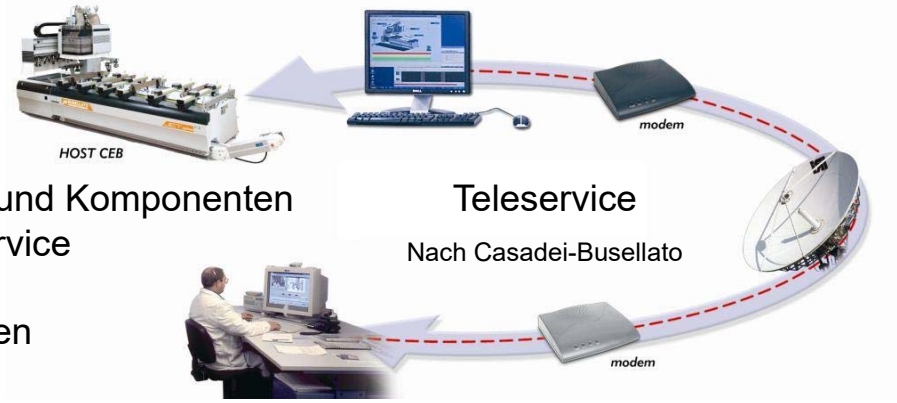
- Basis ist existierendes Technologieangebot
- Billigste Funktionalität für Sensorik und Auswertung
  - Permanente Internetkonnektivität
  - GPS
  - Kamera, digital und Video
  - Beschleunigungssensorik
  - Lagesensorik
  - Magnetfeldsensorik
  - NFC (Near Filed Communication)
  - Temperatursensorik
  - Bluetooth
  - wireless LAN
  - Sicherheitsfunktionalitäten
  - Auswertesoftware – QR-Code-Leser, Bildverarbeitung, …

- Verlinkung aller Sensordaten und Internetinformationen für spezielle Applikationen ➔ leistungsfähigstes Multifunktionsgerät

Zustandsmonitoring

inspire

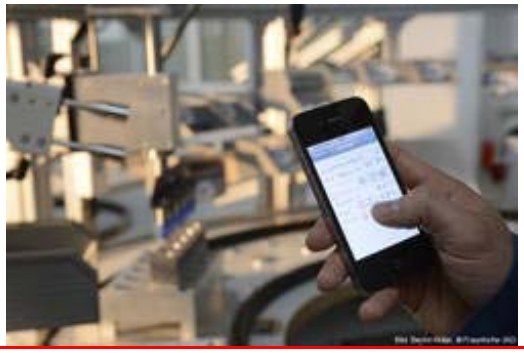
Information aktueller Zustand der Anlage



Teleservice

Nach Casadei-Busellato

- Aktueller Prozess
- Zustand der Anlage und Komponenten
- Informationen zu Service und Wartung
- Störung und Ursachen
- Effizienter Betrieb
- Z.B. Zugangsgeschützter Informationspunkt (NFC, GPS, QR-Code)



Beispiele für Industrie 4.0 AR-Unterstützung

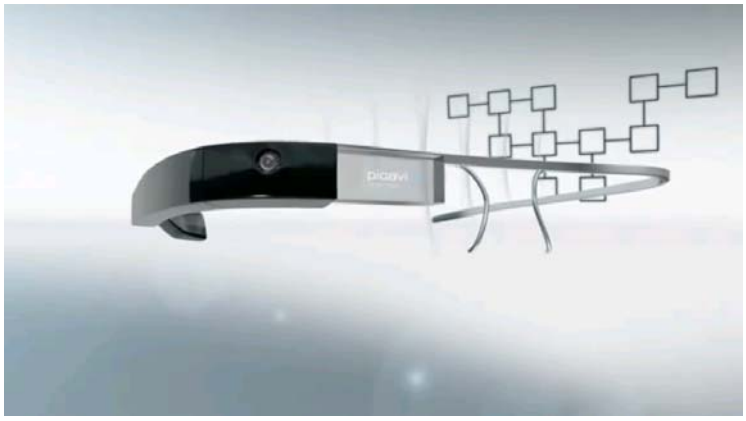
inspire

- Kabelbaummontage bei Boeing

AR unterstützt die Kabelbaumerstellung:
Keine Schablonen mehr nötig

HMD: Augmented reality

inspire



- Kein Papier
- Hände frei
- Realität
- Positionserfassung
- Ortsabhängige Information
- Zusatzinformationen

Anweisung

Code scannen

Komissionieren, Rückmeldung

Ist die Technologie bereit für I4.0 ?

inspire

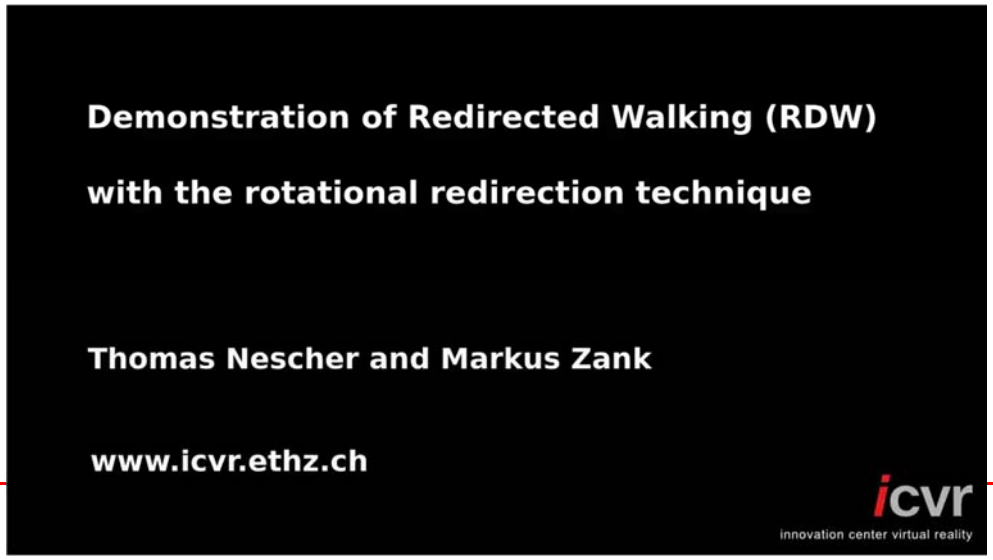
- Heutige Technologie besitzt bereits eine ausreichende Graphikleistung
- Sensorik (Bildanalyse und Bewegungssensoren) sind bereits in den Geräten integriert
- Derzeit ein rasanter Fortschritt in dieser Technologie (Google, Microsoft, nVidia und viele Venture Capital Firmen)

Forschungsprojekt Industrie 4.0

inspire

Begehen grosser virtueller Welten in real begrenzten Räumen

- Anwendung in unterschiedlichen Bereichen
  - Digitale Fabriken: Abgleich von Plan- und Verbauzustand
  - Digitale Fabriken: Virtuelle MTM
  - Kundenverhalten: Überprüfung des Kaufverhaltens
  - Lehre: Einsatz virtueller Welten in der Grundschulausbildung



Der Hype vergeht – Industrie 4.0 bleibt

inspire

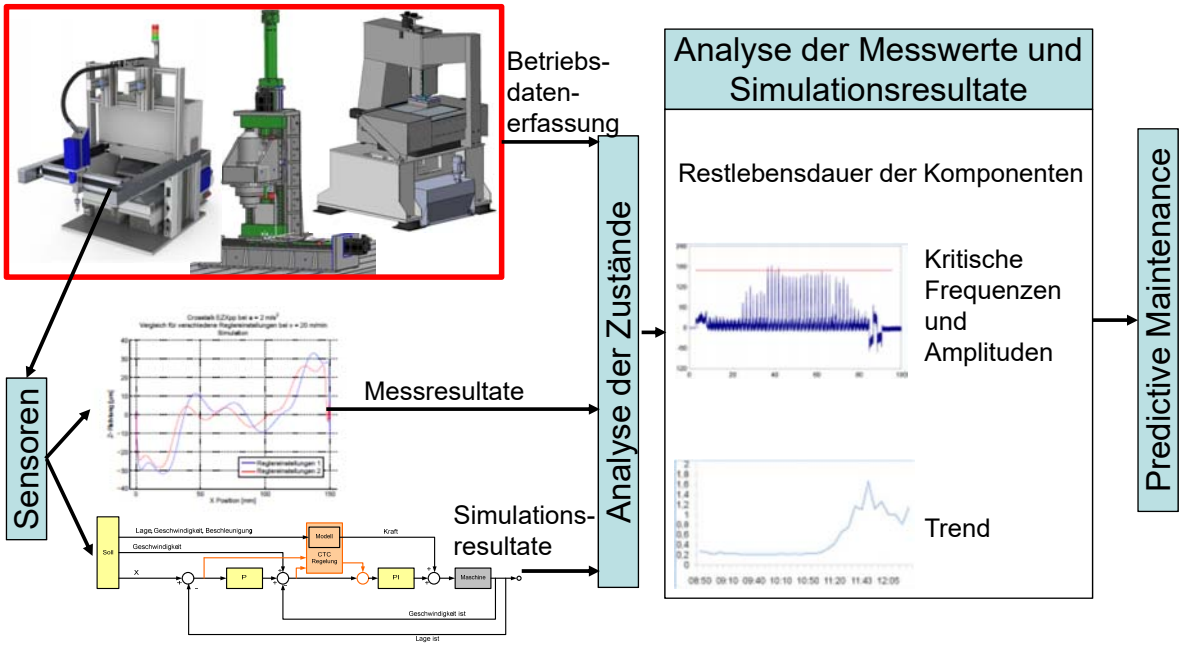
- Vorstellung inspire und IWF
- Versuch einer Definition
- Cyberphysical Systems (CPS, CPPS)
- Konzertierte Technologieentwicklung
- Beispiele / Möglichkeiten mit Potentialen
  - Zustandsmonitoring von Anlagen
  - Intelligente Produktionsmaschine
  - Intelligenz des Produkts in der Produktion
  - VR in Industrie 4.0
  - Kundenbindung, Cloud
  - Freizeit
- Zusammenfassung

Predictive Maintenance – Basis ist Zustandsmonitoring

inspire

Beispiel Werkzeugmaschine:

- Condition Monitoring (Zustandsüberwachung einer Maschine/Anlage)



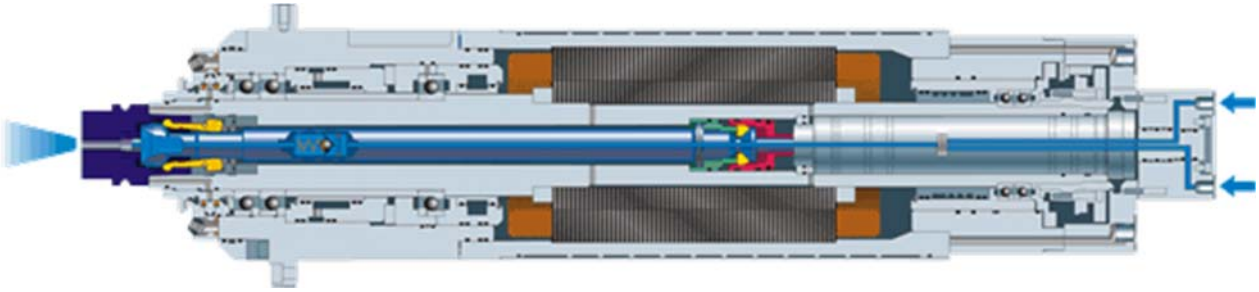
Feeling Machine

inspire

- Maschinen werden vermehrt mit Sensorik bestückt
- Verbesserte Nutzung von Daten, die die Steuerung sowieso kennt, heute aber nicht herausgibt. Z. B. feinfühligste Aussage über NC-Achsen: Anzahl Iterationen bis Zielerreichung, Daten vorhanden, leben aber nur einen Ipo-Takt lang ➔ schnelle Auswertung
- Vergleich mit allen ähnlich gelagerten Situationen auf der Welt
- Temperatursensoren als Basis für thermische Kompensation
- Beschleunigungssensoren als Basis für Ratterdetektion
- Schallsensoren für Geräuschemission
- ➔ Sensorfusion
- ➔ Datenmenge
- ➔ Sensoren müssen billiger werden
- ➔ Sensoren müssen zuverlässiger werden (Workaround)

Beispiel: Predictive Maintenance Werkzeugmaschinenspindel

inspire



- Garantie Lebensdauer und Vorhersage Lebenszeitende
- Messung von:
  - Motorstrom
  - Vibrationen
  - Verlagerungen
  - Temperatur
  - Kraft / Beschleunigung
- Sensorfusion:
  Spindelzustand, Werkzeugzustand, Rattern, Kollision

Beispiel: Predictive Maintenance – Vorausschauende Wartung/Instandhaltung

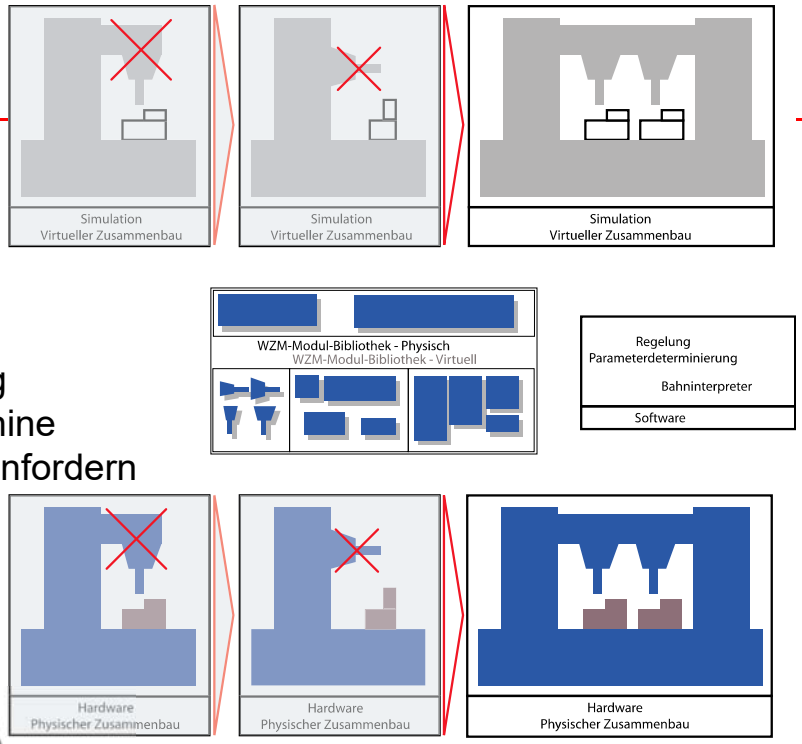
inspire

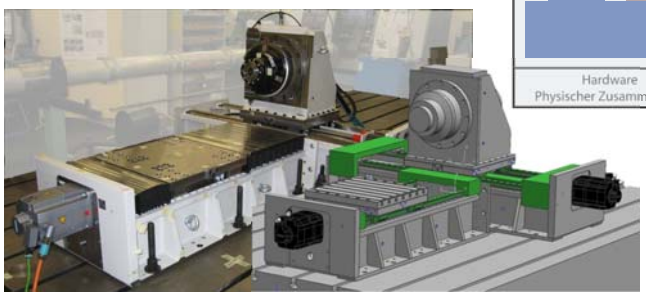
- Sensorik zur Zustandsüberwachung erzeugt gigantische Datenmengen in Echtzeit
- Analyse erforderlich, Data-pattern-Erkennung ➔ Big Data
- Interpretation ➔ Zustandserkenntnis
- Rückfluss an den Maschinenhersteller
  ➔ Gewinnung von Erfahrungen beim Maschinenhersteller
  ➔ Konsultation mit Kompetenz der Cloud
- Prognose-tool: Abschätzung der Restlebensdauer
- Auslösung Bestellung, Selbstreparatur

Rekonfigurierbare Maschine

- Konfigurationsdatei
- kinematisches Modell
- dynamisches Modell
- thermisches Modell

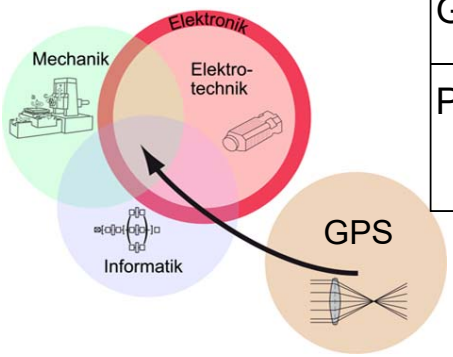
➔ Nach Produktanforderung Konfigurierung der Maschine
➔ Komponenten, Monteur anfordern über Internet
➔ Selbstinbetriebnahme

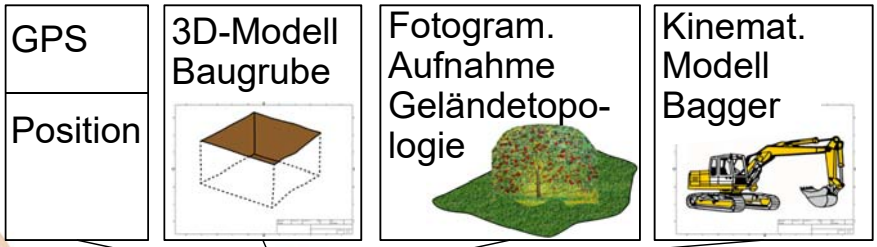


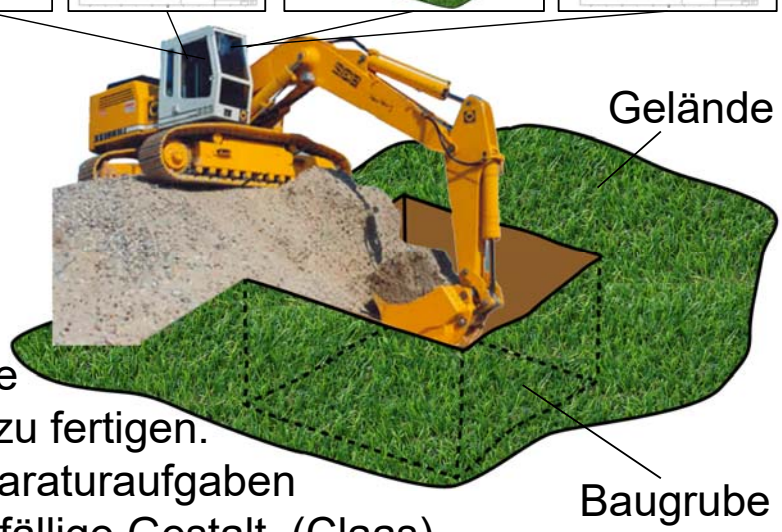


Adaptive Bearbeitung «veni vidi vici»

inspire





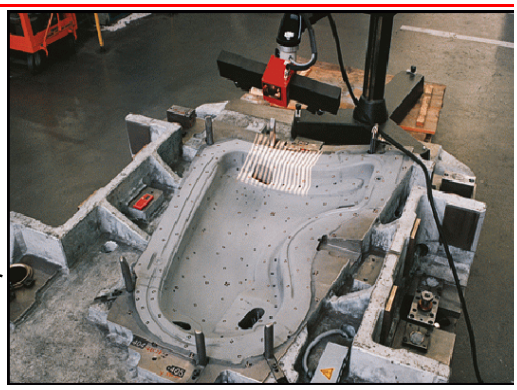


- Maschine stellt die erforderliche Lösungs-strategie selber fest.
- Individualisierte Produkte sind ohne Vorbereitung zu fertigen.
- Anwendung für alle Reparaturaufgaben dabei hat das Rohteil zufällige Gestalt (Claas)

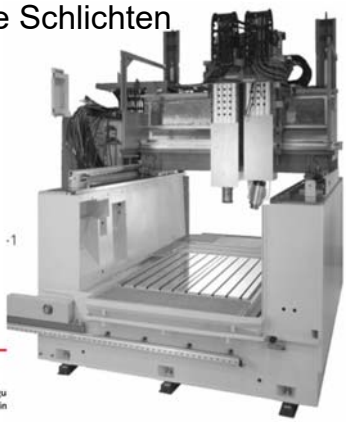
Adaptive Reparatur von Werkzeugen

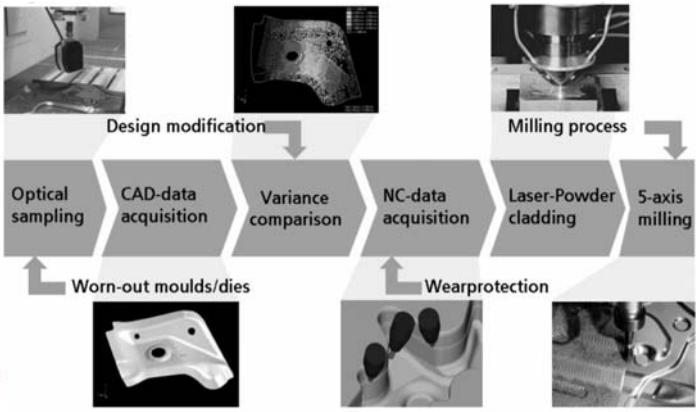
inspire

Komplettbearbeitung:
- ggf. Inspektion Anlieferungszustand
- Digitalisierung Istzustand
- Vergleich Sollzustand (CAD)
- Schweissstrategie Berücksichtigung Verzugsoptim.
- Bahnplanung
- Aufschweissen tiefer Einbrand erforderlich ➔ Laser
- Digitalisierung Istzustand
- Vergleich Sollzustand
- Frässtrategie Vorschlichten
  Ableitung aus vorh. NC–Programm
- Frässtrategie Schlichten
- Polieren



Quelle IPT
Opto Rep



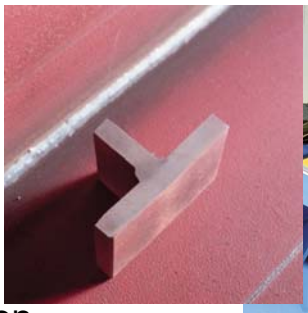


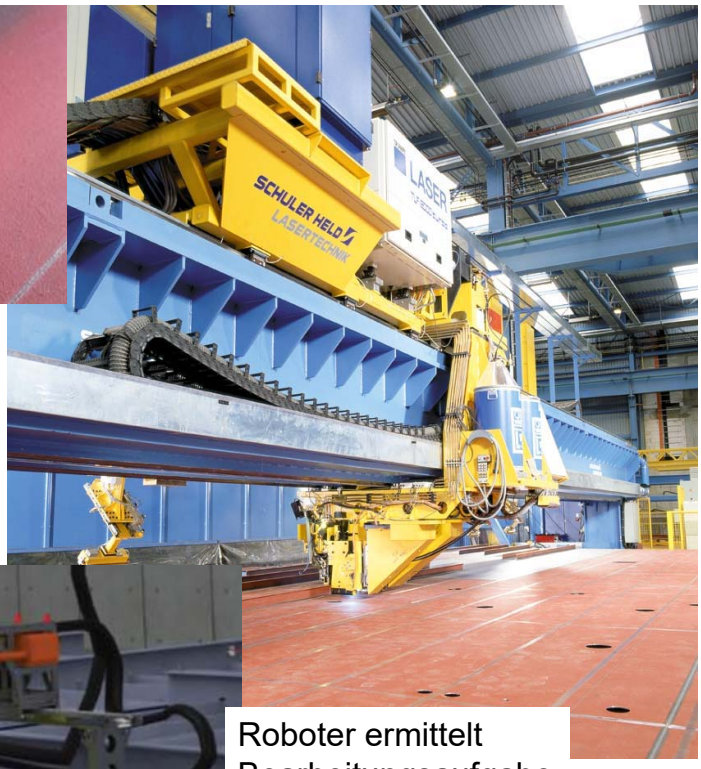
Adaptive Bearbeitung: Laserschweissen von Warmwalzprofilen

inspire

Profilschweissen:
- Neues Verfahren: Laserhybrid
- Mechatronisches Gesamtsystem:
- Postprozessor
- 2 CNC – Steuerungen
- 27 Achsen
- 4 Sensoren
- 2 Kameras mit Bild-verarbeitungssystem

➔ Maschine orientiert Profil nach Massgabe Linie auf Deck und Laserwerkzeug nach gemessener Nahtposition





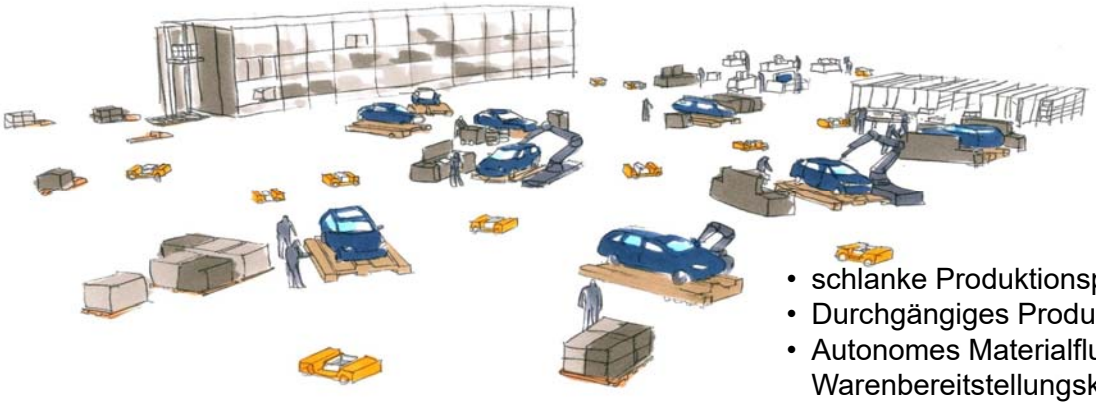
Roboter ermittelt Bearbeitungsaufgabe

Beispiel: Produkt steuert die Fertigung

inspire

Smart Face

SMART MICRO **FAC**TORY FÜR **E**LEKTROFAHRZEUGE



- schlanke Produktionsplanung
- Durchgängiges Produktionssystem
- Autonomes Materialfluss- und Warenbereitstellungskonzept
- Selbststeuernde Produktion
- Selbstoptimierte Produktionsstruktur
- ➔ AR-gestützter Service

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT
Fraunhofer IML
SICK Sensor Intelligence.
PSI FILIS Fuzzy Logik Systeme GmbH
Continental
technische universität dortmund
LANFER AUTOMATION
LinogistiX

Beispiel Waferfertigung Fa. Bosch

inspire

- Waferfertigung bei der Fa. Bosch
  - Der Wafer sieht nach jedem Prozessschritt nahezu unverändert aus.
  - Arbeiter weiss nur anhand des digitalen Produktes, welcher Schritt als nächstes ansteht.
  - Das digitale Produkt navigiert den Arbeiter nur nächsten notwendigen Maschine, welche Produktionskapazität frei hat
  - Fehlbedienung durch den Menschen ausgeschlossen, weil Produktträger über RFID die Maschine steuern.
  - Überspringen von Fertigungs-schritten ist nicht möglich, da auch Maschine den Abschluss des Fertigungsprozesses an das System rückmelden muss.

Waferfertigung

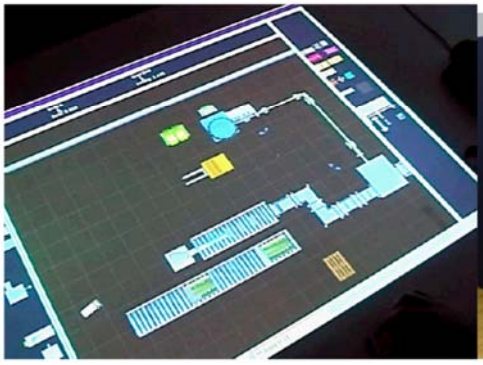
inspire

- Nur das Produkt kennt seinen Zustand, die Information liegt im Internet of Things

Basistechnologie Virtual Reality

inspire icvr

Nutzung des Digitalen Produkts für
- Planungsaufgaben
- Intranetbasierte Kollaboration
- Instandhaltungsaufgaben



Prozess- ,Technologiedatenbank – Update aus Cloud

inspire

- Basis: Technologierechner auf Werkzeugmaschine
- Self learning Elemente auf der Maschine
- Herstellercloud mit Abonnementsregelung
- Hersteller stellt neue Technologien und Algorithmen zur Verfügung
- Maschine lädt neue Technologien, neue Algorithmen

➔ Fernstudium für WZM

Beispiele: GF, Studer, Bystronic, Trumpf

Maschinensteuerung als Internet-Terminal

inspire

DMG Mori Seiki: CELOS-Oberfläche

- Bedienoberfläche aufgebaut wie Smartphone
- App-Menu verfügbar
- Maschine kann neue Apps aus AppStore laden
- Intelligente Werkzeugdatenbank
- Jedermann geläufige Oberfläche

Der Hype vergeht – Industrie 4.0 bleibt

inspire

- Vorstellung inspire und IWF
- Versuch einer Definition
- Cyberphysical Systems (CPS, CPPS)
- Konzertierte Technologieentwicklung
- Beispiele / Möglichkeiten mit Potentialen
- Zusammenfassung

Wesentliche Aussagen

inspire

- Industrie 4.0 verbindet Technik und Geschäftsmodelle
- Industrie 4.0 ist nicht neu – der Name ist neu
- Industrie 4.0 kostet Arbeitsplätze und schafft welche
  Nicht-Industrie 4.0 kostet den Industriestandort
- Work-Force der Zukunft ist cyberphysical
- Daher sind auch die Kunden der Zukunft cyberphysical und somit sind die Geschäftsmodelle internetbasiert
- Industrie 4.0 trifft in besonderem Masse die Logistik, weil Logistik vernetzt

Fazit

inspire

- «Industrie 4.0 ist, wenn man mal damit anfängt, etwas ganz Konkretes umzusetzen»
- Industrie 4.0 versucht den Menschen zu integrieren
- Industrie 4.0 muss sich bezahlt machen. Dabei ist ggf. eine sehr langfristige, visionäre Sichtweise nötig.
- Nichts zu tun, rächt sich in 10 Jahren, u.U. früher. Technologieentwicklung hat Voraussetzungen, die parallel geschaffen werden müssen.
- Industrie 4.0 wird in der Schweiz nicht weniger ernsthaft beforscht und umgesetzt als in Deutschland. Wertvoll wäre eine Sammlungsbewegung
- Technologiescouting: Systematische Analyse zur Nutzbarkeit neu entwickelter Technologien hier: Intra- und Internet
- Industrie 4.0 ist in Ansätzen Fakt; Visionen sind riesig
- Business-Modelle im Industrie-4.0-Umfeld: Beherrschung der Daten
- Industrie 4.0 lässt sich nicht aufhalten, ausser durch Werkplatz 2025 oder Smart Factory – aber das ist das Gleiche

Der Hype vergeht – Industrie 4.0 bleibt

inspire

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

www. inspire.ethz.ch