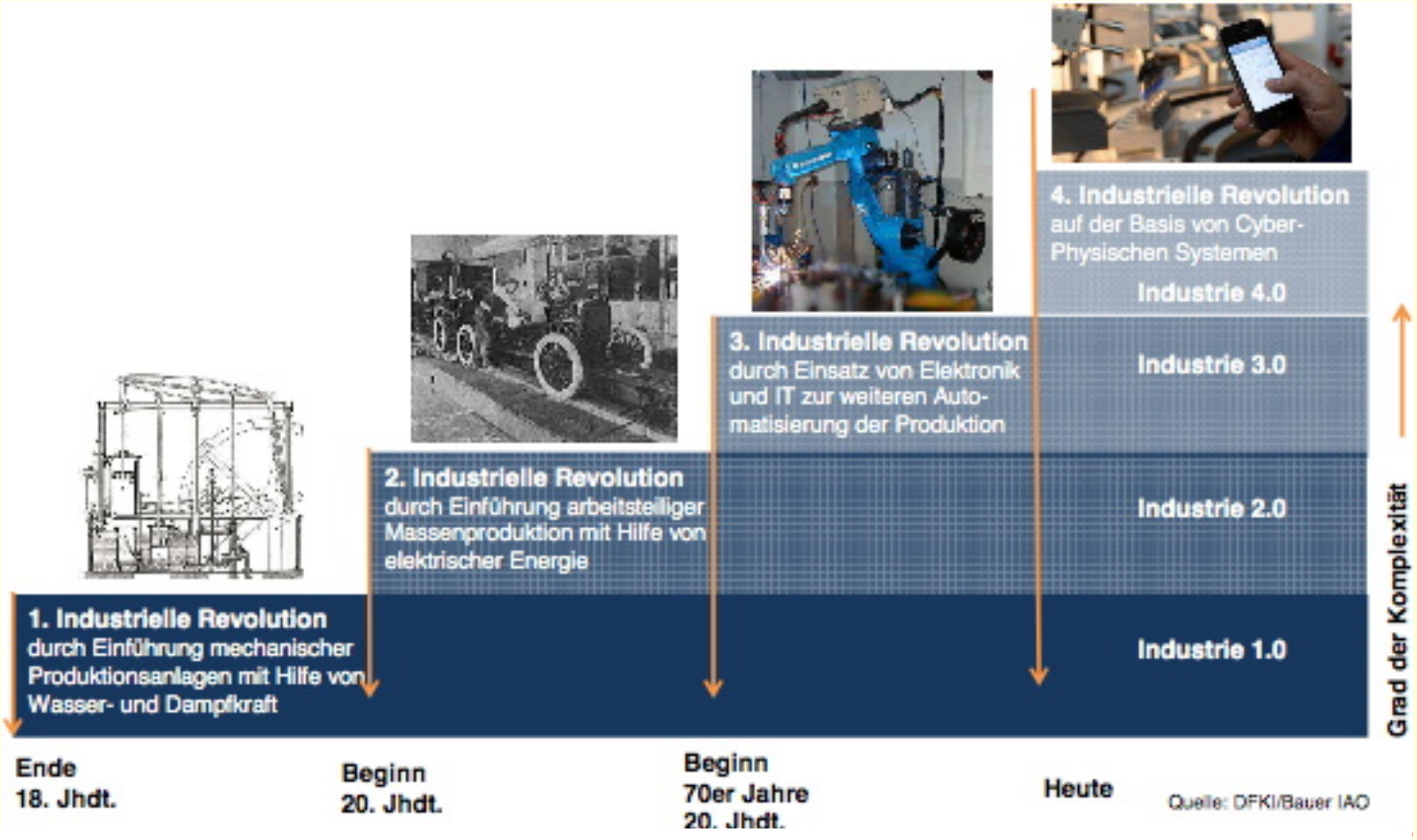
Industrie 4.0 und Big Data – Kritik einer technikzentrierten Perspektive

Peter Brödner

MEZ-Seminar
»Industrie 4.0 – Die neue Herausforderung«
Berlin, 18. Juni 2016

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Industrielle Revolution: **Dichtung & Wahrheit** (1)



Diese **technikzentrierte** Sicht ist grob irreführend.

Geschichtsvergessenheit und diffuse **Begriffe** führen zu modischen ›Zeitdiagnosen‹ mit inflationärem Gebrauch der Bezeichnung »Revolution«: Angeblich stehen wir am Beginn bereits der »vierten industriellen Revolution«. Das ist eklatanter Unsinn, denn diese Sicht **ignoriert** wesentliche Aspekte **sozialen, organisatorischen** und **institutionellen Strukturwandels** und verleitet zu Fehlschlüssen.

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

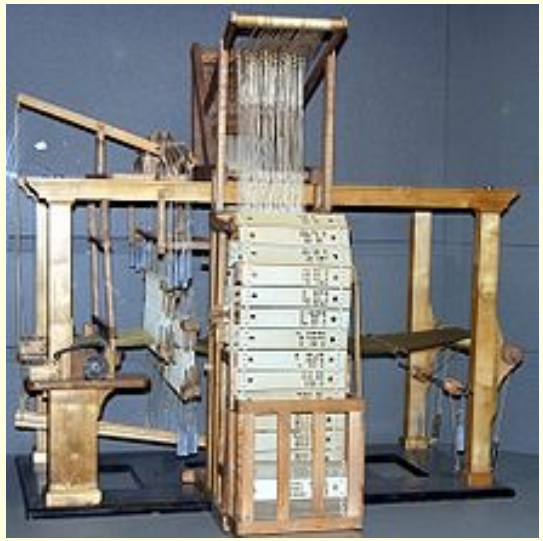
Industrielle Revolution: **Dichtung & Wahrheit** (2)

Tatsächlich beginnt die **historische** industrielle Revolution mit der betrieblichen, der sog. **horizontalen Arbeitsteilung** komplexer Arbeitsprozesse in einfache, **spezialisierte Verrichtungen** (Prinzipien von Smith und Babbage).

Stets wiederholte einfache Arbeitsgänge (Verrichtungen) ermöglichen erst die **Entwicklung** und den **Einsatz** von »**Arbeitsmaschinen**«:

- Textilmaschinen (z.B. 1785 Cartwright-Webstuhl, 1805 Jacquard-Webstuhl),
- Werkzeugmaschinen (z.B. 1775 Wilkinson Tiefbohr-, 1797 Maudsley Drehmaschine).

Zum maschinellen Antrieb durch »**Kraftmaschinen**« wird fossile Energie genutzt (erst Dampfmaschinen mit Transmission, später Einzelantrieb mit Elektromotoren).



Jacquard-Webstuhl



Drehmaschinen mit dampfgetriebener Transmission

Die spezialisierten Verrichtungen erfordern zunehmend aufwendigere sachliche und zeitliche **Koordination** der Einzelarbeiten durch »**Manager**«. Wachsender **Aufwand** für Koordination und Sicherung der Herrschaft über immer **komplexere** Prozesse der (Massen-)Produktion erfordern **Standardisierung** und **wissensbasierte** Planung, Anweisung und Kontrolle (Taylors Prinzipien des »**Scientific Management**«).

Diese **vertikale Arbeitsteilung** der Trennung von Planung und Ausführung führt zur »Verdoppelung« der Produktion in **Zeichen** (Zeichnungen, Stücklisten, Arbeitspläne etc.).

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Industrielle Revolution: **Dichtung & Wahrheit** (3)

Das führt insgesamt zu fortschreitender **Verwissenschaftlichung von Produktion**:
Mit der Analyse, Planung und Kontrolle von Produktionsprozessen wird laufend genaueres und erweitertes **explizites Wissen** über sie gewonnen und mit anderen wissenschaftlichen Erkenntnissen kombiniert. Wie ein Baum wächst Wissen durch Verzweigung und wird durch **Zeichen** repräsentiert. Seine Anwendung zur Lösung neuer praktischer Probleme erfordert **Wissensteilung** und **Kooperation** unter spezialisierten **Wissensarbeitern**.

Das alles ist verflochten mit der Schaffung notwendiger **gewährleistender Bedingungen**:

- **Selbstertüchtigung** der unmittelbaren Produzenten als wirkmächtigen Akteuren,
- Aufbau leistungsfähiger **Bildungseinrichtungen** und **sozialer Sicherungssysteme**,
- Aufbau von **Infrastrukturen** und **Urbanisierung** gesellschaftlichen Lebens.

Insgesamt hat sich im Verlauf die **Arbeitsproduktivität** seit 1850 **verzwanzigfacht**.

Die **Standardisierung** und **Formalisierung** (Modellierung) von Zeichenprozessen der **Wissensarbeit** ermöglicht die **algorithmische** Verarbeitung zugehöriger Daten in Computern. So umfasst die **industrielle Revolution** – als fundamentaler gesellschaftlicher Entwicklungsprozess – die Erschließung von Natureffekten und Maschinisierung lebendiger Arbeit auf **zwei Ebenen**:

- **Mechanisierung** von Handarbeit und die zweckmäßige **Nutzung** von **Naturkräften** in Prozessen der **Stoff- und Energieumwandlung**,
- **Maschinisierung** von **Kopfarbeit** (Wissensarbeit) durch **algorithmische Verarbeitung** digitaler Signale (Daten) von **Zeichenprozessen** sozialer Praxis.

Letzterer Vorgang, der materiell seit 75 (Zuse), ideell seit 180 Jahren (Babbage) läuft, wird wegen seiner Reichweite als »**algorithmische Revolution**« bezeichnet.

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Herrschaftssicherung versus Kapitalverwertung

Die **Gestaltung** konkreter Produktionsprozesse bewegt sich im **Spannungsfeld** von Herrschaftssicherung und Kapitalverwertung. Im Zuge von **Akkumulation** und **Verwissenschaftlichung von Produktion** verlagert sich der Wettbewerb von Kosten zu Innovationen. Damit wachsen **Ungewissheit** und Anforderungen an das **Arbeitsvermögen** in Gestalt von Können und Wissen:

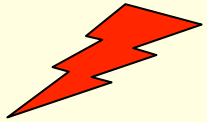
Herrschaftssicherung

Arbeitspolitik

Koordination durch Planung, Weisung und Kontrolle (Taylor)

↓

Ungewissheit und mangelnde Planbarkeit erfordern indirekte (Kontext-)Steuerung



Kapitalverwertung

Arbeitsstruktur & Produkivität

Arbeitsteilung & Maschinisierung spezialisierter Verrichtungen erfordern geringe Qualifikation

↓

Computerisierte teilautonome Gruppenarbeit erfordert hoch entwickeltes Arbeitsvermögen

Verwissenschaftlichung und **Innovation**

Durch **Automatisierung** versucht das Management, vom **Eigensinn** lebendigen **Arbeitsvermögens unabhängig** zu werden.

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Vision Industrie 4.0: »**Smart Factory**«

Laut Bundesregierung erfordert die Sicherung der **Wettbewerbsfähigkeit** die informationstechnische Aufrüstung der Produktion im Rahmen ihrer »**High-Tech-Strategie**«.

Mit Industrie 4.0 soll die Vision der »**Smart Factory**« realisiert werden:

Mittels weltweit vernetzter »**Cyber-Physical Systems** (CPS)« als einem Zusammenspiel von »intelligenten« Maschinen, Werkstücken, Lagersystemen und Betriebsmitteln, die in »dezentraler Selbstorganisation« selbsttätig Daten austauschen und gegenseitig Aktionen auslösen.

Verhießen wird, industrielle Geschäfts- und Engineering-Prozesse **anpassungsfähig** und **dynamisch** zu gestalten. Sie sollen …

- individuelle Kundenwünsche berücksichtigen und Einzelleistungen rentabel erbringen können,
- sich kurzfristig verändern und flexibel auf Störungen und Ausfälle reagieren können,
- durchgängig transparent sein und optimale Entscheidungen ermöglichen,
- neue Formen von Wertschöpfung und neuartige Geschäftsmodelle ermöglichen.

(Quellen: Forschungsunion & acatech (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0;
BMBF (2015): Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen)

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

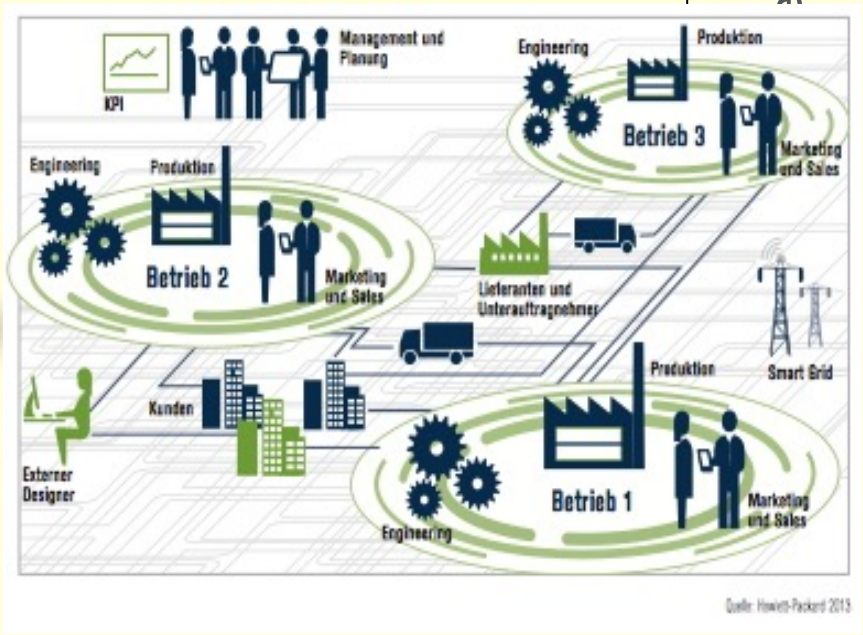
Vision Industrie 4.0: »**Cyber-Physical Systems**«

Als wissenschaftlich-technische **Grundlagen** der Realisierung gelten:

- **Eingebettete Systeme**: digital gesteuerte Prozesse, die als »Cyber-Physical Systems« hochgradig horizontal und vertikal vernetzt sind (»Internet der Dinge & Dienste«).
- **Multiagentensysteme** (MAS, auch: »Distributed Artificial Intelligence«): »autonome« Software-Agenten interagieren miteinander, um durch koordinierte Aktionen begrenzt komplexe Aufgaben kooperativ zu erledigen (Kennzeichen: zielorientiertes Verhalten, maschinelles Lernen, laufend anfallende große Datenmengen).
- **Big Data**: schnelle Analyse großer (un-)strukturierter Datenbestände für Aktionen, Planungen und Prognosen.

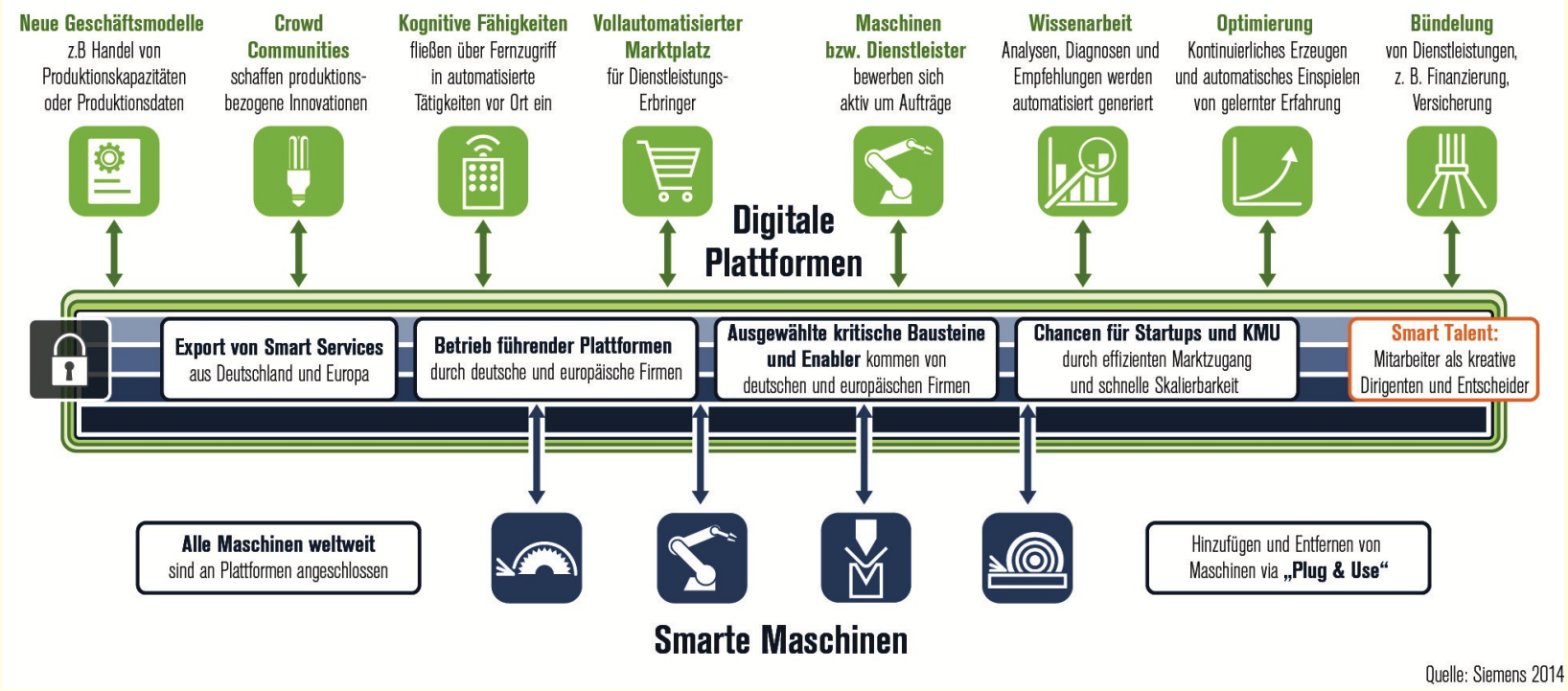
»Cyber-physical systems are physical, biological, and engineered systems whose operations are integrated, monitored or controlled by a computational core. Components are networked at every scale. Computing is deeply embedded into every physical component, possibly even into materials. The computational core is an embedded system, usually demands real-time response, and is most often distributed.«

(Quelle: Helen Gill, NSF 2006)



Vision Industrie 4.0: »**Smart Services**«

Smart Services sollen auf der Basis umfangreichen Feldwissens und aktueller Betriebsdaten absehbare Störungen von Produktionsprozessen präventiv (statt nur reaktiv oder proaktiv) vermeiden, deren Leistung steigern oder neuartige Dienste ermöglichen.



Quelle: Siemens 2014

Beispiel 1: **Gasturbinen-Überwachung** (GE, Siemens)

Kontinuierliche netzbasierte Betriebsdatenerfassung ermöglicht mittels Ferndiagnose und optimierten Eingriffen, Stillstandszeiten erheblich zu reduzieren.

Beispiel 2: Dienstleistungs-**Plattformen**

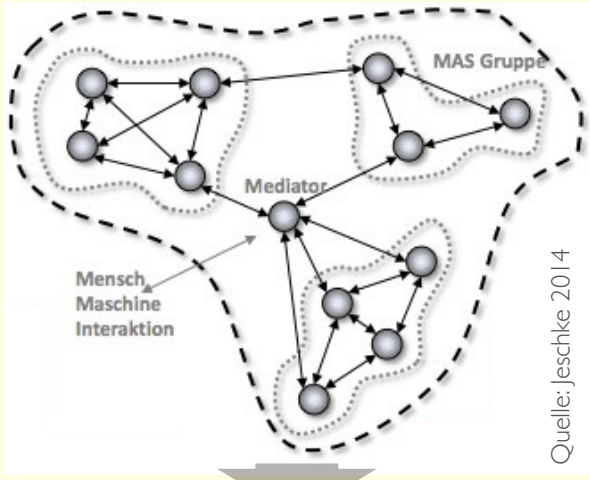
integrieren und verdichten heterogene Daten aus Wertschöpfungsprozessen und verfügen über unterschiedliche Dienstanbieter; daraus können sie kunden- und situationsspezifische Dienste generieren.

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Vision gründet auf **brüchigem Fundament**

Probleme von **Multiagentensystemen**:

(1) Agenten führen per Algorithmus berechenbare Funktionen aus. Zielorientiertes, kooperatives Verhalten kann ihnen nur **durch Programme** – mittels Nutzenfunktionen, Lernverfahren, Verhaltensrepertoires und geteilten »Ontologien« – **vorgeschrieben** werden. Gestützt auf **längst widerlegte Hypothesen** des **Funktionalismus** (Putnam 1960, Fodor 1968) wird die maschinelle Welt der Daten unzulässig mit der sozialen Welt von Bedeutungen, Intentionalität und Reflexion gleichgesetzt. Selbsttätiges maschinelles Verhalten unterscheidet sich aber grundsätzlich von autonomem, zu begrfflicher Reflexion fähigem Handeln in sozialer Praxis (**Selbsttäuschung der KI**).

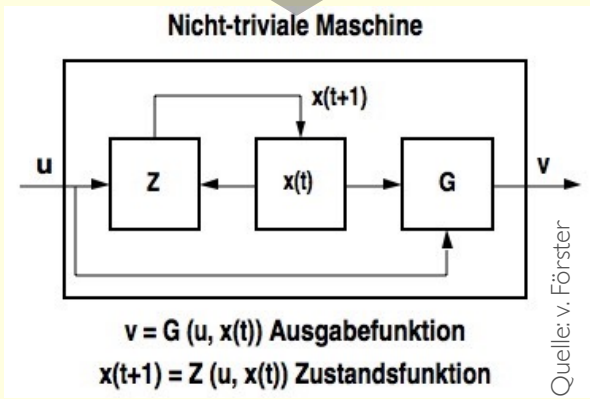


Quelle: Jeschke 2014

(2) MAS sind formal **nicht-triviale Maschinen** – ihr Verhalten ist deterministisch, aber hoch komplex und geschichtsabhängig, daher analytisch nicht bestimmbar und nicht vorhersehbar.

Dürfen Systeme mit derart undurchschaubarem Verhalten von der Leine gelassen werden? Wer ist für Schäden verantwortlich und haftbar? Entwickler? Betreiber? oder gar Nutzer?

HCI-Erkenntnis: Damit ist instrumentelles Handeln unmöglich wegen Verstoßes gegen Forderung nach erwartungskonformem Verhalten.

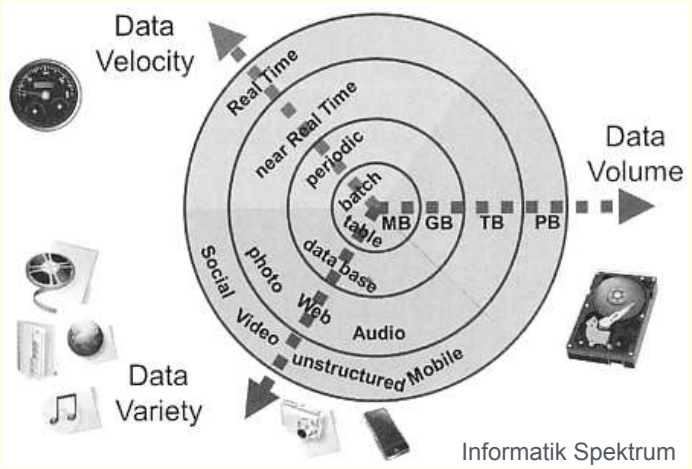


Quelle: v. Förster

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

(Un-)lösbare Probleme mit **Big Data**

»**The end of theory**« (Anderson 2008):
Demzufolge könnten große Datenmengen theoriegeleitete Forschung ablösen, allein auf Korrelationen beruhende Vorhersagen seien Hypothesen-basierten Prognosen überlegen (Korrelation statt Kausalität). Das ist der alt bekannte Trugschluss »cum hoc ergo propter hoc«.



Kontextfreie Daten werden ständig gleichgesetzt mit **bedeutungsvoller Information**, gewonnen durch **Interpretation** im Kontext sozialer Praxis. Objektbezogene **Datenkombination** erlaubt (bei Kenntnis der Algorithmen) zwar eine begrenzte Kontext-Rekonstruktion, suggeriert aber trotz unvollständigen Kontexts vermeintliche Objektivität oder Faktizität (wie bei Indizienbeweisen). Oft beschreibt Daten-Interpretation eine durch sie erst geschaffene Realität oder bildet gar soziale Normen.

Mangelnde Datenqualität: Daten sind meist nicht repräsentativ, fehlerhaft, obsolet oder inkonsistent (»Datenmüll«).

Mangelnde Datensicherheit: Risiken durch Datenverlust, Spionage oder Sabotage (»Cyber-Attacken«).

Datenschutz und Privatsphäre: Wie kann dem Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung genüge getan werden?

–> Benthams »Panoptikum«



Jörg **Brödner**

Déjà-vu oder **verpasste Lernchancen**

Heute wie **damals** bei der CIM-Euphorie der 1980er Jahre …

… beherrscht die **technikzentrierte Sicht** die Produktion unter Ausblendung wesentlicher Aspekte der Gestaltung und des produktiven Zusammenwirkens von Mensch und Technik: Heute »intelligente« CPS bzw. MAS, damals wissensbasiertes CIM und »Expertensysteme«.

… werden ähnliche **Anforderungen** an Produktionsprozesse gestellt:
numerische und funktionale **Flexibilität** trotz ultimativer Automatisierung, Steigerung der **Produktivität**, »Just-in-time« und »On-demand«, »Losgröße 1«.

… sollen Probleme der **Organisation** von Produktion **technisch** bewältigt werden.

… gibt es visionären Überschwang beim Versuch, vom **Eigensinn** und **Arbeitsvermögen** der lebendigen Arbeit **unabhängig** zu werden – dabei werden Computerleistungen weit überschätzt bei wenig greifbarer Substanz.

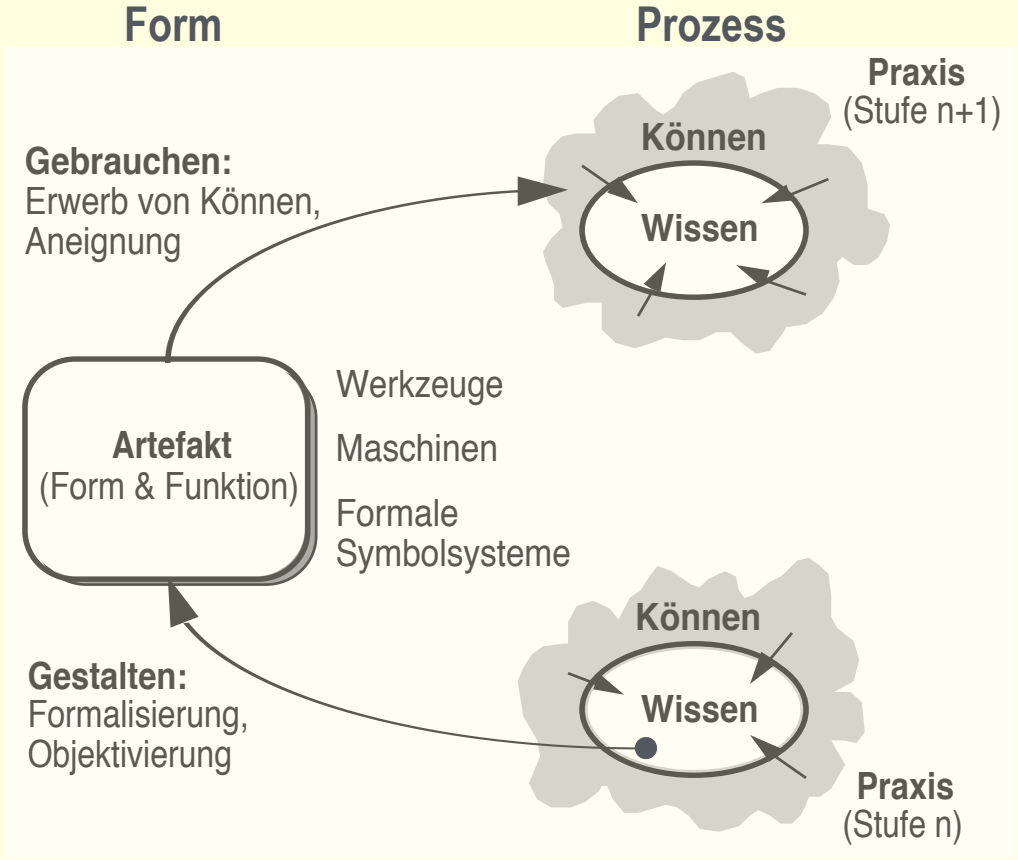
… gibt es die Angst, dass Automatisierung mehr **Arbeitsplätze** vernichtet als neue schafft.

Digitalisierung – ein Begriff, der mehr vernebelt als erhellt. Ähnlich wie »Globalisierung« wird er als eine Art unabwendbarer ›**Naturgewalt**‹ betrachtet, der generell alle möglichen, auch unerwünschten Folgen als Ursache zugeschrieben werden. Sie sind aber überwiegend nicht Ergebnis sich angeblich autonom entwickelnder Technik, sondern politisch gemachter Regulierung (Produktionsverhältnisse).

Für **Qualifikation** und **Beschäftigung** weit wichtiger als **informationstechnische Funktionen** sind Regeln und **institutionelle Bedingungen**, die das tatsächliche Geschehen wesentlich bestimmen.

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Technikentwicklung: Dialektik von Form und Prozess



Gestaltung und **Aneignung** technischer Artefakte beruhen auf Anpassung von **Form, Funktion** und praktischem **Handlungskontext** im Spannungsfeld des **technisch Machbaren** (Formbarkeit von Natur & Praxis) und des **sozial Wünschenswerten** (Interessenabhängigkeit).

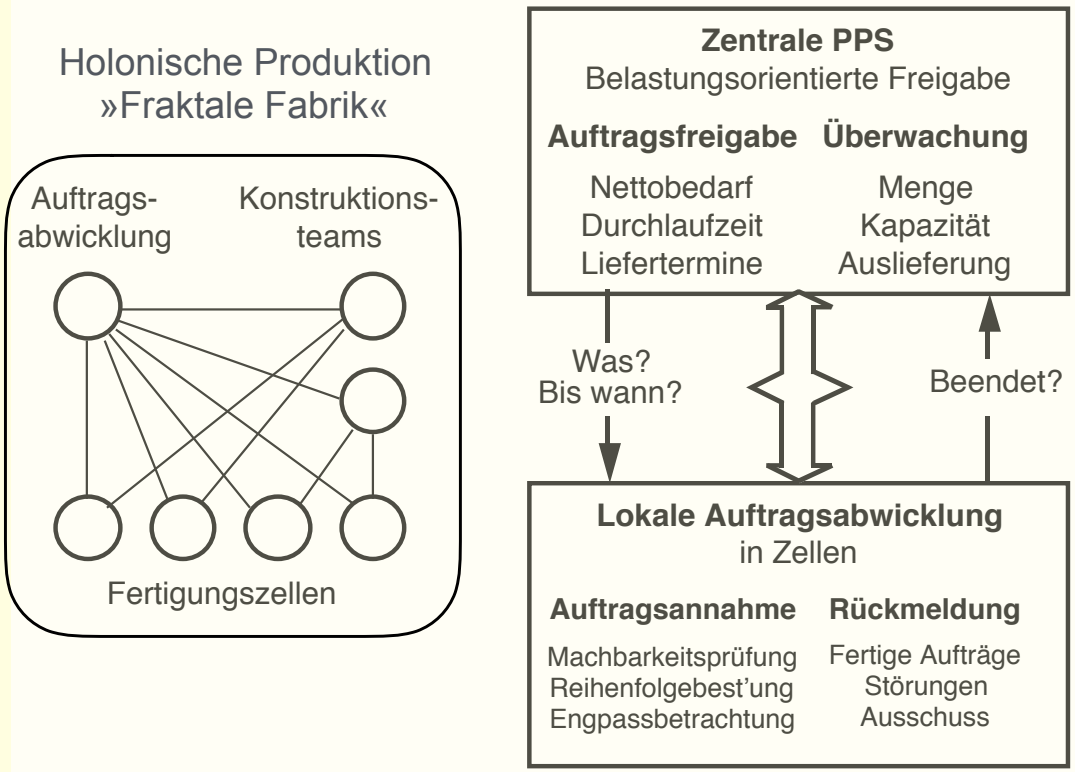
Durch Gestaltung und Aneignung von Artefakten wird in soziale Praxis **interveniert**.
Daher: *»Wer Technik nur technisch versteht, hat von Technik nichts begriffen.«*

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Reorganisation zu »**holonischer**« **Produktion**

Verwissenschaftlichung und unsichere Marktdynamik verlangen »agile« Produktionsabläufe durch **Reorganisation** arbeitsteiliger **Werkstattfertigung** (lange Durchlaufzeiten, hohe Bestände) zur **Zellenfertigung** (Vorteile: parallele Prozesse, kurze Durchlaufzeiten, einfache Ablaufsteuerung, hohe Produktivität) und Bildung **integrierter Konstruktionsteams** (kurze Entwicklungszeit), zu sog. »**holonische Produktionsstrukturen**« (Koestler1967, Mathews 1996).

Basis **kooperativer Wissensteilung**, u.a. um lokale Expertise für Programmierung, Wartung, Rüstzeitreduktion, Prozessoptimierung, Näherung an »6000 h« etc. zu nutzen.



Vorsicht geboten:

Mangelnde Planbarkeit von Wissensarbeit erfordert **indirekte Steuerung** (statt Anweisung und Kontrolle) als Ursache möglicher dauerhafter **psychischer Belastungen** (bei unzureichenden Ressourcen).

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Strategien der **Unternehmensentwicklung**

Produktivität = Ertrag / Aufwand

Durch **Gestaltung** der **Arbeit** werden sowohl der Zähler (Ertrag) als auch der Nenner (Aufwand) beeinflusst.

»Low-Road«-Strategie (Verkleinerung des Nenners)**:**

Kostensenkung und numerische Flexibilisierung durch Personalausdünnung (»Downsizing«), Auslagerung (»Outsourcing«) oder Restrukturierung von Prozessen (»Reengineering«), mit der Folge, trotz kurzfristig höherer Rendite längerfristig die Entwicklung künftig benötigter Ressourcen und Operationsbedingungen zu untergraben.

»High-Road«-Strategie (Vergrößerung des Zählers):

Ausweitung von Geschäftsfeldern und Erschließen erweiterter Nachfrage durch neue Produkte und Leistungen auf der Grundlage systematischer Entwicklung von Kompetenzen (Arbeitsvermögen) in integrierten, kooperativen und selbst-gesteuerten (Gruppen-)Arbeitsprozessen hoher Effizienz, mit der Folge dauerhafter Wettbewerbsvorteile (»Einzigartigkeit«).

Entspricht der Perspektive der »**Resource-**» bzw. »**Knowledge-Based View of the Firm**« der strategischen Managementlehre.

(Quellen: Brödner & Latniak 2004, Brödner 2006)

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Auf die **Entwicklungsperspektive** kommt es an

Die **Gestaltung soziotechnischer Systeme** muss sich an Eigenheiten menschlichen Handelns und der Entfaltung von Arbeitsvermögen orientieren, um gute Arbeit, Produktivität & Innovation zu ermöglichen.

Technikzentrierte Perspektive:

AI (**A**rtificial **I**ntelligence)

»Smart machines«, »autonome Agenten« gemäß der sog. »intentional stance« (Minsky 1988, Shoham 1993, Wooldridge 2002).

MAS ersetzen Menschen in der Produktion, Flexibilität angestrebt, aber nur begrenzte Anpassungsfähigkeit. Arbeitsvermögen wird nachgeahmt und weitgehend ersetzt.

Für verbleibende Restarbeit gilt: Behinderung instrumentellen Handelns, »ironies of automation« (Bainbridge 1983), Verlust praktischer Handlungskompetenz, hilflose weil entwöhnte »Bediener«.

Praxistheoretische Perspektive:

IA (**I**ntelligence **A**mplification)

»Things (machines) that make us smart« (Norman 1993; vgl., Engelbart 1962, Ehn 1988, Winograd 1996).

IT unterstützt lebendige Arbeit, ermöglicht Entfaltung von Arbeitsvermögen mit gesteigerter Produktivkraft und Innovationsfähigkeit durch:

Menschengerechte, reflexive Gestaltung von Arbeitsaufgaben, Organisationsformen und technischen Arbeitsmitteln als »Wekzeugen«, gemeinsam ausgerichtet auf stetige Entfaltung praktischer Handlungskompetenz.

Trotz wiederholter AI-Versuche: Erfolgreiche Computernutzung beruht hauptsächlich auf der IA-Perspektive (PC & Internet, Produktion mit WOP, ERP, EDM etc.).

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**

Fazit: Das Alte und das Neue im Neuen

Den Posaunenklängen zur »**vierten**« industriellen **Revolution** zum Trotz:

- Primär werden IT-Systeme unter **neuen Namen** als Lösungen für uralte Probleme weiterentwickelt (**Revolution der Worte:** digitale Steuerung (CPS), MAS zur flexiblen Automatisierung, Losgröße 1, just-in-time & on-demand; vgl. Déjà-vu);
- Die Realisierung neuer technischer Ansätze stößt wegen **mangelnder Tragfähigkeit** und **inhärenten Widersprüchen** schnell an Grenzen (CPS bzw. MAS, Big Data);
- **Neu** sind allerdings exponentiell **gesteigerte Leistungen** der Hardware (Taktfrequenz, Speicherkapazität, Bandbreite, Sensorik), die bislang Unmögliches ermöglichen.
- Folgen für **Qualifikation** und **Beschäftigung** hängen von der soziotechnischen **Gestaltungsperspektive** und gegebenen **institutionellen Bedingungen** ab; statt sich der Technikfaszination zu ergeben, müssen letztere im Fokus stehen.

Weiterhin gilt:
An herausfordernden Aufgaben gewachsenes **Arbeitsvermögen** vereint mit **gebrauchstauglich gestalteten Arbeitsmitteln** erweist sich gegenüber hoch entwickelten Computersystemen als stets von neuem überlegen:

»Several groups of strong grandmasters working with several computers at the same time entered the competition. (…) The teams of human plus machine dominated even the strongest computers. The chess machine Hydra, which is a chess-specific supercomputer like Deep Blue, was no match for a strong human player using a relatively weak laptop. Human strategic guidance combined with the tactical acuity of a computer was overwhelming.«

(Quelle: Kasparov 2010)

Prof. Dr.-Ing. Peter **Brödner**