

INDUSTRIE 4.0 UND BIG DATA

KRITISCHE REFLEXION FORSCHUNGSPOLITISCHER VISIONEN

Peter Brödner

Tagung Gute Forschung für gute Arbeit
31. Oktober 2014, Universität Siegen

Der rote Faden

Einführung: Blick auf den Kontext

Neue große Visionen künftiger Produktion ...

... wurzeln in verdorrter Erde

Déjà-vu ... oder: verpasste Lernchancen

Die Entwicklungsperspektive ist entscheidend

Bewertungen und Folgerungen

Schluss mit Goethe

Einführung: Produktion im Wandel

Vor genau 40 Jahren hat Hans Matthöfer das Programm Humanisierung des Arbeitslebens etabliert.

Kerngedanke: „Produktivitätssteigerung durch Verbesserung der Arbeitsbedingungen“ als Teil des politischen Konzepts „Modernisierung der Volkswirtschaft“.

Ähnliches, aber radikaler noch, geschah in Skandinavien.

Hintergrund:

Das fordistische Produktionsregime gerät in die Krise („Stagflation“).

Die Dynamik von „Käufer“-Märkten erfordert **Innovation, Flexibilität** und Wandlungsfähigkeit der Produktion („economies of scope“).

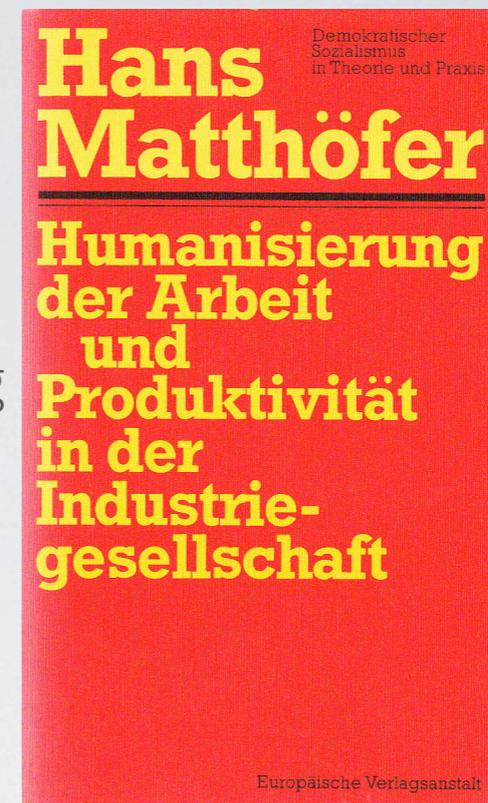
Wachsende Dienstleistungen („Tertiarisierung“) und rasch zunehmende **Verwissenschaftlichung** aller Bereiche gesellschaftlicher (Re-)Produktion:

„The Production and Distribution of Knowledge in the United States“ (Machlup 1962),

„The Coming of Post-Industrial Society“ („Die nach-industrielle Gesellschaft“, Bell 1973/75),

„Politische Ökonomie des 20. Jahrhunderts“ (Richta-Report 1971),

Zunehmende Bedeutung von Wissensarbeit („Symbol analysts“ (Reich 1991); „Knowledge work“ (Drucker 1993, 1994)).



Einführung: Kampf zweier Linien

In den 1980er Jahren:

Probleme: Lange Durchlaufzeiten, hohe Bestände, schwache Produktivität

CIM & wissensbasierte Systeme

Prozessorientierte Organisation

„Intelligente“ Computer für flexible Automatisierung

Integrierte Programme nutzen geteilte Daten

Expertensysteme ersetzen menschliche Arbeit

versus

Menschenzentrierte Produktionssysteme

Aufgabenintegration: Gruppenfertigung

Computer als unterstützende Arbeitsmittel

Programmmodule nutzen geteilte Daten

Nutzung und Entwicklung menschlichen Könnens

In den 1990er & 2000er Jahren:

Kampf um Produktivität, Innovation und Just-in-Time, Konfusion der Produktionskonzepte und Trennung des Spreus vom Weizen (Brödner 2006)

„Low Road“ der Produktion

„Business Process Reengineering“

Kostensenkung, Auslagerung, Personalabbau

Prozessorientierte Organisation

Computer als Automatisierungsmittel

Gespaltene Belegschaft, unterentw. Arbeitsvermögen

Führung über flache Hierarchien

$P = \text{Ertrag/Aufwand}$

„High Road“ der Produktion

„High-Performance Work Systems“

Steigerung des Ertrags durch Innovation

Objektorientierte Reorganisation: Zellenfertigung

Computer als unterstützende Arbeitsmittel

Wissensteilung, Entwicklung des Arbeitsvermögens

Führung durch Beteiligung, „lernende Organisation“

High-Performance Work Systems erweisen sich als **wirtschaftlich überlegen**.

„**Resource-based view of the firm**“ (Barney 1991, Penrose 1959/95, Grant 1996):

Dauerhafte Wettbewerbsvorteile entstehen durch Entwicklung interner Ressourcen, v.a. des **Arbeitsvermögens** (Können & Erfahrung, Fähigkeit zu Reflexion & Kooperation, Kreativität).

Neue große Visionen künftiger Produktion ... (1/2)

Industrie 4.0 realisiert die „**Smart Factory**“: Produktion mittels weltweit vernetzter „**Cyber-Physical Systems (CPS)**“ aus „intelligenten“ Maschinen, Werkstücken, Lagersystemen und Betriebsmitteln, die selbsttätig Daten austauschen und gegenseitig Aktionen auslösen („dezentrale Selbstorganisation“).

Verheißung: Geschäfts- und Engineering-Prozesse werden **anpassungsfähig** und **dynamisch** gestaltet:

- Sie sollen individuelle Kundenwünsche berücksichtigen und Einzelstücke rentabel herstellen.
- Sie sollen kurzfristig verändert werden und flexibel auf Störungen und Ausfälle reagieren.
- Sie sollen durchgängig transparent sein und optimale Entscheidungen ermöglichen.
- Sie sollen neue Formen von Wertschöpfung und neuartige Geschäftsmodelle ermöglichen.

Zudem gilt Industrie 4.0 als Allheilmittel zur **Bewältigung aktueller Herausforderungen:**

- „Ressourcenproduktivität und -effizienz lassen sich in Industrie 4.0 fortlaufend und über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk hinweg verbessern.“
- „Arbeit kann demografie-sensibel und sozial gestaltet werden. Mitarbeiter können sich dank intelligenter Assistenzsysteme auf die kreativen, wertschöpfenden Tätigkeiten konzentrieren und werden von Routineaufgaben entlastet.“
- „Angesichts drohenden Fachkräftemangels kann auf diese Weise die Produktivität älterer Arbeitnehmer in einem längeren Arbeitsleben erhalten werden.“
- „Die flexible Arbeitsorganisation ermöglicht es den Mitarbeitern, Beruf und Privatleben sowie Weiterbildung besser miteinander zu kombinieren.“

(Quelle: Forschungsunion & acatech (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0)

Neue große Visionen künftiger Produktion ... (2/2)

Wissenschaftlich-technische Grundlagen der Realisierung von Industrie 4.0 sind:

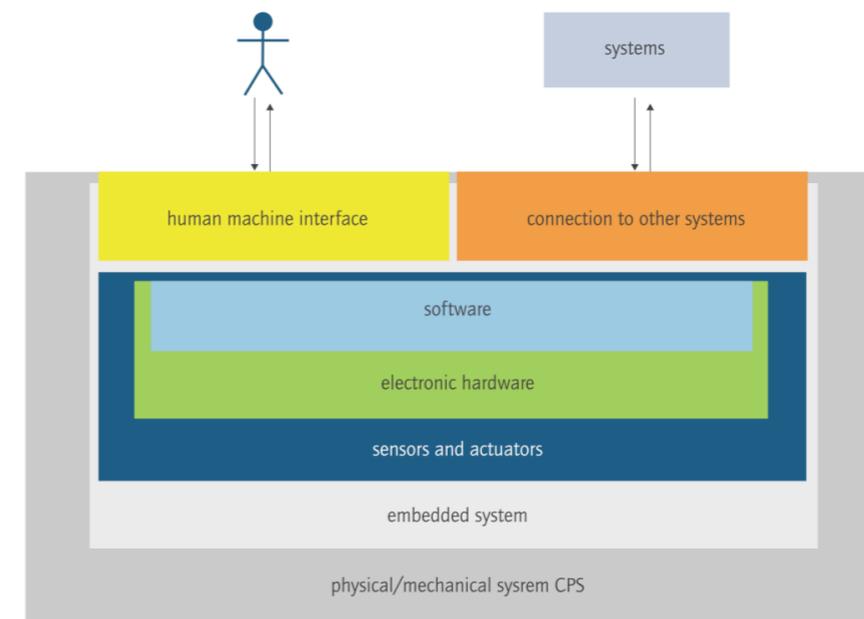
Multiagentensysteme (MAS, auch: „Distributed Artificial Intelligence“) – „autonome“ Software-Agenten interagieren miteinander, um durch koordinierte Aktionen gestellte Aufgaben gemeinsam zu erledigen (Kennzeichen: zielorientiertes Verhalten, maschinelles Lernen, laufend anfallende große Datenmengen).

Big Data – schnelle Analyse großer (un-)strukturierter Datenbestände für Aktionen, Planungen und Prognosen.

Eingebettete Systeme – digital gesteuerte Prozesse, die hochgradig horizontal und vertikal vernetzt werden („Internet der Dinge & Dienste“ bzw. „Cyber-Physical Systems“).

“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.”

(Helen Gill, NSF 2006)



Quelle: Brooy 2010

Häufiger Verweis auf spektakuläre, aber eng spezialisierte Computerleistungen:



Google self-driving car



IBM Watson

... wurzeln in **verdorrter Erde** (1/2)

„KI“-Konzepte beruhen auf längst **widerlegten philosophischen Grundlagen** und unbrauchbaren Theorien:

Behaviorismus (Skinner 1953, Pawlow 1927) – untersucht Verhalten durch von außen beobachtbare Reize und Reaktionen und blendet Bewusstsein und mentale Zustände aus.

Funktionalismus (Putnam 1960, 1991, Fodor 1968) – mentale Zustände werden als funktionale Zustände ungeachtet ihrer materiellen Realisierung betrachtet (Vorbild: Turing-Maschine); gleiche funktionale Strukturen können aber unterschiedliche Weltbezüge (Gedanken und Erlebnisse) hervorbringen.

Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT, Latour 1996) – technische Systeme (z.B. Agenten) und soziale Akteure gelten als gleichermaßen vernetzte Aktanten, denen Intentionalität und Handlungsfähigkeit zugeschrieben wird.

Probleme mit MAS: Agenten führen per Algorithmus berechenbare Funktionen aus. Zielorientiertes, kooperatives Verhalten kann ihnen nur durch Programme – mittels Nutzenfunktionen, Lernverfahren, Verhaltensrepertoires und geteilten „Ontologien“ – vorgeschrieben werden. Die maschinelle Welt der Daten wird unzulässig mit der sozialen Welt von Bedeutungen, Intentionalität & Reflexion gleichgesetzt. Aber: automatisches Verhalten \neq autonomes Handeln; MAS als „homunculi informatici“ (Brödner 1997).

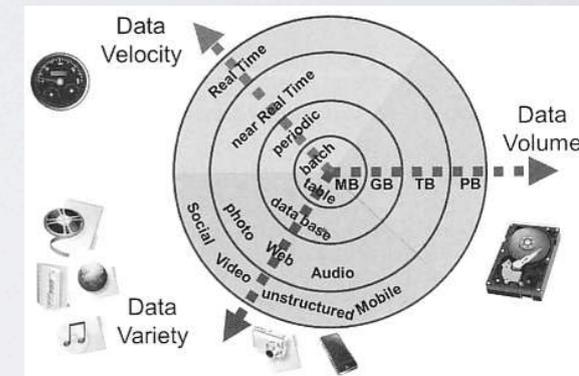
Unlösbare **Probleme mit Big Data** (Kennzeichen: Volume, Velocity, Variety):

1. „**The end of theory**“ (Anderson 2008) – große Datenmengen könnten theoriegeleitete Forschung ablösen, allein auf Korrelationen beruhende Vorhersagen seien Hypothesenbasierten Prognosen überlegen (Korrelation statt Kausalität). Das ist der alt bekannte **Trugschluss** „cum hoc propter hoc“.

2. **Kontext-** und **sinnfreie Daten** werden ständig mit **bedeutungsvoller Information** aus kontextabhängiger Interpretation verwechselt, suggerieren aber vermeintliche Objektivität oder Faktizität (wie Indizienbeweise).

3. **Mangelnde Datenqualität** – Daten sind oft nicht repräsentativ, fehlerhaft, obsolet oder inkonsistent.

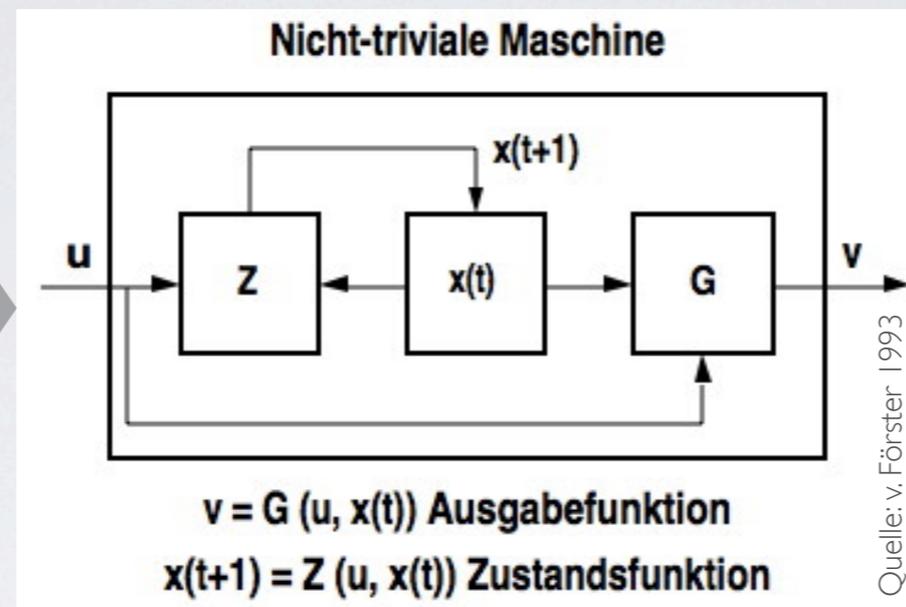
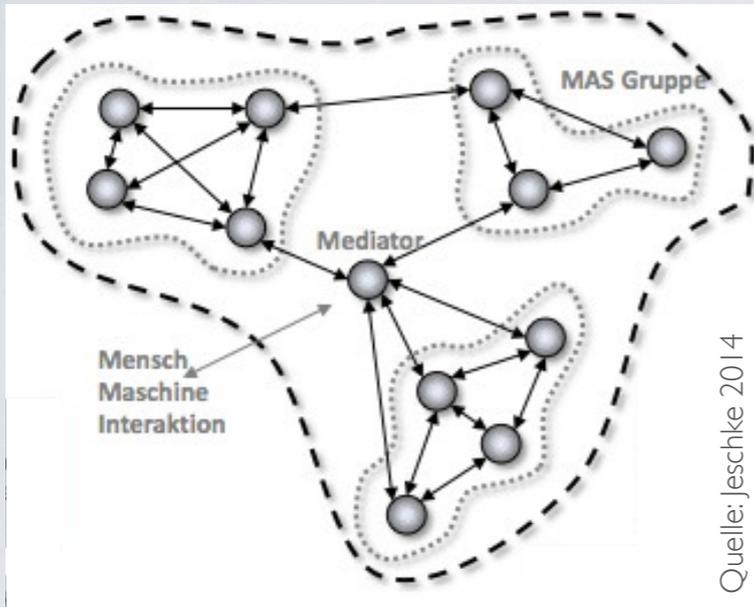
4. **Mangelnde Datensicherheit** – Risiken durch Datenverlust, Spionage, Sabotage („Cyber-Angriffe“).



... wurzeln in verdorrter Erde (2/2)

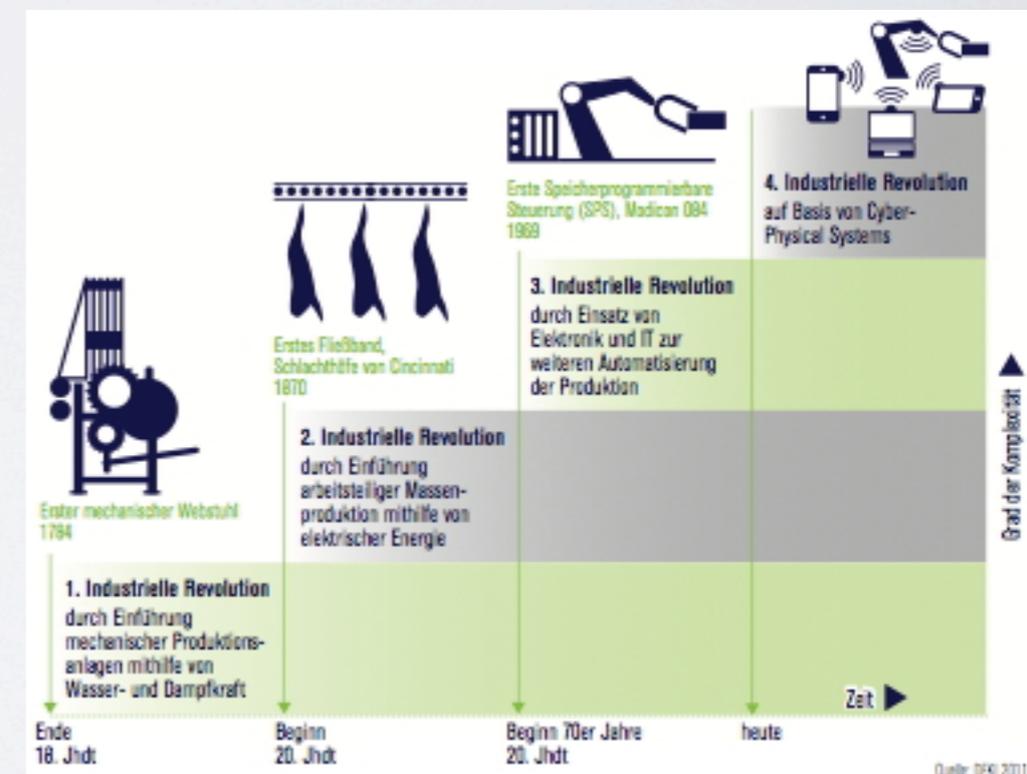
Ethische Probleme:

- **Datenschutz & Privatsphäre** – Wie wird dem Recht auf informationelle Selbstbestimmung genüge getan?
- **MAS** sind formal **nicht-triviale Maschinen** – deterministisch, aber hoch komplex und geschichtsabhängig, daher analytisch nicht bestimmbar und nicht vorhersagbar.



Dürfen Systeme mit derart **undurchschaubarem Verhalten** von der Leine gelassen werden? Wer ist für Schäden **verantwortlich** und **haftbar**? Entwickler? Betreiber?
HCI: Verstoß gegen Forderung **erwartungskonformen** Verhaltens.

Irreführende **Fehlbezeichnung** „3./4. industrielle Revolution“: Die **technikzentrierte Sicht** auf gesellschaftliche Entwicklung blendet wesentliche soziale und organisationale Aspekte (betriebliche Arbeitsteilung, Standardisierung, Wissensteilung) aus und verhindert die Einsicht in Übergangsprobleme zur **Wissensgesellschaft**, die mehr denn je auf menschliches **Arbeitsvermögen** und Fähigkeit zu **produktiver Kooperation** bei der **Genese, Organisation** und **Anwendung** von Wissen angewiesen ist. MAS und CPS bieten dafür keine Lösung.



Déjà-vu ... oder: verpasste Lernchancen (1/2)

Heute wie damals (1980er Jahre) ...

... beherrscht die technikzentrierte Sicht auf Produktion das Feld unter Ausblendung wesentlicher Aspekte der Organisation und des produktiven Zusammenwirkens von Mensch und Technik: Heute CPS und „intelligente“ MAS, damals „wissensbasiertes“ CIM und Expertensysteme.

... gibt es visionären Überschwang bei überschätzten Computerleistungen und wenig greifbarer Substanz.

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

... stellen sich ähnliche Anforderungen an Produktionsprozesse: numerische und funktionale Flexibilität trotz ultimativer Automatisierung, Produktivitätssteigerung, „Just-in-time“, „Losgröße 1“.

... sollen Probleme der Organisation von Produktionsprozessen technisch bewältigt werden.

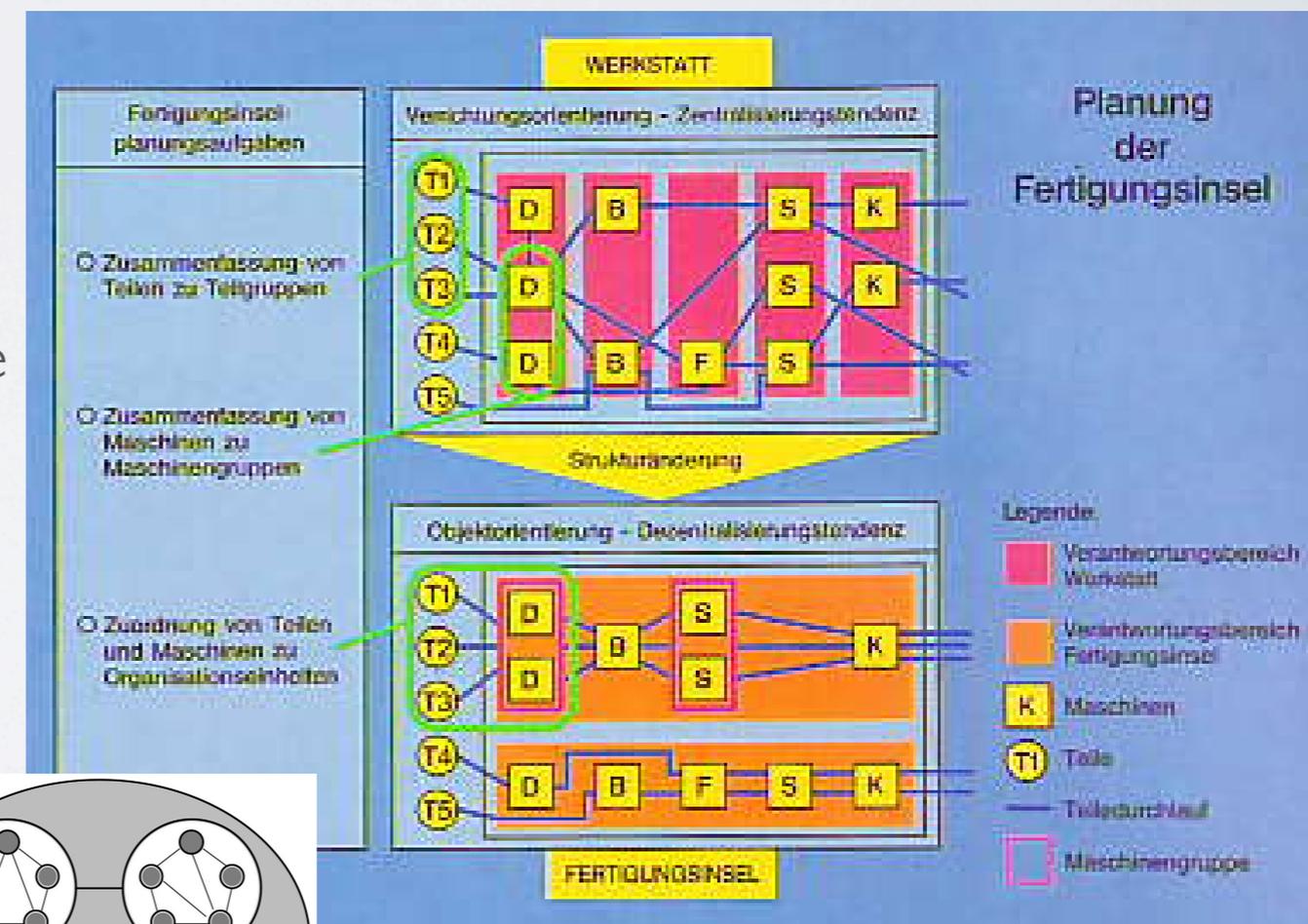
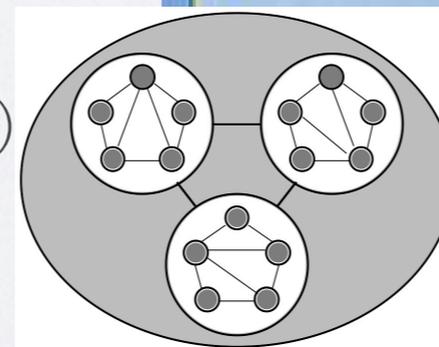
Beispiel 1:

Verbesserung des Fertigungsablaufs durch Reorganisation arbeitsteiliger **Werkstattfertigung** (lange Durchlaufzeiten, hohe Bestände) zur **Zellenfertigung** (Vorteile: parallele Prozesse, kurze Durchlaufzeiten, einfache Ablaufsteuerung, hohe Produktivität). Nutzung **lokaler Expertise** für Rüstzeitreduktion, Näherung an „6000 h“ etc..

Organisatorische Voraussetzung für Realisierung „**holonischer Produktionssysteme**“ als MAS.

Beispiel: XPRESS-Projekt (gefördert von EU).

Aber: Erneuter Reduktionismus (gegen A. Koestler)

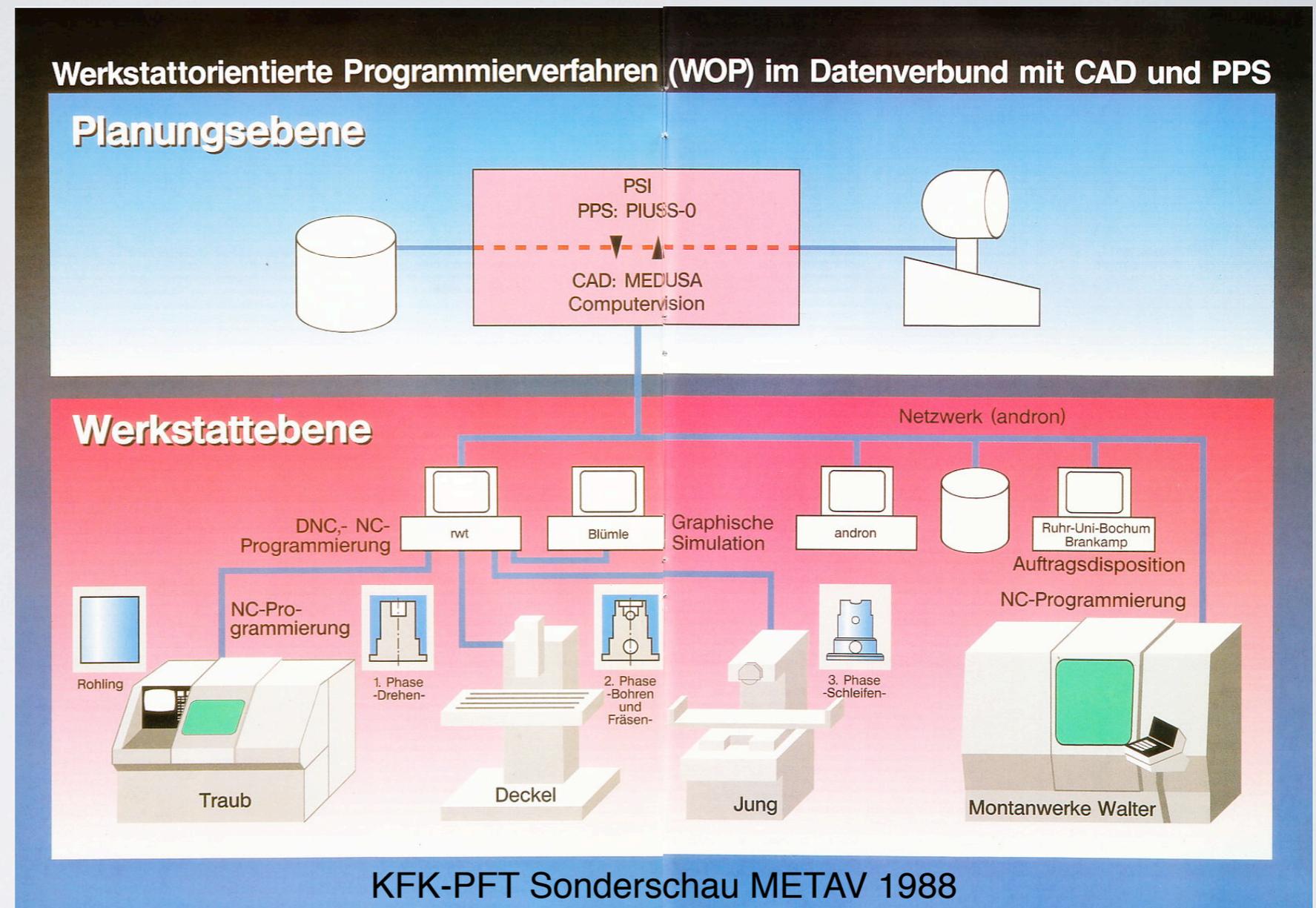


Déjà-vu ... oder: verpasste Lernchancen (2/2)

Beispiel 2:

Integrierte Fertigung mit Nutzer-zentriert gestalteten Computersystemen zur Unterstützung qualifizierter Facharbeit.

Datenaustausch über Ethernet und TCP/IP.

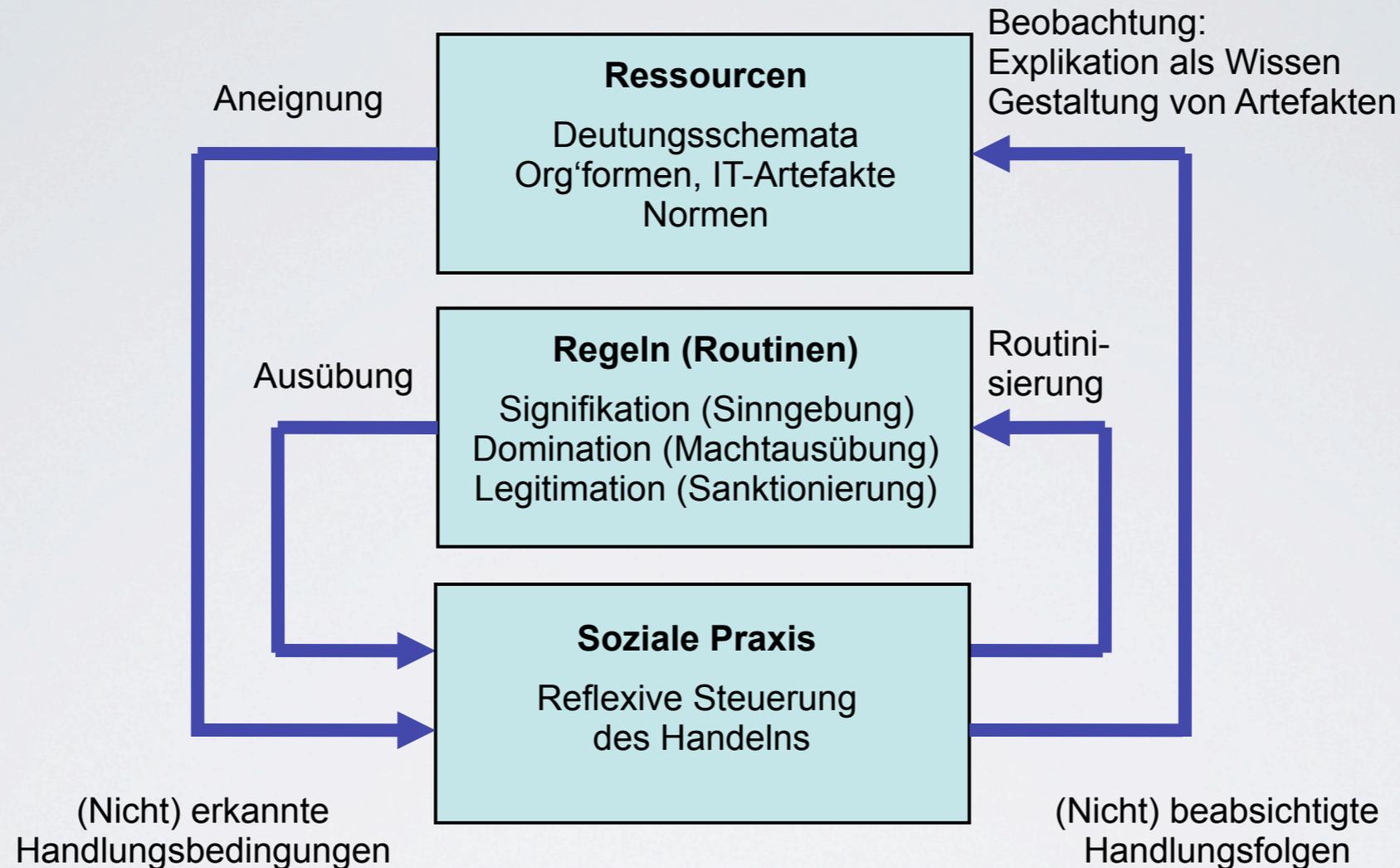


Fazit aus 25 Jahren Forschung zur Produktivität durch Computereinsatz in Organisationen (v.a. EDM, ERP(&SCM), CRM, ECM); „Software ist Orgware“ (Brödner 2008):

„To leverage information technology investments successfully, firms must typically make large **complementary investments and innovations** in areas such as **business organization, workplace practices, human capital, and intangible capital**“ (Jorgenson et al. 2008; ebenso Dedrick et al. 2003).

Die **Entwicklungsperspektive** ist entscheidend (1/2)

Praxistheorie statt Technikzentrismus: Rekursive Konstitution von Handeln und Struktur



(Quellen: Angelehnt an Giddens 1988, Ortmann 1995, Ortmann & Sydow 1999)

Technikgenese:

Kreative Anpassung von Form, Funktion und Handlungskontext im Spannungsfeld des zweckgemäß und sozial Gewünschten (Sozialverträglichkeit) und des technisch Machbaren (Formbarkeit der Natur).

Mit technischen Artefakten wird **in soziale Praktiken interveniert**.

Die **Entwicklungsperspektive** ist entscheidend (2/2)

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

Technikzentrierte Perspektive:

AI (Artificial Intelligence)

„Smart machines“, „autonome Agenten“

(„Intentional stance“; Minsky 1988, Shoham 1993, Wooldridge 2002)

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

Verbleibende Restarbeit:

„Ironies of automation“ (Bainbridge 1983),

Verlust praktischer Handlungskompetenz, hilflose weil entwöhnte „Bediener“ (Carr 2013).

Beispiele „**normaler Katastrophen**“ (Perrow 1989):

Ariane V: Totalverlust beim Erstflug 1996;

HFT-Debakel: Flash-Crash 2010, Knight 2012;

Air France AF 447: „Stall“-Unfall, Südatlantik 2009;

Continental Connection commuter flight:

„Stall“-Unfall, Buffalo 2009 (Carr 2013).

Praxistheoretische Perspektive:

IA (Intelligence Amplification)

„Machines (things) that make us smart“

(Norman 1993; vgl. Ashby 1964, Engelbart 1962, Winograd 1996)

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

Menschengerechte, reflexive Gestaltung von Arbeitsaufgaben, technischen Arbeitsmitteln und Interaktionsformen; Fokus auf Entfaltung praktischer Handlungskompetenz.

Beispiel: **Daten aus CPS** – lassen sich nutzen als Grundlage für **interaktive Assistenzsysteme**, als **gebrauchstauglich gestaltete Hilfsmittel** zur Optimierung von Prozessen, datengestützten Diagnose von Anlagen oder wirksamen Simulation und Steuerung von Prozessen.

Trotz AI-Versuchen: Erfolgreiche Computernutzung beruht hauptsächlich auf IA (PC, Internet etc.).

Bewertungen und Folgerungen (1/3)

Fazit dieser Ausführungen: Erfolg hängt von der richtigen **Entwicklungsperspektive** ab.

Die **technikzentrierte Perspektive ignoriert** weitgehend ...

... die sozialen Aspekte der historischen industriellen Revolution,

... zentrale Erkenntnisse der Arbeitsforschung der letzten 30 Jahre,

... grundsätzliche Unterschiede der Funktionsweise technischer Artefakte und sozialer Praktiken, insbesondere die Selbstbezüglichkeit der Intervention in soziale Praktiken – Gestaltung und Aneignung der Artefakte ändern die Praktiken, für die sie entworfen werden,

... die Dynamik der Explikation von Erfahrung als Wissen durch Beobachtung sozialer Praxis und der Aneignung von Wissen als Erweiterung von Können und Veränderung sozialer Praxis,

... die wachsende Bedeutung von Arbeitsvermögen im Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft, der alle Wirtschaftszweige verändert (Verwissenschaftlichung von Produktion).

Diese Defizite gilt es zu beheben, soll ein Debakel wie bei CIM vermieden werden.

Aus **praxistheoretischer Perspektive** stehen primär **Aufgaben** und **Ziele**, die **Gebrauchstauglichkeit technischer Artefakte** und die **Bedingungen** im Fokus, unter denen menschliches **Arbeitsvermögen** zugleich produktiv genutzt und zur Entfaltung gebracht werden kann.

Erst daraus lassen sich für **gute Arbeit förderliche Anforderungen** an die Gestaltung von Arbeitsorganisation und interaktiv genutzter technischer Arbeitsmittel (z.B. CPS) sinnvoll gewinnen.

Die **Selbstbezüglichkeit** technischer Intervention in soziale Praktiken wie die Unvermeidlichkeit nicht-intendierter Folgen macht ein **partizipatives und zyklisch-evolutionäres Vorgehen** erforderlich.

Bewertungen und Folgerungen (2/3)

Innovation & ständige **Unsicherheit** erfordern neue **Organisationsformen** von Produkten und Prozessen in Form von systematischer **Modularisierung** und **Dezentralisierung**:

- produktbezogen: „Konfigurieren statt Konstruieren“, Reduktion der Teilevielfalt,
- prozessbezogen: indirekte (Kontext-)Steuerung statt Weisung und Kontrolle,
- bezogen auf qualifizierte Wissensarbeit: Projektarbeit, multifunktionale Teams, Leih- & Werkvertragsarbeit, Crowdsourcing.

Inhärente **Dilemmata** wissensbasierter Wertschöpfung **gefährden** aber die Steigerung von **Arbeitsvermögen** durch:

- qualitativ & quantitativ unzureichende Bildung,
- Verschleiß infolge unzureichender Arbeitsbedingungen & Ressourcen.

Im Zentrum zukunftsfähiger Erneuerung von Produktionsprozessen stehen **Aufgaben organisationalen Wandels** und der **Nutzung** und **Entfaltung von Arbeitsvermögen** unter Verwendung neuer IT-Artefakte – nicht deren Entwicklung allein. **Effektivität, Effizienz** und **Innovation** der Produktion **erfordern** für menschengerechte, „gute Arbeit“ **förderliche ...**

... Aufgaben, Organisationsformen und Arbeitsbedingungen in den Prozessen selbst,
... institutionelle Regeln für die neue Arbeitswelt insgesamt,
... Arbeitsforschung zur Begründung und Erkundung dieser neuen Regeln und Bedingungen.



Bewertungen und Folgerungen (3/3)

Programm „**Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen**“:

Greift zwar wichtige Aspekte und Herausforderungen gesellschaftlicher (Re-)Produktion auf, u.a.

- Veränderungen im Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft („hybride Wertschöpfung“, Integration von Produktion und produktionsbezogenen Dienstleistungen, „Wissen als Schlüssel zur Produktivität“ etc.),
- Verwendung eines breiten Konzepts von Prozessinnovationen (organisatorisch, technisch & sozial),
- Verbindung von Arbeit, Lernen und Kompetenzentwicklung,
- Entwicklung nachhaltiger, „grüner“ Wertschöpfungsprozesse (Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft etc.).

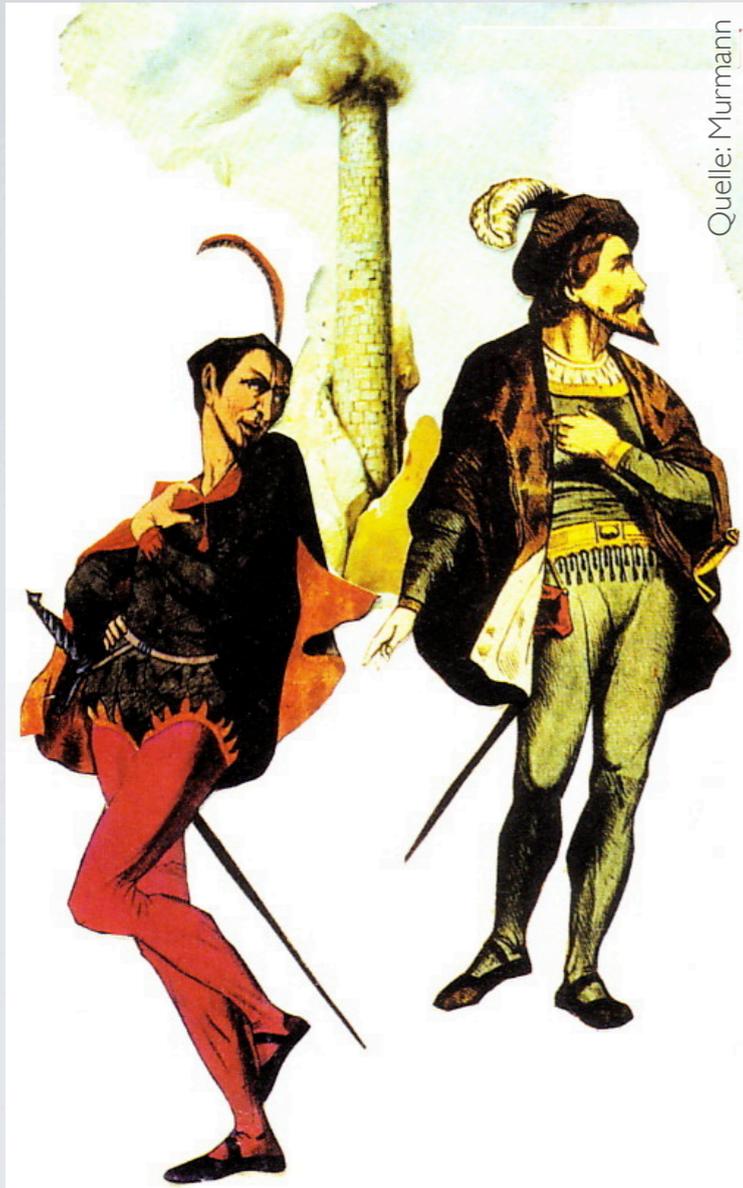
Kritisch anzumerken ist aber im Lichte vorangegangener Ausführungen: Vieles steht unvermittelt und unreflektiert nebeneinander; tiefer liegende Gestaltungsprobleme menschengerechter Arbeit bei wissensintensiver Produktion und Einsatz komplexer IT-Systeme werden nicht adressiert:

- So soll etwa „der Mensch im Mittelpunkt von Mensch-Maschine-Interaktion“ stehen, während zugleich „intelligente Maschinen, Anlagen und Produkte“, ausgestattet mit „kognitiven Fähigkeiten“, zu Produktionssystemen „intelligent vernetzt“ werden sollen, „um Wandlungsfähigkeit zu gewährleisten“ – wie aber soll Interaktion mit Artefakten undurchschaubaren Verhaltens gelingen?
- Oder es heißt im Kontext von Arbeiten und Lernen unvermittelt: „Auch die Umsetzung von Industrie 4.0 muss zu einem arbeitsorientierten(?) soziotechnischen Fabrik- und Arbeitssystem führen“.
- Gänzlich verkannt werden Belastungsprobleme und Dilemmata indirekter Steuerung und unsicherer Arbeit.

Gesamturteil: Vielfach mangelndes Problemverständnis, konfuses „Patchwork“ ohne innere Logik und Orientierung, in vieler Hinsicht ignorant und wenig zukunftsweisend.

Allerdings erlaubt gerade die Unbestimmtheit, einzelne Projekte guter Arbeit mit gesteigertem Arbeitsvermögen („Intelligenzverstärkung, IA“) zu entwickeln & illusionäre „AI“-Hoffnungen zu konterkarieren.

Schluss mit Goethe



Als sachkundiger Zeitzeuge früher Industrialisierung schafft Goethe seinen **Faust** als – mit Mephistos Diensten – tatendurstigen Welt-erkunder und Weltbemächtiger, als tüchtigen Großunternehmer zentraler Projekte der Moderne:

- Schaffung künstlichen Lebens,
- Schöpfung von Papiergeld aus dem Nichts,
- Kapitalakkumulation durch Landgewinnung.

All dem rastlosen Leben bereitet er freilich ein Ende von „sardonischer Ironie“ (Safranski):

Erblindet wähnt Faust, im Lärm der Spaten seinen „höchsten Augenblick“ zu erleben, doch tatsächlich zeugt der Lärm nicht von Landgewinnung, sondern vom Aushub seines Grabes – als perfekte Allegorie des blinden Glaubens an den Fortschritt.

Literatur

- Anderson, C. (2008): The End of Theory, Wired 23.06.08
- Ashby, W.R. (1957/64): An Introduction to Cybernetics, London: Chapman & Hall
- Bainbridge, L. (1983): Ironies of Automation, Automatica 19, 775-779
- Barney, J.B. (1991): Firm Resources and Sustained Competitive Advantage, Journal of Management 17 (1), 99-120
- Bell, D. (1975): Die nachindustrielle Gesellschaft, Frankfurt/M: Campus
- Brödner, P. (2008): Das Elend computerunterstützter Organisationen, in: Gumm, D. et al. (Hg.): Mensch – Technik – Ärger? Zur Beherrschbarkeit soziotechnischer Dynamik aus transdisziplinärer Sicht, Münster: Lit-Verlag, 39-60
- Brödner, P. (2006): Betriebliche Rationalisierungsstrategien und Einsatz technischer Systeme, in: Zimolong, B.; Konradt, U. (Hg.): Ingenieurpsychologie. Enzyklopädie der Psychologie: Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie - Band 2, Göttingen: Hogrefe, 943-980
- Brödner, P. (1997): Der überlistete Odysseus. Über das zerrüttete Verhältnis von Menschen und Maschinen, Berlin: edition sigma
- Carr, N. (2013): All Can Be Lost: The Risk of Putting Our Knowledge in the Hands of Machines, The Atlantic No. 11
- Dedrick, . et al. (2003): Information Technology and Economic Performance: A critical review of the empirical evidence, ACM Computing Surveys, Vol. 35, 1-28
- Drucker, P.F. (1994): The Age of Social Transformation, The Atlantic No. 11, 53-80
- Fodor, J. (1968): Psychological Explanation, New York: Random House
- Giddens, A. (1988): Die Konstitution der Gesellschaft, Frankfurt/M: Campus
- Grant, R.M. (1996): Toward a Knowledge-Based Theory of the Firm, Strategic Management Journal 17, 109-122
- Jorgenson, D.W. et al. (2008): A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence, Journal of Economic Perspectives 22 (1), 3-24
- Latour, B. (1996): On Actor Network Theory. A Few Clarifications, Soziale Welt. 47, 369-381
- Minsky, M. (1988): The Society of Mind, New York: Simon & Schuster
- Norman, D.A. (1993): Things that Make Us Smart, Reading (MA): Addison Wesley
- Penrose, E.T. (1995): The Theory of the Growth of the Firm, 3rd edn., New York Oxford: Oxford University Press
- Perrow, C. (1989): Normale Katastrophen, Frankfurt/M: Campus
- Putnam, H. (1960): Minds and Machines, in Hook (ed.): Dimensions of Mind, New York: Collier Books
- Putnam, H. (1991): Representation and Reality, Cambridge (MA): Bradford Book
- Reich, R.B. (1991): The Work of Nations, New York: Knopf
- Senge, P.M. (1994): The Fifth Discipline. The Art & Practice of the Learning Organization, New York: Doubleday
- Shoham, Y. (1993): Agent-Oriented Programming, Artificial Intelligence 60, 51-92
- Skinner, B.F. (1953): Science and Human Behavior. New York: Macmillan, 1953
- Winograd, T. (1996): Bringing Design to Software, Reading (MA): Addison-Wesley
- Wooldridge, M. (2002): An Introduction to Multi-Agent Systems, New York: Wiley