

Peter Brödner

## **Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub?**

### **1 Einführung: Der Traum von der automatischen Fabrik**

Derzeit erleben wir unter den Parolen »Industrie 4.0 und Big Data« eine neue Welle technologischen Überschwangs, in der fortgeschrittene Computertechnik geradezu als Heilsbringer verehrt wird. Kaum ein Übel der Lebenswelt erscheint zu groß, als dass nicht dessen Überwindung mittels »Digitalisierung« in Aussicht gestellt würde (Forschungsunion & acatec 2013, S. 5). So bietet das Erscheinen der deutschen Übersetzung des Buches von Brynjolfsson & McAfee (2014) »The Second Machine Age. Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird« und des neuen Rahmenprogramms »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen« des BMBF (2014) genügend Anlass, anhand dort ausgeführter Überlegungen zur Sicherung künftiger Wertschöpfung die These von einer neuen Welle technologischen Überschwangs exemplarisch zu untermauern, Hintergründe aufzuzeigen und Aussichten zu bewerten.

In ihrem Buch begründen Brynjolfsson und McAfee (2014) das Heraufziehen eines neuen Maschinenzeitalters mit der außerordentlichen, auf exponentiellem Wachstum beruhenden Steigerung von Leistungen der »Digitaltechnik« (Computer und Netzwerke; »Mooresches Gesetz«), mit den dadurch ermöglichten raschen Fortschritten bei der Realisierung »künstlicher Intelligenz« und der Verarbeitung sehr großer Datenbestände im Zuge weitreichender Digitalisierung von Wertschöpfung, zudem mit unbegrenzter (Re-)Kombination von Ideen zur Innovation. Sie exemplifizieren das etwa an den Fällen des selbstfahrenden Autos von Google oder der Wissensverarbeitung durch IBM Watson. Allerdings zeigen sie auch Gefahren der Monopolisierung globaler digitaler Wertschöpfung durch Netzwerkeffekte und geringe Grenzkosten (sog. »Alles-oder-nichts-Märkte«), verweisen auf die Polarisierung von Qualifikation und Einkommen und diskutieren Möglichkeiten steuernder Eingriffe in die künftige Entwicklung.

Das BMBF-Programm »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen« setzt – als zentraler Bestandteil der »High-Tech«-Strategie der Bundesregierung zum Erhalt von Wettbewerbsfähigkeit und Wohlstand – ebenfalls auf Digitaltechnik, insbesondere auf die Entwicklung weltweit vernetzter, sog. »Cyber-Physical Systems« (CPS). Als Kernkomponenten von Produktion und Logistik werden dabei »intelligente« Maschinen, Werkstücke, Lagersysteme und Betriebsmittel ins Auge gefasst, die mittels fortgeschrittener Computertechnik befähigt werden sollen, in »dezentraler Selbstorganisation« selbsttätig Daten auszutauschen, gegenseitig Aktionen auszulösen und so eine weitgehend flexibel automatisierte »Smart Factory« zu realisieren. Im Einklang mit entwicklungsstrategischen Überlegungen des World Economic Forum (WEF) wird dabei verheißen, neue Formen von Wertschöpfungsprozessen – unter Berücksichtigung individueller Kundenwünsche – anpassungsfähig und dynamisch gestalten, auch Einzelstücke rentabel herstellen, flexibel auf Störungen und Ausfälle

reagieren, durchgängig Transparenz gewährleisten und optimale Entscheidungen ermöglichen zu können (BMBF 2014, Forschungsunion & acatec 2013, WEF 2012).

In vielerlei Hinsicht ruft das Erinnerungen an frühere Versuche wach, mittels Computer- und Sensortechnik den wiederkehrenden Traum von der automatischen Fabrik, von ewiger selbsttätiger Wertschöpfung zu verwirklichen und so vom Eigensinn lebendiger Arbeit unabhängig zu werden. Schon in den frühen 1950er Jahren hatte Norbert Wiener (1950/66, 1976) sehr genaue Vorstellungen davon, wie mittels »Sinnesorganen« und »Effektoren« sowie der »Rechenmaschine« als »zentralem logischen Gehirn« für »komplizierte Unterscheidungsprozesse« eine »automatische Fabrik« zu realisieren sei. Und in den 1980er Jahren wurden unter dem Leitstern der »menschenerleeren Fabrik« erneut gigantische F&E-Anstrengungen unternommen, um in Gestalt »wissensbasierter« (d.h. mit symbolischer »künstlicher Intelligenz« ausgestatteter), »computer-integrierter Produktion« (CIM) eine flexibel automatisierte auftragsgebundene Fertigung zu verwirklichen (Cyranek & Ulich 1993, Hunt 1989). Diese sich mit einer Länge von rd. 30 Jahren auftürmenden Flutwellen technologischen Überschwangs brachen sich jedesmal an den Klippen widerspenstiger Materie und verkannter Realisierungsprobleme mit der Folge langer Phasen tiefer Ernüchterung bei deren Bewältigung. Ironischerweise wurde dabei regelmäßig der hohe Wert impliziten Wissens, der Intuition, Kreativität und Handlungskompetenz menschlichen Könnens wiederentdeckt.

Um vor diesem Hintergrund Ähnlichkeiten und Unterschiede zu den neuen, doch sehr weit reichenden Verheißungen von »Industrie 4.0 und Big Data« realistisch einschätzen zu können, will der Beitrag zunächst deren wissenschaftlich-technische Grundlagen näher kennzeichnen und das eigentlich Neue im Vergleich zu früheren Ansätzen genauer bestimmen. Darauf fußend wird dann eine kritische Bewertung von Entwicklungs- und Gefahrenpotentialen vorgenommen, um abschließend Gestaltungsperspektiven einer zukunftsfähigen Entwicklung zu skizzieren.

## **2 Worum geht es? – Kennzeichnung von Industrie 4.0 und Big Data**

### *2.1 Schwierigkeiten der Bestimmung des gegenwärtigen Wandels*

Mit den plakativen Benennungen »Industrie 4.0« (BMFT 2014) bzw. »zweites Maschinenzeitalter« (Brynjolfsson & McAfee 2014) soll jeweils ein qualitativer Sprung in der industriellen Entwicklung im Vergleich zu vorangegangenen Veränderungen markiert werden. So sei aus der Perspektive Industrie 4.0 die »vierte industrielle Revolution« durch den Einsatz von stark vernetzten »cyber-physischen Systemen« gekennzeichnet im Unterschied zur computergestützten Automatisierung der Produktion der dritten Stufe. Diese wiederum unterscheidet sich von der durch Massenfertigung und elektrische Einzelantriebe an Fertigungsanlagen gekennzeichneten zweiten wie auch von der durch Mechanisierung und Dampftrieb charakterisierten ersten industriellen Revolution (Forschungsunion & acatec 2013). Ähnlich wird auch das durch den forcierten Einsatz von avancierter Digitaltechnik (Computer und Netzwerke) gekennzeichnete zweite Maschinenzeitalter (etwa den Stufen 3 und 4 entsprechend) von der Mechanisierung und Elektrifizierung der Produktion als Kennzeichen des ersten (etwa den Stufen 1 und 2 entsprechend) abgegrenzt (Brynjolfsson & McAfee 2014).

Derartige technikzentrierte Unterscheidungen von Phasen gesellschaftlicher Entwicklung erweisen sich freilich eher als irreführend denn erhellend, ganz abgesehen davon, dass sie mindestens ebenso bedeutsame soziale, organisationale und institutionelle Aspekte ausblenden wie etwa die betriebliche Arbeitsteilung, die Standardisierung oder die Wissensteilung. Damit geraten viel tiefer gehende Prozesse gesellschaftlichen Wandels wie der Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft (Bell 1975, Drucker 1994) mit seinen erhöhten Anforderungen an das lebendige Arbeitsvermögen, insbesondere die Fähigkeit zu produktiver Kooperation bei der Genese, Organisation und Anwendung von Wissen, gänzlich aus dem Blick.

Dabei ist für das Verständnis wissensintensiver Arbeit das Verhältnis von praktischem Können und kodifiziertem Wissen wesentlich, genauer: deren dynamische Beziehung, die Art und Weise, wie sie einander wechselseitig hervorbringen. Vorgängig ist stets die vorreflexive Handlungskompetenz, das individuell gebundene Können oder Arbeitsvermögen, das sich in Tätigkeiten gelingender sozialer Praxis äußert. Bei einer – wie auch immer – gestörten Praxis lässt sich durch Selbst- oder Fremdbeobachtung explizites, theoretisches Wissen *über* bestimmte Aspekte praktischen Tätigseins gewinnen. Dieses kodifizierte Wissen bleibt aber ohne Wirkung, solange es nicht zur Verwendung in praktischer Tätigkeit angeeignet und zweckmäßig genutzt wird. Gleiches gilt auch für solches Wissen verkörpernde technische Artefakte (Brödner 2010; vgl. allgemein zu dieser praxistheoretischen Perspektive Reckwitz 2003, bezüglich Computersystemen Brödner 2008).

Dieser Dialektik der – stets begrenzten – Explikation von Können und Erfahrung als Wissen und der Aneignung von Wissen (bzw. technischen Artefakten) als erweitertem Können zufolge erfordert produktives Arbeiten und Problemlösen in Prozessen wissensintensiver Wertschöpfung meist, diverse Wissensgebiete zusammenzuführen und unterschiedlich ausgeprägte Arbeitsvermögen in Gestalt autonomer, selbstorganisierter Kooperation kompetenter Experten zu integrieren. Je differenzierter, komplexer und dynamischer das kodifizierte Produktionswissen und dessen technische Vergegenständlichung, desto anspruchsvolleres Arbeitsvermögen ist gefordert, sich dieser gesellschaftlichen Produktivkräfte zu produktiver Verwendung zu bemächtigen und sie weiter zu entwickeln. Das funktioniert nur freiwillig, entzieht sich jeder Anweisung und unterliegt zudem großer Ungewissheit hinsichtlich Ergebnis und Verlauf.

Um das Primat der Kapitalverwertung auch im unsicheren Umgang mit Wissen in weitgehend autonomen, sich selbst organisierenden Arbeitsgruppen zu gewährleisten, sind neue Formen der Kontrolle gefragt: *indirekte Steuerung* durch Markt- oder Kontextanforderungen anstelle hierarchischer Weisung und Kontrolle. Darin sehen sich die Menschen als Träger des Arbeitsvermögens permanentem Erfolgsdruck ausgesetzt und treiben sich selbst unablässig zu Höchstleistungen an, allerdings auf Kosten ihrer Gesundheit und sozialen Beziehungen. Das immer wichtiger werdende Arbeitsvermögen kann sich mithin unter diesen Bedingungen seiner Verausgabung in den Arbeitsprozessen selbst nicht hinreichend entfalten (Peters & Sauer 2006).

Schließlich sind in diesem Kontext noch sehr grundlegende Unterschiede zwischen Computern als zeichenverarbeitenden Maschinen und klassischen Maschinen der Energie- und Stoffumwandlung zu beachten und zwar im Hinblick auf deren Wirkbereiche,

Funktionsweisen und Zwecke: Der Wirkbereich von Arbeits- und Kraftmaschinen liegt in der Natur und greift in natürliche Prozesse der Energie- und Stoffumwandlung ein, während der Wirkbereich von Computern ganz im Bereich von Zeichenprozessen sozialer Praxis liegt und auf die algorithmische Verarbeitung damit verbundener Signale oder Daten zielt. Dementsprechend beruht die Funktionsweise von Maschinen der Energie- und Stoffumwandlung auf Natur-Effekten als Ergebnis von Naturerkenntnis und ihr Zweck ist die Nutzung von Naturkräften als Quelle von Produktivität. Die Funktionsweise von Computern beruht dagegen auf expliziten, durch Analyse und Formalisierung von Zeichenprozessen gewonnenen Vorschriften (Algorithmen). Sie dient entweder der digitalen Steuerung technischer Prozesse («eingebettete Systeme») oder der Organisation und Koordination kollektiven Handelns («Informationssysteme»). Bei letzterem kann höhere Produktivität nur aus der Art und Weise erwachsen, wie Zeichenprozesse sozialer Praxis durch passend gestaltete Computerfunktionen und deren kollektive Aneignung neu strukturiert und organisiert werden.

## 2.2 Eingebettete und Multiagenten-Systeme als wissenschaftlich-technisches Fundament

Die Realisierung von Industrie 4.0 stützt sich auf wissenschaftlich-technische Grundlagen, deren Entwicklung seit den 1990er Jahren massiv gefördert und vorangetrieben wird:

- *Eingebettete Systeme* sind Computer-Komponenten zur digitalen Steuerung physischer Prozesse, die mit Schnittstellen zum Menschen und anderen Systemen ausgestattet sind. Sie können über Datenaustausch durch das Internet hochgradig horizontal und vertikal vernetzt werden („Internet der Dinge & Dienste“ bzw. „Cyber-Physical Systems“; vgl. Abb. 1a und b)

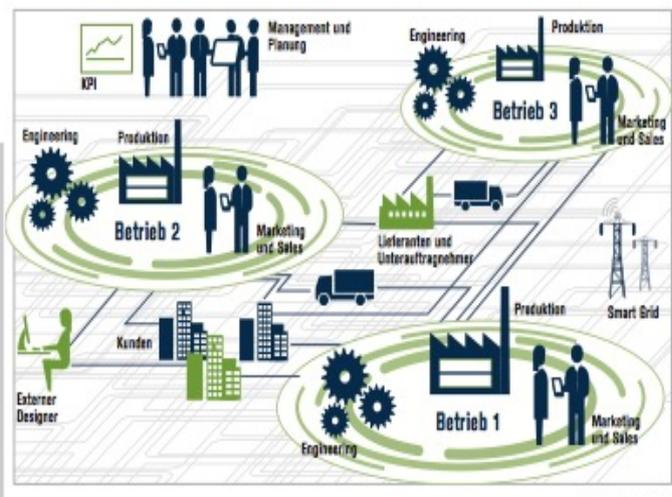
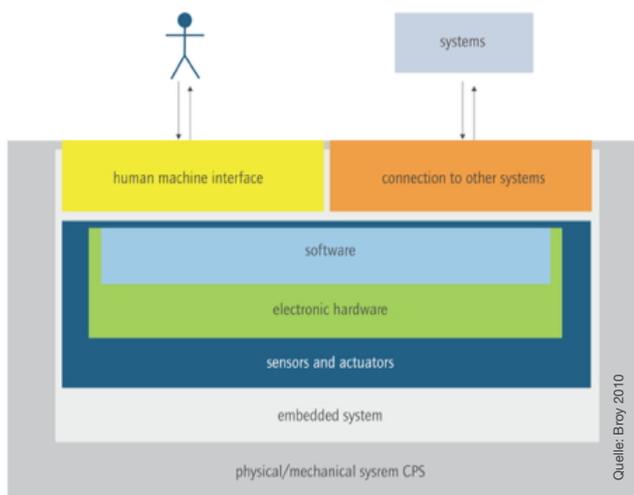


Abb. 1a: Eingebettetes System

Abb. 1b: Cyber-Physical Systems in der Produktion

- *Multiagentensysteme* (MAS, auch: »Distributed Artificial Intelligence«) bestehen aus begrenzt autonomen Software-Agenten, die mittels Datenaustausch zielorientiert miteinander interagieren; durch derart koordinierte Aktionen sollen sie anspruchsvolle Aufgaben selbsttätig bewältigen können.

Zum besseren Verständnis des weiteren ist ein genauerer Blick auf die Funktionsweise, das Verhalten und die Beschreibung von MAS erforderlich. Das außerordentliche Interesse an MAS beruht auf der Vorstellung, aus dem Zusammenwirken vieler Einheiten mit relativ einfachem Verhalten könne »künstliche Intelligenz« hervorgehen (Minsky 1988). Sie gründet sich letztlich auf die explizit artikuliert Überzeugung, dass »Interaktion mächtiger als Algorithmen« sei (Wegner 1997). Letzteres wurde freilich postwendend als Trugschluss widerlegt (auch MAS unterliegen der Beschränkung auf berechenbare Funktionen; Prasse & Rittgen 1998). Tatsächlich weist aber das Verhalten von MAS emergente Eigenschaften auf, die an den einzelnen darin zusammenwirkenden Software-Agenten für sich nicht zu beobachten sind.

Agenten sind softwaretechnische Objekte, die Daten aus der Umgebung und von anderen Agenten aufnehmen, proaktiv nach eigenen Algorithmen, zumeist mittels maschineller Lernverfahren, verarbeiten und resultierende Daten wieder nach außen abgeben können. Ihr Verhalten ist gekennzeichnet durch selbsttätige Zielverfolgung und die Fähigkeit zur Anpassung an veränderliche Bedingungen durch »maschinelles Lernen« (Breadshaw 1997, Maes 1994). Zwecks Bewältigung komplexer Aufgaben können solche begrenzt autonomen Software-Agenten miteinander interagieren, um derartige Aufgaben durch koordinierte Aktionen gemeinsam zu erledigen (Wooldridge 2002). Zudem fallen dabei laufend große, noch gesondert nutzbare Datenmengen an.

Auch wenn einzelne im Systemverbund interagierende Agenten relativ einfache Algorithmen ausführen und gut durchschaubares Verhalten aufweisen, ist dem MAS insgesamt zwar ein vollständig determiniertes, aber hoch komplexes und analytisch von außen nicht mehr bestimmbares Verhalten eigen. Formal lassen sich MAS als sog. »nicht-triviale Maschinen« (v. Foerster 1993) beschreiben, deren Ausgabedaten nicht nur von den Eingabedaten, sondern gemäß einer Zustandsfunktion auch von veränderlichen inneren Zuständen abhängen, die auf vielfältige Weise die Interaktion der Agenten und deren Lernverhalten zum Ausdruck bringen (vgl. Abb. 2). Folglich ist das Verhalten von MAS in hohem Maße von der jeweiligen Vorgeschichte abhängig, analytisch nicht mehr bestimmbar und mithin auch nicht vorhersehbar.

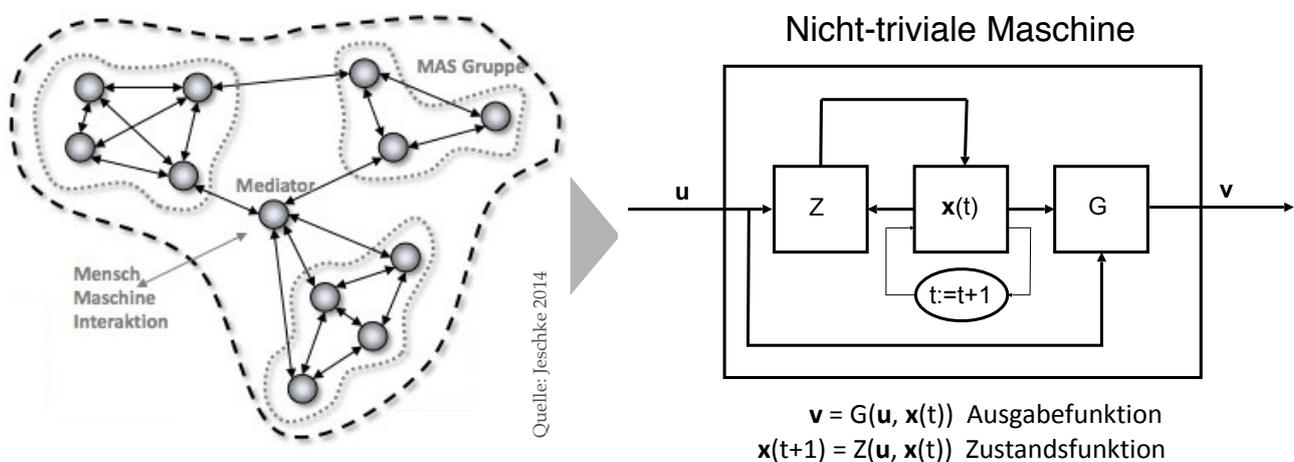


Abb. 2: MAS als nicht-triviale Maschine

Neben dieser physikalisch-algorithmischen Beschreibung des Verhaltens von MAS ist noch eine weitere, eher an der zielgerichteten Interaktion der Agenten orientierte Beschreibung gemäß der sog. »intentionalen Einstellung« (»*intentional stance*«, Dennett 1987) üblich. Dieser Einstellung zufolge werden Agenten intentionale Zustände wie Überzeugungen, Wünsche oder Absichten zugeschrieben, ausdrücklich um deren Verhalten einfacher und übersichtlicher beschreiben zu können; sie wird unter MAS-Forschern allgemein geteilt und geht auf einen von McCarthy verfassten Forschungsbericht aus dem Jahre 1978 zurück:

*»To ascribe beliefs, free will, intentions, consciousness, abilities, or wants to a machine is legitimate when such an ascription expresses the same information about the machine that it expresses about a person. It is useful when the ascription helps us understand the structure of the machine, its past or future behaviour, or how to repair or improve it. It is perhaps never logically required even for humans, but expressing reasonably briefly what is actually known about the state of the machine in a particular situation may require mental qualities or qualities isomorphic to them. Theories of belief, knowledge and wanting can be constructed for machines in a simpler setting than for humans, and later applied to humans. Ascription of mental qualities is most straightforward for machines of known structure such as thermostats and computer operating systems, but is most useful when applied to entities whose structure is incompletely known.«* (McCarthy 1978, zitiert nach Shoham 1993, S. 53).

Zur formalen Beschreibung intentionaler Zustände von Agenten bedient man sich der propositionalen Modallogik, in der die übliche zweiwertige Aussagenlogik (eine Aussage ist entweder wahr oder falsch) um die beiden Modalitäten der Notwendigkeit und der Möglichkeit erweitert ist: Eine Aussage ist zudem notwendiger- oder aber nur möglicherweise wahr oder falsch. Auf dieser erweiterten logischen Grundlage lassen sich dann Überzeugungen (*beliefs*), Wünsche (*desires*) oder Absichten (*intentions*) von Software-Agenten als zugeschriebene intentionale Zustände formalisieren; beispielsweise kann so die Tatsache, dass der Agent  $a$  zum Zeitpunkt  $t$  der Überzeugung ist, dass die Aussage  $\phi$  gilt, als der Ausdruck  $\mathbf{Bel}(a,\phi)(t)$  einer formalen Beschreibungssprache modelliert werden (Wooldridge 2002).

Diese durch Zuschreibung von Intentionalität gewonnene Abstraktion vom wirklichen, auf der physikalisch-algorithmischen Ebene sich vollziehenden Verhalten der MAS ist ein Versuch, dem ärgerlichen Umstand zu entkommen, dass dieses Verhalten in seinem physischen Verlauf, obgleich determiniert, i.a. nicht mehr zu durchschauen ist. Weil das Verhalten auf dieser Ebene nicht erklärbar ist, wird in der Abstraktion so getan, als ob ihm Intentionalität zugrunde läge. Diese letztlich absurde *Quasi*-Erklärung des Verhaltens von MAS gaukelt dessen Verstehbarkeit vor, der das wirkliche Verhalten tatsächlich aber entzogen bleibt; statt das Problem zu erhellen oder zu lösen, wird es verschleiert. Beides, die mangelnde Durchschaubarkeit des Verhaltens von MAS wie die Zuschreibung von Intentionalität als dessen *Quasi*-Erklärung, zeitigt aber, wie noch zu zeigen ist, fatale Konsequenzen für die Mensch-Maschine-Interaktion und die Sicherheit von MAS (Norman 1994).

### 2.3 »Maschinelles Lernen« als neuer Königsweg?

Ein inhärenter Nachteil algorithmisch gesteuerten Verhaltens ist dessen Starrheit, die sich nur in Interaktion mit lebendiger Arbeit oder durch eigene Adaptivität mittels Verfahren »maschinellen Lernens« überwinden lässt. Diese umfassen ein breites Spektrum von Methoden und ihrerseits algorithmischen Verfahren zur gezielten Veränderung der Struktur und Parameter bzw. der Programme von Computern dergestalt, dass sich deren Verhalten gemessen an einer zuvor festgelegten Nutzenfunktion verbessert. Benötigt werden sie dort, wo Computer anspruchsvolle Aufgaben selbsttätig und zielorientiert zu bewältigen oder ihr Verhalten an wechselnde Umgebungsbedingungen anzupassen haben.

Durch aufsehenerregende Leistungen haben in jüngster Zeit sog. künstliche neuronale Netze (KNN) und Verfahren des »Deep Learning« (Wick 2017) große Aufmerksamkeit gefunden. Von Beginn an mit der Computertechnik eng verbunden, erfahren sie derzeit, nach dem von Vertretern der »symbolischen KI« ausgesprochenen Verdikt und einer gewissen Wiederbelebung in den 1990er Jahren (Brödner 1997, S. 206ff), eine abermalige Renaissance. Diese verdankt sich vor allem exponentiell gesteigerter Rechenleistung, die komplexere Netzwerk-Strukturen und erheblich beschleunigte Lernverfahren ermöglicht.

Für ihre Aufgaben müssen KNN passend strukturiert und die Gewichtungen der in ihre als »Neuronen« fungierenden Prozessoren eingehenden Signale einem bestimmten Lernalgorithmus unterworfen werden. Dabei berechnet jeder Prozessor (Netzknoten)  $j$  die in Bild 3a dargestellten Funktionen und liefert ein Aktivierungssignal, falls die Summe der gewichteten Eingabesignale einen Schwellwert  $\theta_j$  überschreitet. Das Netz als Ganzes wird über diese Festlegungen und Lerninstruktionen hinaus nicht programmiert, sondern an sehr vielen Beispielen trainiert (zur Einführung in KNN vgl. Kriesel o.J.).

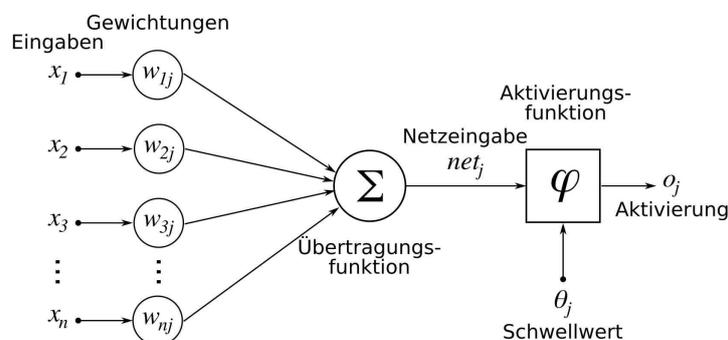


Bild 3a: Berechnungsfunktionen eines Netzknotens (Quelle: Wikipedia CC BY-SA 3.0)

So werden etwa bei Problemen der Musteridentifikation oder der (Bild-)Klassifikation – ein Aufgabentyp, bei dem KNN besonders leistungsfähig sind – einer langen Reihe von eingegebenen Mustern (Bildern) jeweils die zugehörigen Klassen als Ausgänge zugeordnet; aus diesen Zuordnungen vermag dann das Netz automatisch in zahlreichen kleinen Anpassungsschritten angemessene Verbindungsgewichte  $w_{ij}$  zu bestimmen (die implizit den Lernerfolg widerspiegeln). Dabei werden je Zwischenschicht von Prozessoren bzw. »Neuronen« spezifische Filter wirksam, die sukzessive kennzeichnende Merkmale aus den Bildern zu extrahieren in der Lage sind. Am Ende wird in der Ausgabeschicht jeweils genau ein Prozessor aktiviert, der jeweils der errechneten Kategorie entspricht (im Beispiel etwa ein Auto oder eine Gesicht; vgl. Bild 3b).

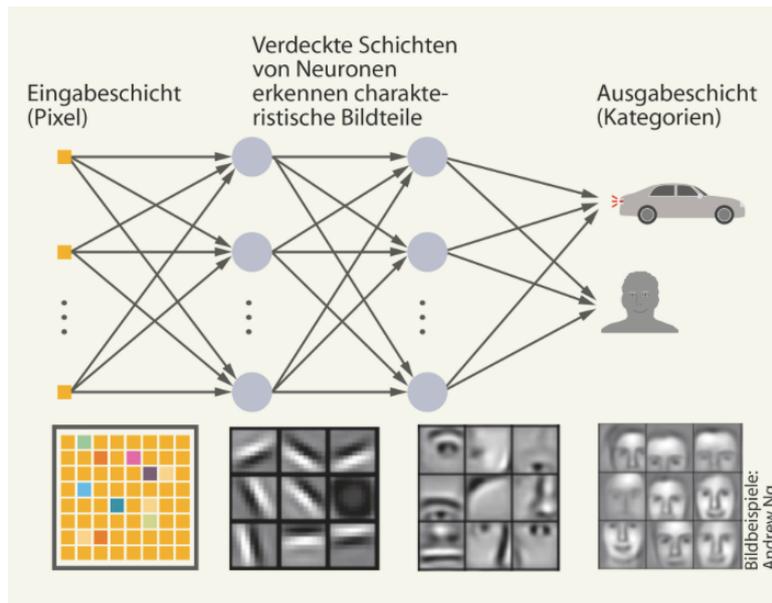


Bild 3b: Kategorisierung von Bildern (Quelle: c't 6/2016)

Dementsprechend verdanken sich Erfolge mit dem Einsatz von KNN nicht tieferer Einsicht in Zusammenhänge von Ursache und Wirkung, sondern weitgehend einem theorieleeren Probieren durch Versuch und Irrtum mit unterschiedlichen Netzwerkstrukturen und Lernverfahren zur Anpassung der Gewichte. So sind derzeit wegen ihrer besonderen Leistungsfähigkeit bei Bild- und Spracherkennungsaufgaben vor allem sog. »faltende« KNN (Convolutional Neural Networks) ins Zentrum des Interesses gerückt, die sich strukturell an biologische Vorbilder anlehnen. Während konzeptionell kaum Fortschritte zu verzeichnen sind, beruhen eingetretene Erfolge neben der gesteigerten Rechenleistung ironischerweise vor allem auf der Intuition, der Erfahrung und dem Geschick der Entwickler bei der Strukturierung der KNN und der Bewältigung der zahlreichen praktischen Berechnungsprobleme – vom »schwindenden Gradienten« bis zur variablen Schrittweitensteuerung bei den Lernverfahren (Schmidhuber 2015, Wick 2017).

Beim Gebrauch dieser Systeme im praktischen Einsatz haben die Nutzer zudem mit der Ungewissheit zu kämpfen, ob die errechneten Ergebnisse auf Dauer angemessen und korrekt sind. Auch wenn sie in der großen Mehrzahl der Fälle gute Ergebnisse liefern, können sie plötzlich versagen, ohne dass das einfach erkennbar wäre. Zudem können schon kleine Störungen in den Eingabebildern zu beträchtlichen Fehlleistungen führen (Sharif et al. 2016). Mangels Durchschaubarkeit des nicht-linearen Verhaltens von KNN ist deren Zuverlässigkeit generell schwer zu beurteilen; im Grunde müssen sich die Nutzer daher blindlings auf die angemessene Funktionsweise verlassen.

#### 2.4 Big Data: Fast unerschöpfliche Datenbestände im Zugriff

*Big Data* – Unter dieser Bezeichnung wird üblicherweise die schnelle Analyse sehr großer und vielfältiger, mehr oder weniger strukturierter Datenbestände für Aktionen, Planungen und Prognosen verstanden. Vielfältige Datenbestände können aus unterschiedlichen

Quellen stammen, verschiedene Grade der Strukturierung aufweisen (Bild- oder Textdokumente, Datenbanken) und gleichwohl miteinander kombiniert werden. Weitere Kennzeichen sind hohe Datenvolumina (im Bereich von Tera- oder gar Petabyte) und große Verarbeitungsgeschwindigkeiten (mehr oder weniger in Echtzeit).

Aufgrund der enormen Leistungssteigerung von Computerprozessoren und -speichern ist es möglich geworden, sehr große Datenmengen im Arbeitsspeicher bereitzuhalten und damit in sehr schnellem Zugriff algorithmisch zu verarbeiten (sog. »In-memory-Technik«). Die Ausweitung von Bandbreiten erlaubt auch die sehr schnelle Übertragung großer Datenmengen. Zudem können, soweit es die Aufgabenstellung zulässt, Datenbestände aufgeteilt und in einer Vielzahl von Prozessoren parallel verarbeitet werden. So können die exponentiell gesteigerten Leistungspotentiale der Digitaltechnik unmittelbar ausgespielt und zur Bewältigung komplexer Aufgaben genutzt werden.

### **3 Was ist neu? – Vergleich mit früheren Ansätzen**

Benennungen wie »vierte industrielle Revolution« oder »zweites Maschinenzeitalter« suggerieren einen grundlegenden Entwicklungssprung von erheblicher Tragweite. Genau dies lassen aber die vorgestellten neuen Ansätze vor dem Hintergrund der tatsächlichen Entwicklung der letzten drei Dekaden als fraglich erscheinen.

Erklärtes Ziel der neuen Ansätze ist es, Wertschöpfungsprozesse anpassungsfähig zu gestalten, auch Einzelleistungen rentabel zu produzieren und auf Störungen flexibel zu reagieren. Das sind aber genau die gleichen Anforderungen, die schon in den 1980er Jahren durch computer-integrierte und wissensbasierte Produktion (CIM) erreicht werden sollten. Heute wie damals beherrscht die technikzentrierte Sicht auf Produktion das Feld, gibt es eine Welle technikzentrierten Überschwangs und untaugliche Versuche, Probleme der Organisation von Produktionsprozessen technisch zu bewältigen.

Auch bei CIM ging es bereits darum, möglichst viele Komponenten rechnerunterstützter Fertigung zu vernetzen und Daten zwischen ihnen auszutauschen. Derart vernetzte Systeme wurden in der Folge auch auf vielfache Weise realisiert, allerdings wurden deren Funktionen meist, anders als ursprünglich gedacht, auf Veranlassung durch und in Interaktion mit menschlichen Experten und deren Arbeitsvermögen genutzt. Dagegen sind Versuche der Realisierung einer weitgehenden flexiblen Automatisierung mittels Expertensystemen und anderen wissensbasierten Systemen kläglich gescheitert. Stattdessen haben sich in breiter Front zellular organisierte Arbeitsstrukturen entwickelt mit hoch qualifizierten, sich weitgehend selbst steuernden Arbeitsgruppen unterschiedlicher Experten, jeweils unterstützt durch gebrauchstauglich gestaltete Computerfunktionen. Derartige »High-road«- oder »High-performance«-Organisationen ermöglichen die Entfaltung von Arbeitsvermögen und haben sich als hoch produktiv und innovativ erwiesen (Brödner 2006) – ganz im Einklang mit der ressourcenbasierten Sicht auf Unternehmen (Barney 1991, Grant 1996, Penrose 1995).

Statt wissensbasierter Expertensysteme sollen nun also im neuen Anlauf zur »Smart Factory« bei gleicher Zielsetzung Multiagentensysteme in Gestalt »lernfähiger«, hochgradig vernetzter »cyber-physischer Systeme« ins Rennen geschickt werden, um die

äußerst verwickelten Koordinationsaufgaben numerisch und funktional flexibler, auftragsgebundener Wertschöpfung möglichst weitgehend selbsttätig zu bewältigen. Wie weit dieser neue Ansatz trägt, wird die Zukunft erweisen; Erfahrungen mit früheren Versuchen und Konzepten »künstlicher Intelligenz« lassen das aber als höchst zweifelhaft erscheinen (Brödner 1997).

Das abermalige Vorherrschen einer technikzentrierten Sicht vermittelt einen starken Eindruck von Déjà-vu; er deutet darauf hin, dass aus Problemen früheren technikzentrierten Einsatzes und Gebrauchs komplexer Computersysteme in Wertschöpfungsprozessen wenig gelernt wurde. Dagegen steht freilich das Fazit aus 25 Jahren Forschung über Produktivität und Computereinsatz in Organisationen, derzufolge Produktivität – aus praxistheoretischer Sicht erwartungsgemäß – nur aus der Kombination mit organisationaler Restrukturierung, Aneignung und Lernen erwächst:

*»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, S. 10; ebenso bereits Dedrick et al. 2003).

Schließlich lässt die genauere Analyse der technischen Konzepte von Industrie 4.0 selbst an deren Neuigkeitswert zweifeln. Was unter der Bezeichnung »cyber-physische Systeme« propagiert wird, ist zunächst nichts anderes als die Fortführung dessen, was seit den 1970er Jahren als digitale Prozesssteuerung intensiv betrieben wird. Neu ist hier lediglich die mit Erweiterung des Adressraums gegebene Möglichkeit, über das »Internet der Dinge« Daten zwischen sehr vielen digital gesteuerten Prozessen selbsttätig austauschen zu können, was Möglichkeiten der Reorganisation von Wertschöpfung erweitert (aber auch Risiken erhöht). Zudem lässt die seit über zwei Dekaden betriebene MAS-Forschung kaum praxisrelevante Fortschritte erkennen. Höchst wirksam zeigt sich dagegen die exponentielle Leistungssteigerung der Digitaltechnik hinsichtlich Rechenleistung, Speicherkapazität und Bandbreite der Datenübertragung. So entpuppt sich die »vierte industrielle Revolution« vor allem als eine Revolution der Worte (»CPS« und »MAS« statt »digitaler Steuerung«), bei freilich enorm gesteigerter Leistung der Digitaltechnik, die früher außer Reichweite liegende Anwendungen neuerdings möglich macht.

## **4 Wozu dient es? – Kritische Bewertung der technischen Basis**

### **4.1 Brüchige Fundamente der Entwicklung von MAS**

So wird die neue Technikeuphorie gespeist durch enorm gesteigerte Computerleistungen und einzelne Beispiele fortgeschrittener Implementierung menschenähnlicher Fähigkeiten wie etwa das selbstfahrende Auto von Google oder die Wissensmaschine Watson von IBM, auf die sich die Botschafter dieses heilsbringenden Technologieschubs zum Nachweis seiner Realitätsnähe gerne berufen, so auch Brynjolfsson und McAfee (2014); sie sind in der Tat beeindruckend und liefern verblüffende Resultate.

Deren Überzeugungskraft schwindet aber rasch wieder, wenn man sich die extrem hohen Entwicklungsaufwendungen (in der Größenordnung von  $10^3$  Personenjahren) vor Augen führt, auf denen diese Leistungen beruhen und die jeweils ganz speziell auf die zu

bewältigenden Aufgaben zugeschnitten sind: u.a. eine in jedem Detail sehr genaue dreidimensionale Kartierung der Fahrwege (einschl. ihrer – veränderlichen – Begrenzungen) im Falle des selbstfahrenden Autos oder die anwendungsspezifische Implementierung von Heuristiken und sehr großer Bestände enzyklopädischen Wissens im Falle von Watson. Zwar können grundlegende Verfahren etwa der Bildverarbeitung, der statistischen Analyse oder logischer Schlussweisen aufgabenübergreifend wiederverwendet werden, gleichwohl bleiben zum Erschließen neuer Einsatzfälle jeweils aufwendige aufgaben- und kontextspezifische Entwicklungen zu leisten.

Zudem werfen MAS noch tiefer gehende Probleme auf. Agenten sind softwaretechnische Komponenten, die ausschließlich durch Algorithmen bestimmte berechenbare Funktionen ausführen, auch algorithmisch determinierte Verfahren maschinellen Lernens. Zielverfolgendes, kooperatives Verhalten kann ihnen mithin nur durch Programme – mittels definierter Nutzenfunktionen, Lernverfahren, Verhaltensrepertoires und geteilten »Ontologien« – vorgeschrieben werden. In der skizzierten abstrahierenden Perspektive »intentionaler Einstellung« werden MAS jedoch als quasi-soziale Systeme betrachtet und den Agenten Handlungsfähigkeit und Intentionalität zugeschrieben:

*»An agent is an entity whose state is viewed as consisting of mental components such as beliefs, capabilities, choices, and commitments. These components are defined in a precise fashion, and stand in rough correspondence to their common sense counterparts. In this view, therefore, agenthood is in the mind of the programmer: What makes any hardware or software component an agent is precisely the fact that one has chosen to analyze and control it in these mental terms.« (Shoham 1993, S. 52).*

Verführt durch »Metaphernmigration« aus der Soziologie (»social view of computing«, ebd.), birgt diese anthropomorphisierende Betrachtungsweise die große Gefahr, dass das algorithmisch bestimmte adaptive Verhalten von Software-Agenten mit absichtsvollem Handeln von Menschen, dass die maschinelle Welt der Algorithmen und kontextfreien Daten mit der sozialen Welt von kontextabhängigen Bedeutungen, von Reflexion und Intentionalität menschlichen Handelns verwechselt wird. Und tatsächlich ist diese Begriffsverwirrung laufend zu beobachten, wenn etwa Daten mit Information gleichgesetzt werden oder wenn – wie in den Forschungsansätzen der »Sozionik« (Malsch 1998) oder der »Akteur-Netzwerk-Theorie« (ANT, Latour 1996) – technische Artefakte (z.B. Software-Agenten) und soziale Akteure als gleichartige, vernetzte »Aktanten« betrachtet werden, denen gleichermaßen Intentionalität und Handlungsfähigkeit zugeschrieben wird (Rammert 2003).

Mag diese Perspektive zur Untersuchung struktureller Verwandtschaften zwischen MAS und sozialen Systemen hilfreich sein, so ist sie für die Gestaltung soziotechnischer Systeme gänzlich unbrauchbar. In diesen Systemen sollen Menschen mit technischen Artefakten zweckmäßig und effizient zusammenwirken – was in den Vorstellungen zu Industrie 4.0 ausdrücklich vorgesehen ist. Dabei kommt es gerade entscheidend darauf an, den fundamentalen Unterschied zwischen algorithmisch bestimmtem, selbsttätigem Verhalten von artifiziellen Agenten und absichtsvollem, autonomem Handeln von Menschen zu beachten. Ein MAS mag zwar in seinem Verhalten als ein quasi-intentional agierender »humunculus informaticus« erscheinen, ist aber gleichwohl nur ein – wenn auch höchst

problematisches – Arbeitsmittel in den Händen autonomer, kraft Sozialisation und Reflexionsfähigkeit verständiger handelnder Menschen (Brödner 1997, S. 185 ff).

Eben darin wurzelt ein Kernproblem: Wie oben gezeigt, ist das Verhalten von MAS geschichtsabhängig, daher unter gegebenen Umständen nicht oder schwer zu verstehen und nicht vorhersehbar. Wie sollen Menschen sich aber solche Systeme aneignen, wie mit ihnen zweckmäßig und zielgerichtet interagieren, wenn diese sich in vergleichbaren Situationen jeweils anders und unerwartet verhalten? Das wäre ein eklatanter Verstoß gegen eine der Grundregeln der Mensch-Maschine-Interaktion, gegen die Forderung nach erwartungskonformem Verhalten. Zugleich würden auf Seiten der Nutzer stets aufs Neue überzogene Erwartungen an die »Handlungsfähigkeit« der Systeme geschürt. Konfrontiert mit diesen Widersprüchen, zugleich unter dem Erwartungsdruck erfolgreicher Bewältigung ihrer Aufgaben einerseits und angesichts des Verlusts der Kontrolle über Arbeitsmittel mit undurchschaubarem Verhalten andererseits, würden sie unter dauerhaften psychischen Belastungen zu leiden haben (so bereits Norman 1994).

Für die soziotechnische Systemgestaltung ist ferner von grundlegender Bedeutung, wie Aufgaben auf die automatisierten Systeme und die verbleibenden Menschen verteilt werden. Hinsichtlich dieses wesentlichen Gestaltungsaspekts wurden bereits früh anhand von qualifizierten Leitwarten-Tätigkeiten fundamentale »Ironien der Automatisierung« erkannt, die mit zunehmender Komplexität der technischen Systeme noch an Bedeutung gewinnen: Automatisierte Systeme wie MAS sollen möglichst weitreichend menschliche Arbeit ersetzen, deren Arbeitsvermögen aber im Störungs- oder Versagensfall der Systeme unersetzlich ist. Nun schwindet das menschliche Arbeitsvermögen aber dahin, je weniger es im automatisierten Normalbetrieb gebraucht wird. Dabei ist auf längere Sicht ein empfindlicher Verlust praktischer Handlungskompetenz zu verzeichnen, der aus ursprünglich kompetenten Nutzern am Ende hilflose, weil entwöhnte »Bediener« werden lässt (Bainbridge 1983; eindruckliche neuere Beispiele bei Carr 2013).

So nehmen denn in hoch automatisierten, eng gekoppelten Systemen wie MAS immer wieder »normale Katastrophen« (Perrow 1989) ihren Lauf:

- Der Totalverlust der Ariane V als einem fliegenden MAS beim Erstflug 1996 ist darauf zurückzuführen, dass der Überlauf einer Programmvariablen des Inertial-Lenksystems die Ausgabe von Statusdaten an den Navigationscomputer zur Folge hatte, die dieser als »echte« Flugdaten verarbeitete. Aufgrund beträchtlicher »Abweichungen« vom vorgesehenen Kurs wurden die Antriebsbooster bis zum Anschlag ausgelenkt mit der Folge, dass die Rakete sich wegen mechanischer Überbeanspruchung selbst zerstörte (Verlust 370 Mio. USD; [http://de.wikipedia.org/wiki/Ariane\\_V88](http://de.wikipedia.org/wiki/Ariane_V88)).
- Beim Hochfrequenzhandel an Börsen interagieren Handelscomputer wie ein MAS miteinander. Deren letztlich undurchschaubares Gesamtverhalten löst gelegentlich ungewollte Kursabstürze aus, so etwa beim Flash-Crash 2010 oder beim »Knightmare on Wall Street« der hierbei führenden Firma Knight, die 2012 binnen 45 min 440 Mio. USD verlor (heise online 4.8.2012).
- Der Absturz von Air France Flug AF 447 im Südatlantik 2009 ist laut abschließendem Untersuchungsbericht auf einen Strömungsabriss (»stall«) als Folge des Versagens der Geschwindigkeitsmesser und damit des Autopiloten zurückzuführen; die Piloten waren

mit dieser Situation überfordert. Ähnliches gilt auch für einen weiteren »Stall«-Unfall eines Continental Connection Zubringer-Flugs in Buffalo 2009 (Carr 2013). Was wie hier stets als Pilotenfehler eingestuft wird, ist tatsächlich aber oft systematische Folge der »Automatisierungsironie« der mangels Übung verlorenen fliegerischen Kompetenz.

Darüber hinaus werfen Entwicklung und Gebrauch von MAS gewichtige, bislang freilich weitgehend ignorierte ethische Fragen auf: Dürfen Systeme mit derart undurchschaubarem Verhalten überhaupt von der Leine gelassen werden? Wie lässt sich dabei ein hinreichend sicherer Betrieb gewährleisten? Wer ist für allfälliges Fehlverhalten und mögliche Schäden verantwortlich und haftbar zu machen? Sind es die Entwickler oder aber die Betreiber (oder gar die Benutzer) der Systeme? Und wie lässt sich das ggf. nachweisen? Wer haftet bei Schäden als Folge unglücklicher Verkettung äußerer Umstände, selbst wenn das System als solches funktioniert, wie es soll? Aktuell gewinnen diese Fragen im Zusammenhang von Experimenten mit selbstfahrenden Autos im öffentlichen Verkehr an Brisanz und es ist gut möglich, dass deren Zulassung letztlich an unzureichenden Antworten auf diese Fragen scheitert (Hilgendorf 2014).

Neben den heilsverkündenden Apologeten »künstlicher Intelligenz« melden sich zunehmend auch Apokalyptiker zu Wort, die diese Entwicklung als »größte Gefahr für die Menschheit« ansehen und ein Moratorium fordern (heise online 14.01.2015). Beiden ist gemeinsam, gegen Tatsachen weitgehend immun zu sein. So beruhen viele Konzeptionen »künstlicher Intelligenz«, so auch MAS, auf längst widerlegten philosophischen Grundlagen, auf die sie sich meist implizit stützen, gelegentlich gar explizit berufen. Darin ist der tiefere Grund zu sehen, dass Erwartungen wie Befürchtungen völlig überzogen sind:

- So erscheint der *Behaviorismus* (Pawlow 1927, Skinner 1953) zunächst als naheliegende theoretische Basis, da er das Verhalten von Lebewesen allein durch den Zusammenhang von außen beobachtbarer Reize und Reaktionen zu untersuchen und zu bestimmen trachtet. In dieser Hinsicht ist der Ansatz mit der Determination maschinellen Verhaltens vergleichbar. Dabei bleiben freilich die für das Handeln bedeutsamen mentalen Zustände, reflexives Bewusstsein und Intentionalität ausgeblendet.
- Als Ansatz zur Überwindung des Behaviorismus erkennt der *Funktionalismus* (Putnam 1960, Fodor 1968) mentale Zustände als wesentlich für die Erklärung von Verhalten an. Allerdings werden sie ungeachtet ihrer materiellen Realisierung als rein funktionale Zustände betrachtet nach dem Vorbild der Turing-Maschine. Freilich gilt längst auch diese Sichtweise als widerlegt, da – wie Putnam als ihr Begründer später (1991) durch scharfsinnige Gedankenexperimente gezeigt hat – gleiche funktionale Strukturen ganz unterschiedliche Weltbezüge (Gedanken und Erlebnisse) hervorzubringen vermögen.

In seiner neuesten Variante, einer in positivistischer Attitüde verengten Interpretation von »Embodiment« (vgl. u.a. Varela et al. 1991), werden CPS umstandslos mit lebendigen und einfühlsamen, zur Empathie und Reflexion ihres kontextbezogenen Erlebens und Handelns fähigen Körpern von Menschen gleichgesetzt (so zuletzt wieder Jeschke 2015). Übersehen wird dabei erneut die naturwissenschaftlich begründete Differenz deterministischen Verhaltens zu intentional gesteuertem, Sinn erzeugendem menschlichen Handeln und Verstehen im Kontext sozialer Praxis.

Tatsächlich beruhen aber ironischerweise die gelegentlich verblüffend »intelligent« erscheinenden Computerleistungen, entgegen den Postulaten ihrer Apologeten, gar nicht auf spezifischen Konzepten der Forschung zur »künstlichen Intelligenz«, sondern nahezu allein auf exorbitant gesteigerter Rechenleistung. Damit wird ermöglicht, umfangreiche, einsichtsvoll und aufgabenangemessen implementierte Heuristiken mit schnellem Zugriff auf sehr große Bestände kodifizierten Wissens zu verarbeiten bzw. Lernverfahren bei sehr komplexen KNN durchzurechnen (sog. »Brute-force«-Methoden). Intelligent sind nicht die algorithmisch determinierten Computer, sondern deren Programmierer, die diese Möglichkeiten zur Bewältigung jeweils sehr spezifischer Aufgaben zu nutzen verstehen.

#### **4.2 MAS und »holonische« Organisation von Produktionsprozessen**

Im Zuge der Verwissenschaftlichung von Produktion und zunehmend wissensintensiver Wertschöpfung wird Wettbewerb weniger über Preise als über Qualität und vor allem Innovation ausgefochten. So sehen sich Organisationen gezwungen, in einem zunehmend dynamischen Umfeld voller Ungewissheit und geringer Planbarkeit zu agieren, was hohe Anforderungen an ihre Anpassungsfähigkeit stellt. Das ist der tiefere Grund dafür, dass ab den 1980er Jahren versucht wird, schwerfällige tayloristische Fertigungsstrukturen mit ihrer ausgeprägten horizontalen und vertikalen Arbeitsteilung und ihrer zentralen Steuerung mittels Planung, Weisung und Kontrolle durch wandlungsfähigere, objektorientierte zellulare Strukturen mit weitgehend autonomen und auftragsgebunden selbstgesteuerten Einheiten geringer Arbeitsteilung zu ersetzen, die höhere Produktivität und weit geringere Durchlaufzeiten aufweisen und sich für agile Produktion leichter koordinieren lassen (Brödner 2008, 2010).

Systematische Anwendung dieser Strukturierungsprinzipien führt – agelehnt an eine Begriffsbildung von Koestler (1967) – zu sog. »holonischen Organisationen« als besonders entwicklungs- und anpassungsfähigen Systemen. Sie gliedern sich rekursiv über mehrere Ebenen in relativ autonome Teilsysteme (»Holone«). Diese sind weder Teile im Sinne bloßer Komponenten des Ganzen noch völlig unabhängige Ganzheiten. Vielmehr handelt es sich um weitgehend unabhängig operierende, sich selbst steuernde und anpassende Einheiten, die sich zu einem übergeordneten Ganzen fügen, indem sie ihre Operationen koordinieren. Jedes Holon (Organisationszelle) verfügt über die nötigen Möglichkeiten der Anpassung, reflexiven Fähigkeiten und Mittel, seine operativen Aufgaben im Rahmen des Ganzen zu erledigen und sich veränderlichen Bedingungen anzupassen. Dazu besitzt es eine Aufgabenbeschreibung (Modell) und beobachtbare operative Ziele, es vermag relevante Veränderungen ihrer Umwelt wahrzunehmen und seine operativen Prozesse durch Lernen zielorientiert anzupassen im Sinne gestalterhaltender Selbstregulation und produktiven wie innovativen Umgangs mit Umweltveränderungen. Das jeweils übergeordnete System sorgt für Integration und Kohärenz, indem es untergeordnete operative Ziele und Aufgaben koordiniert, deren Erfüllung überwacht und die notwendigen Ressourcen bereitstellt (Koestler 1967, Mathews 1996).

Im vorliegenden Zusammenhang sind holonische Organisationsformen bedeutsam, weil sich in den letzten beiden Dekaden im Rahmen des internationalen Forschungsprogramms »Intelligent Manufacturing Systems (IMS)« und auch entsprechender EU-Förderung die Entwicklung von MAS für die Produktion stark an holonischen Organisationsprinzipien

orientiert hat (vgl. Abb. 2 links). Dazu gibt es eine Fülle von – freilich hauptsächlich akademischer – Literatur (zur Übersicht vgl. Farid 2004, ein typisches Beispiel in Peschl et al. 2011). Allerdings wird dabei mit der Einschränkung auf algorithmisch determiniertes Verhalten von MAS erneut ein Reduktionismus betrieben, gegen den Koestler mit dem Holon-Konzept einst ausdrücklich zu Felde zog.

So scheint paradoxerweise die Realisierung flexibel automatisierter Produktionsprozesse mittels MAS bzw. »cyber-physischer Systeme« deren durchgängige Restrukturierung nach holonischen Organisationsprinzipien vorauszusetzen, um aussichtsreich zu funktionieren. Allerdings wurde holonische Reorganisation (im umfassenden Sinn von Koestler, vgl. Mathews 1996) bereits seit den 1980er Jahren beim Übergang zu wissensintensiver Wertschöpfung systematisch betrieben (etwa in Gestalt von integrierten Konstruktionsteams und Fertigungszellen); diese Bemühungen verstrickten sich freilich oft in den Schwierigkeiten organisationalen Wandels. In real existierenden Organisationen ist dieser mit tiefgreifenden und schwierig zu bewältigenden Veränderungen von Denkweisen, Handlungsrouninen und Machtbeziehungen verbunden, an denen bisher viele Organisationen scheitern. Allein schon aus diesem Grund ist ein Erfolg der MAS-basierten Entwicklungsstrategie fraglich.

### **4.3 Probleme im Umgang mit Big Data**

Auch der Umgang mit Big Data wirft gleich eine ganze Reihe schwerwiegender, teils unlösbarer Probleme auf. Neulich hat in typischer Manier technikeuphorischen Überschwangs der Chefredakteur der Internet-Zeitschrift »Wired« vollmundig »das Ende von Theorie« verkündet: Große Datenmengen könnten theoretisch angeleitete Forschung ablösen, allein auf Korrelationen beruhende Vorhersagen seien Hypothesen-basierten Prognosen überlegen und Korrelation ersetze Kausalität (Anderson 2008). Hinter dieser unfasslichen, aber verbreiteten und verführerischen Narretei steht der alt bekannte Trugschluss »*cum hoc ergo propter hoc*«: Wenn zwei Ereignisse a und b zusammen auftreten, kann man ohne aufwendige zusätzliche Analysen niemals wissen, ob das Ereignis a durch b oder umgekehrt b durch a hervorgerufen wurde, man kann auch nicht wissen, ob beide mit einem gemeinsamen dritten, unerkannten Ereignis zusammenhängen oder ob sie rein zufällig zusammen auftreten. Im Extrem führt das zu dem apophenischen Wahn, in Haufen sinnloser Daten Muster zu erkennen.

Zudem werden kontext- und sinnfreie Daten ständig mit bedeutungsvoller Information aus kontextabhängiger Interpretation verwechselt, wobei suggeriert wird, dass Daten allein schon vermeintlich Information, mithin Bedeutung und Geltung zukomme. Zwar lassen sich bei Kenntnis der Semantik der entsprechenden Verarbeitungsalgorithmen durch gegenstandsbezogene Kombination verschiedener Daten (z.B. in Personenprofilen) Bruchstücke von Kontext rekonstruieren und damit der mögliche Interpretationsrahmen einengen, der gleichwohl unvollständig rekonstruierte Kontext lässt aber immer noch ganz verschiedene Interpretationen und damit auch Fehlinterpretationen zu (Fälle fehlinterpretierter Schufa-Daten etwa legen davon eindrücklich Zeugnis ab). Zudem beschreiben Daten oft eine Realität, die durch die Beschreibung erst geformt wird: Aus deskriptiven können normative Daten, aus Häufigkeiten Gewissheiten gemacht oder interessengeleiteten Deutungen kann machtvoll Geltung verschafft werden (Boyd 2011).

Mit Daten wird so Objektivität und Faktizität suggeriert, wo die tatsächliche Bedeutung sich erst aus dem vollständigen (aber nicht verfügbaren) Kontext ergäbe. Aus eben diesen Gründen gelten vor Gericht Indizienbeweise als höchst problematisch.

Außerdem ist bei großen Datenbeständen, die auch noch aus unterschiedlichen Quellen stammen, die Datenqualität mangelhaft: Daten sind oft nicht repräsentativ, fehlerhaft, obsolet oder gar inkonsistent. Auch lässt sich das Ausmaß dieser Mängel oft nicht einmal abschätzen oder beurteilen. Wenn der Umgang mit Big Data aber nicht anerkannten, streng methodischen Regeln statistischen Schließens folgt, die auch gesichertes Wissen über die Datenqualität einschließen, muss er als pseudowissenschaftlich verbrämtes Kaffeesatzlesen angesehen werden. Wenn Daten zum »bedeutendsten Wirtschaftsgut«, zum »Rohöl des 21. Jahrhunderts« erklärt werden, bedürfen sie wie dieses sorgfältiger und aufwendiger Raffinerie, um valide Information daraus zu gewinnen.

Schließlich bereitet die mangelnde Datensicherheit große Probleme. Erhebliche Risiken ergeben sich für Unternehmen durch Datenverlust und Datendiebstahl, durch Spionage von außen oder Sabotage von innen (wovon derzeit fast tägliche Berichte über »Cyber-Angriffe« zeugen). Diese Risiken steigern sich noch, wenn, wie zunehmend üblich, Daten und Verarbeitungsprozesse an Service Provider oder in die »Cloud« ausgelagert werden. Angesichts von Häufigkeit und Schadensvolumen ist es nachgerade unverständlich, warum Unternehmen ihre im Betrieb von Industrie 4.0 laufend anfallenden, detailreichen, produkt- wie prozessbezogenen, mithin höchst wettbewerbsensiblen Datenströme diesen Risiken aussetzen. Zwar können und müssen laufend technische und organisatorische Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, diese schützen aber niemals hinreichend, denn jede noch so ausgeklügelte Schutzmaßnahme kann, wie die Praxis lehrt, auch wieder überwunden werden.

## 5 Zum Schluss: Perspektiven künftiger Entwicklung

Für die Gestaltung soziotechnischer Systeme, insbesondere für Entwicklung, Einsatz und Gebrauch von Computersystemen in der Produktion, sind schon seit jeher zwei entgegengesetzte Perspektiven im Spiel:

- Die *technikzentrierte Perspektive* weitestgehender Automatisierung von Wissensarbeit wie sie in den Bestrebungen zur »künstlichen Intelligenz« – *AI (Artificial Intelligence)* – angelegt ist: »*Smart machines*« und »autonome Agenten«, zu MAS vernetzt und mit Big-Data-Methoden kombiniert, sollen menschliches Arbeitsvermögen in der Produktion nachahmen und weitgehend ersetzen; deren »Lernfähigkeit« – tatsächlich nur algorithmisch gesteuerte Adaption an Umweltgegebenheiten – soll gleichwohl hinreichende Flexibilität der Anpassung an wechselnde Anforderungen gewährleisten (gemäß der »*intentional stance*«; Minsky 1988, Shoham 1993, Wooldridge 2002).
- In der *praxistheoretischen Perspektive* menschengerecht und aufgabenangemessen gestalteter, als Werkzeug und Kooperationsmedium angeeigneter und genutzter Computersysteme – *IA (Intelligence Amplification)* – sollen diese lebendige Arbeit auf eine Weise unterstützen, dass die Entfaltung von deren Arbeitsvermögen, mithin die

Steigerung ihrer Produktivkraft und Innovationsfähigkeit, ermöglicht und gefördert wird: »*Things that make us smart*« (Norman 1993; vgl. auch Ehn 1988, Winograd 1996).

Die technikzentrierte Perspektive erscheint gerade auch aufgrund kümmerlicher historischer Erfahrungen mit Konzepten »künstlicher Intelligenz«, etwa mit Expertensystemen und CIM, als wenig erfolgversprechend, eher als Verschwendung von Ressourcen. Bei evidenzbasierter Betrachtung beruht der säkulare Erfolg des Einsatzes und Gebrauchs von Computersystemen stattdessen ganz überwiegend auf der praxistheoretisch angeleiteten Perspektive der »Intelligenzverstärkung« und den damit verbundenen Methoden der Organisationsentwicklung. Dabei werden menschliche Reflexions- und Lernfähigkeit mit maschineller Präzision und Geschwindigkeit verknüpft. Ihr muss daher alle Aufmerksamkeit gelten, um Flexibilität mit Effizienz zu verbinden. Dabei muss sich die soziotechnische Gestaltung ganz an den Eigenheiten und Bedürfnissen menschlichen Handelns und sozialer Praxis sowie an den Bedingungen der Entfaltung praktischen Arbeitsvermögens orientieren, um Produktivität und Kreativität zu ermöglichen. Gefordert sind dauerhaft kompetenzerhaltende und lernförderliche Arbeitsaufgaben, durchschau- und beherrschbare, aufgabenangemessene Arbeitsmittel mit erwartungskonformem Verhalten sowie ausreichende Zeitressourcen zur Aneignung der Arbeitsmittel und zu laufender Optimierung von Prozessen (Brödner 2008).

Der reflexiven Dynamik der Explikation von Können als Wissen und der Aneignung von Wissen als erweitertem Können zufolge wird mit dem Einsatz von Computersystemen in Organisationen massiv in deren soziale Praktiken interveniert, oft mit überraschenden Folgen. So erweist sich etwa praktisches Können durch den Gebrauch angemessen gestalteter Artefakte wiederholt »intelligenten«, die menschliche Expertise ersetzenden Automaten als überlegen, sogar dann noch, wenn die Automaten leistungsfähiger als menschliche Experten sind. Beispielsweise hat der Schachweltmeister Kasparov ein zunächst seinem Können überlegenes Computersystem (von vergleichbarer Leistung wie »Deep Blue« von IBM, dem er unterlag) wiederum geschlagen, indem er seinerseits einen wesentlich einfacher gestalteten Computer als Werkzeug zu Hilfe nahm (Kasparov 2010).

Nach diesem Muster des Zusammenwirkens von Menschen und Computer-Artefakten können beispielsweise an CPS laufend erfasste Daten als Grundlage für interaktive Assistenzsysteme mit gebrauchstauglich gestalteter Benutzungsoberfläche zur Rekonfigurierung oder Optimierung von Prozessen, zu deren wirksamer Simulation und Steuerung oder auch zur datengestützten Diagnose von CPS genutzt werden. Dabei ist zwecks gelingender Interaktion wichtig, Benutzern die Möglichkeit zu bieten, in steuerbaren Detaillierungsgraden Einblick in den Verlauf von Maschinenzuständen, in gegebene Einstellungen oder verwendete Methoden zu nehmen. Nur so können sie sich, um zweckmäßig einzugreifen, ein eigenes Bild von den maschinellen Abläufen und dem Zustandekommen von Resultaten machen.

Dieser praxistheoretisch begründeten »IA«-Perspektive zu folgen, hieße, statt auf illusionäre »AI«-Hoffnungen zu setzen, höhere Flexibilität, Produktivität und Innovationsfähigkeit weit wirksamer durch soziotechnische Gestaltung »guter Arbeit« zu erreichen, auf Basis reflexiven und kreativen Zusammenwirkens kompetenter Experten mit gebrauchstauglich gestalteten Computersystemen und dadurch ermöglichter Entfaltung lebendigen Arbeitsvermögens.

## Literatur

- Anderson, C. 2008: The End of Theory, *Wired* 23.06.08
- Bainbridge, L. 1983: Ironies of Automation, *Automatica* 19, S. 775-779
- Barney, J.B. 1991: Firm Resources and Sustained Competitive Advantage, *Journal of Management* 17 (1), S. 99-120
- Bell, D. 1975: Die nachindustrielle Gesellschaft, Frankfurt/M.
- BMBF 2014: Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen, Bonn
- Boyd, D. 2011: Six Provocations for Big Data, [www.softwarestudies.com/cultural\\_analytics/Six\\_Provocations\\_for\\_Big\\_Data.pdf](http://www.softwarestudies.com/cultural_analytics/Six_Provocations_for_Big_Data.pdf) [zuletzt aufgesucht am 10.02.2015]
- Breadshaw, J.M. 1997: An Introduction to Software Agents. In: Breadshaw, J.M. & Hutchinson, F. (eds.): *Software Agents*, Cambridge (MA), S. 3-46
- Brödner, P., 2010: Wissensteilung und Wissenstransformation. In: Moldaschl, M. & Stehr, N. (Hg.): *Wissensökonomie und Innovation. Beiträge zur Ökonomie der Wissensgesellschaft*, Marburg, S. 455-480
- Brödner, P. 2008: Das Elend computerunterstützter Organisationen. In: Gumm, D. et al. (Hg.): *Mensch – Technik – Ärger? Zur Beherrschbarkeit soziotechnischer Dynamik aus transdisziplinärer Sicht*, Münster, S. 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, S. 943-980
- Brödner, P. 1997: Der überlistete Odysseus. Über das zerrüttete Verhältnis von Menschen und Maschinen, Berlin
- Broy, M. (Hg.) 2010: *Cyber-physical systems. Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme*, Berlin Heidelberg: Springer
- Brynjolfsson, E. & McAfee, A. 2014: The Second Machine Age. Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird, Kulmbach
- Carr, N. 2013: All Can Be Lost: The Risk of Putting Our Knowledge in the Hands of Machines, *The Atlantic* No. 11
- Cyranek, G. & Ulich, E. (Hg.) 1993: *CIM – Herausforderung an Mensch, Technik, Organisation*. Stuttgart: Schäffer Poeschel und Zürich: vdf
- Dedrick, J.; Gurbaxani, V. & Kraemer, K.L. 2003: Information Technology and Economic Performance: A Critical Review of the Empirical Evidence, *ACM Computing Surveys* 35, S. 1-28
- Dennett, D.C. 1987: *The Intentional Stance*, Cambridge (MA)
- Drucker, P.F. 1994: The Age of Social Transformation, *The Atlantic* No. 11, S. 53-80
- Ehn, P., 1988: *Work-Oriented Design of Computer Artifacts*, Stockholm
- Farid, A.M.: 2004: *A Review of Holonic Manufacturing Systems Literature*, University of Cambridge
- Fodor, J. 1968: *Psychological Explanation*, New York
- Foerster, H.v. 1993: *Wissen und Gewissen*, Frankfurt/M.
- Forschungsunion & acatech 2013: *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*, Frankfurt/M.
- Giddens, A. 1988: *Die Konstitution der Gesellschaft*, Frankfurt/M.
- Grant, R.M. 1996: Toward a Knowledge-based Theory of the Firm, *Strategic Management Journal* 17, S. 109-122
- Hilgendorf, E. 2014: *Recht, Maschinen und die Idee des Posthumanen*, Telepolis 24.05.2014
- Hunt, V.D. 1989: *Computer Integrated Manufacturing Handbook*. London New York: Kluwer Academic Publishers
- Jeschke, S. 2015: Auf dem Weg zu einer »neuen KI«: Verteilte intelligente Systeme, *Informatik Spektrum* 38 (1), S. 4-9

- Jorgenson, D.W.; Ho, M.S. & Stiroh, K.J. 2008: A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence, *Journal of Economic Perspectives* 22 (1), S. 3-24
- Kasparov, G. 2010: The Chess Master and the Computer, *The New York Review of Books* 11.02.2010
- Koestler, A. 1967: *The Ghost in the Machine*, London
- Kriesel, D. o.J.: Kleiner Überblick über Neuronale Netze, [http://www.dkriesel.com/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/science/neural_networks) [zuletzt aufgesucht am 12.02.2017]
- Latour, B. 1996: On Actor-Network Theory. A Few Clarifications, *Soziale Welt* 47, S. 369-381
- Maes, P., 1994: Agents that Reduce Work and Information Overload, *CACM* 37 (7), S. 31-41
- Malsch, T. (Hg.): 1998: *Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität*, Berlin
- Mathews, J.A. 1996: Holonic Organisational Architectures, *Human Systems Management* 15 (1), S. 27-54
- Minsky, M. 1988: *The Society of Mind*, New York
- Norman, D.A. 1994: How Might People Interact with Agents, *CACM* 37 (7), S. 68-71
- Norman, D.A. 1993: *Things that Make Us Smart*, Reading (MA)
- Penrose, E.T. 1995: *The Theory of the Growth of the Firm*, 3rd edn., New York Oxford
- Perrow, C. 1989: *Normale Katastrophen*, Frankfurt/M.
- Peschl, M.; Link, N.; Hoffmeister, M.; Gonçalves, G. & Almeida, F.L.F. 2011: Design and Implementation of an Intelligent Manufacturing System, *JIEM* 4 (4), S. 718-145
- Peters, K. & Sauer, D. 2006: Epochenbruch und Herrschaft. Indirekte Steuerung und die Dialektik des Übergangs. In: Scholz, D. et al. (Hg.): *Turnaround? Strategien für eine neue Politik der Arbeit*, Münster, S. 98-125
- Prasse, M. & Rittgen, P. 1998: Bemerkungen zu Peter Wegners Ausführungen über Interaktion und Berechenbarkeit, *Informatik-Spektrum* 21, S. 141-146
- Putnam, H. 1960: *Minds and Machines*. In: Hook, S. (ed.): *Dimensions of Mind*, New York
- Putnam, H. 1991: *Representation and Reality*, Cambridge (MA)
- Rammert, W. 2003: Technik in Aktion. In: Christaller, T. & Wehner, J. (Hg.): *Autonome Maschinen – Perspektiven einer neuen Technikgeneration*, Wiesbaden, S. 289-315
- Reckwitz, A., 2003: Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken. Eine sozialtheoretische Perspektive, *Zeitschrift für Soziologie* 32 (4), S. 282-301
- Schmidhuber, J. 2015: Deep Learning in Neural Networks. An Overview, *Neural Networks* 61, S. 85–117
- Sharif, M. et al. 2016: Accessorize to a Crime: Real and Stealthy Attacks on State-of-the-Art Face Recognition, *ACM Conference on Computer and Communication Security*, Vienna
- Shoham, Y. 1993: Agent-Oriented Programming, *Artificial Intelligence* 60, S. 51-92
- Skinner, B.F. 1953: *Science and Human Behavior*. New York
- Varela, F.J.; Thompson, E. & Rosch, E., 1991: *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge (MA)
- Wick, C. 2017: Deep Learning, *Informatik Spektrum* 40 (1), S. 103-107
- WEF 2012: *The Future of Manufacturing. Opportunities to drive economic growth*, a World Economic Forum Report in collaboration with Deloitte Touche Tohmatsu Limited
- Wegner, P. 1997: Why Interaction is More Powerful than Algorithms, *CACM* 40 (5), S. 80-91
- Wiener, N. 1950/66: *Mensch und Menschmaschine. Kybernetik und Gesellschaft*, Frankfurt/M: Athenaeum (engl. Original 1950: *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*, Boston (MA))
- Winograd, T. 1996: *Bringing Design to Software*, Reading (MA)
- Wooldridge, M. 2002: *An Introduction to Multi-Agent Systems*, New York