

# Paradoxien der Ko-Aktion von Experten und adaptiven Systemen

Peter Brödner

## 1 Einführung: Der Rummel um ›künstliche Intelligenz‹

In den letzten Jahren ist im öffentlichen Raum wie in der Computertechnik unter dem Etikett ›Industrie 4.0‹ wieder viel von vermeintlicher ›künstlicher Intelligenz‹ (KI) in Gestalt ›lernender‹ oder ›autonomer Systeme‹ die Rede. Nach der Aufregung um die ›Kybernetik‹ in den 1950er Jahren und dem Gespenst der ›mensenleeren Fabrik‹ in den 1980ern ist es nun schon die dritte Welle einer angekündigten Umwälzung, die freilich bei seriöser Prüfung der Konzepte abermals an der Realität zu scheitern droht (Brödner 2017). Lagen wesentliche Gründe des Scheiterns bei der ›Kybernetik‹ theoretisch in der Begriffsverwirrung um ›Information‹ und praktisch in der Unzulänglichkeit der Rechner-Hardware, bei der ›symbolischen‹ oder ›wissensbasierten KI‹ der 1980er Jahre in der prinzipiell begrenzten, meist unzureichenden Explizierbarkeit praktischen Könnens in propositionales, formal manipulierbares Wissen, so werden derzeit in alternativ verfolgten datengetriebenen sog. ›subsymbolischen‹ Ansätzen v. a. methodische Schwierigkeiten offenkundiger.

Erst jüngst hat die EU-Kommission (2020: 1) in ihrem Weißbuch zur ›KI‹ festgestellt: »Die Künstliche Intelligenz entwickelt sich schnell. Sie wird unser Leben verändern, indem sie die Gesundheitsfürsorge verbessert (z.B. durch präzisere Diagnostik und bessere Prävention von Krankheiten), die Effizienz der Landwirtschaft erhöht, zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel beiträgt, die Effizienz von Produktionsanlagen durch vorausschauende Wartung steigert, ...«. Fast zeitgleich verweist ein Fachkundiger auf sich immer deutlicher abzeichnende Schwächen der neuen ›KI‹: »To the contrary, deep learning techniques thus far have proven to be data hungry, shallow, brittle, and limited in their ability to generalize« (Marcus 2020: 4).

Seit jeher sind die vollmundigen Versprechen über Leistungen der ›KI‹ weit größer als die tatsächlich erreichten Ergebnisse. Theoretischer und konzeptioneller Fortschritt bleibt eng begrenzt, während reale Verbesserungen hauptsächlich auf zwischenzeitlich exponentiell gesteigerter Leistung der Hardware beruhen. Gleichwohl lösen sie im öffentlichen Raum jedesmal große Befürchtungen technisch bedingter Arbeitslosigkeit aus (›Computer als Jobkiller‹). So haben fast drei Viertel (73 %) der Menschen in Deutschland einer aktuellen Umfrage zufolge Angst vor einem Verlust ihres Arbeitsplatzes durch den technologischen Wandel (vgl. heise online 26.01.2020). Der lässt sich aber empirisch nicht nachweisen. Noch immer gilt das Produktivitäts-Paradoxon der Computertechnik, die sich trotz jahrzehntelanger massiver Investitionen so gut wie gar nicht verstärkend auf die gesamtwirtschaftliche Arbeitsproduktivität auswirkt (wohl aber Strukturwandel etwa bei Tätigkeiten und Berufen verursacht; vgl. Weber et al. 2016). Entgegen landläufiger Meinung ist seit der Jahrtausendwende die Arbeitsproduktivität in entwickelten Gesellschaften sogar auf das Niveau vor der industriellen Revolution gesunken (OECD productivity statistics).

Vor diesem Hintergrund hochgradig umstrittener künftiger Entwicklung der Computertechnik lohnt es sich, mögliche Tendenzen und Schwierigkeiten des Zusammenwirkens von Menschen mit fortschrittlichen Computersystemen genauer zu betrachten und daraus Schlüsse für die soziotechnische Gestaltung von Arbeit zu ziehen. Dazu wird im Folgenden zunächst Einsicht in die tatsächliche Genese und Funktionsweise fortschrittlicher Computersysteme genommen, um angesichts fortdauernder Notwendigkeit der Interaktion von Experten mit solchen Systemen näher zu bestimmen, welche neuen oder besonderen Herausforderungen sich dabei ggf. ergeben. Eingedenk des nicht mehr durchschauten Black-Box-Verhaltens der immer komplexer werdenden Systeme und der Unsicherheit ihrer Resultate ist eher mit besonderen psychischen Belastungen und Stressreaktionen zu rechnen. Mittels eines avancierten, empirisch erprobten relationalen Modells

der Stressgenese werden diese Besonderheiten analysiert, um auf dieser Grundlage Schlussfolgerungen für die soziotechnische Gestaltung der Systeme zu ziehen.

## **2 Die Mär ›autonomer Agenten‹ und die meist übersehenen Risiken der Adaptivität**

Auf Selbsttäuschung hinauslaufende Mystifizierungen oder Wahnvorstellungen sind in der Kulturgeschichte keine Seltenheit, auch nicht in Wissenschaft und Technik. Meist gehen sie – von vorherrschenden Interessen geleitet – auf irreführende Begriffe und Bezeichnungen zurück, werden durch Fachsprache scheinbar wissenschaftlich verbrämt oder durch Äußerungen wissenschaftlicher Autoritäten beglaubigt. So wird mit der ständigen Rede von angeblich ›autonomen Agenten‹ oder ›lernenden‹ Systemen sowie von Algorithmen, die »Spiele spielen«, »Bilder erkennen« oder »Sprache übersetzen« gerade das verborgen, was sie tatsächlich ausmacht, dass sie erstens zur Gänze fremdbestimmten Anweisungen folgen, mithin wohl determinierte Operationen ausführen, und dass sie zweitens von ihren Konstrukteuren für jeweils genau bestimmte Zwecke geschaffen wurden. In aller Regel treten die in dieser Sprache zum Ausdruck kommenden Einbildungen oder Selbsttäuschungen paarweise in einer apokalyptischen und einer heilsversprechenden Variante in Erscheinung. Deutlich zeigt sich ein derartiger wahnhafter Zwilling beispielsweise in dem – nach dreißigjähriger Pause – erneut aufgeflamten Diskurs um vermeintliche ›künstliche Intelligenz‹. In maßloser Überschätzung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der darunter subsumierten Systeme warnen einerseits etwa viele sich dazu berufen fühlende Wissenschaftler in einem offenen Brief vor den Gefahren außer Kontrolle geratender »intelligenter Maschinen« (heise online 14.01.2015; Russell et al. 2015), während andererseits Lovelock (2019) mit dem »Novazän« die eher heilsbringende Variante einer maschinellen »Hyperintelligenz« propagiert.

Beide Varianten sind auf Vergleiche äußerlichen Verhaltens von Menschen und Maschinen bei bestimmten Aufgaben fixiert (so schon McCarthy 1955). Gestützt auf längst widerlegte Hypothesen des Funktionalismus (Putnam 1960, Fodor 1968), wird so intelligentes Handeln von Menschen als lebendigen, zu Bewusstsein und Reflexion fähigen Organismen unter der Hand auf die Ausführung berechenbarer Funktionen durch elektronische Schaltsysteme reduziert. Statt sich, durch diesen unzulässigen Reduktionismus gegen Tatsachen und methodische Einwände immunisiert, mittels irreführender anthropomorphisierender Metaphern in phantastische ›Fiction‹ hineinzusteigern, wäre es weit ergiebiger und dem Erkenntnisfortschritt zuträglicher, methodisch gesicherte ›Science‹ zu betreiben und sich der tatsächlichen Genese und Funktionsweise von Computersystemen zu vergewissern, denen fälschlich ›autonomes‹, ›intelligentes‹ oder ›lernendes‹ Verhalten zugeschrieben wird. Dann würde schnell offenkundig, dass das Verhalten dieser Systeme – wie das konventioneller Computersysteme auch – ungeachtet ihrer Komplexität ausschließlich in der Ausführung Turing-berechenbarer Funktionen auf binären Schaltsystemen besteht; zu nichts anderem sind Computer ja auch fähig. Ihre oftmals erstaunlichen Leistungen verdanken sie daher allein dem Können, der Erfahrung und der methodischen Kompetenz, mit denen ihre Konstrukteure die jeweils dem Einsatz zugrunde liegenden Zwecke und Probleme analytisch zu durchdringen und zu deren Bewältigung mittels oft sehr aufwendiger Formalisierung und Abstraktion wirksame Lösungsverfahren in Form ausführbarer Berechnungsmodelle zu entwickeln vermögen (Brödner 2019a, 2019b). So bleiben denn auch die realen Fortschritte entgegen landläufiger Auffassung eher bescheiden; meist beruhen berichtete Fortschritte angesichts geringer konzeptioneller Verbesserungen auf alt bekannten Verfahren, ausgeführt auf exponentiell in der Leistung gesteigerter Hardware.

Seit jeher erfordert der praktische Einsatz von Computersystemen eine sorgfältige und aufwendige Modellierung zeichenbasierter sozialer Praktiken von kognitiver bzw. Wissensarbeit: Mittels Computersystemen kann allenfalls »Kopfarbeit maschinisiert« werden (Nake 1992), wenigstens partiell. Dazu müssen der Problemlösung zugrunde liegende Zeichenprozesse (»Semiosen«, Peirce

1983) in bestimmter Perspektive sachgerecht modelliert werden durch partielle Explikation sozialer Praktiken in Gestalt begrifflichen Wissens über deren Strukturen und Abläufe. Dabei unterliegt die Modellbildung – Kern des Software Engineering – stets Interessen und Machteinflüssen beteiligter Akteure und durchläuft folgende Schritte der Abstraktion und Formalisierung (Andelfinger 1997):

- Semiotisierung: Die zunehmend präzisiertere Beschreibung der betrachteten sozialen Praxis mittels Zeichen liefert ein perspektivisch reduziertes Abbild derselben als Ergebnis gemeinsamer Reflexion und Kommunikation der Akteure (Sprachanalyse, →>Ontologie<). Ergebnis ist ein im wesentlichen sprachlich artikuliertes *Anwendungsmodell*.
- Formalisierung: Dessen Formalisierung durch Abstraktion von situations- und kontextgebundenen Interpretationen mittels Verwendung standardisierter Zeichen und Operationen (funktionale Spezifikation) liefert ein *formales Modell*.
- Algorithmisierung: Die Überführung von Objekten und Abläufen des formalen Modells in auto-operational ausführbare Prozeduren in Form von Daten und berechenbaren Funktionen (Algorithmen) liefert schließlich das *Berechnungsmodell*.

Die berechenbaren Funktionen operieren auf Daten als auf syntaktische Aspekte reduzierten »Quasi-Zeichen« (Nöth 2002), deren binäre Verkörperungen (»Repräsentamen«, Peirce 1983) sie imperativ verändern ohne Ansehen ihrer Bedeutung. Im Computersystem implementiert bilden sie »auto-operationale Formen« als Ausdruck abstrakter, formalisierter Handlungen (Floyd 2002). Deren Sinn muss durch Aneignung für den praktisch wirksamen Gebrauch erst wieder erschlossen werden. So werden die Computersysteme durch Interpretation ihrer Funktionen im Handlungskontext der Arbeitspraxis, wieder in einen – freilich eben dadurch veränderten – Praxiszusammenhang gestellt.

In Verkennung der unüberwindlichen logischen Differenz zwischen zweckmäßig gemachten Artefakten und den sie intentional und einsichtsvoll Machenden wird seitens der Wahnvorstellungen »künstlicher Intelligenz« beharrlich ignoriert, dass Computersysteme gleich welcher Komplexität, wie übrigens klassische Maschinen der Energie- und Stoffumwandlung schon immer, stets lediglich das zur Problemlösung erforderliche explizite methodische und funktionale Wissen vergegenständlichen, das sich der natürlichen analytischen Intelligenz ihrer Konstrukteure verdankt. Den zwecks Maschinisierung körperlicher Arbeit geschaffenen mechanischen Funktionen der Kraftübertragung als dem Kern maschineller Energie- und Stoffumwandlung entsprechen dann bei Computern als semiotischen Maschinen die algorithmischen Funktionen für Datenverarbeitung, -speicherung und -transfer zwecks Maschinisierung kognitiver Wissensarbeit. Als gemachte, programmbezügliche Artefakte sind sie folglich selbst weder »autonom« noch »intelligent« und bleiben bei vielen Aufgaben auf die Mitwirkung von Wissensarbeitern angewiesen, die sich dafür der Systemfunktionen bemächtigen müssen. Gelegentlich lassen sich jedoch zur Bewältigung bestimmter, genau begrenzter Aufgaben selbsttätig ausgeführte maschinelle Funktionen finden; sie bilden dann aufgabenspezifische, menschlicher Leistung oft weitaus überlegene Automaten, nicht aber »autonome« (d.h. nach selbstbestimmten Regeln operierende) Systeme, denn tatsächlich ist ihr Verhalten durch ihre Konstrukteure zur Gänze fremdbestimmt.

Auch das Computersystemen angedichtete »maschinelle Lernen« ist mit menschlichem Lernen in keiner Weise vergleichbar, suggeriert gleichwohl Ähnlichkeit (und wird meist auch so verstanden). Tatsächlich geht es jedoch bei den mathematischen Verfahren sog. »maschinellen Lernens« gleich welcher Art lediglich um bloße Funktions-Approximation an gegebene Datenobjekte: Dabei häufig zugrunde gelegte Berechnungsmodelle oder -verfahren, beispielsweise »künstliche neuronale Netze« (KNN; vgl. Kriesel 2005), sog. »Vector Support Machines« (vgl. Burges 1998), Entscheidungsbaum-Verfahren (vgl. Nilsson 1998), Verfahren zur »Cluster-Analyse« (vgl. McCay 2003) oder lineare Regressionen, werden mit Hilfe einer Kosten- oder Verlustfunktion als Gütemaß während einer »Trainingsphase« an eine meist große Menge gegebener Datenobjekte optimal angepasst, um damit anschließend weitere von außen aufgenommene Daten bestmöglich klassifizieren oder zuordnen zu

können. Die mittels dieser Verfahren durchgeführten Berechnungen liefern jedoch allesamt nur wahrscheinlich zutreffende, daher grundsätzlich unsichere Ergebnisse. Aufgrund dieser Möglichkeiten datengetriebener Verhaltensanpassung werden solche Computersysteme auch korrekterweise als *adaptive Systeme* bezeichnet.

Gleichwohl werden adaptive Systeme, die auf bestimmte Umweltbedingungen programmgesteuert automatisch »rational« und zielverfolgend zu reagieren vermögen, in der Literatur gleich wieder als »intelligente Agenten« mystifiziert (Russell & Norvig 2009). Tatsächlich sind sie lediglich mit einer Mensch-Maschine-Schnittstelle ausgestattet, können über Sensoren Signale aus ihrer Umgebung aufnehmen, damit »passende« Reaktionen berechnen und über Aktoren auf diese wiederum einwirken sowie Daten mit anderen Systemen austauschen (vgl. Abb. 1).

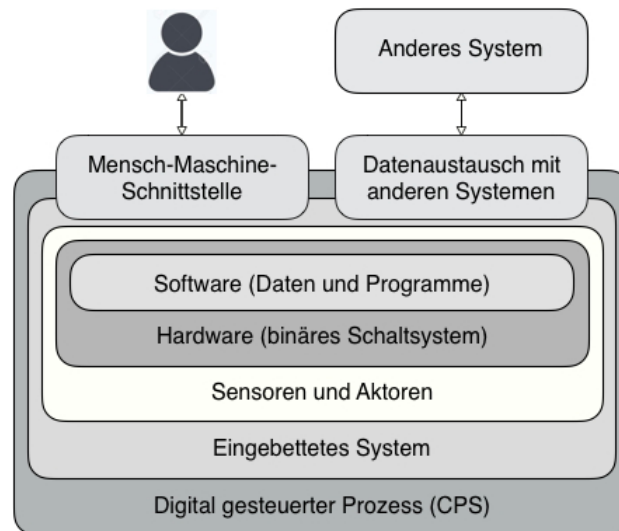


Abb. 1: »Software-Agent« als adaptives System (eigene Darstellung angelehnt an Broy 2010)

Diese adaptiven, sich algorithmisch gesteuert gegebenen Daten aus der Umwelt anpassenden Systeme bilden nun tatsächlich eine besondere Klasse von Computersystemen: Gegenüber nicht-adaptiven Systemen weisen sie u.a. eine höhere Stufe der Undurchschaubarkeit und Unsicherheit auf; ihre Funktionsweise hängt nun nicht mehr allein vom implementierten Programm(-system), sondern auch noch von den jeweils für die Funktions-Approximation verwendeten Datenobjekten ab. Ihre Leistungsfähigkeit steht und fällt daher mit der Güte der zur Anpassung verwendeten Daten. Deren Qualität, etwa hinsichtlich Erhebungsmethodik, Repräsentativität oder Validität, ist aber meist fragwürdig, durch unbekannte Verzerrungen kontaminiert und daher auch kaum im Vorhinein einschätzbar.

Oftmals ist die Funktionalität einzelner adaptiver Systeme oder »Software-Agenten« (Bradshaw & Hutchinson 1997) auf die selbsttätige Bewältigung relativ begrenzter Aufgaben beschränkt. Sollen dann auch komplexere Aufgaben, etwa in einer dynamischen physischen Umwelt bewältigt werden, lassen sich solche begrenzt automatischen Software-Agenten derart einrichten und miteinander zu einem Netzwerk verbinden, dass sie ihr Verhalten mittels Datenaustausch zu koordinieren vermögen, um so komplexere Aufgaben durch Interaktion in einem Multi-Agenten-System (MAS) gemeinsam zu erledigen (Wooldridge 2002).

Auch wenn einzelne im Systemverbund interagierende »Agenten« relativ einfache Programme befolgen und gut durchschaubares Verhalten aufweisen, zeigt das MAS insgesamt ein zwar vollständig determiniertes, aber hoch komplexes und analytisch von außen nicht bestimmbares Verhalten. 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 adaptives Verhalten zum Ausdruck bringen (vgl. Abb. 2).

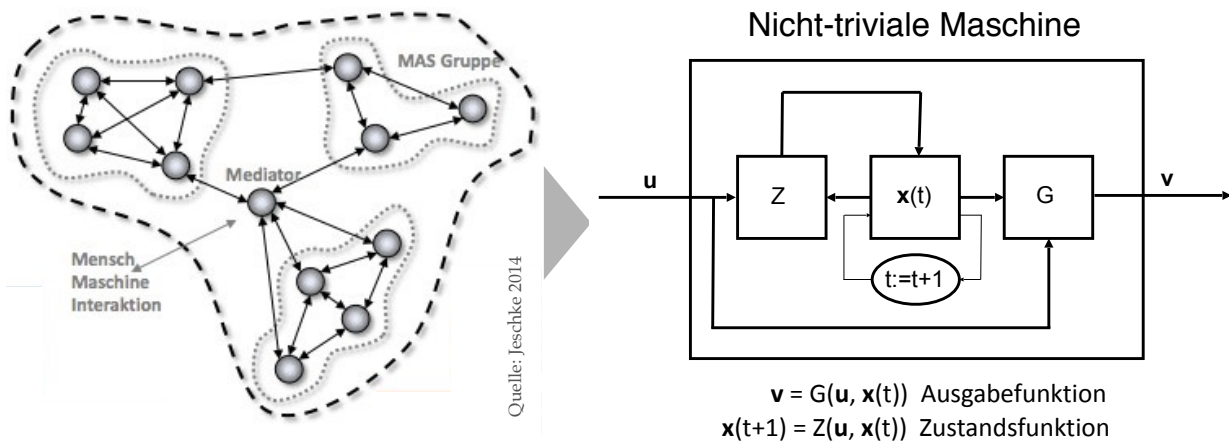


Abb. 2: Nicht-triviale Maschine (v. Foerster 1993) als Modell von Multiagentensystemen (eigene Darstellung)

Infolgedessen ist das Verhalten von MAS in hohem Maße von der jeweiligen Vorgeschichte abhängig, analytisch nicht mehr bestimmbar und mithin auch nicht vorhersehbar. Ihr situatives Verhalten ist für Beobachter nicht mehr nachzuvollziehen. Wenn sich solche Systeme in vergleichbaren Situationen jeweils anders und unerwartet verhalten, bereitet das ihren Benutzern beträchtliche Schwierigkeiten, sich diese für praktisch wirksamen Gebrauch anzueignen und mit ihnen zweckmäßig und zielgerichtet zu interagieren. Damit würde eklatant gegen eine der Grundregeln der Mensch-Maschine-Interaktion verstoßen, gegen die Forderung nach erwartungskonformem Verhalten (vgl. EN ISO 9241-11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit). Damit wird ein Zusammenwirken von Wissensarbeitern und adaptiven Systemen, das in Anbetracht ihrer i.a. begrenzten Leistungen auch in der absehbaren Zukunft erforderlich bleibt, auf eine neue, bislang kaum beachtete Stufe gehoben.

So wirft der instrumentelle Gebrauch adaptiver Systeme eine Reihe gravierende Probleme sowohl epistemischer wie ethischer Natur auf, macht ihn im Grunde nahezu unmöglich: Das Verhalten von »KI«-Algorithmen – hier v.a. künstliche neuronale Netze (KNN) und Verfahren induktiver Statistik – ist selbst für ihre Entwickler aktuell weder im einzelnen durchschaubar (»inconclusive evidence«) noch im Nachhinein erklärbar (»inscrutable evidence«). Sie produzieren nur wahrscheinliche, daher stets unsichere Ergebnisse, deren Korrektheit und Validität nur schwer zu beurteilen sind. KNN sind zudem sehr störanfällig und leicht auszutricksen. Die Ergebnisse, die sie liefern, sind in hohem Maße von der Qualität der Eingabedaten abhängig, die aber meist ebenfalls unbekannt oder nur schwer einschätzbar ist (»misguided evidence«). Zugleich werden auf Seiten der Nutzer stets aufs Neue überzogene Erwartungen an die »Handlungsfähigkeit« der Systeme geschürt, mithin gar ihre Wahrnehmung der Wirklichkeit verändert (»transformative effects«; vgl. Mittelstadt et al. 2016: 4f; Brödner 2019b).

Finden sich Wissensarbeiter als Nutzer solcher Systeme mit derartigen Widersprüchen konfrontiert, sind sie insbesondere hohem Erwartungsdruck erfolgreicher Bewältigung ihrer Aufgaben unterworfen bei gleichzeitigem Verlust der Kontrolle über Arbeitsmittel mit undurchschaubarem und ungewissem Verhalten, so werden sie dadurch dauerhaft psychischen Belastungen ausgesetzt (so Norman bereits 1994 im Hinblick auf »Agenten« als frühen adaptiven Systemen; vgl. auch Bradshaw et al. 2011; Kabel et al. 2001). Diese neuartige Belastungssituation besteht zumindest, solange diese Systeme nicht in die Lage versetzt werden können, ihr eigenes Verhalten situationsspezifisch in erforderlichen Einzelheiten zu erklären, was derzeit – obgleich häufig gefordert – bislang jedoch in weiter Ferne liegt (vgl. etwa Kindermans et al. 2017, Park et al. 2017). Auch lässt sich dann von Interaktion im Sinne gewohnten instrumentellen Gebrauchs von Computersystemen nicht mehr sprechen; vielmehr handelt es sich infolge des veränderlichen

Verhaltens um *Ko-Aktion* von Menschen und adaptiven Systemen (Hubig 2019), die ihre Betreiber und Nutzer vor besondere Herausforderungen stellen.

So werden mit dem Einsatz adaptiver Systemen auch Fragen nach der ethischen Verantwortbarkeit aufgeworfen: Dürfen derart undurchschaubare und störanfällige Artefakte überhaupt eingesetzt werden, da man ihre Resultate nicht zuverlässig beurteilen kann, sich blind auf sie verlassen muss? Wer ist gegebenenfalls für eingetretene Schäden verantwortlich – die Entwickler?, die Betreiber? oder gar die Nutzer? – und wie werden daraus entstehende Haftungsansprüche geregelt? Bisher dazu getroffene oder sich abzeichnende Regelungen sind noch unzureichend und unbefriedigend.

Auch hier gelten seit langem diagnostizierte »Ironien der Automatisierung« (Bainbridge 1983) zugespitzt weiter: Von besonderer Bedeutung ist dabei die Ironie, dass ausgerechnet die im Stör- oder Versagensfall unverzichtbare menschliche Handlungskompetenz mangels Aneignungsmöglichkeiten gar nicht ausreichend entwickelt wird bzw. mangels hinreichender Übung und Erfahrung bei automatischem Normalbetrieb schwindet. Es fehlen organisatorische Konzepte, wie dieser Art »erlernter Inkompetenz« entgegengewirkt werden kann. In Schadensfällen wird die Ursache meist dichotomisch in »menschlichem Versagen« oder in einer technischen Störung gesucht und dabei die wahre, in fehlgeleiteter soziotechnischer Arbeitsgestaltung liegende Ursache ignoriert. Die tatsächlich jedoch systemisch bedingte mangelnde Kompetenz, in Verbindung mit der durch Untätigkeit oder Ablenkung geschwächten Vigilanz, führt dann bei plötzlich notwendigen Eingriffen zu beträchtlichen Problemen der Bewältigung, etwa zu fehlerhaften Diagnosen und falschen oder riskanten Handlungen.

Beispiele und empirische Erkenntnisse zu diesen letzteren Herausforderungen gibt es aus der Forschung über Leitwarentätigkeiten, Flugführung oder automatisiertes Fahren zuhauf, gleichwohl wurden bislang wenig weiterführende Konsequenzen gezogen. Daher ist infolge dieser noch weitgehend ungelösten Schwierigkeiten im praktischen Einsatz und Gebrauch adaptiver Systeme in naher Zukunft mit beträchtlichen Verzögerungen der Entwicklung zu rechnen (vgl. Bainbridge 1983, Baxter et al. 2012, Casner et al. 2014, Casner et al. 2016, Weyer 2007).

Mithin wirft der Einsatz adaptiver Systeme insgesamt eine Reihe schwerwiegender Fragen nach soziotechnischer Systemgestaltung und dem menschengerechten Umgang mit diesen Systemen auf. Als einer dieser Fragen, die bislang kaum Beachtung gefunden hat, der Frage danach, wie die weitgehende Undurchschaubarkeit und Ungewissheit des Verhaltens von Software-Agenten oder MAS sich in der *Ko-Aktion* mit diesen Systemen auf psychische Belastungen ihrer Nutzer auswirkt, soll im folgenden näher nachgegangen werden.

### **3 Ein relationales Modell der Stressgenese**

Im Zuge der Abkehr von tayloristischen Arbeitsstrukturen mit ihrer stark ausgeprägten horizontalen und vertikalen Arbeitsteilung und Spezialisierung, die sich wegen schwerfälliger Planung und Koordination einer zunehmend dynamischen Umwelt nicht mehr gewachsen zeigen, entstehen komplexe Arbeitsaufgaben, die nur durch selbstorganisierte Kooperation in kleinen Gruppen zu bewältigen sind. Dadurch ergeben sich angereicherte, vielseitige und sinnhafte Tätigkeiten, die hinsichtlich Methoden und Abläufen in vergleichsweise großer Autonomie ausgeübt werden können. Zudem hat der Umfang an projektförmig organisierter Wissensarbeit beträchtlich zugenommen mit weiter wachsender Tendenz. Gerade diese Arbeit erfordert auch selbstorganisierte Kooperation. Nach dem damaligen arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisstand entsprachen diese Arbeitsformen weitgehend den Modellvorstellungen guter menschengerechter Arbeit (Ulich 1994). Zugleich zeigen sich aber gerade bei diesen neuen Arbeitstätigkeiten oft auch hohe psychische Belastungen und Stressreaktionen, die auf Unstimmigkeiten in diesen Vorstellungen verwiesen.

Vor diesem Hintergrund entstand das in der Stressforschung weithin beachtete »Job Demand and Control«-Modell der Stressgenese von Karasek & Theorell (1990), das gleichfalls auf den

Zusammenhang von Arbeitsanforderungen und Handlungsspielraum fokussiert. Diesem Modell zufolge hängen Stressreaktionen wesentlich von zwei Faktoren ab, hohen herausfordernden Arbeitsanforderungen unter Zeitdruck und dem Ausmaß des Handlungsspielraums in der Arbeit. Autonomie hat dabei eine moderierende Wirkung: Gesteigerte Arbeitsanforderungen können geringere Stressreaktionen auslösen, wenn die Arbeitsperson ihren Arbeitsprozess hinsichtlich der Arbeitsmittel und Vorgehensweise zu kontrollieren vermag. So könnten selbst hohe Arbeitsanforderungen in Verbindung mit weitreichender Kontrolle über den Prozess zu Wohlbefinden und persönlicher Entwicklung führen, soweit sie Lernprozesse ermöglichen.

Da damit die angedeuteten Unstimmigkeiten in diesem Modellansatz der Ausbalancierung von Anforderungen und Kontrolle nicht wirklich überwunden werden, haben Maslach & Leiter (1997) den Ansatz erweitert, indem sie in ihrem Modell berücksichtigen, dass Stressreaktionen von einem ganzen Bündel an Diskrepanzen zwischen Arbeitsanforderungen und verfügbaren Ressourcen abhängen. Diese Diskrepanzen können, wenn sie länger andauern, zu »Burnout« als einem Zustand physischer und emotionaler Erschöpfung und reservierter Gleichgültigkeit führen. Im einzelnen richten sie dabei ihr Augenmerk auf die Diskrepanz zwischen Arbeitsbelastung und Ressourcen, auf mangelnde Kontrolle, auf unzureichende soziale Anerkennung und unfaire Behandlung, auf den Verlust unterstützender sozialer Beziehungen in der Arbeit sowie auf individuelle und organisationale Wertkonflikte. Auf diese Weise haben sie nicht nur die Bedürfnisse und Ressourcen der Arbeitspersonen im Arbeitsprozess im Blick, sondern vor allem auch die Bedingungen der Arbeitsumgebung, in die er eingebettet ist (vgl. Kira 2002, 2003).

Dieser letzte Modellansatz kommt der hier vertretenen Erklärung von Stressgenese schon sehr nahe, weist aber in einer wichtigen Hinsicht noch Defizite auf. Das Kernproblem ist, dass dabei in Betracht gezogene Ressourcen, insbesondere etwa der Grad an Autonomie, *per se*, ohne Rücksicht auf situative Umstände, als Ressourcen aufgefasst werden. Gerade Wissensarbeit unterscheidet sich aber in verschiedener Hinsicht von industrieller Handarbeit: Sie ist oft hoch komplex und erfordert in der Regel vielseitige Fähigkeiten der Problemlösung, etwa zur Erkundung noch unbekannter Lösungen, die gezielt nach wechselnder Kooperation mit anderen Experten oder gar Kunden verlangen. Damit ist Wissensarbeit in hohem Maße auf individuelle Erfahrung und persönliches Können angewiesen. Infolgedessen muss ein adäquater Modellansatz im Kern eine relationale Perspektive auf Arbeitsanforderungen und Ressourcen eröffnen. Mögliche Ressourcen dürfen nicht mehr nur als solche bestimmt und in Betracht gezogen werden, sondern nur in Relation zur jeweiligen Arbeitssituation und den übrigen Bedingungen, unter denen sie aktiviert werden.

Mit der Perspektive »widersprüchlicher Arbeitsanforderungen« (Moldaschl 2005) wurde ein theoretischer Zugang zu diesen Zusammenhängen gefunden und als relationales Modell der Stressgenese operationalisiert. Diesem Modell zufolge werden arbeitsbedingte Belastungen verursacht durch Widersprüche oder Diskrepanzen zwischen in einer Situation gegebenen Arbeitsanforderungen, eingespielten Regeln und verfügbaren Ressourcen. Stressreaktionen entstehen dann, wenn (Wissens-)Arbeiter Widersprüche zwischen Anforderungen, Regeln und Ressourcen zu bewältigen haben, die das Erreichen der Arbeitsziele behindern oder erschweren, dadurch Gesundheit wie Motivation beeinträchtigen. Insbesondere können damit über individuelle Gegebenheiten hinaus auch organisationale Aspekte wissensbasierter Projektarbeit analysiert werden.

In dieser relationalen Sicht werden Ressourcen als wirksame Mittel betrachtet, die (Wissens-)Arbeiter in einer Arbeitssituation zu aktivieren vermögen, um ihre jeweiligen Ziele zu erreichen. Ob etwas als Resource dienen kann oder nicht und welche Wirksamkeit sie dabei entfaltet, hängt dann von den Kontext- und Rahmenbedingungen ab, unter denen die Arbeit ausgeführt wird. Ressourcen lassen sich mithin nur im Gebrauch selbst bestimmen: Einige verfügbare Mittel mögen als Resource genutzt werden können, um Widersprüche in den Anforderungen aufzulösen, sie können aber auch unter anderen Umständen als Stressoren wirken. Beispielsweise kann soziale Unterstützung bei der Lösung einer Aufgabe helfen, unter besonderem

Zeitdruck kann eben dies aber auch hinderlich sein. Ebenso mag Autonomie als Ressource bei der Verbesserung von Arbeitsprozessen dienen, sie bleibt aber ohne Wirkung, wenn andere Bedingungen sie nicht zu nutzen erlauben. Mit Blick auf Operationalisierung wird darauf fokussiert, dass psychischer Stress vor allem durch notwendig gewordene Zusatzarbeit angezeigt wird und dass darüber hinaus in erhöhtem Maße Bewältigungskompetenzen im Umgang mit unausgeglichenen bzw. widersprüchlichen Arbeitsanforderungen, etwa Missverhältnissen von Aufgaben und verfügbaren Ressourcen, hohem Zeitdruck oder häufigen Arbeitsunterbrechungen, in Anspruch genommen werden (Brödner 2009; vgl. Abb. 3).

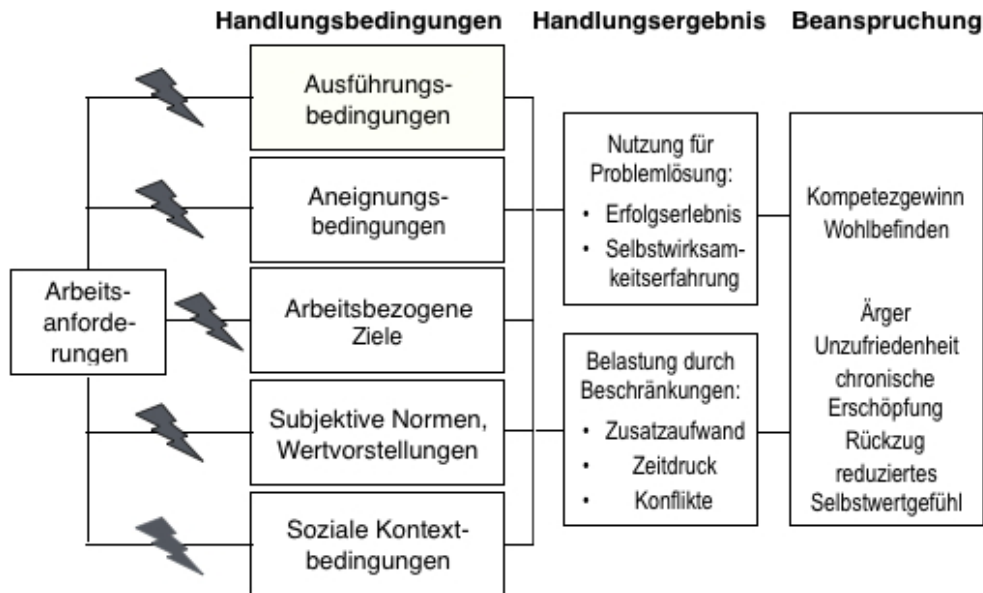


Abb. 3: Ein relationales Modell der Stressgenese  
(eigene Darstellung angelehnt an Brödner 2009 und Gerlmaier & Latniak 2011)

Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang zudem, dass die meisten der dabei betrachteten menschlichen Ressourcen *generativer* Natur sind, d.h. dass sie im Gebrauch nicht wie physische Ressourcen verschleißten, sondern eher wachsen. So gehören zu den generativen Ressourcen etwa persönliche Fähigkeiten und Kenntnisse sowie soziale Beziehungen wie Vertrauen oder Verpflichtung. Dagegen können sie auch leicht zerstört werden, wenn Gelegenheiten und Fähigkeiten zur Erholung von Stress fehlen oder zu stark eingeschränkt sind. Gute soziotechnische Systemgestaltung hat daher dafür zu sorgen, dass sich generative Ressourcen im Arbeitsprozess mindestens in dem Maße neu bilden und entfalten können wie sie anderweitig zerstört werden.

#### 4 Folgerungen für Arbeitsbelastungen und nachhaltige Gestaltung von Ko-Aktion

Das dargestellte relationale Modell der Stressgenese ist in einer Vielzahl von Projekten zur Analyse und Gestaltung von Wissensarbeit, insbesondere auch computerunterstützter kognitiver Arbeit, erfolgreich verwendet, erprobt und in Einzelheiten der Operationalisierung verfeinert worden (Gerlmaier & Latniak 2011). Schon beim Einsatz von und Umgang mit herkömmlichen Computersystemen häufig angetroffene typische Beispiele für widersprüchliche und folglich Stress generierende Arbeitssituationen sind beispielsweise:

- Widersprüche zwischen Aufgaben und Ausführungsbedingungen oder Lernmöglichkeiten beschränken die Handlungsregulation bzw. die Aneignung nötigen Wissens: z.B. entsteht Zusatzaufwand durch gebrauchsuntaugliche Werkzeuge.
- Widersprüchliche Ziele der Projektarbeit stürzen Arbeitspersonen in Loyalitätskonflikte.



- Widersprüche zwischen aufgabenbezogenen und persönlichen bzw. professionellen Werten verursachen Wertkonflikte.

In der Ko-Aktion mit adaptiven Systemen (sog. »intelligenten Agenten«) sehen sich (Wissens-)Arbeiter mangels ausreichender Kontrolle über ihr Arbeitsmittel (wie oben ausgeführt) mit weiteren gravierenden widersprüchlichen Arbeitsanforderungen konfrontiert, insbesondere dann, wenn sie infolge indirekter Steuerung und »interessierter Selbstgefährdung« (Peters 2011) unter starkem Leistungsdruck stehen. Als System-Nutzer sind sie dann infolge der Intransparenz des Systemverhaltens und der Unsicherheit seiner Ergebnisse

- zu blindem Vertrauen in die Systemausgaben verdammt, deren Validität und Qualität sie jedoch nicht zu beurteilen vermögen – ein Widerspruch zwischen Arbeitsanforderung und Ausführungsbedingungen,
- daran gehindert, sich die Systemfunktionalität für instrumentelles Handeln hinreichend anzueignen (wegen Verletzung des Grundsatzes der Erwartungskonformität) – ein Widerspruch zwischen Arbeitsanforderung und Aneignungsbedingungen,
- oft auch im Unklaren darüber gelassen, wie mit Fehlleistungen umgegangen und wer dafür verantwortlich gemacht wird – ein Widerspruch zwischen Arbeitsanforderung und Werten,
- aufgrund der Differenz zwischen erwartetem und tatsächlichem Systemverhalten bei zugleich hoher Leistungserwartung auch hier zu beträchtlichem Zusatzaufwand veranlasst sowie vor Loyalitäts- und Wertkonflikte gestellt.

In Anbetracht der begrenzt erscheinenden Möglichkeiten vollständiger Automatisierung, dazu geeignet, ganze Arbeitsprozesse komplett zu ersetzen, ist auf absehbare Zeit mit der Notwendigkeit des Zusammenwirkens von Wissensarbeitern mit adaptiven Systemen zu rechnen. Dafür können nun, gestützt auf das vorgestellte relationale Modell der Stressgenese, Schlussfolgerungen für die soziotechnische Arbeitsgestaltung der Ko-Aktion gezogen werden. Um dazu nachhaltige, produktive und zugleich sozialverträgliche Arbeitssysteme zu schaffen, in denen Wissensarbeiter durch fortgeschrittene Computersysteme adäquat unterstützt werden, sind eine Reihe von Forderungen zu erfüllen.

Zunächst sollte für Aufgaben, deren Bewältigung weiterhin qualifizierte (Wissens-)Arbeit erfordert, der Einsatz adaptiver Systeme wegen der damit verbundenen widersprüchlichen Arbeitsanforderungen mit ihren hohen Stressrisiken, insbesondere wegen der kaum einschätzbaren Qualitätsprobleme bei den System-Trainingsdaten und wegen der Unsicherheiten ihrer Ergebnisse, überhaupt vermieden werden. Dieser Verzicht empfiehlt sich jedenfalls, solange die Systeme ihr Verhalten und die gelieferten Resultate nicht auf Verlangen im einzelnen zu erklären vermögen. Zwar wird an der Selbsterklärung des Systemverhaltens derzeit geforscht, aber mit bei weitem noch nicht befriedigenden Ergebnissen (vgl. Kindermans et al. 2017; Park et al. 2017). Einstweilen sollte daher der Einsatz adaptiver Systeme, um diesen besonderen Risiken zu entgehen, auf solche Aufgaben und Einsatzfälle beschränkt werden, die sich mit hinreichender Ergebnissicherheit vollständig automatisieren lassen.

Dementsprechend sollten sich weitere Forschungsanstrengungen zu adaptiven Systemen auf die Entwicklung und Implementierung von Einrichtungen konzentrieren, die auf Verlangen fragwürdiges Systemverhalten nachvollziehbar zu erklären vermögen. Dabei ist wichtig, den Fokus und Detaillierungsgrad der Erklärung situationsabhängig wählen zu können derart, dass für die Nutzer Lern- und Aneignungsmöglichkeiten erweitert werden.

Des Weiteren sollte, um widersprüchliche Arbeitsanforderungen und daraus resultierende Belastungen durch den Einsatz adaptiver Systeme möglichst einzuschränken, in Fällen des Systemversagens Verantwortung nur aufgrund sorgfältiger Untersuchungen und umfassender Analysen und nicht vorschnell menschlichem Versagen zugeschrieben werden. Es muss legitim

sein, unzureichend erklärte Systemresultate zu umgehen. Zudem müssen auch adaptive Systeme haftbar gemacht werden können. Dafür sind ausreichende Untersuchungskapazitäten einzurichten.

Darüber hinaus sollten adaptive Systeme, wie übrigens frühere Hochrisiko-Artefakte auch schon, einer öffentlich kontrollierten Zertifizierung unterliegen. Dabei muss der Beurteilung der Qualität der Erklärungskomponenten hinsichtlich der Lern- und Aneignungsmöglichkeiten durch die Nutzer besondere Aufmerksamkeit zuteil werden.

## **5 Ausblick: Perspektiven künftiger soziotechnischer Arbeitsgestaltung**

Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand bleibt einstweilen nur die Wahl, Arbeitsprozesse mittels adaptiver Systeme entweder vollständig zu automatisieren und ihnen trotz aller Risiken des Versagens blindlings zu vertrauen oder aber auf deren Einsatz zu verzichten. Damit stellt sich die Frage nach alternativer Gestaltung von produktiven und sozialverträglichen Arbeitssystemen umso dringlicher.

Im Kern müsste dazu die vorherrschende ideologische Fixierung und trügerische Hoffnung auf ›künstliche Intelligenz‹ und das datengetriebene ›maschinelle Lernen‹ überwunden werden. Anstatt Fragen nach der Beschaffung möglichst umfangreicher Datenbestände und ihrer automatischen Verarbeitung nachzugehen, deren Brauchbarkeit und Nutzen höchst fragwürdig ist, wäre es weit angemessener, zunächst einmal drängende Probleme zu identifizieren, die Produktions- und Dienstleistungsprozesse tatsächlich in ihrer Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Statt nach Problemen zu suchen, auf die altbekannte Methoden und deren Vergegenständlichung in leistungsstarken Software-Artefakten passen, sollte eher danach gesucht werden, wie zur Lösung von Problemen die besonderen Fähigkeiten und Erfahrungen menschlicher Experten mit der Leistung von Computersystemen wirksam unterstützt werden können. Dementsprechend sollten Forschungsanstrengungen auf die Entwicklung fortgeschrittener Computersysteme ausgerichtet werden, die qualifizierte (Wissens-)Arbeit unterstützen und effektiver machen, aber nicht ersetzen (vgl. auch Norman 2017; Brödner 2019b).

Zur Lösung solcher Probleme können dann organisatorische ebenso wie technische Lösungsansätze mit entsprechender Personalentwicklung in Betracht gezogen werden. Wie bisherige Ansätze zur Leistungssteigerung von Organisationen, insbesondere auch der Einsatz von Computersystemen, lehren, sind organisatorische Veränderungen sogar meist günstiger und effektiver.

## **Literatur**

Andelfinger, U. (1997): Diskursive Anforderungsanalyse. Ein Beitrag zum Reduktionsproblem bei Systementwicklungen in der Informatik, Frankfurt/M: Peter Lang

Bainbridge, L. (1983): Ironies of Automation, *Automatica* 19 (6), 775-779

Baxter, G.; Rooksby, J.; Wang, Y. & Khajeh-Hosseini, A. (2012): The Ironies of Automation ... still going strong at 30?, in: P. Turner & S. Turner (eds.): European Conference on Cognitive Ergonomics, ECCE '12, Edinburgh (UK), August 28-31, 2012, 65-71

Bradshaw, J.M.; Feltovich, P. & Johnson, M. (2011): Human-Agent Interaction, in: G.A. Boy (ed.): *The Handbook of Human-Machine Interaction. A Human-Centered Design Approach*, Boca Raton (FL): CRC Press

Bradshaw, J.M. & Hutchinson, F. (eds.) (1997): *Software Agents*, Cambridge (MA): MIT Press

Brödner, P. (2019a): Coping with Descartes' Error in Information Systems, *AI & Society Journal of Knowledge, Culture and Communication* 34, 203-213

- Brödner, P. (2019b): Grenzen und Widersprüche der Entwicklung und Anwendung ›Autonomer Systeme‹, in: H. Hirsch-Kreinsen & A. Karačić (Hg.): *Autonome Systeme und Arbeit. Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt*, Bielefeld: transcript, 69-97
- Brödner, P. (2017): Die dritte Welle der »automatischen Fabrik« – Mythos und Realität semiotischer Maschinen, in: G. Banse; U. Busch & M. Thomas (Hg.): *Digitalisierung und Transformation. Industrie 4.0 und digitalisierte Gesellschaft, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften Band 49*, Berlin: trafo Wissenschaftsverlag 2017, 165-184
- Brödner, P. (2009): Sustainability in Knowledge-Based Companies, in: P. Docherty; M. Kira & R. Shani (eds.) (2009): *Creating Sustainable Work Systems. Developing Social Sustainability*, London: Routledge, 53-69
- Broy, M. (Hg.) (2010): *Cyber-physical systems. Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme*, Berlin Heidelberg: Springer
- Burges, C.J.C. (1998): A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition, *Data Mining and Knowledge Discovery* 2, 121-167
- Casner, S.M.; Hutchins, E.L. & Norman, D. (2016): The Challenges of Partially Automated Driving, *CACM* 59 (5), 70-77.
- Casner, S.M.; Geven, R.W.; Recker, M.P. & Schooler, J.W. (2014): The Retention of Manual Flying Skills in the Automated Cockpit, *Human Factors* 56 (8), 1506-1516.
- EU Kommission (2020): *Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz – ein europäisches Konzept für Exzellenz und Vertrauen*, Brüssel: EU-Kom
- Floyd, C. (2002): Developing and Embedding Autooperational Form, in: Y. Dittrich; C. Floyd & R. Klischewski (Eds.): *Social Thinking – Software Practice*, Cambridge (MA): MIT Press, 5-28
- Fodor, J. 1968: *Psychological Explanation. An Introduction to the Philosophy of Psychology*, New York: Random House
- Foerster, H. von (1993): *Wissen und Gewissen*, Frankfurt/M: Suhrkamp
- Gerlmaier, A. & Latniak, E. (Hg.) (2011): *Burnout in der IT-Branche. Ursachen und betriebliche Prävention*, Kröningen: Asanger Verlag
- Hubig, C. (2019): Haben autonome Maschinen Verantwortung?, in: H. Hirsch-Kreinsen & A. Karačić (Hg.): *Autonome Systeme und Arbeit. Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt*, 275-298
- Jeschke, S. (2015): Auf dem Weg zu einer »neuen KI«: Verteilte intelligente Systeme, *Informatik Spektrum* 38 (1), S. 4-9
- Kabel, D.B.; Riley, J.M.; Tan, K.-W. & Endsley, M.R. (2001): On the Design of Adaptive Automation for Complex Systems, *Int. Journal of Cognitive Ergonomics* 5 (1), 37-57
- Karasek, R. & Theorell, T. (1990): *Healthy Work. Stress, Productivity, and the Reconstruction of Working Life*, New York: Basic Books
- Kindermans, P.-J.; Schütt, K.T.; Alber, M.; Müller, K.-R.; Erhan, D.; Kim, B. & Dähne, S. (2017): Learning how to Explain Neural Networks: PatternNet and PatternAttribution, arXiv:1705.05598v2
- Kira, M. (2003): *From Good Work to Sustainable Development – Human Resource Consumption and Regeneration in the Post-Bureaucratic Working Life*, Stockholm: KTH
- Kira, M. (2002): Moving from Consuming to Regenerative Work, in: P. Docherty; M. Kira & R. Shani (eds.) (2009): *Creating Sustainable Work Systems. Emerging Perspectives and Practice*, London: Routledge, 29-39

- Kriesel, D. (2005): Ein kleiner Überblick über Neuronale Netze, [http://www.dkriesel.com/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/science/neural_networks)
- James Lovelock, J. (2019): Novacene. The Coming Age of Hyperintelligence, London: Allen Lane
- Marcus, G. (2020): The Next Decade in AI: Four Steps Towards Robust Artificial Intelligence, <https://arxiv.org/pdf/2002.06177.pdf>
- Maslach, C. & Leiter, M.P., 1997: The Truth about Burnout. How Organizations cause Personal Stress and What to Do about It, San Francisco (CA): Jossey-Bass
- McCarthy, J. (1955): A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>
- McCay, D. (2003): An Example of Inference Task: Clustering, in: D. McCay (ed.): Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge: Cambridge University Press, 284–292
- Mittelstadt, B. D.; Allo, P.; Taddeo, M.; Wachter, S. & Floridi, L. (2016): The Ethics of Algorithms: Mapping the Debate, Big Data & Society 3 (2), 1-21
- Moldaschl, M. (ed.) (2005): Immaterielle Ressourcen. Nachhaltigkeit von Unternehmensführung und Arbeit I, München: Hampp
- Nake, F. (1992): Informatik und die Maschinisierung von Kopfarbeit, in: W. Coy et al. (Hg.): Sichtweisen der Informatik, Braunschweig-Wiesbaden: Vieweg, 181-201
- Nilsson, N.J. (1998): Introduction to Machine Learning, <http://robotics.stanford.edu/~nilsson/MLBOOK.pdf>
- Nöth, W., 2002: Semiotic Machines, Cybernetics and Human Knowing 9 (1), 5-22
- Norman, D.A. (2017): Design, Business Models, and Human-Technology Teamwork, Research Technology Management 60 (1), 26-30
- Norman, D.A. (1994): How Might People Interact with Agents, CACM 37 (7), 68-71
- Park, D.H.; Hendricks, L.A.; Akata, Z.; Schiele, B.; Darrell, T. & Rohrbach, M. (2017): Attentive Explanations: Justifying Decisions and Pointing to the Evidence, arXiv:1612.04757v2
- Peirce, C.S., 1983: Phänomen und Logik der Zeichen, Frankfurt/M: Suhrkamp
- Peters, K. (2011): Indirekte Steuerung und interessierte Selbstgefährdung, in: N. Kratzer; W. Dunkel; K. Becker & S. Hinrichs (Hg.): Arbeit und Gesundheit im Konflikt, Berlin: edition sigma, 105-122
- Putnam, H. 1960: Minds and Machines, in: Hook, S. (ed.): Dimensions of Mind, New York (NY): New York University Press
- Russell, S.; Dewey, D. & Tegmark, M. (2015): Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence, AI Magazine Winter 2015, 105-114
- Russell, S. & Norvig, P. (2009): Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd. ed., Upper Saddle River (NJ): Pearson
- Ulich, E. (1994): Arbeitspsychologie, 3. Aufl., Stuttgart: Schäffer Poeschel and Zürich: vdf
- Weber, M.I.; Mönning, A.; Hummel, M.; Weber, E.; Zika, G.; Helmrich, R.; Maier, T. & Neuber-Pohl, C. (2016): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie, IAB-Forschungsbericht 13/2016
- Weyer, Johannes (2007): »Autonomie und Kontrolle. Arbeit in hybriden Systemen am Beispiel der Luftfahrt«, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 16 (2), S. 35-42.
- Wooldridge, M. 2002: An Introduction to Multi-Agent Systems, Chichester: Wiley