

Losgröße 1 – Methoden der Analyse beruflicher Handlungsprozesse und der Planung beruflicher Kompetenzentwicklung vor dem Hintergrund von Industrie 4.0

Martin HARTMANN

*Institut für Berufspädagogik und Berufliche Didaktiken, Technische Universität
Dresden
D-01062 Dresden*

Kurzfassung: Ausgehend von der Frage, was das Konzept von „Industrie 4.0“ für die betroffenen Beschäftigten bedeutet und welche Kompetenzanforderungen an sie gestellt sind, soll mit Hilfe einer – kurz skizzierten – Reflexionsstufentheorie nachgezeichnet werden, wie die technische Entwicklung und die Arbeitsprozessgestaltung in vorhergehenden „industriellen Revolutionen“ strukturell angelegt waren, auf was sie sich stützten, um so zu verstehen, was insbesondere bzgl. der Kompetenzen das Besondere an einer „Industrie 4.0“ ist. Es wird herausgearbeitet, welche Konsequenzen zu erwarten sind, worauf sich Berufsbildung einstellen muss. Dem Konzept „Industrie 4.0“ liegt in diesem Beitrag das folgende Verständnis zugrunde: Produktion und (technische) Dienstleistung werden zunehmend vernetzt, Subsysteme in größere Systemzusammenhänge eingebettet. Dadurch sind auf konkrete Bedingungen, spezifische Funktionen und Anforderungen ausgelegte Produkte und zunehmend individualisierte Lösungen für Unternehmen und Privatleute vor Ort gefordert. Die komplex angelegten Aufgabenstellungen erfordern ein Kompetenzprofil, das die Funktionsfähigkeit und Angemessenheit der Lösungen garantiert. Im Arbeitsprozess kann u.a. mit Hilfe von Assistenzsystemen den Anforderungen an die Kompetenzen im Arbeitsprozess genüge getan werden. Die Entwicklung hat wichtige Konsequenzen für die Berufsbildung, kann auch die Tendenzen der Akademisierung in der Berufsbildung und der Verberuflichung in akademischen Berufen erklären.

Schlüsselwörter: Industrie 4.0, Vernetzung, Automatisierung, Kompetenzen, Berufsbildung,

1. Hinführung

Mit dem Schlagwort Industrie 4.0 versucht (nicht nur) die deutsche Bundesregierung der deutschen Wirtschaft neue Impulse zu geben (vgl. Promotorengruppe 2013). Arbeits- und Unternehmensorganisation, Technik und besonders Automatisierung und Vernetzung sind wichtige Aspekte der Initiative. Die auf Ausbildung und Erfahrungen basierenden Kompetenzen der Arbeitenden sind ein weiterer wesentlicher Faktor der Entwicklung. Es stellt sich die zentrale Frage, welche Rolle die arbeitenden Menschen in der zukünftigen Arbeitswelt spielen werden. Wird es wegen der Komplexität der Entwicklung eher zu einer Dequalifizierung oder zu einer weiteren Steigerung der Anforderungen an die

Arbeitenden kommen? Der Artikel wird diese Frage vor dem Hintergrund eines eigenen Analyseinstrumentes, der „Reflexionsstufen“ untersuchen, dabei aber weniger auf die konkrete Arbeitsorganisation eingehen als auf die Struktur der Technik, die bestimmte Arbeitsweisen mit ihr nahelegt. Dies mag erstaunen, ist m.E. ein produktiver Ansatz.

Berufliche Arbeit basiert auf den im Laufe der Ausbildung und der Arbeit gesammelten Erfahrungen, den hierbei entwickelten Fähigkeiten, Fertigkeiten und gleichzeitig kontextualisierten wie verallgemeinerten Kenntnissen der Arbeitenden. Kompetenz wird in diesem Sinne nach John Erpenbeck und Lutz Rosenstiel (2007) als innere Anlage bzw. als Disposition der Selbstorganisation verstanden. Wer kompetent ist, ist in der Lage auch in unsicheren Situationen zielgerichtet, verantwortlich, ethisch begründet und vor allem adäquat problemlösend zu handeln. Die individuell entwickelten Kompetenzen zeigen sich (mehr oder weniger in den situativ bedingten) Handlungen, in der Performanz. Auch wenn das konkrete Handeln oft nicht explizit begründet werden kann, weil es intuitiv stattfindet und sich die Wahrnehmung der Anzeichen für eine gleich eintretende Situation und die abgerufene Reaktion darauf quasi automatisch einstellen, liegen ihnen offenbar Begründungszusammenhänge zugrunde, die vorgängig einmal wichtig waren, geübt oder kognitiv bearbeitet werden mussten und die arbeitende Person also intensiver beschäftigten.

Kompetentes und noch mehr meisterhaftes Handeln (Hubert L. Dreyfus & Stuart Dreyfus 1980) kann sich auf verschiedenen Ebenen oder „Stufen“ von Handlungen zeigen. Über Winfried Hacker (1973) hinausgehend, sind „vollständige Handlungen“ nicht nur sequenziell oder hierarchisch zu strukturieren. In Anlehnung dazu lassen sie sich m.E. besser nach „Reflexionsstufen“ und in verschiedene Handlungsarten ordnen, letzteres für die berufliche Didaktik auch als „didaktische Zugänge“ bezeichnet (vgl. u.a. Martin Hartmann 2005 und 2014). So kann sich die Handlung auf die

- Ausführung einer konkreten (physisch durchzuführenden) beruflichen Handlung beziehen (Psychomotorik), weil die zugrunde liegenden Verfahren adäquat und selbststeuernd eingesetzt werden,
- Planung, Durchführung und Bewertung eines umfassenderen gegebenen Handlungsprozesses (z.B. eine Fertigungs- oder eine Diagnoseaufgabe) beziehen oder auf die
- umfassende Bewältigung eines Kundenauftrages von der Anfrage bis zur Garantieleistung, wobei sich hier wichtige Anteile der Gesamthandlung auf die Kommunikation und das soziale Handeln beziehen.

Je nachdem, wie weit der zugewiesene bzw. selbst genommene Kompetenzbereich geht, sind die im Prozess zu zeigenden Kompetenzen unterschiedlich. Sie liegen in verschiedenen Handlungsdimensionen – nach Kultusministerkonferenz sind dies die Dimensionen „Fach-, Sozial- und Selbstkompetenz“ sowie diesen Dimensionen entsprechende Methodenkompetenzen (Sekretariat 2011). Welche Kompetenzen in der beruflichen Arbeit zum Tragen kommen, wie umfassend sie sind, hängt stark von den Handlungs- bzw. Arbeitsprozessen ab, die zu bewältigen sind.

Für die Akteur_innen der beruflichen Bildung (Ausbilder_innen in den Unternehmen und Lehrer_innen an berufsbildenden Schulen sowie deren Ausbilder_innen) ist es neben der Beachtung der gesellschaftlich ausgehandelten Curricula (die in der beruflichen Bildung u.a. durch die Sozialpartner_innen und von den durch die KMK eingesetzten Expert_innen entwickelt und ausgehandelt werden) insofern zentral, Arbeitsprozesse zu analysieren und ihr Potenzial didaktisch zu

bewerten, so dass die analysierten Kompetenzen als Lernziele und die in ihnen gegebenen Problemstellungen als Aufgabentypen in die Lernprozesse eingebracht werden können. Denn, wenn Kompetenzen sich in den Handlungen erweisen, dann – so unsere (didaktisch intendierte) Annahme – müssen sie auch in entsprechenden Handlungsprozessen entwickelt werden, weil nur in ihnen die für das Lernen notwendige Komplexität gegeben ist¹. Der situative Handlungsprozess ermöglicht den (auch kognitiven) Anschluss an die Situation durch die Wechselwirkungen von Bedingungen und Möglichkeiten, durch die Abhängigkeiten von Aktion und Reaktion, durch die Einsicht in eigene Unzulänglichkeiten und wirft das Individuum somit auf sich selbst zurück. Er gewährleistet damit die tiefgehende, auch reflexive Auseinandersetzung der lernenden Individuen mit sich und der Situation.

Es ist klar, dass die Analyse von Arbeitsprozessen wie die Einrichtung entsprechender, die Handlungskompetenzen fördernder Lernarrangements, nur begrenzt möglich ist, da es in der Arbeitswelt eine uneinholbare Vielfalt von Arbeitssituationen gibt, die u.a. durch den Markt, die Organisation, die eingesetzte Technik, die besonderen Personen bestimmt werden und die sich zudem ständig verändern. Auch wenn es sinnvoll und notwendig ist für konkrete Lernsituationen die durchzuführenden Handlungsprozesse in Lernaufgaben *konkret* auszulegen, ist eine Typologie von möglichen Handlungs- und Anforderungssituationen hilfreich, die bestimmte Handlungsmuster skizzieren und bestimmte Kompetenzen situativ abrufen. Dies wurden in der Vergangenheit bereits dargestellt (vgl. Wohlrabe & Hartmann 2013 und Martin Hartmann 2014). In Kenntnis dieser Typologie und auf Grundlage meiner Reflexionsstufentheorie (vgl. Martin Hartmann 2005) ist zu überlegen, wie sich neuere Tendenzen vor allem bezogen auf die stark zunehmende Automatisierung von Arbeitsprozessen und die heute damit einhergehende Vernetzung von Mensch und – durch komplexe Software inzwischen teilweise virtualisierter – Maschine auswirken werden, wie sie sich in Schlagworten wie „Industrie 4.0“ oder „Losgröße 1“ niederschlagen.

2. Überlegungen zum Stand der Vernetzung von Mensch und Maschine und deren Potenziale

Die heute allorts voran getriebene Übersetzung komplizierter und komplexer natürlicher, bewusstseinsbezogener und/oder sozialer Zusammenhänge (bzw. Strukturen) und Prozesse in Computercode und ihre Implementierung in digitale bzw. virtuelle (auch Unterhaltungs-) Maschinen, ermöglicht es in Arbeitsprozessen Maschinen, für Menschen „gefährliche“, „schwere“, „eintönige“ oder durch sie selbst sehr viel schneller zu erledigende Arbeiten abzunehmen. Das ist nicht neu, wird aber durch die Entwicklung einer komplexen und vernetzten Automatisierungstechnik graduell weiter getrieben. Im besten Fall werden einfachere Handlungen übernommen oder virtualisiert, und die Handelnden werden in die Lage versetzt, sich mit anderen, mehr oder weniger anspruchsvolleren Aufgaben zu beschäftigen.

Eine auf einer ganz anderen Ebene, aber evtl. doch auch für Arbeitsprozesse relevante, zweite Wirkung der Medialisierung und Virtualisierung von „Realität“ ist ihre variationsreiche, aber distanzierte Spiegelung (wie z.B. in Film und Fernsehen)

¹ Ähnlich Hirsch-Kreinsen (2015): "Arbeitssoziologischen Studien zu Folge sind dabei Handlungsweisen wie Intuition und Gespür, ‚Aus-dem-Bauch-heraus-Handeln‘ oder auch Gefühl und Empathie gerade im Umgang mit komplexen Anlagen unverzichtbar – eine Seite von Arbeitshandeln, die als „subjektivierendes Arbeitshandeln“ gefasst werden kann (zusammenfassend Böhle 2013)", 90.

und in diesem Zusammenhang eine Veranschaulichung von ansonsten unzugänglichen Zusammenhängen und „Welten“. Mittels der Identifikation mit anderen Menschen können sich diese in deren Situationen und Lebenslagen hineinzusetzen, andere Lebenswirklichkeiten erleben, andere Haltungen und Perspektiven aus den Handlungsbedingungen, der Logik der Haltungen und Prozesse verstehen. Die eigenen Urteile, Haltungen und Perspektiven werden dadurch kritischen Reflexionsprozessen zugänglich, so dass es einfacher wird, zum Einen die eigenen Wertehorizonte zu weiten und zum Anderen sich selbst situativ zu wenden, das eigene Handeln nach den Erfordernissen auf den verschiedenen Ebenen zu modifizieren. Das sind auch für die Bewältigung von komplexen Arbeitsprozessen relevante Kompetenzen.

Eine dritte Wirkung ist, dass Maschine und Mensch(en) über verschiedenste Schnittstellen zusammenwirken („soziotechnische Systeme“, vgl. z.B. Eric Trist & Ken Bamforth 1951, Rammert 1982, Hartmut Hirsch-Kreinsen 2015). Durch die Möglichkeit, vormals physisch umgesetzte Prozesse zu virtualisieren (u.a. zeichnerisches Entwerfen) und z.B. mittels Einsatz additiver Produktionsverfahren Gegenstände zu erzeugen sowie in der Massenfertigung Baukasten- und hier wie in der Kleinserienfertigung Assistenzsysteme einzusetzen, ist die Produktion sehr viel flexibler geworden, so dass es möglich wird, mit Losgrößen von „Eins“ zu agieren. Dies führt je nach Fertigungsabläufen zu mindestens drei verschiedenen möglichen Entwicklungen, die sich notwendig auch in den Ausbildungszielen niederschlagen müssen.

Die Herstellung einer Losgröße „Eins“ ist

- bei wenig komplexen Produkten vor diesem Hintergrund bei geringen Kosten kein Problem mehr. So können auch findige Unternehmensgründer_innen mit Kleinstunternehmen z.B. im 3D-Druckverfahren in Nischen mit großen konkurrieren. Die Möglichkeiten sind im (Maschinen- und Gerätebau im Augenblick aber noch beschränkt, da die einzusetzenden Werkstoffe (Kunststoffe) nicht hoch belastbar sind. Dafür können die Drucker in vielen Branchen, z.B. auch in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden.
- ebenso in der industriellen Massenfertigung realisierbar, wenn mit umfangreichen Baukastensystemen gearbeitet wird. Hier steckt die Flexibilisierung in der tiefen Durchdringung des Verhaltens der fertigen Anlagen, Maschinen und besonders Fahrzeuge nach Montage unterschiedlicher Baugruppen und Bauelemente im Sinne der Variation z.B. der Motorleistung, des Getriebes, oder im Design. Daneben ist hier die Steuerung der Produktionsanlagen und der Zulieferung von Bauelementen und Baugruppen die zentrale Herausforderung.
- im mittleren Segment ist eine größere Herausforderung, weil es sich vielfach um eingebettete Systeme handelt, die in die Strukturen vor Ort eingepasst werden müssen. U.a. abhängig von der Bereitstellung von flexibel einsetzbaren Entwicklungsinstrumenten und Assistenzsystemen lassen sich vielfältige und hochanspruchsvolle Systeme liefern (mittelständische Weltmarktführer_innen).

Diese Entwicklung wird aber durchaus nicht alles sein. Stanislaw Lem (1976) hatte bereits tiefgehende Einsichten. Gegenwärtig und noch mehr in der Zukunft werden – ob befürwortet oder nicht – Mensch und Maschine weiter zusammengeschaltet werden (können), zusammenwachsen und es wird ein Netzwerk aus Mensch-Maschine-Systemen geschaffen. Die Konstruktion von Computerspielwelten und das Abtauchen der Spieler_innen zeigt, wie sich reale und virtuelle Welt vermischen

lassen. Aus diesem Zusammenspiel ziehen Filme wie Avatar oder Matrix ihre Faszination. Auf dem Weg dahin, sind wir bereits ein Stückweit gekommen:

- Medizinische oder andere Operationen – auch im Mikrobereich – können heute am Bildschirm durchgeführt werden und werden durch Apparate umgesetzt.
- Bei der Bereitstellung von Prothesen ist es möglich Verbindungen zu den Nerven herzustellen, die eine direkte gedankliche Steuerung der Prothesen realisieren.
- Mit Hilfe von Sensoren und Exoskeletten scheinen Querschnittsgelähmte ein Gespür für ihre gelähmten Körperteile wiedererlangen zu können, so dass die Hoffnung besteht, dass sie selbst, zumindest aber mit den Exoskeletten, wieder laufen können.
- Smartphones und Uhren vermessen viele ans Netz angeschlossene Zeitgenossen über den ganzen Tag und geben Hinweise wie sich Lebensweise und Handlungen optimieren lassen.
- Einzelne Menschen lassen sich Magneten in die Hände implantieren, um Magnetfelder erspüren zu können.

Mit diesen Zusammenschaltungen, diesem Zusammenwachsen könnten Arbeitende in Zukunft direkt auf technische Prozesse Einfluss nehmen. Die Maschinen wie die Menschen geben über ihre „Befindlichkeit“ Auskunft. Menschliche und maschinelle Assistent_innen unterstützen sie dabei. Die Kritik an der „gläsernen Mitarbeiter_in (Hirsch-Kreinsen 2015) wird diese Entwicklung evtl. noch eine Weile aufhalten. Der Gewinn an Freiheit in der Produktion, der Instandhaltung oder bei der technischen Dienstleistung, der durch die Komplexität der Arbeitszusammenhänge gefordert sein könnte, könnte auf der anderen Seite solche Problemstellungen auf Dauer obsolet machen. Welche Auswirkungen die aufgezeigte Entwicklung individuell und auch kulturell haben wird, ist noch nicht absehbar.

2. Theorie und Methode der „Reflexionsstufen“

Um die Entwicklungen bezüglich der Technik und Arbeit darzustellen, sind in der Vergangenheit verschiedene Ansätze in Ökonomie, Soziologie, Psychologie usw. entwickelt worden. Einen techniksoziologischen Ansatz hat z.B. Werner Rammert vorgelegt, der sich auf eine „soziale Evolutionstheorie der Technik“ stützt (vgl. Rammert 1982, 41f.). Eine „Typologie technisch-technologischer Entwicklung“ arbeitet Bernhard Irrgang (Irrgang 2002, vgl. 172 ff., besonders 180f.) heraus.

Die Analyse von Prozessen – auch von Arbeitsprozessen, in denen die Technik durch ihre Spezifik eine große Rolle auch in der (Handlungs-)Prozessorganisation spielt – muss sich bestimmter Mustererkennungen bedienen. Dazu habe ich eine Reflexionsstufentheorie (Martin Hartmann 2005) vorgelegt, die es ermöglichen soll, (Handlungs-) *Situationen* strukturiert, aber doch komplex in der Perspektive einer sich und die Situation (in der Regel mehrfach) reflektierenden Beobachter_in² zu beschreiben. Dies scheint paradox – ist es aber nicht, wie ein Beispiel verdeutlichen soll: Mehrfach bedeutet hier, dass „ich“ als (beliebiges) Subjekt der Handlung „mein“ (motorisches) Tun (z.B. die Bearbeitung eines Werkstücks mit einer Feile) kritisch beobachte (1. Reflexionsstufe: die Handlung ist nicht adäquat, weil das Werkstück nicht, wie beabsichtigt, gelingt), dabei feststelle, dass nicht die unmittelbare

² Auch wenn hier von einer „Beobachter_in“ die Rede ist nimmt die Theorie jedoch keine Anleihe bei der Luhmann'schen Systemtheorie.

Handlung selbst (also z.B. das Halten der Feile) es ist, die nicht funktioniert, sondern dass „meine“ vorher getroffene Auswahl des Verfahrens (2. Reflexionsstufe) ein Problem war und dass diese mit einer bestimmten Annahme bzw. mit einem bestimmten Motiv einherging (3. Reflexionsstufe), welche „ich“ nun in Frage stellen oder stellen kann. Die Reflexionsstufentheorie versucht also systematisch die Bedingungen und Voraussetzungen von Handlungen bzw. darin vorkommende komplexe Ursache-Wirkungsketten offenzulegen, um den zu bestimmten Zwecken zu analysierenden Handlungssituationen bzw. der Konstruktion von bestimmten Lehr-/Lernhandlungen (z.B. in Ausbildungsprozessen) gerecht zu werden. Diese Infrage-Stellung geht bis hin zu den infrastrukturellen (Ökologie) und sozio-kulturellen Bedingungen, die „mein“ Handeln bestimmen.

Indem Handlungen (z.B. mittels komplexen Ursache-Wirkungsketten) tiefgehend durchdacht werden können, so eine These dieses Beitrags, lassen sie sich auch in Maschinenprozesse integrieren. Das geschieht seit Jahrhunderten im Entwicklungsprozess der immer komplexer werdenden Maschinen. Die in die Maschinen integrierten Prozesse verweisen die mit ihnen arbeitenden Menschen auf eine (immer) höhere Reflexionsstufe (Kompetenzart) oder degradieren sie andererseits jeweils zu bloßen Maschinenbediener_innen.

Der wesentliche Unterschied zu ansonsten stattfindenden Analysen ist der Versuch der Einholung der Komplexität der Prozesse und zwar nicht auf der Erscheinungsebene, sondern in der angelegten Struktur. In der Vergangenheit wurde oft versucht, einzelne Bestandteile von Prozessen isoliert zu betrachten, so z.B. nur den Werkstoff (z.B. Stahl, Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramme), die Psyche (z.B. bezogen auf Denkgesetze: „Logik“ oder auf die komplexe Wirkungsweise des Individuums: Psychoanalyse) oder auch die soziale Interaktion in (betrieblichen) Kooperationsprozessen zu berücksichtigen. Die Reflexionsstufentheorie versucht diese Gegenstände, Werkzeuge, Verfahren, die Beteiligten und die Prozesse bis hin zu den sozio-kulturellen Bedingungen in die Analyse komplex einzubeziehen, also ihre Wirkzusammenhänge in die Darstellung der Prozesse einzubeziehen. Dass dies möglich ist, liegt sicherlich an früher stattgefundenen Untersuchungen, wie sie z.B. von Aristoteles, Freud, Carnot, Faraday, Parsons usw. usf. angestellt wurden.

Mit dem obigen Beispiel, das die Reflexionsprozesse stufenweise introspektiv darstellte („ich“ denke über „mich“ und z.B. „meine“ Motive nach“), ist ein Problem aufgeworfen, nämlich dass die Reflexionshandlungen der an einem Handlungsprozess Beteiligten in der Regel nicht sichtbar werden. Sie lassen sich jedoch oft aus der Handlung selbst interpretativ rekonstruieren (z.B. anhand der berücksichtigten oder nicht berücksichtigten Bedingungen der Handlung, die dafür sorgen, dass die Handlungsprozesse nicht oder besser gelingen) oder auch durch Befragung der Handelnden erheben. Hier sind natürlich alle Bedenken mit zu berücksichtigen, die mit Beobachtungen bzw. Befragungen von Prozessen durch Fremde thematisiert wurden, wie deren eigene Motive, ihre Wirkung auf die Beobachteten usw. (vgl. Clifford Geertz 1990 für die empirische Forschung in der Ethnologie).

Wenn sich die Reflexionsstufentheorie, wie oben dargelegt, auf eine Handlungssituation bezieht, so ist auch der Begriff der „Situation“ zu definieren. Darunter wird hier ein in einem Setting stattfindender, (zunächst) zu einer beliebigen Zeit eingefrorener Moment eines durchaus konkreten (Handlungs-)Prozesses verstanden. Durch das Einfrieren lässt sich für diesen Moment der oder die Handlungsgegenstände sowie die im Umgang mit ihnen eingesetzten Methoden oder Verfahren identifizieren, die Intentionalität der handelnden Personen rekonstruieren,

ihre die Situation weitertreibenden Motive erkennen, können ihre (zum Tragen kommenden) Werteinstellungen bis hin zu einer gesellschaftlich, sozio-kulturell eingebundenen Problemlage (z.B. im sozialen Umgang mit anderen Akteur_innen) herausgearbeitet werden.

Mit Hilfe der Reflexionsstufentheorie können so auch die zur Wirkung kommenden Kompetenzen erfasst werden, die sich in der Wahrnehmung, der Steuerung oder Regelung der Gegenstände und Handlungen niederschlägt.

3. Das Spezifische der „industriellen Revolutionen“, vorwiegend bezogen auf Technik und berufliche Handlung

Um die Voraussetzungen der gegenwärtigen Entwicklung besser verstehen zu können, ist es sinnvoll sich das Spezifische der vorhergehenden Entwicklungen insbesondere bzgl. der Technisierung, der Automatisierung und der Vernetzung anzuschauen.

Es stellt sich die Frage, was das Spezifische ist? Um das herausarbeiten zu können setze ich eine weitere These: Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass im Arbeitsprozess (und darüber hinaus) immer weitere Teile menschlichen Handelns durch technische Artefakte übernommen werden (vgl. Gehlen 1986). Um dies zu realisieren ist ein im Laufe der Jahrhunderte steigendes Abstraktionsvermögen erforderlich gewesen.

3.1 Einfache Übernahme von Bewegungen durch Apparaturen und Maschinen

Um z.B. einfache Scheiden besser in der Hand halten und entsprechend der Handlungsziele bewegen zu können, sind in den Anfängen der Menschheit und bis heute Werkzeuge erstellt worden, die den Anforderungen genügen, also z.B. Schäfte oder andere Einrichtungen aufweisen.

Während sich das unmittelbare Handhaben von Werkzeugen auf die Verbesserung des Werkzeuges bzw. die Handhabung des Werkzeuges direkt richtet, ist für den Einsatz von z.B. mittels mechanischer Energie (z.B. mittels Wasser-, Wind- oder Dampfkraft) angetriebener Maschinen eine Übernahme der Haltefunktion und der Einsatz Einrichtungen für die Realisierung von Bewegungsabläufen (lineare oder Rotationsbewegungen) bzw. der Kraftübertragung erforderlich. Das bedeutet, dass die Kräfte erfasst und entsprechende Vorrichtungen zur Aufnahme der Werkzeuge bzw. zur Übertragung der Bewegungsabläufe erstellt werden müssen. Die entsprechenden Konstruktionen können mit der Zunahme der Erfahrung effizienter gestaltet werden; sie lösen sich so von den durch die Arbeitenden vorher konkret durchgeführten Tätigkeiten ab. Die Arbeitenden können die Zulieferung des Materials und die Steuerung des Prozesses übernehmen.

3.2 Steuerungstechnik

In einem nächsten Schritt kann die Steuerung ebenfalls in den Mechanismus übernommen werden. Dafür sind eine genaue Beobachtung des Handlungsablaufes und seine Sequenzierung in kontinuierliche Teilhandlungen erforderlich. Dem Gerät muss durch eine entsprechende Konstruktion ein verändertes Verhalten, z.B. eine Richtungs- oder Geschwindigkeitsänderung, ein Auslöse- (Öffnung eines Ventils), oder ein verändertes Temperaturverhalten (Aufheizen oder Abkühlen) möglich sein.

In dem Fall, dass die Steuerung z.B. durch Einsatz von Walzen oder Lochkarten gelöst ist, ergibt sich eine höhere Abstraktionsstufe. Um den Ablauf des Prozesses zu gewährleisten, müssen Ereignisse mittels Auslösemechanismen gestartet werden. Der Ablauf des Prozesses muss somit vorweggenommen und bezogen auf die jeweilige Umsteuerung zeitlich genau getaktet werden. Dass darauf basierende Verhalten ist starr und läuft wie ein Uhrwerk ab. Nur der regulative, menschliche Eingriff (von außen) macht es möglich, veränderten Bedingungen gerecht zu werden.

Erfolgt die Auslösung nicht mehr mechanisch, muss der Vorgang in Code übersetzt werden. Die Schaffung von Code geht auf eine Beobachtung des menschlichen Denkens („Gesetze“ der Logik) bzw. der Kommunikation (Bedeutung des Zeichens³: Realismus vs. Nominalismus) zurück. Die Ablösung der Zeichen von den Dingen und die Zuordnung von eindeutig definiertem Sinn zu (beliebigen) Zeichen ermöglicht eine Codierung (z.B. Foucault 1990, 113ff., besonders Holling & Kempin 1989). Ist diese zunächst sehr maschinennah, ermöglichen höhere Sprachen, durch symbolische Repräsentanz ganzer Satzzusammenhänge nicht nur eine Reduzierung des Programmieraufwandes, sondern auch ein vereinfachtes Verstehen des Programmablaufs sowie das Darstellen komplexerer Prozesse. Das Eingreifen in den Maschinenprozess ist bei einer sehr maschinennahen, abstrakten Art der Steuerung zumal bei großen und komplizierten Maschinen kaum noch möglich. Das schafft ein Gefühl des Ausgeliefertseins an die Apparatur.

3.3 Gesteuerte Organisation

Entsprechend der Steuerung der Maschine kann und muss bei zunehmender Arbeitsteilung auch der ebenfalls sequenzierte Arbeitsprozess gesteuert bzw. (zunächst von außen) reguliert werden. Während die Maschine als unbelebt gesehen wird, ist die Organisation (analog zum Organismus) als belebt zu verstehen; arbeitsteilte Prozesse müssen im Unternehmen (und darüber hinaus) miteinander vermittelt werden. Sich zunächst als Gesamthandlung auf den ganzen Prozess beziehende Arbeitshandlungen werden in der Arbeitsteilung auf verschiedene, herausgelöste Teilhandlungen reduziert. Diese können jedoch wiederum als vollständige Gesamthandlungen angesehen werden, z.B. das Weben von Stoffen zur Herstellung von Bekleidungen oder das Fräsen von Nuten. Auch wenn die Teilhandlungen nicht zum endgültigen Produkt führen, können die regulierten Teilhandlungen durch ihre Differenzierung immer noch sehr kompliziert (diffizil) oder komplex sein. Um sie bewältigen zu können sind viele miteinander verschränkte Parameter zu berücksichtigen. Der Gesamtprozess der Teilhandlungen muss dafür also organisiert werden. So müssen u.a. die Arbeitsplätze eingerichtet und ausgestattet, der Prozess geplant, vorbereitet, koordiniert, bewertet werden. Der Taylorismus hat sich die Prozesssteuerung mittels Arbeitsstudien zum Ziel gesetzt und die Handlungen dabei teilweise sehr kleinteilig (Fließbandfertigung) sequenziert. Bei geringeren Losgrößen war diese Art der Arbeitsteilung nicht umsetzbar, auch wenn auf ein am Taylorismus angelehntes arbeitsvorbereitendes Management zurückgegriffen wurde. Hier hat(te) in der Vergangenheit die Facharbeit ihren Ort.

³ Die Zeichenlehre („Semiotik“) wird vielfach der Logik einverleibt. Allerdings ist zu bedenken, dass eine klare Scheidung zwischen materialen (natürliche Prozesse, Technik), psychischen (u.a. Denken) und sozialen Prozessen (Kommunikation) zu treffen ist, auch wenn sich alle drei Dimensionen vermitteln müssen, weil sie unterschiedlichen Sphären angehören.

3.4 Einfache Regelungstechnik

Der nächste Schritt – die Übernahme der Regelung in die Geräte – ist im einfachen Fall immer noch mechanisch möglich. Mit dieser Art der Maschinisierung werden nun möglicherweise sich ändernde Bedingungen im Umfeld des stattfindenden Prozesses mitgedacht. Modernere gehen Regelungen mit dem Einsatz einer Sensorik, Aktorik und einer (digitalen) Verarbeitungseinheit einher. In der Verarbeitungseinheit müssen Referenzwerte eingeschrieben sein, die es ermöglichen die Bedingungsänderung einschätzen zu können. Auf diese Weise können die durch die Veränderungen gegebenen Impulse ausbalanciert (z.B. gedämpft oder verstärkt) werden. Bei einfachen Mechanismen ermöglicht die Regelung ein unabhängiges Funktionieren des Apparates.

Bei komplexeren bzw. gefährlichen Anlagen spielen vor allem die Überwachungsfunktion der Arbeitenden eine Rolle. In anderen Fällen finden technische Regulationen und Mensch-Maschine-Interaktionen parallel bzw. gleichzeitig statt. So müssen mit der technischen Regelung menschliche Handlungen mit ausbalanciert werden (z.B. bei einer Übersteuerung eines Kraftfahrzeugs die Schleudergefahr reduziert werden). Auch hierfür müssen umfassende und tiefgehende Analysen der Handlungsabläufe bzw. des Prozessgeschehens stattfinden, weil ansonsten die Regulation nicht gelingt.

Die Analysen beziehen sich nun auf Wirkzusammenhänge und identifizierbare Parameter, nicht mehr nur auf die richtige Reihenfolge von Abläufen. Dies erfordert u.a. den Einsatz von Differentialgleichungen, die mit Hilfe von als relevant identifizierten Parametern die Abhängigkeiten näherungsweise abbilden und auf dieser Grundlage mittels der Aktorik Reaktionen in die Wege leiten können. Da diese Abhängigkeiten in der Regel sehr genau austariert sein müssen, sollte ein Eingriff der Nutzer_innen zumindest auf der Ebene der Regelung in die Maschine auch hier nicht möglich sein. Berufliche Arbeit

- an diesen Maschinen bezieht sich erstens auf die Überwachung und Wartung. Dies betrifft vor allem große Anlagen und besonders unzugängliche Anlagenteilebereiche, wie bei Atomkraftwerken oder Chemieanlagen besonders deutlich wird. Hier besteht (besonders an Leiständen) die Gefahr einer starken Monotonie der Arbeit, der sich in einem Verlust an Realitätssinn durch die fehlende Einsicht in die Prozesse selbst ausdrücken kann, z.B. den Anzeigegeräten übermäßig oder gar nicht vertrauen. Dies wird nach Bainbridge mit dem Begriff der „Ironie“ der Automatisierung⁴ bezeichnet.
- kann sich zweitens an Werkzeug- oder auch Arbeitsmaschinen vor allem auf die Bedienung beziehen. Bei der Herstellung von Produkten ist die Interaktion mit anderen Arbeitenden, darüber hinaus oft das Gespräch mit internen und

⁴ „In seltenen Fällen ist das automatische System allerdings überfordert, und der Mensch muss eingreifen. Das Problem besteht nun darin, dass der menschliche Operateur aus mehreren Gründen schlecht in der Lage ist, diese Situationen zu bewältigen. Dies liegt zunächst am besonderen Anforderungsgehalt der Situation: Der Automat wird tendenziell dann die Situation nicht mehr beherrschen, wenn die Situation besonders anspruchsvoll ist. Zweitens ist der Mensch, weil er die Situation nicht selbst herbeigeführt hat, kaum ‚aktuell im Bilde‘ und wenig in der Lage, die Situation schnell zu analysieren und Handlungsoptionen abzuleiten. Drittens wird auch die grundsätzliche Fähigkeit des Menschen, das automatisierte System und die Umgebung insgesamt zu verstehen, mit der Zeit abnehmen, je weniger er aktiv in die Systemsteuerung eingreifen muss. Es entsteht eine ‚ironische‘ Problemlage: Der menschliche ‚Überwacher‘ ist gerade wegen der Automatisierung zunehmend weniger in der Lage, seiner Überwachungstätigkeit gegenüber dem automatisierten System nachzugehen.“ (Ernst Hartmann 2015, 18. Vgl. auch Bochum 2015, 41).

externen Kund_innen zu berücksichtigen, die besondere Kompetenzen erfordern. Diese Tätigkeiten können psychomotorisch wie auch kognitiv bzw. sozial durchaus sehr anspruchsvoll sein.

- muss drittens für eine Instandhaltung bzw. -setzung garantieren, die der Komplexität der Maschinen und Anlagen Rechnung tragen. Das geht bis hin zu einer Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Mechanik, Elektrik/Elektronik und Programmcodes (z.B. elektromagnetische Unverträglichkeit). Hierfür sind u.a. Kompetenzen bzw. Erfahrungen im Einsatz von heuristischen Verfahren zu entwickeln.

3.5 *Selbstreferentialität und vernetzte Regelungstechnik*

Während die Regelungstechnik in ihrer ersten Ausgestaltung vor allem auf äußere Ereignisse und die unmittelbaren Bedingungen der Maschinenabläufe reagierte, werden Maschinen als „Systeme“ heute zunehmend selbstreferentiell (siehe Kfz), sie nehmen also ihre eigene „Befindlichkeit“ bzw. – im Rahmen ihrer Vernetzung mit anderen Systemen – ihre Einbettung in ein Gesamtsystem (z.B. Verkehrsleitsystem) wahr und sie können sich in Bezug setzen zu den übergeordneten Zuständen dieses „Supersystems“ (vgl. Ropohl 2009). Bezogen auf die Wahrnehmung eigener Zustände ist die Warnung an die wartende bzw. Instand setzende Umwelt eher trivial. Häufig können – bereits heute und in Zukunft noch mehr – von den Maschinen selbst weitergehende Maßnahmen eingeleitet werden, die bei Auftreten von Fehlern eine Einstellung des Betriebs aus Sicherheitsgründen oder eine „Selbstheilung“ ermöglichen. Dies kann durch Einsatz entsprechender Materialien (durch den Schaden freiwerdende Stoffe, die Schäden beheben) sozusagen „unbewusst“ erfolgen oder es können die Zurücksetzung von Programmzuständen, die Auslösung von Alternativprozessen zur Sicherstellung der grundlegenden Funktionsfähigkeit oder von Prozessen sein, die z.B. beschädigte Maschinen- oder Anlageteile mit Hilfe weiterer, „bewusst“ eingesetzter, Selbstheilungsmechanismen entweder lokal oder durch vom übergeordneten System zur Verfügung gestellte Ressourcen funktionsfähig halten. Die Maschinen erhalten somit eine komplexe „Physis“ bzw. eine einfache „Psyche“ und agieren als assoziierte Mitglieder eines Verbundes kommunikativ bzw. interaktiv „sozial“.

Vor diesem Hintergrund scheinen in Bezug auf die berufliche Arbeit je nach Hintergrund unterschiedliche Szenarien denkbar, die sich bereits an verschiedenen Stellen abzeichnen:

- Insbesondere bei der Instandhaltung der inzwischen sehr komplexen Fahrzeuge, die oft eine Demontage und Remontage erfordern, sind diese Wechselwirkungen bei der Fehlersuche nicht trivial. Deshalb sind hier Diagnosegeräte und Assistenzsysteme eingeführt (worden), die die Facharbeit unterstützen. Diese sind allerdings in der Regel nicht so ausgelegt, dass immer eindeutige Fehlerursachen benannt werden (können). Die Kfz-Werkstätten haben insoweit vielfach das Problem, dass Fahrzeuge mehrfach in die Werkstatt zurückbeordert werden, weil der behobene Fehler nur ein Folgefehler war und die grundlegende Ursache nicht gefunden werden konnte. Der Lehrplan für die Kfz-Mechatroniker_in ist im Jahr 2014 bereits nach 10 Jahren wieder neu geordnet worden, um u.a. den Wechselwirkungen des *Gesamt*-Systems in der Ausbildung besser Rechnung tragen zu können.
- In der Massenfertigung wird mehr und mehr mit Baukastensystemen gearbeitet (z.B. bei der Produktion von Computern, Smartphones oder Kfz),

die durch ihre technische Festgelegtheit für klare Vorgaben sorgen, aber trotzdem durch Variation bzw. Kombination der Baugruppen und/oder -elemente eine Individualität des Produktes ermöglichen. Dieses kann sich zumindest in der äußerlichen Erscheinung niederschlagen bzw. wird in Bezug auf bestimmte Produkteigenschaften deutlich (Funktionen, Leistung, Energieverbrauch usw.). Bei der Fertigung (oft durch Zuliefererunternehmen) und Montage sind hier die Berücksichtigung der vernetzten Gesamtfunktion(en) des Endproduktes und des Baukastenprinzips elementar. Die Anforderungen an die Qualität werden in komplexen und kombinierbaren Systemen zunehmend höher, da Abweichungen im Detail zu Problemen bei der Montage von Bauelementen bzw. -gruppen sowie zu Fehlern bei dem Zusammenwirken im Endprodukt führen können. Dies kann große und teure Rückrufaktionen zur Folge haben. Um die Fehleranfälligkeit möglichst zu reduzieren, ist die Automatisierung der Produktion mittels hochgenauer Maschinen und Anlagen ein Weg. Die Arbeit an den Produkten direkt wird also durch vernetzte technische Systeme verdrängt. Soweit dies nicht der Fall ist, wird – auch bei einfacheren Tätigkeiten – oft auf Facharbeiter_innen zurückgegriffen, weil die Fachkräfte die technischen Zusammenhänge besser als Angelernte verstehen und durch das in der Ausbildung erworbene Berufsethos (tendenziell) verantwortlicher agieren.

- Durch die Verkapselung und zunehmende öffentliche Bereitstellung von universal einsetzbaren, rekombinierbaren Baugruppen, additiven Fertigungsverfahren und einer entsprechend einsetzbaren Hard- und Software (CAD, 3-D-Scanner und -Drucker, Rapid-Prototyping) bis hin zu open-Source Assistenzprogrammen ist in den vergangenen Jahren eine Makerszene entstanden, die sich vielleicht durch die Computerisierung wegen der Obsoletheit des Bleisatzes bei den Printmedien zuerst im Bereich der Gestaltung, des Journalismus oder bei Webanwendungen schon in den 80er Jahren zeigte, heute jedoch verstärkt auch physische Produkte betrifft. Diese werden für den eigenen Gebrauch oder (bei mehr Professionalität) für Kund_innen gefertigt. Hier handelt es sich in der Regel um Einzelfertigungen oder geringere Stückzahlen, die nicht ganz hohen Qualitätsansprüchen genügen müssen, dafür aber eine besondere Originalität und Individualität bzw. ein sehr günstiges Preis-Leistungsverhältnis bieten⁵. Die Kompetenzen Geschick und Geduld und weitere für das unternehmerische Handeln wichtige Kompetenzen. Ein tieferes technisches Verständnis ist im Rahmen dieser Tätigkeiten hilfreich.
- In der Einzel-, Klein- und Mittelserienfertigung wird der Anspruch an die Facharbeit im Allgemeinen am höchsten sein, da die Kund_innen meist „keine Lösung von der Stange“ möchten, sondern an die konkreten Bedingungen vor Ort individuell angepasste, in die Unternehmens-, Arbeitsprozess-, System- und/oder Dienstleistungsstrukturen der Kund_innen eingebettete Lösungen erwarten. Insoweit sind die anbietenden Unternehmen stark auf ein zusätzliches Dienstleistungsangebot verwiesen, das Veränderungen in den genannten Strukturen Rechnung trägt und durch eine hohe Professionalität der eingesetzten Fachkräfte abgesichert sein muss. Hier werden u.a. organisationsbezogene, soziokulturelle, kommunikative und tiefgehende

⁵ Dies wird (nach der, seit dem 19. Jahrhundert anhaltenden, großflächigen Enteignung der Kleingewerbetreibenden von ihren Produktionsmitteln im Konkurrenzkampf am Markt) teilweise als Demokratisierung der Produktionsmittel (vgl. Anderson 2014) verstanden.

mechatronische Kompetenzen und Erfahrungen erforderlich. Die Komplexität der Aufgabenstellung bei Produkterstellung und der Einbettung der technischen Systeme in den Kundenkontext ist kaum noch zu bewältigen, so dass hier entwickelte, für die Praxis der Anbieter_in taugliche Assistenzsysteme (z.B. über Augmented Reality) grundlegende Unterstützung geben müssen. Das heißt, dass die Arbeitenden gemeinsam auch strategische Überlegungen für die Einbettung des Systems in die Abläufe anstellen müssen, ebenso informatische Kompetenzen besitzen müssen⁶. Die Frage ist, ob diese Kompetenzen noch mit einer Berufsausbildung erreichbar sind. Zumindest sind Weiterbildungen erforderlich. Facharbeit wird hier hoch anspruchsvoll.

4. Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der Reflexionsstufentheorie und der auf ihr aufbauenden Methodik lassen sich Stufen der technischen Entwicklung der Integration menschlicher Handlungen in die Maschine nachvollziehen und daraus auf die Facharbeit bezogene Konsequenzen ableiten. Die Komplexität heutiger und zukünftiger technischer Systeme und ihrer Einbettung in Supersysteme erfordert Kompetenzen *und Erfahrungen* bezogen auf Struktur und die Prozessorganisation, die Schnittstellen und die über sie laufende Kommunikation.

Erfahrungen werden deswegen besonders wichtig, weil das komplexe Systemverhalten nur in den konkreten Prozessen erlebbar wird und in die Überlegungen mit einbezogen werden können. Vor dem Hintergrund der (in der Logik der Methodik herausgearbeiteten und noch empirisch abzusichernden) Entwicklungen können die Tendenzen

- zur Akademisierung beruflicher Bildung (Kompetenzanforderungen steigen!),
- der stärkeren Praxisorientierung akademischer Bildung (Erfahrung mit Rückkoppelungsprozessen in der Arbeit in und an komplexen Systemen! → Verberuflichung),
- der inhaltlichen Öffnung beruflicher Lehrpläne,
- der Bereitstellung von auf verschiedenen Stufen oder Ebenen nutzbaren Lerngelegenheiten (z.B. Duales Studium) oder
- der Bereitstellung von vor allem beruflich einzusetzenden Assistenzsystemen bis hin zu einfachen (privat einsetzbaren) Apps gut nachvollzogen werden.

Die für die Bewältigung der Anforderungen der Arbeitsprozesse angefragten Kompetenzen verändern sich rapide. Wenn Lernfeld strukturierte Lehrpläne – die komplexe Prozesse unterrichtlich aufarbeiten – noch besser umgesetzt werden, ist damit zu rechnen, dass auch im Fall der „Industrie 4.0“ Facharbeit in Zukunft weiterhin eine wichtige Rolle spielt. Die Berufliche Bildung und die beruflichen Didaktiken an den Universitäten müssen dem Rechnung tragen.

Die vielfach thematisierten Risiken der Entwicklung sind durchaus gegeben. Eine stärkere Vernetzung birgt die Gefahr:

⁶ "Hartmann und Bovenschulte (2014) haben vor diesem Hintergrund typische Industrie 4.0 Qualifikationsanforderungen identifiziert. Danach ergebe sich eine der Anforderungen aus der Konvergenz von mechanischen, elektronischen und Software basierten Komponenten oder Systemen, die sich auf allen Ebenen bemerkbar machen werde. Dies könne dazu führen, einen Ausbildungsberuf ‚Industrieinformatiker‘ zu konzipieren bzw. eine Weiterbildungsmöglichkeit für Mechatroniker zu etablieren."

- der Überwachung, wobei diese wegen der zunehmenden Erfahrungshaltigkeit der Arbeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle auch bezogen auf die Weiterentwicklung der Systeme individuell für die Arbeitenden vermutlich zunächst eher weniger Probleme bereiten wird.
- dass diejenigen, die die Rahmenbedingungen vorgeben (z.B. Google bezogen auf das Internet der Dinge oder die Produzent_innen von Assistenzsystemen) werden, einen hohen Einfluss auf die möglicherweise auf deren Grundlage zu schaffenden Strukturen haben werden. Hier kann eine sehr große Markt- und damit auch politische Macht aufgebaut werden.
- der Industriespionage, die allerdings dadurch eine geringere Wertigkeit hat, als die Umfelder und die Kompetenzen entwickelt werden müssen. könnten hier Probleme der Sabotage (Störung und Zerstörung) eine Rolle spielen.

Die Entwicklungen bleiben spannend und werden auch für das duale System der Berufsausbildung und besonders für den schulischen Teil eine hohe Relevanz haben. Hier gibt es die Möglichkeit, konkret in den Unternehmen auftretende Problemfelder zu reflektieren, übergreifende Problematiken zu thematisieren und entsprechend Kompetenzen systematisch auszubilden.

5. Literatur

- Anderson, Chris (2014): *Maker – The New Industrial Revolution*. New York: Crown Business
- Bammé, Arno; Feuerstein, Günter; Genth, Renate; Holling, Eggert, Kahle, Renate, Kempin, Peter (1983): *Maschinen-Menschen • Mensch-Maschinen*. Grundrisse einer sozialen Beziehung, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt
- Bochum, Ulrich (2015): *Gewerkschaftliche Positionen in Bezug auf „Industrie 4.0“*. In: Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2015): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer Vieweg. Online: Springer-Link.com, 31-44
- Dreyfus, Hubert L.; Dreyfus, Stuart (1980): *A five-stage model of mental activities involved in directed skill acquisition*. Unpublished report supported by the Air Force Office of Scientific Research (AFSC), USAF, University of California at Berkley
- Erpenbeck, John; Rosenstiel, Lutz von (Hrsg.) (2007): *Handbuch der Kompetenzmessung*. Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis, 2. Aufl., Stuttgart: Schäfer Poeschel
- Foucault, Michel (1990): *Die Ordnung der Dinge*. 9. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Foucault, Michel (1990): *Archäologie des Wissens*. 4. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Gehlen, Arnold (1986): *Anthropologische und sozialpsychologische Untersuchungen*, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Verlag
- Geertz, Clifford (1990): *Die künstlichen Wilden*. Der Anthropologe als Schriftsteller, München; Wien: Carl Hanser
- Hacker, Winfried (1973). *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie*. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
- Hartmann, Ernst Andreas; Bovenschulte, Marc (2014): *Skills Needs Analysis for „Industry 4.0“ Based on Roadmaps for Smart Systems*, in: Skolkovo-ILO-Workshop Proceedings: *Using Technology Foresights for Identifying Future Skills Needs*, Geneva, ILO
- Hartmann, Ernst Andreas (2015): *Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen*. In: Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2015): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer Vieweg. Online: Springer-Link.com, 9-20
- Hartmann, Martin (2005): *Theorie der Praxis – Entwurf einer Reflexionsstufentheorie am Beispiel der Berufsbildung*, Baden-Baden: Nomos
- Hartmann, Martin (2014): *Didaktische Zugänge zur Strukturierung und Entwicklung berufsgruppenspezifischer Kompetenzen*, in: Severing, Eckart; Weiß, Reinhold: *Weiterentwicklung von Berufen – Herausforderung für die Berufsbildungsforschung*, Bielefeld: wbv 2014, S. 155-180
- Heckl, Wolfgang M. (2015): *Die Kultur der Reparatur*. München: Goldmann Verlag

- Hirsch-Kreinsen, Hartmut (2015): Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg. Online: Springer-Link.com, 89-98
- Holling, Eggert; Kempin, Peter (1989): Identität, Geist und Maschine, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt
- Irrgang, Bernhard (2002): Philosophie der Technik, Band 2: Technische Praxis. Gestaltungsperspektiven technischer Entwicklung. Paderborn; München; Wien; Zürich: Schöningh
- Kärcher, Bernd (2015): Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In: Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg. Online: Springer-Link.com, 47-58
- Kampker, Achim; Deutskens, Chritoph; Marks, Alexander (2015): Die Rolle von lernenden Fabriken für Industrie 4.0. In: Botthof, Alfons; Hartmann, Ernst Andreas (Hrsg.) (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Vieweg. Online: Springer-Link.com, 77-85
- Ropohl, Günter (2009): Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik. 3., überarb. Aufl., Karlsruhe: Universitätsverlag
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2011): Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Berlin: KMK. Online (30-07-2015.): http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2011/2011_09_23_GEP-Handreichung.pdf
- Lem, Stanislaw (1976): summa technologiae, Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.) (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Online (30-07-2015): http://www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf.
- Rammert, Werner (1982): Soziotechnische Evolution: Sozialstruktureller Wandel und Strategien der Technisierung. In: Jokisch, Rodrigo (Hrsg.): Techniksoziologie. Frankfurt/Main: Suhrkamp, 32-81
- Trist, Eric & Bamforth, Ken (1951): Some social and psychological consequences of the long wall method of coal getting. Human Relations Vol. 4, 3-38. Online (30.07.2015): http://moderntimesworkplace.com/archives/ericseess/sessvol2/Trist_Bamforth_1.pdf
- Wohlrabe, Dirk; Hartmann, Martin (2013): Didaktische Zugänge als Beachtung der Spezifitäten in Berufen erneuerbarer Energien und der Metallindustrie. In: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, Ausgabe 24, 1-21. Online (17-10-2013): http://www.bwpat.de/ausgabe24/wohrlabe_hartmann_bwpat24.pdf