

Digitale Lehr-Lernmittel in der Metall- und Elektrotechnik. Fachdidaktische Relevanz, unterrichtsmethodische Reichweite

1. Einleitung

Was sich bei der ordnungspolitischen Neuordnung der MuE-Berufe 2003/04 bereits abzeichnete, ist heute Gewissheit: Die Informationstechnologie revolutioniert die Facharbeiterberufe der Metall- und Elektrotechnik. Die im Vorfeld der Neuordnung vorgelegten curricularen sowie fach- und berufsdidaktischen Szenarien haben mit ihren Prognosen die heutige Entwicklung teilweise vorweggenommen. „Die Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik wird unter breiter Anwendung der Elektrotechnik/Elektronik sowie der Informationstechnologie bei der Herstellung, Montage und Instandhaltung *zum integrierenden Bestandteil* (Hervorhebung d. A.) in allen metalltechnischen Bereichen“ (PAHL/SCHÜTTE/SPÖTTL 2002, S. 65; neuerdings: VOSKAMP/WITTKÉ 2011). Die digitale Technologie erweist sich in den MuE-Berufen somit als Motor sowohl der subjektiven als auch objektiven Arbeitsanforderungen. Die Kommunikation und Interaktion zwischen den unterschiedlichen betrieblichen Funktionsebenen wird dadurch wesentlich verändert, aber auch das berufsfachliche Wissen und Können ist qualitativ anderen und vor allem neuen Herausforderungen ausgesetzt.

Mit der Etablierung der ‚digitalen Fabrik‘ als wegweisendes Produktionskonzept gerät die konventionelle Facharbeiterausbildung an eine Grenze. Sowohl die curriculare, d.h. inhaltliche Seite ist davon betroffen als auch die berufs- und fachdidaktische. Integrierte technologische Prozessketten in Form variantenreicher Montagetechnologien konfigurieren berufsfachliches Arbeitsprozesswissen mit Konsequenzen für die berufliche Aus- und Weiterbildung (SCHÜTTE 2006, S. 202 ff.).

Ins Zentrum fachdidaktischer und -methodischer Reflexion rücken damit neue digitale Lehr- und Lernmedien, die sich der Simulation von Arbeitsprozessen, technischen Funktionszusammenhängen und spezieller Modellfunktionen annehmen. Die Simulation erweist sich vor diesem Horizont als geeignetes Lehrmittel für spezifische technische bildungs- und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge einerseits, als grundlegendes Lernmittel zur kognitiven Einstimmung auf innerbetriebliche Arbeitsabläufe ausgewählter Facharbeiterberufe andererseits. Die (fach-/berufs-)didaktische Relevanz von Modell und Simulation im Kontext kognitionspsychologischer und medientheoretischer Diskurse auf der curricularen Basis des Lernfeldkonzepts zu thematisieren, ist Gegenstand des vorliegenden Beitrags.

2. Dynamik der industriellen Güterproduktion

Die digitale Fabrik begreift sich als ein integratives Modell mit überlagerter Systemsteuerung. Die zentralen Attribute des neuen Produktionskonzepts heißen „Marktorientierung, Autonomie, Kooperation, Selbstoptimierung, Selbstorganisation, Dynamik, Flexibilität“ (WESTKÄMPER/ZAHN 2009, S. 48). Im Zentrum steht die Kunden- und Marktorientierung, m. a. W. die Etablierung ‚globaler Wertschöpfungsnetzwerke‘. Sie zielt auf eine ‚kundenorientierte Qualitätsproduktion‘. Der programmatische Anspruch der digitalen Fabrik, subjektiv wie produktionstechnisch situationsbezogen zu agieren, verlangt für die Ausbildung in nicht-akademischen Berufen der Metall- und Elektroindustrie neue curriculare und didaktische Antworten.

Damit steht das deutsche Produktionsmodell mit seiner hochstandardisierten Facharbeiterausbildung auf dem internationalen Prüfstand. Die digitale Fabrik, verstanden als flexibles

Produktionsunternehmen, tritt mit dem Anspruch auf, mittelfristig transnationale Produktions- und Innovationsnetzwerke zu etablieren, bestehende Produktionsstrukturen zu korrigieren und die Arbeitsorganisation qualitativ zu ändern. Ein „ganzheitliches Produktionssystem“ steht damit zur Diskussion (HUMMEL/RÖNNECKE 2009, S. 35 ff.).¹ Die vorhandene Differenz zwischen High- und Lowtech-Standorten soll abgebaut, eine funktionale Annäherung und standortübergreifende Arbeitskultur auf der Basis einer permanenten Modellierung der Produktionsstruktur mittelfristig hergestellt werden (HIRSCH-KREINSEN/KIRNER 2009).² „Dabei geht es um die Fähigkeit der Integration und Koordination globaler Produktion, um die Fähigkeit zum Wissenstransfer über große räumliche Distanzen, Zeitzonen, sprachliche und kulturelle Grenzen sowie institutionelle Differenzen zwischen nationale Kapitalismen hinweg“ (VOSKAMP/WITTKE 2011, S. 9).

Von zwei Prinzipien wird das neue Produktionskonzept getragen, von hochqualifizierter und hochspezialisierter Facharbeit auf der einen, von komplexen Arbeitsinformationssystemen auf der anderen Seite (WESTKÄMPER/ZAHN 2009). Mit dem Modell der kontinuierlichen Wandlungsfähigkeit werden die klassischen Produktionskonzepte (Fraktale Produktion; Agile Manufacturing; TQM etc.) vor dem Hintergrund steigender Dynamik und Diversifizierung der industriellen Fertigung um zwei wesentliche Aspekte erweitert. Einerseits verändern die neuen Steuerungskonzepte im Bereich von Unternehmensführung, Management, Controlling, Fertigung, Montage und Qualitätssicherung die betrieblichen Arbeitsabläufe sowie die Qualität der Facharbeit, andererseits führt die Einführung bedienerfreundlicher Kommunikationssysteme zu einer Erweiterung berufsfachlicher Kompetenzen und arbeitsplatzgebundener Selbstständigkeit. „Dies bedeutet, dass selbstregulierte Arbeitsgruppen ihre Arbeit auf bestimmte Ziele ausrichten, ohne dass Vorgaben notwendig sind, auf welche Weise diese erreicht werden“ (WESTKÄMPER/ZAHN 2009, S. 140). Alle „Potentiale der Humanressourcen“ sind demnach im Sinne von Effizienz und Produktqualität intensiv zu nutzen (ebenda).

Der von technischen Innovationen in den Hightech Ländern befeuerte Strukturwandel der Arbeitsmärkte verändert mithin mittelfristig die klassischen Tätigkeitsdomänen der MuE-Berufe. Die modernen Technologien erweisen sich erneut als Motoren der gesellschaftlichen Transformation von industrieller Facharbeit, berufsfachlichem Können und technischem Wissen. Die traditionellen Produktionsberufe erfahren vor diesem Hintergrund mittelfristig einen qualitativen Wandel, der sich in der Dynamik des deutschen Arbeitsmarktes spiegelt und sie zu technischen Dienstleistungsberufen weiterentwickelt.

Drei neue Anforderungen qualitativer Art lassen sich damit benennen. Sie kombinieren ein Zusammenspiel von Wissen und Können auf neuem Niveau. Im fachdidaktischen Sinne rekurren sie implizit auf eine Integration von systematischem und kasuistischem Lernen. Eine neue Form der Wissensökonomie hält damit Einzug in die berufliche Aus- und Weiterbildung. Die mit der digitalen Fabrik indirekt angesprochene Entgrenzung industrieller Facharbeit zielt insoweit auf die a) Kommunikation und Distribution von (Fach-)Wissen, b) die Kooperation und Interaktion sowohl mit Personen als auch Institutionen sowie c) das Management einer flexibilisierten Produktion resp. industriellen Fertigung (ALTMANN/BÖHLE 2010; HIRSCH-KREINSEN/KIRNER 2009; WOLF 2008).

Verlangt die Vermittlung kommunikativer Kompetenz eine Auseinandersetzung mit Erkenntnissen des Wissensmanagements und grundlegende Kenntnisse im Umgang mit digitalen und telekommunikativen Medien, so erfordert die berufsfachliche Kooperation ein hohes Maß an Sozialkompetenz und Selbstorganisation. Damit ist sowohl die kommunikative Seite der industriellen Facharbeit als auch das Produktionsmanagement angesprochen. Modelle und Simulationen können dabei im Sinne angewandten Arbeitsprozesswissens helfen,

- 1 Angesprochen ist damit das am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Univ. Stuttgart entwickelte ‚Stuttgarter Unternehmensmodell‘ (WESTKÄMPER/ZAHN 2009, Def. siehe S. 48).
- 2 Der ökonomische Motor dieser Transformation ist die so genannte ‚globale Qualitätsproduktion‘ und die Effizienzverbesserung vorhandener Produktionssysteme (VOSKAMP/WITTKE 2011).

Handlungsschritte nicht nur zu planen und fertigungstechnische Probleme zu antizipieren, sondern auch strategische Entscheidungen mit Blick auf Effizienz im Team autonom zu kalkulieren. Die Simulation bietet der industriellen Facharbeit die Chance, das „detaillierte Studium der Arbeitsabläufe“ mit technischen Medien vorwegzunehmen und hinsichtlich „relevanter Zielkriterien“ zu optimieren (WESTKÄMPER/ZAHN 2009, S. 22). Die klassische Form des Arbeitsprozesswissens, das die sinnliche Berufserfahrung als wesentliches Qualitätsmerkmal industrieller Facharbeit benennt (FISCHER 1999; BÖHLE 2001), ist damit überholt.

Fraglos sind damit die Herausforderungen der Curriculum- und Qualifikationsforschung, aber auch die fachdidaktischer Unterrichtsforschung benannt. Die individuelle Einflussnahme auf die Form industrieller Facharbeit und deren kompetente Gestaltung erweist sich folglich als zentrales Ausbildungs- resp. Bildungsgangziel. Berufsfachliches Wissen und Können hat deshalb die Grundlagen für „selbstgesteuertes Arbeitshandeln“ (BÖHLE 2003, S. 137 ff.) und innovative Anpassungsprozesse im arbeitsorganisatorischen Kontext digitaler Produktion zu liefern. Berufsfachliche Kooperation und inhaltlich entgrenzte Facharbeit besitzen in der digitalen Fabrik einen Januskopf: Einerseits werden neue Anforderungen an das Wissen und Können qualifizierter Industriearbeit formuliert, andererseits werden die Mensch-Maschine-Schnittstellen technisch derart modifiziert bzw. auf individuelle Fähigkeiten zugeschnitten, dass die Eigenverantwortung und Selbststeuerung in engen Bahnen verläuft (VÖLKELE 2008). Der Einsatz aller individuellen Potenziale qualifizierter Facharbeit erweist sich im Rahmen der Kooperation zwischen Fertigungsingenieuren und Facharbeitern deshalb als Basis für Qualitätsproduktion, Kunden- und Arbeitszufriedenheit (VOSKAMP/WITTKKE 2011).

3. Digitale Lehr- und Lernmittel

Im berufs- und fachdidaktischen Horizont kann die Simulation ganz unterschiedliche Funktionen übernehmen. Mit Simulationen lassen sich sowohl kognitive Fähigkeiten als auch psychomotorische Fertigkeiten situationsunabhängig erproben. Deshalb werden sie u. a. dort eingesetzt, wo die kognitive Aufarbeitung von Lerninhalten das Unterrichtsziel bestimmt, aber auch motorische Fertigkeiten gefragt sind (KERRES 2000). Planspiele und manuelle Geschicklichkeit stehen hierbei im Mittelpunkt der Modellbildung. Simulationen können entsprechend den verwendeten Lehr-Lernstrategien bzw. den zugrunde liegenden lerntheoretischen Modellen dem explorativen resp. situierten Lernen zugeordnet werden (MANDL et al. 2002). Insoweit bieten digitale Medien die Möglichkeit, abstrakten Unterrichtsstoff in einem fachlichen Sinnzusammenhang darzubieten und dadurch anwendbar zu machen (KERRES 1999). Obschon viele Simulationen dem Typus interaktiver Lernprogramme zuzurechnen sind, werden sie gleichwohl „unabhängig von ihrer Machart häufig zu Drill & Practice-Zwecken eingesetzt“ (SCHULMEISTER 2007, S. 63).

Die fachdidaktischen Möglichkeiten, die Simulationen in den Berufsfeldern Maschinen-/Metalltechnik und Elektrotechnik eröffnen, sind vielfältig. Sie bedienen unterschiedliche Zielebenen resp. spezifische „Modellfunktionen“ (FÄSSLER 2000). Nicht alle Modellfunktionen sind für die berufliche Bildung der oben genannten beruflichen Fachrichtungen von gleicher Bedeutung, sondern korrespondieren mit dem gewählten Unterrichtskonzept sowie der Planung von Lern- und Arbeitsaufgabentypen (SCHÜTTE 2006, S. 228 ff.). Fünf sind in diesem Kontext von curricularer und fachdidaktischer Bedeutung. Modelle und Simulation können demnach eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion (1), eine Trainings- (2), Steuerungs- (3) und Prognosefunktion (4) sowie eine Kontroll-/Evaluationsfunktion (5) übernehmen.

Durch die Strukturierungsfunktion können unklare Konzeptionen und Funktionen realer Zusammenhänge nachvollziehbar gemacht werden, wie z. B. die Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen produktionstechnischer Anlagen. Die Trainingsfunktion erlaubt den Lernenden, mit berufsfachlicher Interaktion bspw. bei der Programmierung von Anlagensteuerungen schrittweise vertraut zu werden. Die Kontroll-, Evaluations- und Steuerungsfunktion ermöglicht den Lernenden, Lernfortschritte

zu beurteilen und individuell zu steuern, während die Antizipationsfunktion die Möglichkeit eröffnet, unterschiedliche Szenarien und/oder technische Alternativen auszuprobieren sowie fachliche Werturteile i. S. von Technikfolgenabschätzung zu diskutieren.

Mit Blick auf die berufliche Handlungsorientierung und das Lernfeldkonzept sind hiermit zunächst die *Methodenkompetenz* – implizit auch die *Selbstlernkompetenz* – in Kombination mit der *Fachkompetenz* angesprochen. Die Reduktion von Komplexität in den Dimensionen Zeit und (Fach-)Wissen auf der einen Seite, die Akzentuierung von Inhalten/Unterrichtsthemen in der Differenz von Besonderem und Allgemeinem auf der anderen, erweisen sich als didaktische und methodische Herausforderung für die Planung komplexer berufsfachlicher Lehr-Lern-Arrangements.³

In vielen metalltechnischen Berufen gehören Simulationen zum beruflichen Alltag. So ist die Simulation des Zerspanprozesses, das Lösen steuerungstechnischer Aufgaben oder auch das fügegerechte Gestalten mithilfe digitaler Lehr- und Lernmittel unterrichtlicher Standard. Die Finite Elemente Methode (FEM) ist die am weitesten verbreitete Methode zur Simulation von Umformprozessen (KLOCKE/KÖNIG 2006). Gussstücke können mit Erstarrungssimulationen bzgl. des Erstarrungsverlaufs und der Ausbildung unzulässiger Eigenspannungen einschließlich ihrer Verformungen simuliert werden (FRITZ/SCHULZE 2008). Ferner kann man zur Ermittlung des Verzugs von Bauteilen beim Schweißen auf Schweißsimulationen zurückgreifen (DVS 2010). Ein Beispiel für die Prognosefunktion bieten komplexe Bewegungssysteme, wie z. B. Werkzeugmaschinen oder Kraftfahrzeuge. Sie werden bei ihrer Entwicklung nicht mehr an Prototypen getestet und optimiert, sondern mit Simulationssystemen. Für Industrieroboter werden die Arbeitszellen, die räumliche Anordnung der zu manipulierenden Gegenstände, deren Bewegungen, die Bewegungen des Roboterarms selbst, simuliert. Die kinetischen Abläufe des Roboters lassen sich derart programmieren, aber auch Prozesse, in die der Roboter integriert ist (RODDECK 2006). Einen großen Raum nehmen zudem die Steuerungen von Anlagen und damit die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ein. Die Steuergeräte für Otto- und Dieselmotoren (z. B. Motronic) bzw. die Diagnosegeräte zur Fehlersuche im Motormanagementsystem (OBD) stellen ein breites Anwendungsgebiet dar. Im Berufsfeld Elektrotechnik sind vergleichbare mediendidaktische Innovationen zu beobachten. Die Prozessleitelektronik bspw. bedient sich der computergestützten Modellbildung und Simulation (CMS) mit dem Ziel, das Training im Umgang mit komplexen regelungstechnischen Systemverhalten und damit Problemlösekompetenz zu fördern.

Vier aktuelle Beispiele liefern einen Einblick in die didaktische und methodische Vielfalt von Simulationsprogrammen. Für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologen/innen gehört bspw. die Einrichtung von Produktionsanlagen, aber auch die Simulation von Produktionsprozessen zum Curriculum (KMK 2008, Lernfeld 11, passim). Dabei müssen die Auszubildenden mit verschiedenen Handhabungssystemen operieren, deren Spektrum von einfachen Einlegegeräten und Manipulatoren über Industrie- und Serviceroboter (Abb. 1) bis hin zur Programmierung von Robotern reicht.

Ein weiteres Beispiel liefern Simulationen zur Analyse, Auslegung und Optimierung von ebenen, sphärischen und räumlichen Gelenk- oder Kurvengetrieben. Sie bieten sich bspw. bei kinetischen und konstruktiven Lern- und Arbeitsaufgaben für vollzeitschulische Bildungsgänge an, d. h. für Fachoberschulen, Berufliche Gymnasien und Technikerschulen. Mechanische Bewegungssysteme (für z. B. Scheibenwischergetriebe, Verdeckmechanismen von Cabriolets, Radaufhängungen), parallele und serielle Roboter, Handhabungseinrichtungen, Greifersysteme für Handhabungsgeräte etc. lassen sich damit analysieren und zum Gegenstand komplexer Lehr-Lern-Arrangements erklären.

3 Hiermit wird, im Lichte der Historischen Fachdidaktik, u. a. auf einzelne Aspekte des ‚Exemplarischen Prinzips‘, wie bspw. die Auflösung der Fachgrenzen, verwiesen (GERNER 1963).

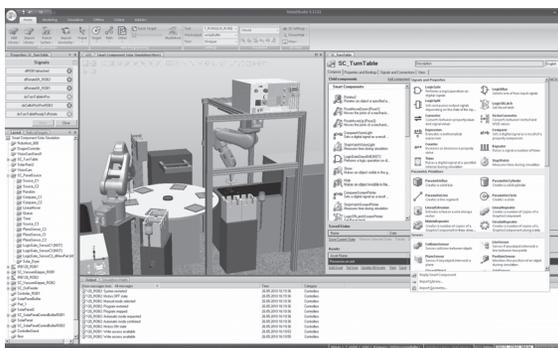
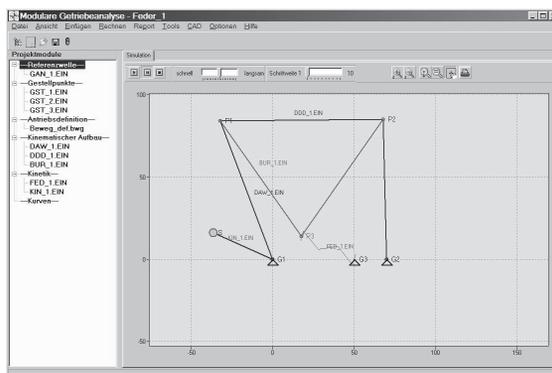


Abb. 1: Oberfläche einer Robotersimulation (RobotStudio, ABB)

Die Technikerschulen können die Simulationsprogramme zur Thematisierung der Getriebekinematik von Gelenkgetrieben (Abb. 2) im thematischen Rahmen der Getriebelehre einsetzen. Die Simulation eröffnet in konstruktiver Absicht die Möglichkeit, Eingangsgrößen zu definieren, Messpunkte festzulegen und für diese die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für den ganzen Bewegungszyklus eines Gelenkgetriebes zu bestimmen.



S. 295 ff.). Weiterhin können die Simulationen als Kommunikationsmedium zwischen Entwicklern, Auftraggebern und Gießereien dienen, da sie optisch verdeutlichen können, was durch Sprache nicht immer eindeutig vermittelt werden kann.

Die Abbildung 3 zeigt Momentaufnahmen der Formfüllung und der Erstarrung einer Gießtraube mit sechs Bremsscheiben, beginnend kurz nach dem Start der Formfüllung. Die Färbung der Bauteile zeigt, dass in geometrisch gleichen Elementen verschiedene Temperaturen herrschen. Das bedeutet, dass die Position der jeweiligen Bauteile im Gießsystem Einflüsse auf das Gefüge dieses Bauteils hat. Mithilfe einer Erstarrungssimulation können diese Effekte verdeutlicht werden und eventuelle weitere gießtechnische Maßnahmen überprüft werden.

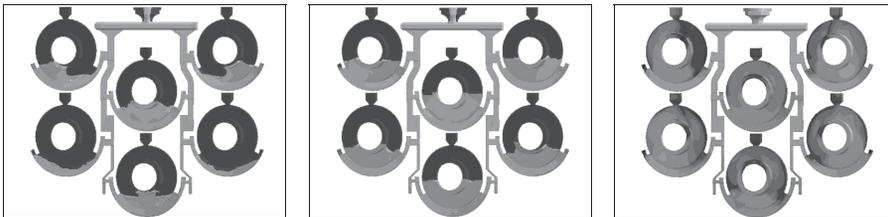


Abb. 3: Formfüllung einer Gießtraube mit sechs Bremsscheiben (nach VDG 2011)

Ein letztes, viertes didaktisches Einsatzfeld digitaler Lehr- und Lernmittel verdeutlicht die Zerspansimulation. Für Industrie- und Zerspansmechaniker sowie Fertigungsingenieure bietet diese Simulation eine Reihe technischer sowie kommunikativer Vorteile. Dazu zählen Möglichkeiten, Aussagen über Werkzeugauslegung – angesprochen sind hiermit Verschleiß, Tribologie, Spannungen, Spanablauf, Geometrie – und Werkstückauslegung im Hinblick auf Rauheit, Temperatur, Eigenspannung, Gratbildung, Maßhaltigkeit sowie ferner Vorhersage von Zerspantemperaturen, Schnittkräften, Spanbildung, oder Oberflächenqualität zu treffen. Mit Hilfe der Simulationen lassen sich für die Auszubildenden die einzelnen Arbeitsschritte visualisieren (Abb. 4) und auch wenig anschauliche Vorgänge, wie z. B. die Schneidenradiuskompensation – die Korrektur der Konturfehler beim Drehen von bspw. Kreisbögen oder Schrägen rücken damit ins inhaltliche Zentrum –, können mit Hilfe von Animationen und Simulationsprogrammen verdeutlicht werden.

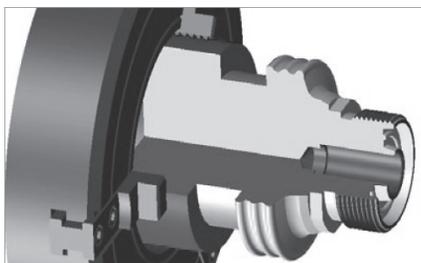


Abb. 4: Visualisierung der Arbeitsschritte eines CNC-Drehteils in unterschiedlicher Färbung

Wenn Simulationen, das sollten die o.g. vier Beispiele demonstrieren, eine immer größere Bedeutung in der globalen Produktion gewinnen, stellt sich die Frage, ob digitale Lehr- und Lernmedien nicht einen größeren Raum in der beruflichen Erstausbildung einnehmen sollten. Die wachsenden Anforderungen an die industrielle Facharbeit hinsichtlich Steigerung des

Prozessverständnisses, Erweiterung des Prozesswissens, Vorhersage von Prozessstabilität und von Bauteileigenschaften, Verkürzung von Planungs- und Entwicklungsschritten bis zur Berechnung der Kosten münden zwangsläufig in einer fachdidaktischen Auseinandersetzung mit digitalen Lehr- und Lernmitteln.

4. Fachdidaktische und methodische Relevanz von Simulation

Lehren und Lernen mit digitalen Medien stützt sich in fach- und berufsdidaktischer Perspektive auf drei unterschiedliche Diskurse. Neben kognitionspsychologischen (a) und unterrichtstheoretischen einschließlich unterrichtsmethodischen Argumenten (b) sind medientheoretische zu berücksichtigen (c).

a) Kognitionspsychologische Argumente schärfen den Blick für mentale Prozesse beim Lernen mit Simulationen. Die Aufmerksamkeit im Umgang mit technischen Phänomenen (Vorgängen etc.), Wahrnehmung, Denken, Erinnern, Verstehen und Problemlösen lassen sich bspw. beobachten. Nach RICHARD E. MAYERS (1997, 1998) kognitiver Theorie multimedialen Lernens muss beim computerunterstützten Lernen von drei Hauptannahmen ausgegangen werden: Es gibt erstens einen auditiven und einen visuellen Kanal mit zwei unterschiedlichen kognitiven Codierungen für verbale und nicht-verbale Informationen (Dual-Coding Theory, PAIVIO 1990). Lernen ist zweitens mit kognitiver Belastung verbunden, jeder Kanal hat eine begrenzte Kapazität und Lernen gelingt umso besser, je geringer die Belastung i. S. der Cognitive Load Theory ist (SWELLER 1988). Im Sinne des Konstruktivismus ist Lernen drittens ein aktiver Prozess des Filterns, Auswählens, Organisierens und Integrierens von Informationen auf Basis zuvor erarbeiteten Wissens (u. a. BLÖMEKE 2003).

Nach MAYER wird die Lernwirksamkeit erhöht, wenn Text und Bild gleichzeitig präsentiert werden. Dadurch werden das visuelle und das verbale mentale Modell miteinander verknüpft. SCHNOTZ (1993, 2002) zeigt, dass dies auch für Animationen gilt und somit z. T. auch auf Simulationen übertragbar ist. Simulation kann diese Erkenntnisse insofern nutzen, als sie Text und Bild als Informationsquelle lernpsychologisch kombiniert und dadurch visuelle und mentale Modelle in komplexen Lehr-Lern-Arrangements zum Einsatz bringt.

Für das Lernen mit digitalen Medien ist hier der konstruktivistische Aspekt von besonderer Bedeutung, da hier nicht nur das Lösen vorhandener Probleme, sondern auch das eigenständige Generieren von Problemen durch die Konstruktion einer individuellen subjektiven Welt des Lernenden eine Rolle spielt. Menschen konstruieren oder kreieren aktiv ihre eigene subjektive Repräsentation der objektiven Realität. Neue Informationen werden mit dem vorhandenen Wissen verknüpft, folglich sind die mentalen Repräsentationen subjektiv. Simulationen ermöglichen demnach im Sinne des Konstruktivismus aktiv und selbst gesteuert in einem problemorientierten, situativen Kontext zu lernen und in verschiedenen Kontexten und unterschiedlichen Perspektiven Wissen zu erwerben und anzuwenden.

Technologiebasierte Lernumgebungen können vor diesem Hintergrund einen Beitrag dazu leisten, die Kluft zwischen Lernsituation und beruflicher Realität zu verringern, wenn die Lernsituation mit der konkreten Arbeitsplatzanforderung vergleichbar ist (MANDL/ GRUBER/ RENKL 2002). Dadurch kann Wissen in einem aktiven Konstruktionsprozess vom Lernenden situativ generiert werden. Bei Simulationen ist dies, wie der Name intendiert, weitgehend gegeben. Positive Beispiele hierfür sind bereits für den Unterricht etablierte Simulationsprogramme aus dem Bereich der CNC-Technik, der Elektronik und der Automatisierungstechnik.

b) Die unterrichtstheoretische und fachdidaktische Perspektive stellt Simulationen als Lehr- bzw. Lernmittel in den Vordergrund. Das Lernfeldkonzept fordert, neben fach- bzw. wissenschaftssystematischer Strukturierung des beruflichen Lernens, die Orientierung an beruflichen Handlungsfeldern im Sinne von Arbeits- und Geschäftsprozessen. Lernenden soll so die Möglichkeit gegeben werden, berufliche Handlungskompetenz zu entwickeln. Simulationen bieten die Möglichkeit, Handlungsalternativen zu finden und zu bewerten sowie Lernprozesse nach dem eigenen Lerntempo zu gestalten. Dies ist mit traditionellen

(konventionellen) Lehr- und Lernmitteln in der metall- und elektrotechnischen Berufsbildung nicht möglich (SIEMON 2006). In fachdidaktischer Perspektive ist festzuhalten: Die Wahl des Unterrichtskonzepts ist wichtiger als die Wahl der Medien (KULIK/KULIK 1991; TULODZIECKI 2002). Computerunterstütztem Lernen resp. dem Einsatz Neuer Medien ermangelt es vor allem an der Berücksichtigung lehr- und lerntheoretischer Erkenntnisse (WEIDENMANN 2002; TULODZIECKI 2011; KERRES 1999, ISSING/ KLIMSA 2002; THISEN 1998). Es profitieren, so die Befunde, nicht alle in gleicher Weise von computergestütztem Lernen. Besonders Lernende mit schlechten Lernvoraussetzungen leiden unter der sozialen Isolation und benötigen instruktionale Unterstützung. Deshalb schlagen z. B. MANDL et al. (2002) vor, dass der Lernende nicht allein vor dem Computer lernen sollte, sondern sich sein Wissen in Gruppen unter Nutzung von Hilfsmitteln und unter Berücksichtigung der Anwendungsbedingungen von Wissen erarbeitet (MANDL et al. 2002).

Andererseits legt BLÖMEKE dar, dass es beim Lernen mit Simulationen in Gruppen „zu kognitiver Überlastung kommen“ kann (BLÖMEKE 2003, S. 73), da zu dem Umgang mit komplexen Simulationen auch noch die Abstimmung der eigenen Lernanstrengungen mit denen der anderen Gruppenmitglieder hinzu kommt (SCHNOTZ et al. 1998). Hier zeigt sich im Umgang mit neuen Lehr- und Lernmitteln ein ernstes Problem: Die Lernenden müssen sich die soziale Interaktion, Teamarbeit und die selbst gesteuerte Erarbeitung von Unterrichtsinhalten erst schrittweise aneignen. Gleichzeitig müssen sie sich mit den Medien und den entsprechenden Programmen vertraut machen. Die meisten auf dem Markt befindlichen Simulationen wurden für die Anwendung in der Produktion oder Logistik entwickelt. Hierzu zählen, wie oben gezeigt, Programme der Hersteller von Industrierobotern, die z. B. Taktzeiten analysieren, Roboterprogramme erzeugen und Prozesse simulieren. Für die Ausbildung in der Berufsschule gibt es meist keine spezielle Ausbildungssoftware, sondern es wird mit der jeweiligen branchenspezifischen Software gearbeitet. Diese genügt vorwiegend nicht fachdidaktischen Ansprüchen, woraus sich die Frage ergibt, ob diese Software lernwirksam ist und didaktischen gleichwie methodischen Ansprüchen hinreichend Rechnung trägt. Im konventionellen Unterricht kann der Lehrende meist schnell erkennen, an welchen Stellen Schwierigkeiten auftreten und darauf reagieren. Dies ist bei digitalen Unterrichtsmedien – auch bei didaktisch aufbereiteter Software (wie bspw. von Festo Didactic oder Keller/MTS) – nicht immer möglich, da diese oft in ihrem Programmablauf nicht unterbrochen oder angepasst werden können (KERRES 2005). Auch ist es nicht immer eindeutig, ob mit den Neuen Medien wirklich das angestrebte Fachwissen vermittelt wird oder nur sog. „Programm-Wissen“ (BLÖMEKE 2003, S. 72). Deshalb muss die Zielstellung beim Lernen mit Simulationen sehr spezifisch sein (BLÖMEKE 2003, passim).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für Simulationen, wie auch für das Lernen mit Multimedia dieselben Aussagen zählen, die auch für die Didaktik Gültigkeit beanspruchen, „nämlich dass aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge allein im Dreieck Lernziel, Lehrmethode und Lernvoraussetzungen und der damit verbundenen Begrenztheit in der Kontrolle der intervenierenden Variablen ‚nur‘ Orientierungsaussagen möglich erscheinen“ (EULER et al. 2006, S. 443). Weiterhin berücksichtigen Simulationen weder die institutionellen Rahmenbedingungen der Berufsbildung noch deren pädagogische Zielsetzungen hinsichtlich des Erwerbs von Sozial-, Methoden-, Personal- und Fachkompetenzen. Ein letzter Punkt zielt auf die Lehrenden und deren Bereitschaft zu Veränderungen hinsichtlich des Umgangs mit neuen Lehr-Lernarrangements bzw. Neuen Medien (EULER et al. 2006).

c) Die Wirkungsweisen von Simulationen sowie ihre Funktion für Unterricht inklusive individuelle Lernprozesse werden durch die medientheoretische Perspektive erörtert. Die auf dem Markt befindlichen Simulationsprogramme unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer bildlichen Darstellungen, ihres Programmumfangs und ihrer Bedienerfreundlichkeit. Das korrespondiert einerseits mit den technischen Möglichkeiten, d. h. den Begrenzungen durch Rechnerkapazität (Arbeitsspeicher, Rechnerleistung, Grafikkarten etc.), andererseits

damit, was Simulation abbilden soll, m. a. W. der Berücksichtigung von softwareergonomischen Aspekten und den Fähigkeiten der Programmhersteller.

Bei Robotersimulationen und Programmen zur Simulation von CNC-Steuerungen bspw. wird versucht, den technischen Prozess realitätsnah abzubilden, dadurch kann die Einbindung der Arbeitszelle des Roboters in sein Umfeld vom Anwender eingeschätzt und nachvollzogen werden. Durch die realitätsnahe Darstellung und die Nachvollziehbarkeit der Auswirkungen der Programmierfähigkeit des Anwenders sind sie gut geeignet, um mit ihrer Hilfe die Programmierung von Robotern oder CNC-Maschinen zu erlernen. Ähnliches gilt für Programme, die zur Simulation von elektrischen und elektronischen Schaltungen dienen, bei denen die Bauteile realitätsnah oder als Schaltzeichen abgebildet werden. Sie ermöglichen es dem Lernenden, mit verschiedenen elektrischen und elektronischen Komponenten zu experimentieren.

Programme, wie FEM-Simulationen, z.B. Gießsimulationen, berechnen und bilden Prozesse ab bzw. sollen Prozesse visualisieren, die in der Realität nicht sichtbar sind (Deformationen, Spannungen in Bauteilen, Abkühlungs- und Strömungsprozesse). Um die Analyseergebnisse darzustellen, verwenden die Hersteller verschiedene Farben. Die Darstellungen der Bauteile können meist relativ schnell intuitiv verstanden werden, da z. B. die Farbe Rot für Stellen mit hoher Spannung oder hoher Temperatur verwendet werden, während bspw. Blau für Bereiche ohne Spannung bzw. mit niedriger Temperatur steht. Diese Programme können sehr gut unterstützend angewendet werden, wenn in der Fachoberschule oder Berufsoberschule Technische Mechanik unterrichtet wird, die vielen Schülern aufgrund ihrer abstrakten Darstellungen (Balkentheorie, Schnittlasten etc.) Schwierigkeiten bereitet. Programme zur Gießsimulation können z. B. Lernenden an Technikerschulen oder künftigen Gießereimechanikern oder Modellbauern die Notwendigkeit gießgerechter Gestaltung illustrieren. Bei diesen Programmen ist jedoch zu berücksichtigen, dass viele in ihrer Anwendung recht komplex sind und eine hohe Rechnerleistung benötigen. Hier ist abzuwägen, ob das jeweilige Programm mit den Lernenden wirklich genutzt wird oder der Lehrende diese Programme nutzt, um für die jeweilige Unterrichtssituation Animationen zur Visualisierung des Unterrichtsthemas zu erstellen.

Simulationsprogramme mit abstrakten Visualisierungen, wie bspw. das oben erwähnte Programm zur Simulation von Getriebekinetiken dienen sicherlich nicht in erster Linie der technischen Erklärung der Getriebekinetik, können aber durchaus ihre Berechtigung darin haben, dass die teilweise sehr komplexen und langwierigen Berechnungen in diesem Bereich erleichtert und verkürzt werden. Die Bedeutung von Eingangsgrößen, Randbedingungen und Funktionen von Getrieben lassen sich damit anschaulich darstellen. Für den Einsatz von Simulation gilt grundsätzlich, dass nur ausgewählte Unterrichtskonzepte mit speziellen Lern- und Arbeitsaufgaben, die Zusatzinformationen sowie Anleitungen bereitstellen und Erläuterungen sowie ein Feedback ermöglichen, nachweisliche Lernerfolge erwarten lassen.

6. Schlussbemerkung

Der Einzug digitaler Medien in die industrielle Facharbeit ist unübersehbar. In allen Handlungsdomänen der Metall- und Elektrotechnik gehört der fachliche Umgang mit digitalen Informationen auf unterschiedlichen Ebenen zum Berufsalltag. Die Etablierung der digitalen Fabrik wird die Informatisierung von produktionstechnischen Arbeitsabläufen und technischen Wissensbeständen weiter revolutionieren und die Arbeitszuschnitte industrieller Fertigung inhaltlich und qualitativ zunehmend entgrenzen. Einerseits geht damit eine schrittweise Konvergenz metall- bzw. maschinentechnischer Berufe einher, andererseits eine alle Segmente beruflicher Facharbeit umfassende Integration modernster Kommunikationsmedien mit Rückwirkungen auf die berufliche Aus- und Weiterbildung.

Die Simulation technischer Prozesse sowie berufsfachlicher Arbeitsabläufe ist ein wesentliches Element der digitalen Fabrik, getragen von sich selbst regulierender Teamarbeit

(Gruppenarbeit) und ganzheitlichen Produktionsstrukturen. Der Rückgriff auf und der Umgang mit speziellen Arbeitsinformations- und -organisationssystemen, mit deren Unterstützung die global verschränkte Güterproduktion organisiert und eine hohe Diversifizierung der industriellen Fertigung garantiert wird, erfordert eine inhaltliche Erweiterung des klassischen Ausbildungskanons in den oben genannten Berufsbildern bzw. Handlungsdomänen. Modell und Simulation leisten einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis produktionstechnischer Arbeitsabläufe. Sie können Entscheidungen technischer und organisatorischer Art vorwegnehmen, Prozesse steuern bzw. strukturieren und Kontrollen vereinfachen. Der Einsatz von Simulation (und Modell) ist nicht nur – wie beispielhaft gezeigt – vielfältig, er ist immer auch speziell, auf branchenspezifische Anforderungen bzw. besondere technische Problemstellungen in Fertigung und Konstruktion ausgelegt. Hieraus erwächst eine neue curriculare und didaktische Herausforderung für die Berufliche Fachdidaktik im Feld der MuE-Berufe.

Als modernes Lehr- und Lernmittel gehört der Simulation die Zukunft. Didaktisch eingebettet in offene Curricula (siehe Lernfeldkonzept) und komplexe Lehr-Lern-Arrangements bietet sie nicht nur eine Basis für den gezielten Umgang mit so genannten Neuen Medien in der schulischen wie betrieblichen Unterrichtspraxis – wie es derzeit bereits gängige Praxis ist –, sondern vor allem unterrichtskonzeptionell neue Möglichkeiten. Fächerübergreifender Unterricht ist hierbei ebenso eine fach-/berufsdidaktische Option wie auch der Erwerb insbesondere von Methodenkompetenz und Selbstlernkompetenz. Die (fach-)didaktische Relevanz von Simulation kommt vor allem in der Reduktion technischer/berufsfachlicher Komplexität zu tragen. Damit ist keine Aussage über die Qualität von Unterricht getroffen, wohl aber die Anfrage an ein modernes Unterrichtskonzept formuliert.

Literatur

- ALTMANN, N. & BÖHLE, F. (Hrsg.) (2010): Nach dem „Kurzen Traum“. Neue Orientierungen in der Arbeitsforschung. Berlin.
- BLÖMEKE, S. (2003): Lehren und Lernen mit neuen Medien – Forschungsstand und Forschungsperspektiven. In: *Unterrichtswissenschaft* 31 (1), S. 57–82.
- BÖHLE, F. (2001): Sinnliche Erfahrung und wissenschaftlich-technische Rationalität – ein neues Konfliktfeld industrieller Arbeit. In: LUTZ, B. (Hrsg.): *Entwicklungsperspektiven von Arbeit*. Berlin, S. S. 113–131.
- BÖHLE, F. (2003): Wissenschaft und Erfahrungswissen – Erscheinungsformen Voraussetzungen und Folgen einer Pluralisierung des Wissens. In: BÖSCHEN, S. & SCHULZ-SCHAEFFER, I. (Hrsg.): *Wissenschaft in der Wissensgesellschaft*. Wiesbaden, S. 143–177.
- BUCHMAYR, B. (2002): *Werkstoff- und Produktionstechnik mit Mathcad. Modellierung und Simulation in Anwendungsbeispielen*. Berlin [u. a.]: Springer.
- DVS (Hrsg.) (2010): *Anwendungsnahe Schweißsimulation komplexer Strukturen*. AiF-IGF-Verbundprojekt, Laufzeit: 01.07.2007 bis 31.12.2009 (verlängert bis 30.04.2010). Düsseldorf: DVS Media (DVS-Berichte, 282).
- EULER, D., SEUFERT, S. & WILBERS, K. (2006): eLearning in der Berufsbildung. In: ARNOLD, R. & LIPSMEIER, A. (Hrsg.): *Handbuch der Berufsbildung*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- FÄSSLER, V. B. (2000): *Entwicklung von Simulationen für technische Lernprozesse*. Frankfurt/M; New York: Lang.
- FISCHER, M. (1999): Arbeitsprozeßwissen als Gegenstand des Lernens in berufsbildenden Schulen In: DEHNBOSTEL, P., MARKERT, W. & NOVAK, H. (Hrsg.): *Erfahrungslernen in der beruflichen Bildung – Beiträge zu einem kontroversen Konzept*. Neusäß, S. 100–120
- FRITZ, A. H. & SCHULZE, G. (Hrsg.) (2008): *Fertigungstechnik*. 8., neu bearb. Berlin, Heidelberg: Springer.
- GERNER, B. (1963): *Das exemplarische Prinzip. Beiträge zur Didaktik der Gegenwart*. Darmstadt.
- GERSTENMAIER, J. & MANDL, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 41, S. 867–888.

- HIRSCH-KREINSEN, H. & KIRNER, E. (2009): Innovationsverhalten von Low-Tech Unternehmen und Kooperationen mit High-Tech Partnern. In: GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFTEN E. V. (Hrsg.): Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert. Bericht zum 55. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V., Dortmund: GfA-Press, S. 193–197
- HUMMEL, V., RÖNNECKE, T. & WESTKÄMPER, E. (2009): Ganzheitliche Produktionssysteme. In: Westkämper & Zahn 2009, S. 25–46
- ISSING, L. J. & KLIMSA, P. (Hrsg.) (2002): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU.
- KERRES, M. (1999): Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen. In: HMD-Praxis der Wirtschaftsinformatik 36 (205), S. 9–21.
- KERRES, M. (2000): Medienentscheidungen in der Unterrichtsplanung. Zu Wirkungsargumenten und Begründungen des didaktischen Einsatzes digitaler Medien. In: Bildung und Erziehung 53 (1), S. 19–39.
- KERRES, M. (2005): Gestaltungsorientierte Mediendidaktik und ihr Verhältnis zur Allgemeinen Didaktik. In: STADTFELD, P. & DIECKMANN, B. (Hrsg.): Allgemeine Didaktik im Wandel. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 214–234.
- KLOCKE, F. & KÖNIG, W. (2006): Fertigungsverfahren 4. Aufl. Berlin; Heidelberg; New York: Springer.
- KMK (2008): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/ Produktionstechnologin. Bonn, 15.02.2008.
- KULIK, C. & KULIK, J. A. (1991): Effectiveness of Computer-Based Instruction: An Updated Analysis. In: Computers in Human Behavior 7 (1–2), S. 75–94.
- MANDL, H., GRUBER, H. & RENKL, A. (2002): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: ISSING, L. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU, S. 139–148.
- MAYER, R. E. (1997): Multimedia learning: Are we asking the right questions? In: Educational Psychologist 32 (1), S. 1–19.
- MAYER, R. E. & MORENO, R. (1998): A Cognitive Theory of Multimedia Learning: Implications for Design Principles. ACM SIGCHI Conference on Human Factors Computing Systems. Los Angeles, CA, April 1998. Online verfügbar unter <http://www.unm.edu/~moreno/PDFS/chi.pdf>, zuletzt geprüft am 29.09.2011.
- PAHL, J.-P., SCHÜTTE, F. & SPÖTTL, G. (2002): Memorandum: Entwicklung der Berufe und der Ausbildung im Berufsfeld Metalltechnik. In: lernen & lehren 17 Jg. H. 65, S. 34–37.
- PAIVIO, A. (1990): Mental representations. A dual coding approach. New York, Oxford [England]: Oxford University Press; Clarendon Press.
- SCHNOTZ, W., BÖCKHELER, J. und GRZONDZIEL, H. u. a. (1998): Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern. In: Zeitschrift für pädagogische Psychologie 12 (2–3), S. 135–145.
- SCHULMEISTER, R. (2007): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie – Didaktik – Design. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. München [u. a.]: Oldenbourg.
- SCHÜTTE, F. (2006): Hochtechnologie, Nanotechnologie, Miniaturisierung – Fachdidaktische Curriculumforschung vor neuen Herausforderungen. In: SCHÜTTE, F.: Berufliche Fachdidaktik. Stuttgart, S. 193–214.
- SIEMON, J. (2006): Virtual Reality zum selbstgesteuerten Lernen in metalltechnischen Berufen. In: lernen & lehren 21 (84), S. 167–171.
- SWELLER, J. (1988): Cognitive load during problem solving: Effects on learning. In: Cognitive Science 12 (2), S. 257–285.
- THISSEN, F. (1998): Lernort Multimedia. Zu einer konstruktivistischen Multimedia-Didaktik. In: NISPEL, A., STANG, R. & HAGEDORN, F. (Hrsg.): Pädagogische Innovation mit Multimedia 1. Analysen und Lernorte, S. 29–43.
- TULODZIECKI, G. (2002): Mediendidaktik. In: LEONHARD, J. F., LUDWIG, H. W., SCHWARZE, D. & STRASSNER, E. (Hrsg.): Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen. Berlin, New York: de Gruyter, S. 2807–2819.
- TULODZIECKI, G. (2011): Handeln und Lernen in einer von Medien mitgestalteten Welt. Konsequenzen für Erziehung und Bildung. In: ALBERS, C., MAGENHEIM, J. & MEISTER, D. (Hrsg.):

- Schule in der digitalen Welt. Medientheoretische Ansätze und Schulforschungsperspektiven. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 43–64.
- VÖLKEL, A. (2008): Individuelle Optimierung von Mensch-Maschine-Schnittstellen auf Grundlage evolutionärer Mechanismen. Teil 1: Methodik. In: atp 50 (2008) 9, S. 48–57; Teil 2: Bewertung. In: atp 50 (2008) 10, S. 40–46.
- VOSKAMP, U. & WITTKKE, V. (2011): Globale Produktion. In: SOFI-Mitteilungen. April 2011, S. 8–11.
- WEIDENMANN, B. (2002): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: ISSING, L. & KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU, S. 45–62.
- WESTKÄMPER, E. & ZAHN, E. (Hrsg.) (2009): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Berlin: Springer.
- WOLF, H. (2008): Knowledge Worker, Entrepreneurs, Prosumenten, Prekariat. Kultfiguren der schönen neuen Arbeitswelt. In: ZWENGEL, R. (Hrsg.): Gesellschaftliche Perspektiven – Arbeit und Gerechtigkeit. Jahrbuch der Heinrich-Böll-Stiftung Hessen. Band VIII. Essen: Klartext, S. 123–135.

Anschrift der Autoren: Prof. Dr. Friedhelm Schütte, TU Berlin, Fak. I, Inst. für Berufliche Bildung u. Arbeitslehre, 10587 Berlin, Marchstr. 21–23, Sekr. 1–4, friedhelm.schuette@tu-berlin.de
StA Dipl.-Ing. Tanja Mansfeld, TU Berlin, Fak. I, Inst. für Berufliche Bildung u. Arbeitslehre, 10587 Berlin, Marchstr. 21–23, Sekr. 1–4, tanja.mansfeld@tu-berlin.de