

Vier Jahrzehnte personalorientierte Simulation - Rückblick und Ausblick -

Gert ZÜLCH

*Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12, D-76131 Karlsruhe*

Kurzfassung: Rechnet man die Entwicklungszeiten der ersten beiden, im Jahre 1985 dokumentierten Verfahren hinzu, so kann die personalorientierte Simulation inzwischen auf vier Jahrzehnte ihrer Entwicklung zurückblicken. Kern dieser Verfahren ist die Modellierung der für die Ausführung der simulierten Arbeitsvorgänge benötigten Qualifikationen. Hierfür gibt es verschiedene Ansätze, die sich in ihrer Komplexität und damit auch in ihren Simulationsmöglichkeiten unterscheiden. Neuere Ansätze berücksichtigen den geplanten Zeitgrad der modellierten Personen, um beispielsweise den alternsbedingten Leistungswandel zu simulieren. Zukünftige Weiterentwicklungen werden sich darauf konzentrieren, arbeitsphysiologische Einflussfaktoren bei der Simulation zu berücksichtigen.

Schlüsselwörter: Personalsimulation, Qualifikation, Funktion, Zeitgrad, Arbeitsphysiologie, Arbeitspsychologie

1. Anfänge der personalorientierten Simulation

Ausgangspunkt der personalorientierten Simulation in Deutschland waren im Jahre 1980 zwei Dissertationen, die nahezu gleichzeitig erschienen. Eine davon war die Arbeit von Klauke (1980) an der Technischen Hochschule Aachen, die sich der Simulation der Arbeitsteilung in Arbeitssystemen mit NC-gesteuerten Werkzeugmaschinen widmete. Die zweite entstand an der Universität Stuttgart, wo Häußermann (1980) eine Dissertation vorlegte, die sich mit der Planung der Mehrmaschinenbedienung unter Berücksichtigung von Umfeldaufgaben befasste. Zählt man die Entwicklungszeiten der zugehörigen Verfahren hinzu, so kann man heute von vier Jahrzehnten der personalorientierten Simulation sprechen.

Beide Simulationsverfahren verfolgten ähnliche Ziele, nämlich die Untersuchung von Möglichkeiten der Arbeitsteilung in weitgehend automatisierten Arbeitssystemen in der Teilefertigung, unterschieden sich aber deutlich in der Modellierung der dafür benötigten personellen Qualifikationen. Während Häußermann von den Tätigkeiten der modellierten Personen ausging, in seinem Fall von Maschinenbedienung und Einrichten, verwendete Klauke eine funktionsorientierte Sicht. Dazu modellierte er zunächst die an den Maschinen durchzuführenden Funktionen und ordnete diese dann Personaltypen zu, die ihrerseits für verschiedene Maschinengruppen zuständig waren. Entsprechend den notwendigen Funktionen an NC-gesteuerten Werkzeugmaschinen konnten diese sehr detailliert modelliert werden, sodass z.B. die Programmierung, das Beobachten des Arbeitsablaufes und qualitätssichernde Tätigkeiten am Werkstück an derselben Maschine von verschiedenen Personen durchgeführt werden konnten.

Die weitere Entwicklung der beiden Arbeitsgruppen gestaltete sich in der Folge recht unterschiedlich. Während sich die Stuttgarter Gruppe im Umkreis des Verfahrens *SIMEMA* eher der graphisch unterstützten und später der objektorientierten Modellierung zuwandte (z.B. Schweizer 2008), wurde das ursprüngliche Aachener Verfahren *NC-APSIM* zunächst unter der Bezeichnung *SIMULAST* (Klauke & Zülch 1985) bei Siemens zur Modellierung von Aufträgen, bestehend aus sequenziellen Arbeitsvorgängen weiter entwickelt, später dann am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der damaligen Universität Karlsruhe (heute Karlsruher Institut für Technologie) auch zur Abbildung netzwerkartiger Arbeitsabläufe verfeinert (Ernst 1991). Dort bildete dann die Modellierung des Verfahrens *FEMOS* (Grobel 1992, S. 38 ff.) einen neuen Anfang. Später wurden dann die Verfahren *ESPE* (Heitz 1994, S. 93 ff.) und *OSim* (Jonsson 2000, S. 181 ff.) mit speziellen bzw. erweiterten Funktionalitäten daraus abgeleitet.

Im späteren Verlauf kamen weitere Verfahren anderer Arbeitsgruppen hinzu. Hierzu zählten z.B. die Arbeiten von Klinger (1999) an den Universitäten Passau und Dortmund sowie Licht (2008) an der Technischen Hochschule Aachen. Der Stand des Wissens wurde dann erstmals 2001 in der VDI-Richtlinie 3633 Blatt 6 zusammengefasst. Seit 2012 befasst sich ein Richtlinienausschuss des VDI mit der Überarbeitung dieses Richtlinienblattes.

2. Modellierung von Qualifikationen

Jeweils Teile dieser Entwicklungsansätze finden sich heute in kommerziellen Simulationsverfahren wieder. Deren Grundprinzipien lassen sich danach unterscheiden, ob sie eher in den maschinellen Ressourcen des Arbeitssystems, in den durchzuführenden Aufgaben mit ihren Arbeitsvorgängen oder im Material und dessen Durchfluss durch das Arbeitssystem den Ausgangspunkt ihrer Modellierung nehmen. Bei einigen der eingesetzten Verfahren kommt auch eine Orientierung an personellen Ressourcen in Betracht, und dies vor allem bei der Simulation von Dienstleistungssystemen (Fischlein & Pfänder 2007; Stock et al. 2014). Dies bedingt dann auch einen unterschiedlichen Aufwand und letztendlich eine Begrenzung der Simulationsmöglichkeiten.

Kern der personalorientierten Simulation ist die Art der Modellierung personeller Qualifikationen. Dies wurde bereits bei der Erläuterung der ursprünglichen Verfahren von Klauke (1980) und Häußermann (1980) hervorgehoben. Auch die VDI-Richtlinie 3633 Blatt 6 (2001, S. 5 f.) weist auf einfachere und komplexere Modellierungsmöglichkeiten hin. Eine einfache Möglichkeit besteht darin, Funktionen direkt mit einem Betriebsmittel zu verknüpfen, und so z.B. das Feindreihen an Maschine 1 als „Feindreihen 1“ zu modellieren, in analoger Weise dann „Feindreihen 2“ usw.

Eine komplexere Modellierungsart findet sich in Arbeiten des Karlsruher Instituts für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (siehe auch VDI 3633 Blatt 6, S. 7 f.). Hierzu wird zunächst für jede zu fertigende Produktart bzw. jede durchzuführende Arbeitsaufgabe ein Durchlaufplan modelliert, der aus einer netzwerkartigen Verknüpfung von Arbeitsvorgängen besteht. Gleichartige Arbeitsvorgänge werden als Funktionen zusammengefasst, z.B. zur Funktion „Feindreihen“. Diese Funktion kann an einer oder mehreren Maschinen bzw. Arbeitsplätzen durchgeführt werden, z.B. in der Betriebsmittelgruppe „Drehmaschinen“. Die Relation zwischen Funktion und Betriebsmittelgruppe wird als „Ausführbarkeit“ bezeichnet. Hieraus entsteht dann das Funktionselement „Feindreihen an Drehmaschinen“. Dieses Funktionselement ist

dann einem Personaltypen zuzuordnen, also z.B. dem Personaltypen „Dreher“, der seinerseits die Relation „Fähigkeit“ für das Feindreihen aufweist und über die Relation „Zuständigkeit“ der Betriebsmittelgruppe „Drehmaschinen“ zugeordnet ist. Diese drei Relationen bilden dann ein Qualifikationselement des Personaltyps „Dreher“. Die Qualifikation eines Personaltyps kann dabei auch mehrere Qualifikationselemente umfassen, z.B. „Einrichten und Qualität sichern an spanenden Werkzeugmaschinen“.

Diese Art der Modellierung hat sich als geeignete Möglichkeit zur Abbildung von Gruppenarbeit, Mithilfe bei Arbeitsvorgängen u.ä. erwiesen (Abbildung 1). Sie erscheint zwar als durchaus logisch, ist aber nicht ganz trivial bei der Erstellung eines Simulationsmodells, sodass z.B. im Verfahren *FEMOS* ein eigener Browser entwickelt wurde, um die Konsistenz der Modellierung zu überprüfen.

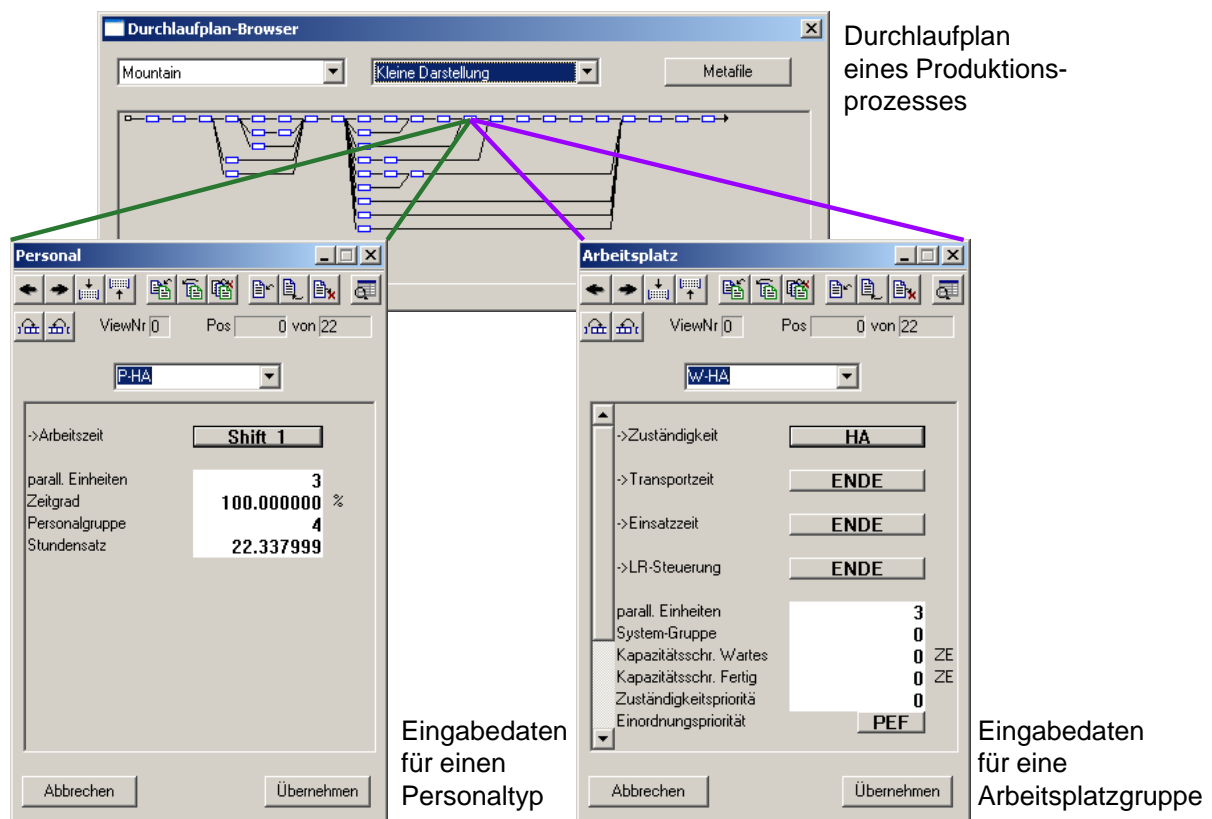


Abbildung 1: Modellierung eines Arbeitsvorgangs mit personellen und maschinellen Ressourcen im Simulationsverfahren FEMOS

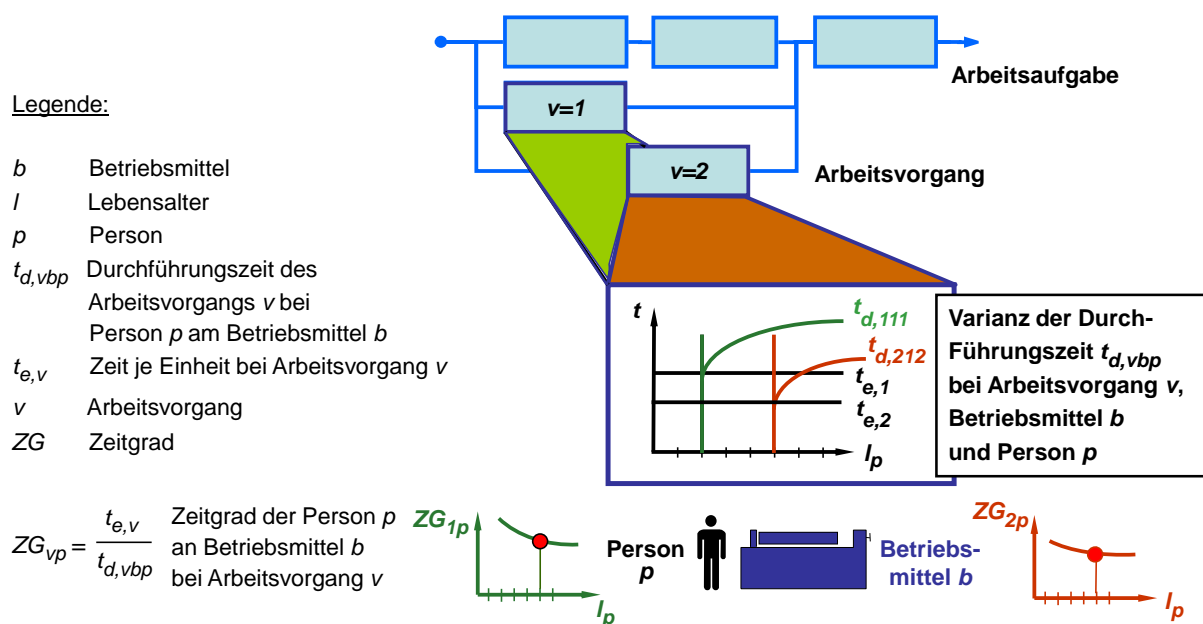
3. Gegenwärtige Forschungs- und Anwendungsfelder

Im Forschungsbereich besteht eine Entwicklungsrichtung dahingehend, dass die Attribute der Elemente eines Simulationsmodells, die bisher vorrangig aus Zuordnungs- und Zeitparametern bestehen und vor allem geplante Zeitdauern von Arbeitsvorgängen beinhalten, um weitere Parameter in ergonomischer Hinsicht zu ergänzen. Konkreter Anlass hierfür ist die bereits seit geraumer Zeit anhaltende Diskussion um demographische Veränderungen, die sich auch in den Leistungspotenzialen von Arbeitssystemen niederschlagen.

Eine Möglichkeit hierzu bietet der Zeitgrad, der sich in Anlehnung an REFA (2011, S. 100) als das Verhältnis von geplanter Zeit für einen Arbeitsvorgang zu der von der

ausführenden Person benötigten Zeit beschreiben lässt. Bereits Baines u.a. (2004) verwenden für ihre Untersuchungen in der Automobilindustrie ein Modell, das eine degressive Abhängigkeit des Zeitgrades vom Lebensalter der ausführenden Person annimmt. Becker (2015, S. 77 ff.) hat dieses Modell verfeinert, indem er den Zeitgrad nicht wie dort pauschal für ein gesamtes Arbeitssystem ansetzt, sondern differenziert nach einzelnen Arbeitsvorgängen, wobei der jeweils geltende Zeitgrad durch Expertenschätzungen ermittelt wird. Dass dieses Modell die Realität nur unzureichend wiedergibt, zeigt die Diskussion um den Arbeitsbewältigungsindex (auch als Work-Ability-Index bezeichnet). Nach Ilmarinen (Ilmarinen & Tempel 2010; siehe auch BAuA 2008) weist dieser Index eine mit dem Lebensalter zunehmende Streuung im abnehmenden Sinne auf und wird zusätzlich von Interventionsmaßnahmen zur Gesundheitsförderung, ergonomischen Arbeitsgestaltungsmaßnahmen und Führungsverhalten der Vorgesetzten beeinflusst. Dadurch und durch die nicht betrieblich bedingte individuelle Gesundheitsentwicklung des Einzelnen ist eine Prognose mit Unsicherheiten behaftet.

Anhand von Fallstudien zeigt die Anwendung dieses Modells von Becker (2015, S. 110 ff.) nicht unerhebliche Auswirkungen auf das Leistungspotenzial von Montagesystemen (Abbildung 2). Teilweise erreicht die Produktivität von Arbeitssystemen mit vorrangig physiologischen Belastungen eine jährliche Minderung von etwa 1 %. Zülch und Schmidt (2011) weisen ergänzend anhand einer Fallstudie darauf hin, dass in einer Arbeitsplanungsabteilung mit vorrangig psychologischen Anforderungen praktisch keine Leistungsminderung auftritt, da Leistungseinbußen bei einigen Faktoren durch andere, insbesondere erfahrungsgeleitete kompensiert werden können.



Dennoch erscheint die Simulation personeller Veränderungen über längere Zeiträume hinweg als ausgesprochen sinnvoll. In diesem Falle sind technologische Entwicklungen des betrachteten Produkts in Verbindung mit der eingesetzten Produktionstechnologie zu beachten. Diese als Technologiekalender formalisierte Entwicklung eines Arbeitssystems hat Rottinger (2005, S. 147 ff.) durch Personalentwicklungspfade ergänzt. Sie weisen darauf hin, in welchem Zeitraum vor der Einführung

einer neuen Technologie Maßnahmen zur Schulung des betreffenden Personals notwendig werden.

Ein weiteres Anwendungsfeld betrifft die Einbindung des Privatbereiches modellierter Personen in die Simulation von Arbeitsabläufen. Hintergrund ist die bereits seit vielen Jahren andauernde Diskussion von Arbeitszeitsystemen, insbesondere von flexiblen Arbeitszeiten im Dienstleistungsbereich und dies oftmals bei kontinuierlicher Anwesenheit von Personal (Bogus 2002, S. 99 ff.). Die Arbeitsgruppe um Stock u.a. (2014) setzt hierbei auf die simulative Ermittlung von Konflikten zwischen Privat- und Berufsleben, wenn diese Personen in bestimmten Zeitscheiben (z.B. von jeweils einer Stunde Dauer) eingesetzt würden. Die Simulation der anfallenden Arbeitsaufgaben in einem bestimmten Arbeitszeitsystem zeigt dann auf, wie viele zeitliche Konflikte dabei anfallen würden. Da diese Anzahl möglichst gering sein soll, wird hierdurch letztlich auch eine quantitative Aussage über die Work-Life-Balance der potenziell eingesetzten Personen erreicht.

4. Zukünftige Weiterentwicklung

Zwar kann der Zeitgrad aufgrund parametrisierter Einflussgrößen wie Arbeitsschwere und Lebensalter auch erste ergonomische Kriterien in der Simulation berücksichtigen. Darüber hinaus bietet aber die Einbeziehung weiterer ergonomischer Attribute zu den Elementen des Arbeitssystems ein weites Forschungsfeld. Hier ist vor allem der sich in der Anlaufphase eines Arbeitssystems durch Lerneffekte quasi kontinuierlich verändernde Zeitbedarf der eingesetzten Personen zu nennen. Ähnliches gilt auch für Verlerneffekte in der Auslaufphase oder durch seltene Arbeitsaufgaben (Digesi 2006, S. 34 ff.).

Darüber hinaus sind aber vor allem weitere arbeitsphysiologische Parameter als Attribute zu integrieren. Hierzu gehören z.B. der Arbeitsenergieumsatz bei Arbeitsvorgängen und Parameter bei der Manipulation von Lasten. Schließlich kommen auch arbeitspsychologische Kriterien in Betracht, die sich aus repetitiven Arbeitsvorgängen und hoch kontrollierten Bewegungsfolgen ergeben (Zülch & Braun 1994).

Ein relativ neuer Ansatzpunkt ist die Einbeziehung individueller Verhaltensweisen in die Simulation. In einer agentenbasierten Simulation könnte jeder einzelne Akteur eigene Ziele verfolgen, die nicht notwendigerweise mit den Organisationszielen des Arbeitssystems konform sind. Außerdem könnten den Agenten eigene Verhaltensmuster zugeordnet werden, beispielsweise bezüglich des Ausweichverhaltens bei der Simulation von Personalströmen, wie dies bereits bei der simulativen Evakuierung von Flugzeugen und Stadien eingesetzt wird, allerdings bisher noch weitgehend ohne Berücksichtigung des individuellen Verhaltens.

Ein Grundproblem der Weiterentwicklung personalorientierter Simulationsverfahren besteht in der Validierung der mit ihnen erstellten Modelle. Hierzu bedarf es einer stärkeren interdisziplinären Zusammenarbeit in Forschungsprojekten. Dadurch könnten Problembereiche weiter verfolgt werden, die bereits in der VDI-Richtlinie 3633 Blatt 6 (2001, S. 11) angesprochen wurden, nämlich der Effizienz von Kooperationen zwischen zwei oder auch mehreren modellierten Akteuren. Erste empirische Ergebnisse bezüglich Alters- und Geschlechtsheterogenität liegen zwar bereits vor (z.B. Wegge 2011), ihre Verwendung in Simulationsmodellen im Hinblick auf die Produktivität von Arbeitssystem steht allerdings noch aus. Hierzu fehlt es zurzeit an quantifizierbaren Modellen, die in ein personalorientiertes Simulationsverfahren eingebunden werden könnten.

5. Literatur

- Baines T, Mason S, Siebers PO, Ladbrook J (2004) Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory* 12:515-526.
- BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Ed) (2008) *Why WAI*. Dortmund: BAuA, 2. Aufl.
- Becker M (2015) Leistungspotenzial eines Fertigungssystems unter dem Aspekt langfristig bestehender Belegschaftsstrukturen. Aachen: Shaker.
- Bogus T (2002) Simulationsbasierte Gestaltung von Arbeitszeitmodellen in Dienstleistungsbetrieben mit kundenfrequenzabhängigem Arbeitszeitbedarf. Aachen: Shaker.
- Digiesi S (2006) Performance Evaluation of Human-based Production Systems. PhD thesis, Politecnico di Torino; Politecnico di Bari.
- Ernst W (1991) Beitrag zur Planung der Personalstruktur im Fertigungsbereich. Karlsruhe Uni Diss.
- Fischlein J, Pfänder T (2007) *Industrielles Klinikmanagement*. München: FinanzBuch.
- Grobel T (1992) Simulation der Organisation rechnerintegrierter Produktionssysteme. Karlsruhe: Universität, Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 3; ISSN 0940-0559)
- Häußermann S (1980) Planung von Mehrmaschinenarbeit unter Berücksichtigung von Umfeldaufgaben. Berlin et al.: Springer.
- Heitz MJ (1994) Ein engpaßorientierter Ansatz zur simulationsunterstützten Planung von Personalstrukturen. Karlsruhe Uni Diss.
- Ilmarinen J, Tempel J (2001) *Arbeitsfähigkeit 2010*. Hamburg: VSA.
- Jonsson U (2000) Ein integriertes Objektmodell zur durchlaufplanorientierten Simulation von Produktionssystemen. Aachen: Shaker.
- Klauke A (1980) Entwicklung und Erprobung eines Simulationsmodells zur Planung der Arbeitsteilung an Arbeitssystemen mit numerisch-gesteuerten Werkzeugmaschinen. Aachen TH Diss.
- Klauke A, Zülch G (1985) Simulation von Arbeitsstrukturen in der Teilefertigung. In: Below F, von, Borges A, Hildebrandt F (Eds), *Moderne Fabrikorganisation*. Berlin et al.: Springer, 473-498.
- Klinger A (1999) Referenzmodelle für die Abbildung von Personalsteuerung in der Simulation. San Diego et al.: SCS Publishing House.
- Licht T (2008) Entwicklung eines personenzentrierten Simulationsmodells zur Unterstützung des Multiprojektmanagements in der Produktentwicklung. Aachen: Shaker.
- REFA-Bundesverband (Ed) (2011) *REFA-Lexikon*. München: Hanser, 2. Aufl.
- Rottinger S (2005) Mehrphasige Personalentwicklungsplanung für Fertigungssysteme auf Basis des Technologiekalenderkonzeptes. Karlsruhe: Universitätsverlag.
- Schweizer W (1992) Entwicklung eines interaktiven Simulators auf der Basis von Petri-Netzen zur Modellierung und Bewertung hybrider Montagestrukturen. Berlin et al.: Springer.
- Patricia S, Schmidt D, Leupold M (2014) Arbeitszeitgestaltung unter Berücksichtigung der Work-Life-Balance mit Hilfe der rechnerunterstützten Simulation. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- VDI 3633, Blatt 6 (2001) Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Abbildung des Personals in Simulationsmodellen. Berlin: Beuth.
- Wegge J (2011) Altersgemischte Teamarbeit in Organisationen. Dresden: Technische Universität, Professur für Arbeits- und Organisationspsychologie. Retrieved 21.05.2013. <http://www.dza.de/veranstaltungen/bisherige-veranstaltungen/title/altersgemischte-teamarbeit-in-organisationen.html>, http://www.dza.de/fileadmin/dza/pdf/Wegge_DZA_02_2011.pdf.
- Zülch G, Braun WJ (1994) Bewertung von Arbeitssystemen in der manuellen Montage. In: Zink KJ, Wettbewerbsfähigkeit durch innovative Strukturen und Konzepte. München: Hanser, 151-168.
- Zülch G, Schmidt D (2011) Simulation von routinemäßigen Tätigkeiten mit vorwiegend mentalen Anforderungen. In: Spath D (Ed), *Wissensarbeit – Zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum*. Berlin: GITO, 303-324.