

"The Smart Virtual Worker" - Digitale Menschmodelle für die Simulation industrieller Arbeitsvorgänge

Nicholas H. Müller, Martina Truschzinski, Vera Fink, Julia Schuster, Helge Ü. Dinkelbach, Walentin Heft, Thomas Kronfeld, Christian Rau, Michael Spitzhahn, Chemnitz



Interdisziplinäres
Kompetenzzentrum
Virtual Humans

Demografischer Wandel, alters- oder gesundheitsbedingte Bewegungseinschränkungen der Arbeiterschaft sowie emotionale, ergonomische und umweltbezogene Einflüsse – die Auswirkungen auf die Belegschaft in kleinen und mittleren Unternehmen, aber auch in großen industriellen Komplexen, sind breit gefächert und nur schwierig im Vorfeld zu erfassen. Der „Smart Virtual Worker“ des Kompetenzzentrums „Virtual Humans“ an der Technischen Universität Chemnitz bietet die Möglichkeit, bereits im Stadium der Fabrik- oder Arbeitsprozessplanung, unterstützend einzugreifen.

Die EU und das Land Sachsen haben bereits frühzeitig auf die anstehenden Herausforderungen des Fachkräftemangels sowie der damit einhergehenden soziodemografischen Verschiebung der Altersstrukturen reagiert. Seit 2012 werden, vertreten durch die jeweiligen Institutionen, im Rahmen des Kompetenzzentrums „Virtual Humans“ der TU Chemnitz, digitale Menschmodelle für die Simulation industrieller Arbeitsvorgänge entwickelt. Vorrangiges Ziel ist es, innerhalb der dreijährigen Förderungsfrist die Grundlagen für eine intuitiv zu bedienende und effizient einzusetzende Simulationsumgebung zu erforschen. Dabei liegt der Schwerpunkt nicht nur auf einer adäquaten Abbildung von anthropomorphen, virtuellen Arbeitern, sondern auch auf einer präzisen Berechnung von ergonomischen Schlüsselfaktoren auf der Grundlage von anerkannten Bewertungssystemen. So werden das RULA Modell für die akute Arbeitsbelastung, EAWS als Ausgangspunkt für langfristige Arbeitsprozesse sowie ein errechneter Zeitkorridor, basierend auf den MTM Kennwerten, eingesetzt.

Abschließend werden die generierten Wertebereiche mittels eines emotionalen Modells in eine positive oder negative Valenz überführt. Dadurch ist es möglich, neben den rein tabellarischen Bewertungsmethoden, auch eine individuelle Aussage über die emotionale Belastung eines Arbeitsvorgangs für den Arbeiter zu treffen. Darüber hinaus verfügt die Simulationsumgebung über eine Umweltfaktordarstellung, welche bezogen auf Lichtverhältnisse, Lärm und klimatischen Einflussfaktoren einen Rückschluss auf deren Manifestierung in geschlossenen Räumen ermöglicht.

Das modulare System

Die Konzeption des Systems wurde auf sieben interdisziplinäre Fachbereiche aufgeteilt, welche in enger, kooperativer Abstimmung die einzelnen Berechnungen der Simulation vornehmen. Eine gesonderte Programmkomponente (Middleware) übernimmt dabei die kommunikativen und

prozessualen Anpassungen der einzelnen Module im Verlauf des Arbeitsvorgangs. Über die GUI (grafische Nutzerinterface) werden zu Beginn die Parameter vordefiniert, welche die elementaren Start- und Zielzustände sowie ferner die Agenteneigenschaften beschreiben. Daraufhin wird zunächst vom System zwischen Haupt- und Teilhandlungen unterschieden, welche wiederum die Berechnungsvorgänge des Optimierungsalgorithmus innerhalb der Handlungsselektion beeinflussen. In einem ersten Schritt werden mögliche Handlungen und Folgehandlungen berechnet, welche jeweils durch Feedback der anderen Module ergänzt werden. Daraufhin wird ein optimaler Pfad geplant und die Verrichtung der Tätigkeit begonnen. Im Folgenden werden die einzelnen Module und ihr Einfluss auf das Gesamtergebnis vorgestellt.

Graphisches Nutzerinterface (GUI)

Um Prozessplanern in einem Unternehmen die Arbeit mit dem Smart Virtual Worker System zu erleichtern, wurde von Anfang an auf eine intuitive Bedienung des Programms geachtet. Dazu entwickelte die Professur Medieninformatik eine Schnittstelle zwischen Mensch und Computer. Über einen Monitor werden die dreidimensionalen Visualisierungen der Simulation angezeigt, während der Arbeitsplaner über einen berührungsempfindlichen Tablet-PC das Szenario per Gestensteuerung manipulieren oder über Parametereingaben anpassen kann. Alternativ dazu, im Kontext einer Präsentation von Arbeitsvorgängen oder Planungen direkt vor Ort, ist es auch möglich, auf traditionellen Notebook- oder Computersystemen mit der Software zu arbeiten. Dabei wird auf übliche Bildschirmaufteilungen zurückgegriffen (vgl. Abb. 1).

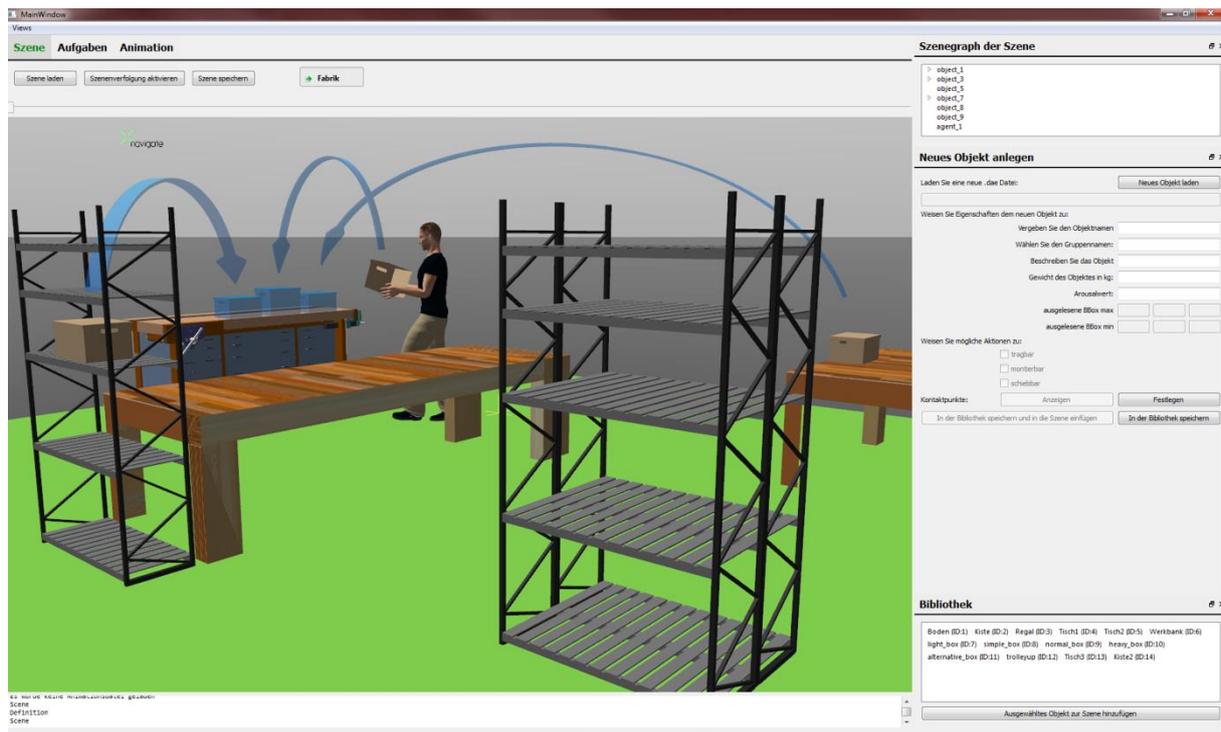


Abbildung 1: Screenshot des SVW, mit Interface, Ausgangssituation (braune Kisten) sowie die virtuelle Zieldarstellung (blaue Kisten)

Für die Visualisierung wird eine an der Technischen Universität Chemnitz entwickelte Grafikbibliothek verwendet, welche es ermöglicht, effizient neue Objekte hinzuzufügen oder um bestehende Arbeitsgeräte den eigenen Bedürfnissen anzupassen. Darüber hinaus stellt das Interface Eingabemöglichkeiten bereit, um moderne Geräte zur Simulationssteuerung hinzuzufügen.

Zusätzlich wurde für eine Messevorführung die Software mit einer experimentellen realweltlichen Objektmanipulationsmethode ausgestattet. Dabei reichte es für den Anwender aus, Miniatur-Tische und -Kisten manuell zu verschieben, damit diese auch in der dreidimensionalen Darstellung entsprechend verschoben wurden.

Handlungsselektion

Etablierte Simulationsprogramme erfordern ein hohes Maß an individuellen sowie präzisen Bewegungs- und Aktivitätsvorgaben. Im Rahmen des Smart Virtual Worker Projekts ist es das Ziel, die Arbeitsschritte bei der Simulationserstellung so gering wie möglich zu halten. Daher bildet die algorithmische Berechnung und Evaluation von möglichen Explorationsoptionen einen Schwerpunkt bei der Simulationsdurchführung. Die Professur Künstliche Intelligenz unterstützt das Projekt, indem mittels eines Reinforcement Learning Algorithmus [1] der virtuelle Arbeiter mit einer intelligenten Handlungsselektion ausgestattet wird.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Vorgangs besteht darin, dass es nicht länger notwendig ist, eine vollständige Definition des Szenarios zu erstellen. Vielmehr ist der simulierte Arbeiter durch das selbstverstärkte Lernen in der Lage, die Handlungsmöglichkeiten eigenständig zu explorieren und Zwischenlösungen zu testen. Die gewählten Strategien werden in unterschiedliche Bewertungskategorien eingeteilt und dementsprechend entlang einer Reihenfolge abgebildet. Interaktionen zwischen den möglichen Pfaden werden zusätzlich getestet und in geeigneten Fällen übernommen. Sobald die Handlungsselektion ein zielführendes Vorgehen identifiziert hat und die übrigen Module, bezogen auf deren individuellen Optimierungsberechnungen, ebenfalls ein optimales Ergebnis erreicht haben, werden die mathematischen Parameter an das Umweltmodul und das Nutzerinterface zurückgegeben, um das Rendern der Szene einzuleiten.

Bewegungsgenerierung und Pfadplanung

Um eine verlässliche Datengrundlage für die Berechnung von Initial- und Folgebewegungen für die Handlungsselektion zu entwickeln, werden durch die Professur Graphische Datenverarbeitung und Visualisierung (GDV) die kinematischen Bewegungen passend zu einer vorgegebenen Handlungsaktion generiert. Dies hat den Vorteil, dass vor allem die sehr zeitaufwendig herzustellenden Gelenkwinkel bei einer Arbeitsaktion bereits aus einer bestehenden Datenbank entnommen werden können. Um eine möglichst realitätsnahe Bewegungstabelle zu erstellen, werden unter Zuhilfenahme von Motion-Capturing-Verfahren reale Personen bei der Verrichtung von Arbeiten gefilmt und deren Skelettstruktur in das System übernommen.

Um beispielsweise eine Laufbewegung zu generieren, wird zunächst durch das Modul der GDV ein geometrischer Pfad entlang der Start- und Zielpunkte des Arbeiters berechnet. Dabei wird sowohl auf kurze Distanzen als auch auf die Vermeidung von Objektkollisionen in der Umwelt geachtet. Durch einen engen Austausch mit den agentenbasierten Modulen Ergonomie und Emotion soll im Folgenden die Schrittcharakteristik in Bezug auf Erschöpfung oder Beanspruchung von Gelenken angepasst werden. Zukünftig soll diese Form der Visualisierung eine einfache und intuitive Rückmeldung für den Arbeitsplaner bieten. Verrichtungsbewegungen selbst werden durch ein neuartiges Motion-Blending-Verfahren generiert. Dadurch ist es möglich, auch abseits der aufgezeichneten Bewegungsmodelle biomechanisch valide, individuelle Bewegungen eines beliebigen Arbeitsablaufs zu erzeugen. Dazu müssen lediglich die Bewegungsräume entsprechend mathematischer Parameterbeschreibungen vorliegen, woraufhin durch eine Exploration der Umgebung das System entsprechende, natürliche Bewegungen aus vorhandenen Daten bereitstellt.

Umweltmodul

Das Modul zur Umweltdarstellung beinhaltet zwei Kernkomponenten. Zum einen gilt es über ein Datenbanksystem alle für die Beurteilung einer Arbeitssituation notwendigen Objekte und Daten für die anderen Module bereitzustellen. Zum anderen alle für die Visualisierung zum Abschluss einer Simulation notwendigen Abstimmungen mit der Grafikbibliothek abzugleichen. Die Juniorprofessur Visual Computing hat dazu ein Weltmodell generiert, welches sich durch die zugrundeliegende Datenbankstruktur sowie der Schnittstelle für eine einfache Dateninteraktion auszeichnet. Dadurch ist es möglich, sowohl grafische Elemente wie Tische, Werkzeuge oder Arbeitsregale auszuwählen als auch über deren Erscheinungsform hinausgehende Parameter wie Gewicht, Größe sowie dedizierte Greifpunkte auszuwählen oder neu zu erstellen. Für Interaktionsobjekte, beispielsweise Schraubverbindungen oder Schweißnähte, können individuelle Eigenschaften, Aktionen oder Interaktionsmöglichkeiten definiert werden.

Zusätzlich verwaltet das Umweltmodul neben den statischen Objekten auch dynamische Parameter wie die Agentenkonstitution (unterteilt in Erfahrungswerte, Ausdauer und Sensibilität) sowie die Umwelteinflüsse an den spezifischen Stellen einer simulierten Umgebung. Dadurch können sowohl die Lichtverhältnisse, Lautstärkeinflüsse als auch klimatische Faktoren als Parameter im Rahmen der Arbeitsprozessplanung eingesetzt werden. Dies geschieht in enger Abstimmung mit den Fachbereichen Ergonomie, Prozessautomatisierung und Kognitionspsychologie, um eine empirisch valide Berechnung und visuell nutzbringende Darstellung innerhalb der Simulationsumgebung zu ermöglichen. Dazu gehört ferner auch die Möglichkeit, Konflikte zwischen Objekten oder bereits in einem frühen Stadium der Interaktion auf Parameterebene zu identifizieren anstatt Probleme erst im Anschluss an langfristige Berechnungen zu erkennen.

Ergonomie- und Zeitbestimmung

Die Integration von zeitwirtschaftlichen Verfahren sowie ergonomischen Bewertungskriterien bildet einen Schwerpunkt in der Erstellung des Smart Virtual Workers (SVW). In diesem Kontext hat die Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement den Fokus des Moduls auf die Implementierung der etablierten RULA [2], EAWS [3] und MTM [4] Verfahren gelegt. Damit wird die Vision aus Abbildung 2 verfolgt. RULA dient dabei als Grundlage zur Berechnung einer ergonomischen Kenngröße bei der Bewertung einer einzelnen Handlungsaktion. Dadurch ist es möglich, für jeden Zeitpunkt der Simulation explizite ergonomische Belastungsdefinitionen zu erhalten und dementsprechend handeln zu können. Das Verfahren EAWS hingegen bildet das algorithmische Fundament für die Gesamtbewertung eines Arbeitsprozesses.

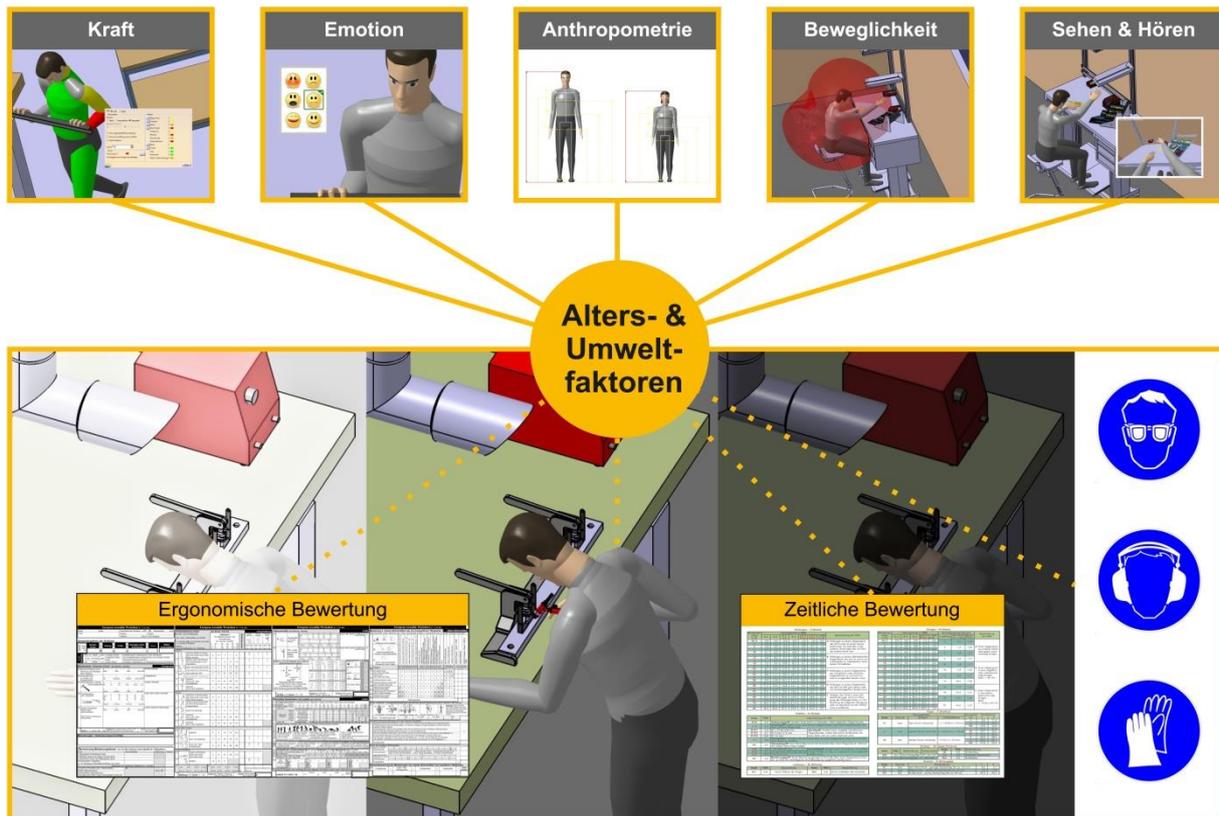


Abbildung 2: Vision des Ergonomiemodules des SVW und dessen Einflussfaktoren; Visualisierung mit Softwareprogramm Delmia V5

In Kombination mit den zeitlichen Parametern auf Grundlage des MTM Verfahrens ermöglicht dies eine realitätsnahe sowie menschengerechte Gestaltung von Arbeitsprozessen im Rahmen der Simulation. Darüber hinaus liegt der Schwerpunkt der Modularbeiten auf der Definition und Analyse realweltlicher Arbeitsbedingungen. Dazu gehören beispielsweise Lärmmessungen in Schweißanlagen und die Bearbeitung von Umweltfaktoren sowie deren Einfluss auf den Arbeitsvorgang.

Emotionsmodell

Derzeitigen Arbeitsprozesssimulationsverfahren mangelt es an einem geeigneten und empirisch validen Modell zur wirklichkeitsnahen Darstellung von emotionalen Befindlichkeiten. Dies liegt u.a. darin begründet, dass eine Arbeitssituation als eine Sonderstellung in der Emotionsforschung betrachtet wird [5]. Ein Arbeitsprozess ist eine notwendige Handlungstätigkeit, welche auf die Erreichung eines konkreten, arbeitszentrierten Ziels ausgerichtet ist und folgt weniger der traditionell beschriebenen, emotionalen Wohlbefindlichkeitsmaximierung folgt. Aus diesem Grund verknüpfen die Professuren Prozessautomatisierung und Mediennutzung psychologische, biomechanische und ergonomische Erkenntnisse, um ein möglichst realistisches und allgemeingültiges emotionales Modell zu erstellen (vgl. Abb. 3). Das Ziel ist es, mit Hilfe eines digitalen Menschmodells, welches das Emotionsmodell beinhaltet, eine Aussage über die emotionale Belastung während eines Arbeitsprozesses zu treffen. Da Emotionen unter anderem als Resultat kognitiver Prozesse gesehen werden können, ist die Fokussierung auf die Einzelperson eine entscheidende Herausforderung des Gesamtprojekts. Eine emotionale Aussage kann streng genommen ausschließlich in Bezug auf Individuen getroffen werden. Da dies den Explorationsraum jedoch übersteigen würde, wurde für das zugrundeliegende Modell eine Einschränkung auf drei körperliche Attribute festgelegt – Konstitution, Sensibilität/Widerstandsfähigkeit und Erfahrung.

Im Kontext eines industriellen Arbeitsprozesses ermöglicht das vorliegende Modell, die emotionale Valenz (positive Emotion / negative Emotion) eines simulierten Arbeiters darzustellen. Diese wird in Abhängigkeit von den körperlichen Attributen Ausdauer, Sensibilität und Erfahrung berechnet. Dabei wird der virtuelle Arbeiter mit einer Arbeitsaufgabe konfrontiert, welche auf Grundlage seiner vorhandenen Eigenschaften unterschiedlich bewertet wird. Diese Erkenntnisse erlauben es dem Arbeitsplaner, bereits im Stadium der Konzeption bestimmte Arbeitsprozesse durch geeignete Hilfsmittel wie Rollwagen oder Ablageflächen zu unterstützen.

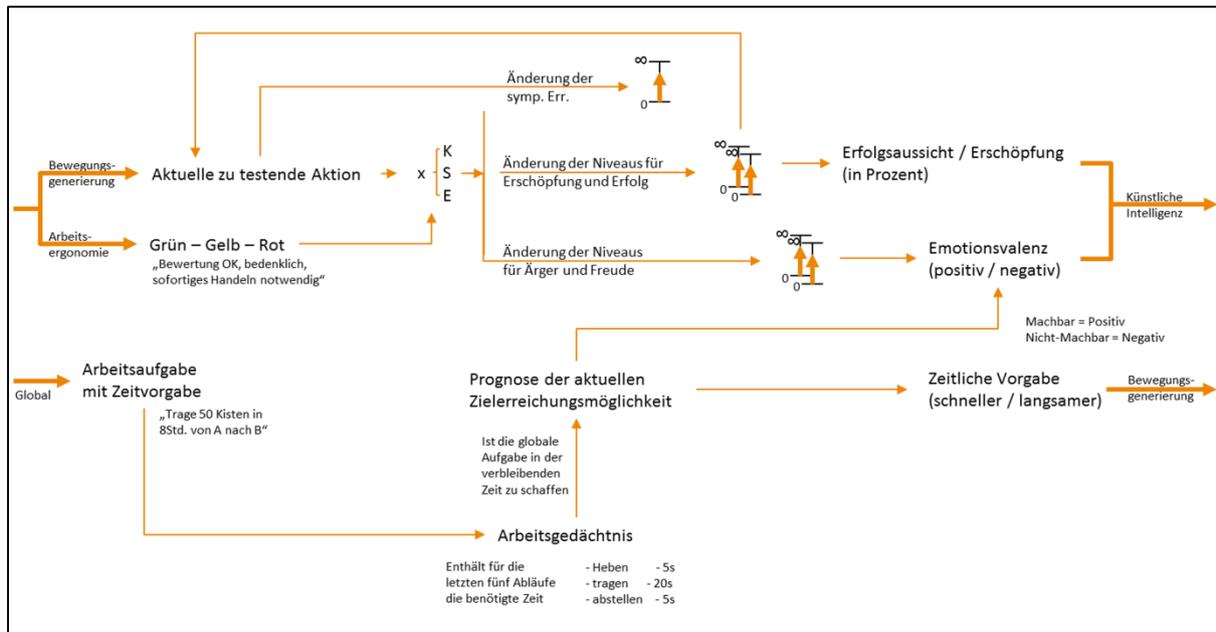


Abbildung 3: Emotionsmodell des SVW und die algorithmischen Schritte zur Valenzbestimmung

Das Modell integriert die Modulvorgaben der Bewegungsgenerierung sowie der ergonomischen Bewertung und berechnet auf dieser Grundlage die emotionale Bewertung der Situation. Die emotionale Bewertung beinhaltet die kognitive Interpretation der Tätigkeit in Abhängigkeit von den körperlichen Attributen und dem aktuellen emotionalen Zustand, welcher sich aus vorangegangenen ausgeführten Tätigkeiten ergibt. Je nach anstehender Aktion wird das Erregungslevel des virtuellen Arbeiters dadurch beeinflusst und bewirkt eine Skalenänderung der Erschöpfung sowie die Generierung einer positiven oder negativen Valenz. Zusätzlich werden die vorangegangenen Arbeitstätigkeiten gespeichert und sollen als Prognoseinstrument verwendet werden können, um eine globale Aussage über die Erfolgsaussicht des Gesamtprozesses treffen zu können. Sollten die benötigten Zeiten höher sein, als für die Gesamtaufgabe zur Verfügung stehen, so wird der Arbeiter zeitlichen Druck empfinden. Dies wiederum hat zur Folge, dass es zu einer höheren Belastung des Arbeiters kommt und folglich ergonomische Kriterien neu bewertet werden müssen. Der zusätzlich benötigte Energiebedarf für eine schnellere Bewegung wiederum führt zu einem schnelleren Anstieg des Erschöpfungsniveaus, welches anschließend zu einer negativen Valenz und zu einer emotionalen Belastung führen kann.

Ausblick

Der aktuelle Stand des Smart Virtual Worker Projekts wurde zuletzt auf der Hannover-Messe 2014 einem breiten Fachpublikum vorgestellt. Die prinzipiellen Entwicklungs- und Implementierungsschritte befinden sich in Bearbeitung. Im Anschluss daran soll die Evaluation der Simulation im konkreten Arbeitskontext erfolgen. Zusätzlich ist geplant, die Interfacekonzeption

experimentell auf ihre Eignung zu überprüfen, um zu einem einfachen und intuitiven Gesamtsystem beizutragen.

Im vierten Quartal 2014 wird das Ergebnis der Entwicklung im Rahmen eines Anwenderworkshops vorgestellt. Informationen zum Termin und den Teilnahmemöglichkeiten werden zu gegebener Zeit auf der Website des Projekts veröffentlicht [6].

Literaturverzeichnis

- [1] Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998). Reinforcement learning: An introduction (Vol. 1, No. 1). Cambridge: MIT press.
- [2] McAttamney, L., Corlett, N. E. (1993)., RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Zugriff: 24.08.2012.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000368709390080S>
- [3] Schaub, K, Caragnano, G., Britzke, B. Bruder, R. (2012).: The European Assembly Worksheet, Theoretical Issues in Ergonomics Science. DOI:10.1080/1463922X.2012.678283
- [4] Bokranz, R., Landau, K. (2006). Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- [5] Hacker, W. (2005). Allgemeine Arbeitspsychologie. Bern: Hogrefe.
- [6] http://www.tu-chemnitz.de/forschung/virtual_humans/nwfg_svw/index.html