

# Homo Sapiens Digitalis: Über den Praxiseinsatz digitaler Menschmodelle

Jens Mühlstedt und Birgit Spanner-Ulmer

*Schlüsselwörter: digitale Menschmodelle, Praxiseinsatz, Produktergonomie, Prozessergonomie, empirische Studie*

## Zusammenfassung

Digitale Menschmodelle zur Produkt- und Prozessgestaltung werden kurz vorgestellt. Eine empirische Studie zum Einsatz der Systeme in der Praxis wird beschrieben und deren Ergebnisse exemplarisch vorgestellt. Daraus werden Ansätze zur Weiterentwicklung abgeleitet.

A short overview of digital human models for ergonomic product and workplace design introduces this article. The results of a survey with users of these systems show the practical usage of digital human models. Approaches to further research and development are presented.

## Einleitung

Der Einsatz von Software-Werkzeugen erfolgt zunehmend in fast allen Phasen des Produktentstehungs- und -herstellungsprozesses (Abb. 1) mit den Zielen, eine hohe Wirtschaftlichkeit der Unternehmen, eine hohe Qualität der Produkte, einen Wissenserwerbs und -erhalt bei den Nutzern sowie eine vermehrte Kommunikation und Standardisierung im Unternehmen zu erreichen (VDI 4499-1, 2008; VDI 2209, 2006). Neben dem Einsatz von Software-Standardwerkzeugen kommen zunehmend auch digitale Menschmodelle zum Einsatz.

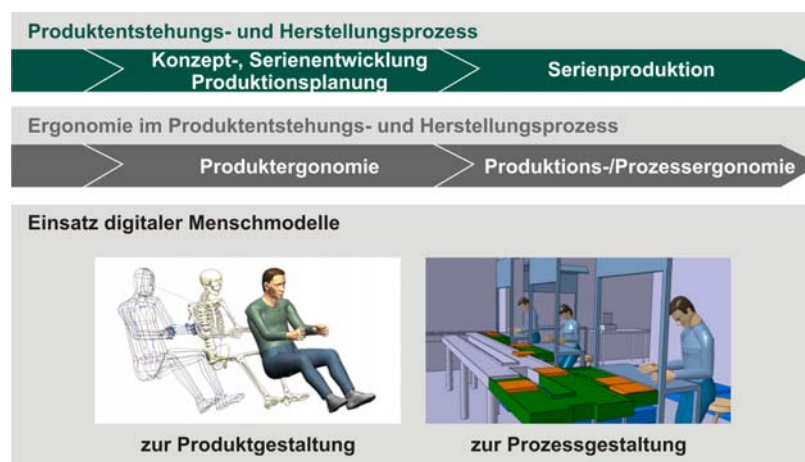


Abb. 1: Praxiseinsatz arbeitswissenschaftlicher digitaler Menschmodelle im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess

CAX-Systeme (z.B. CAD...Computer Aided Design, CAE...Computer Aided Engineering) sind aus der Produktentwicklung nicht mehr wegzudenken. Einige CAD-Systeme ermöglichen eine ergonomische Analyse der Konstruktionen z.B. mittels statischer 3D-Objekte mit der Oberflächengeometrie eines Menschen oder mittels digitaler Menschmodelle, wie Catia, NX und PRO/Engineer. Die „Digitale Fabrik“, neben der Nutzung von CAX-Systemen ein weiteres Element im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess, setzt sich zunehmend für ein virtuelles Produktlebenszyklusmanagement (PLM) durch. In den Softwaresystemen existieren zum Teil ebenso Werkzeuge zur ergonomischen Analyse in Form von Checklisten, als Ergonomie-Modul oder als digitale Menschmodelle, wie in Delmia und Tecnomatix.

## Digitale Menschmodelle im Überblick

Digitale Menschmodelle sind virtuelle Abbilder realer Menschen, mittels derer virtuell entwickelte Ideen ebenso virtuell bezüglich einer Anforderung, z.B. der Arbeitsaufgabe, überprüft werden können. Digitale Menschmodelle im Sinne der Arbeitswissenschaft helfen dem Konstrukteur als Teil eines CAD-Systems bei der ergonomischen Produktentwicklung und dem Planer als Bestandteil der Digitalen Fabrik bei der arbeitswissenschaftlichen Prozessplanung. Sie ermöglichen dabei die Nutzung anthropometrischer Daten und verschiedener Ergonomie-Methoden. Der Einsatz dieser Systeme bietet mehrere Vorteile, wie z.B. einen modularen Aufbau, eine zentrale Datenverwaltung und mögliche Standardisierungen. Neben diesen Vorteilen sind auch verschiedene Nachteile bekannt, wie z.B. die fehlende Akzeptanz durch die Nutzer, hoher Zeitaufwand bei der Bearbeitung, teilweise hoher Schulungsbedarf oder nicht ausreichend zur Verfügung stehende Analysefunktionen (z.B. Zhang, Chaffin, 2005; Bubb, 2002).

Wichtige Vertreter arbeitswissenschaftlicher digitaler Menschmodelle (Abb. 2) sind RAMSIS von Human Solutions (Seidl, 1994), Human Builder von Dassault Systemes (Dassault Systemes, 2009) und Jack von Siemens PLM (Siemens, 2009). Die über etwa 50 bis 100 Gelenke und 100 bis 150 Freiheitsgrade verfügenden Menschmodelle sind in unterschiedliche CAD- bzw. PLM-Systeme eingebunden oder lassen sich als Stand-alone-Software, d.h. als Einzelanwendung, nutzen. Sie erlauben den Zugriff auf verschiedene anthropometrische Variablen, wie Geschlecht, Perzentile, Populationen/Nationalitäten und zum Teil auch Somatotypen, Akzeleration und altersdifferenzierte Daten. Zur ergonomischen Analyse stellen die Systeme verschiedene Ergonomie-Methoden zur Verfügung, z.B. Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen oder Funktionen zur Lastenhandhabungsanalyse (Mühlstedt, Kaußler, Spanner-Ulmer, 2008).

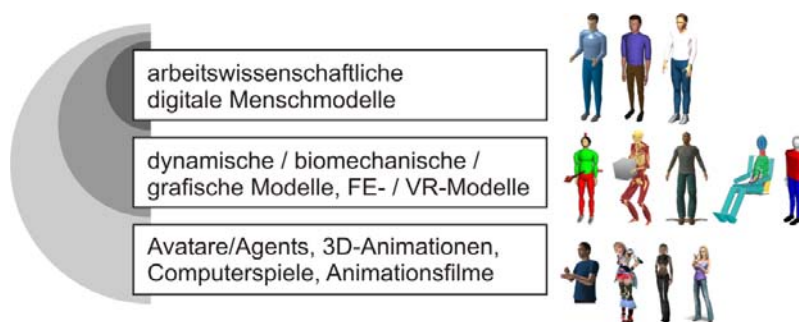


Abb. 2: Arbeitswissenschaftliche, für die Arbeitswissenschaft nutzbare (z.B. biomechanische) und weitere (z.B. Avatar) digitale Menschmodelle

Neben den arbeitswissenschaftlichen digitalen Menschmodellen, die vorwiegend die Ergonomie-Methoden beinhalten, existieren eine Vielzahl weiterer Systeme für verschiedene Anwendungen. Eine Gruppe von Menschmodellen, die als dynamische, biomechanische, grafische, Finite-Elemente- und Virtual-Reality-Systeme bezeichnet werden, können in Sonderfällen auch für ergonomische Untersuchungen herangezogen werden. Weitere als digitale Menschmodelle bezeichnete Systeme, wie Avatare/Agents, Figuren aus 3D-Animationen, Computerspielen oder Animationsfilmen, haben keine Berührungspunkte mit der Arbeitswissenschaft, wenngleich sie z.T. ähnliche Algorithmen verwenden.

## Funktionale Anwendung arbeitswissenschaftlicher digitaler Menschmodelle

Für die im Zusammenhang mit digitalen Menschmodellen relevanten Daten und Funktionen wurde ein Funktionsschema entwickelt (Abb. 3), anhand dessen sich ein typischer Arbeitsablauf nachvollziehen lässt: als Basis wird zuerst das Menschmodell unter Rückgriff auf die anthropometrischen Ressourcen des Menschmodells erzeugt und eine Umgebungsgeometrie

erstellt oder importiert. Als Eingabegeräte dienen meist Tastatur und Maus. Beispielsweise wird ein Modell mit deutscher Datenbasis, männlich, 50. Perzentil generiert und das vorhandene 3D-Modell eines Gabelstaplers importiert sowie ein Fahrweg erstellt. Anschließend wird mittels der Manipulations-Funktionen die Körperhaltung des Menschmodells bestimmt und weitere Eigenschaften (z.B. das Aussehen) werden festgelegt. Das Menschmodell in diesem Beispiel muss also grob in der Fahrerkabine des Gabelstaplers positioniert werden, um anschließend eine Fahrer-Körperhaltung aus einer Datenbank zu laden. Diese wird mittels Vorwärts-Kinematik korrigiert sowie die Hand am Lenkrad mittels inverser Kinematik positioniert. Nun wird die Handhaltung am Lenkrad wiederum mittels Vorwärtskinematik eingestellt. Außerdem kann z.B. die Farbe der Kleidung des Modells geändert werden.



Abb. 3: Funktionsschema digitaler Menschmodelle

Nun können verschiedene Analysen mittels der vorhandenen Ergonomie-Methoden durchgeführt werden. So kann mit einer Sichtanalyse der Sehbereich des Fahrers ermittelt werden, eine Erreichbarkeitsanalyse klärt das Betätigen der Bedienelemente und eine Lastenhandhabungsanalyse ermittelt die Zulässigkeit der Belastung beim Be- und Entladen. Das Ergebnis der Anwendung der Ergonomie-Methoden können die Ausgabe-Funktionen visualisieren bzw. in weiterverarbeitbarer Form zur Verfügung stellen. Mehrere Ansichten des Fahrers samt Gabelstapler werden auf dem Monitor angezeigt, für Präsentationszwecke exportiert und die Ergebnisse der Lastenhandhabungsanalyse in einem Bericht zusammengefasst. Daneben können weitere allgemeine Funktionen, wie Hilfefunktionen oder Im-/Exportfunktionen, verwendet werden.

### Empirische Studie zu arbeitswissenschaftlichen digitalen Menschmodellen

Um die Anwendung digitaler Menschmodelle und deren Funktionen in der Praxis zu erforschen, wurde von der Professur Arbeitswissenschaft eine Befragung unter 59 Anwendern (Konstrukteure und Planer) in Deutschland durchgeführt, der eine Voruntersuchung mittels Experteninterviews voranging (Mühlstedt, Spanner-Ulmer, 2008a und 2008b). Mithilfe eines halbstandardisierten Fragebogens, der per Post oder E-Mail verschickt wurde, konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich des Einsatzes, der genutzten Funktionen sowie der Effizienz und Akzeptanz digitaler Menschmodelle gewonnen werden. Die Anwender sind überwiegend männlich (93%), der größte Teil im Alter zwischen 30 und 39 Jahren ( $\bar{35} \pm 8$ ) und arbeiten im Durchschnitt seit sechs Jahren mit digitalen Menschmodellen. Die Befragung ergab, dass die digitalen Menschmodelle, die überwiegend genutzt werden (Abb. 4), RAMSIS (42%), Human Builder (26%) und Jack (16%) sind. Jedes dieser drei Modelle wird zur Produktgestaltung (Ca-

tia, stand-alone) und zur Prozessgestaltung (Delmia, Tecnomatix) eingesetzt. Andere genutzte Modelle sind AnyMan (das Jack-Vorgängermodell in Tecnomatix), IDO:Ergonomics, AnyBody, die nicht mehr weiterentwickelten Anthropos und Ergomas sowie in Sonderfällen weitere Modelle. Die Anwendungsgebiete digitaler Menschmodelle weisen ein breites Spektrum an Branchen vom Automobilbau (47%) über Universitäten (24%), Maschinenbau- und Zulieferindustrie (11%) und Elektroindustrie (7%) bis hin zur Luft- und Raumfahrt (6%) auf.

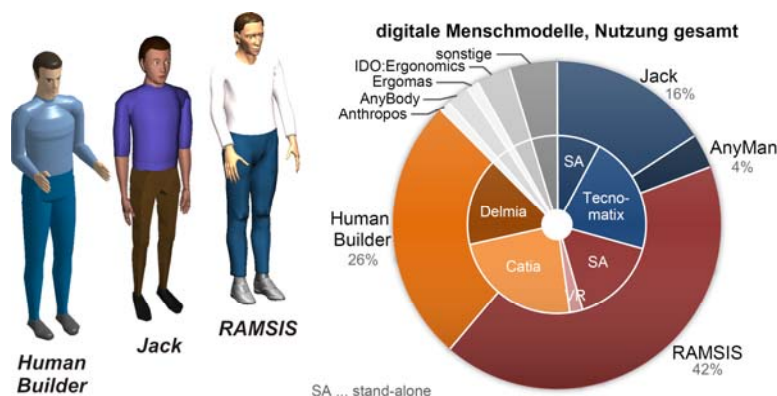


Abb. 4: Verbreitung arbeitswissenschaftlicher digitaler Menschmodelle sowie die Systeme, in denen sie Anwendung finden, als eines der Ergebnisse der empirischen Studie

Die Nutzung der von den Systemen zur Verfügung gestellten Funktionen stellt eine zentrale Fragestellung der Anwenderbefragung dar (Abb. 5). Bei der Untersuchung der Nutzungshäufigkeit der verwendeten Analysefunktionen konnten die Anwender auf einer dreistufigen Skala von „nie“ (0,00) bis „oft“ (2,00) und bezüglich ihres Interesses an der Weiterentwicklung auf einer dreistufigen Skala von „nein“ (0,00) bis „unbedingt“ (2,00) votieren.

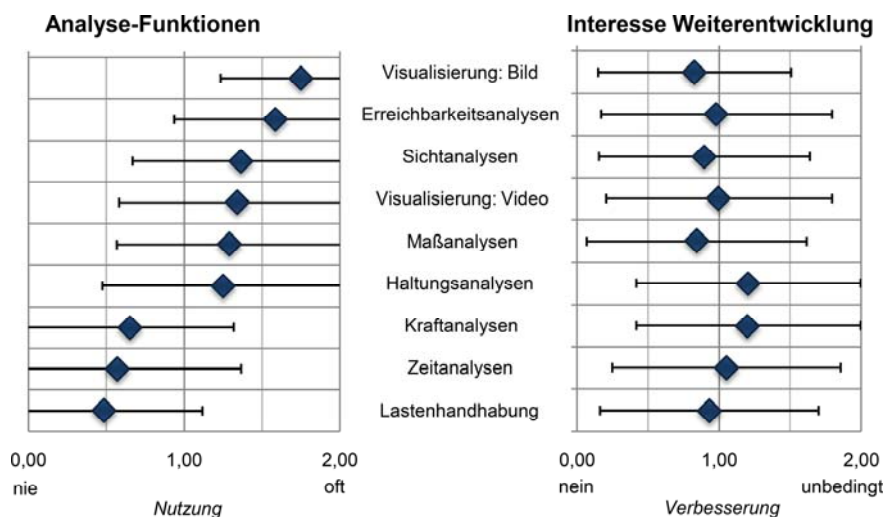


Abb. 5: Nutzung der Analysefunktionen digitaler Menschmodelle und Interesse an deren Weiterentwicklung (arithmetischer Mittelwert / Standardabweichung)

Es zeigt sich, dass die Visualisierung per Bild (1,75) den höchsten Nutzungswert erlangt, das Interesse an deren Weiterentwicklung (0,83) aber tendenziell gering ist. Ebenfalls sehr oft genutzt werden die Erreichbarkeitsanalysen (1,59) – hier besteht ein mittleres Interesse an Weiterentwicklungen (0,98). Die Nutzungshäufigkeiten der Sichtanalysen, Visualisierung als Video sowie der Maß- und Haltungsanalysen liegen mit etwa 1,2 bis 1,3 in einem immer noch hohen Bereich. Das Interesse an Weiterentwicklungen ist durchschnittlich ausgeprägt. Eine Ausnahme bilden die Haltungsanalysen, die ein tendenziell hohes Interesse zur Weiterentwicklung (1,21) wecken. Weitere Analyse-Funktionen mit eher geringer Nutzungshäufigkeit zwi-

schen 0,5 und 0,7 sind die Kraftanalysen, die Zeitanalysen und Funktionen zur Lastenhandhabung. Bemerkenswert ist an dieser Stelle, dass an Kraftanalysen ebenfalls ein tendenziell sehr hohes Interesse an Weiterentwicklungen (1,21) besteht.

Die Analyse der Effizienz der Systeme zeigt ein großes Verbesserungspotenzial bei der Dateneingabe bzw. bei den Manipulations-Funktionen auf (Abb. 6). Die Manipulation der Körperhaltung (1,75) ist die Funktion, die von den Anwendern am häufigsten genutzt wird. Auch ist der Wunsch nach Weiterentwicklung dieser Funktion durchaus hoch (1,22). Eine etwas niedrigere Nutzungshäufigkeit erlangen das Anpassen der Handhaltung (1,41), die Animation bzw. Bewegung des Modells (1,29) und die Bibliotheken zur Körper- und Handhaltung (1,10/1,02). Alle diese Funktionen erlangen hohe Werte zwischen 1,1 und 1,2 bezüglich des Interesses an Weiterentwicklungen, abgesehen von der Animation des Modells, die mit 1,41 einen äußerst hohen Wert erhält. Seltener genutzt mit Werten zwischen 0,4 und 0,6 werden die Bibliothek der Animationen und die Mehrpersoneninteraktion sowie die Funktionen zum Anpassen des Aussehens der Menschmodelle. Hierbei sind wiederum die Bibliothek der Animationen und die Mehrpersonen-Interaktion mit tendenziell hohen Werten um 1,1 zur Weiterentwicklung hervorzuheben.

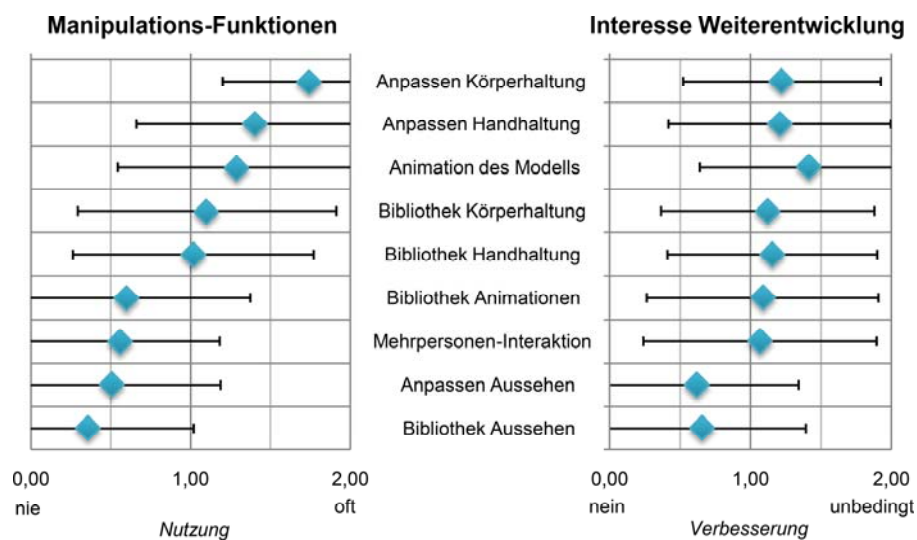


Abb. 6: Nutzung der Manipulations-Funktionen digitaler Menschmodelle und Interesse an deren Weiterentwicklung

Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis bei (im arbeitswissenschaftlichen Sinn) statischer (unbewegter) Simulation eines produkt- oder prozessergonomischen Zusammenhangs erlaubt gute Aussagen zu arbeitswissenschaftlichen Fragen. Bei dynamischen Analysen jedoch, also der Animation bzw. Bewegungssimulation mit einem digitalen Menschmodell, ist der Aufwand zur Erarbeitung sehr hoch und steht in einem schlechten Verhältnis zu den erzielbaren Ergebnissen, die sich meist auf eine Visualisierung in Form von Videos beschränken. Das Verhältnis der notwendigen Zeit für die Erstellung einer Simulation zu der tatsächlichen Zeitdauer der Simulation von etwa 250:1 bis 400:1 (Jendrusch, 2008) zeigen eine unzureichende Effizienz.

### Fazit und Ausblick

Der Einsatz von digitalen Menschmodellen in Konstruktion und Planung wirkt sich positiv auf die Ergonomie von Produkten und Arbeitsplätzen aus. Durch einfach zu realisierende Variantenvergleiche, eine digital abgesicherte Ergonomie und nicht zuletzt ein verstärktes Bewusstsein der Anwender bezüglich ergonomischer Zusammenhänge ist die Gesamtschätzung arbeitswissenschaftlicher digitaler Menschmodelle als Ergebnis der empirischen Studie positiv. Die Analyse der Daten macht deutlich, dass sowohl die Dateneingabe als auch die Analyse-

funktionen entscheidende Elemente der digitalen Menschmodelle darstellen. Die Ergebnisse zeigen dabei den Weg für zukünftige Entwicklungen auf: Sowohl die Manipulation einzelner Körperhaltungen als auch die Erstellung von Prozessanimationen müssen verbessert werden, um die Effizienz und Akzeptanz der Systeme weiter zu steigern.

Die Entwicklung neuer Verfahren stellt neben der Integration existierender Ergonomie-Methoden eine Möglichkeit zur Verbesserung der digitalen Menschmodelle dar. Unter anderem aus den Ergebnissen der empirischen Studie entstand das von der Sächsischen Aufbaubank (SAB) geförderte Verbundprojekt „System zur Bewegungssynthese für digitale Menschmodelle“ („eMAN“), das von der Professur Arbeitswissenschaft zusammen mit der Professur Graphische Datenverarbeitung und Visualisierung (GDV) der TU Chemnitz und dem Institut für Mechatronik (IfM) unter Koordination der Firma imk Automotive durchgeführt wird. In dem Verbundprojekt wird der Ansatz verfolgt, Bewegungen vereinfacht durch die Definition eines Ablaufs mittels mehrerer sogenannter Verrichtungen einzugeben.

## Literatur

- Bubb, H. (2002). *Computer Aided Tools of Ergonomics and System Design*. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. Vol. 12 (3), S. 249–265. Wiley InterScience.
- Dassault Systemes (2009). *Digital Human Factors for PLM*. Zugriff am 27.07.2009 [www.3ds.com/products/delmia/solutions/human/](http://www.3ds.com/products/delmia/solutions/human/).
- Jendrusch, R. (2008). Validität der Ergonomiebewertung mit digitalen Menschsimulationen. Diplomarbeit, Professur Arbeitswissenschaft, TU Chemnitz.
- Mühlstedt, J.; Kaußler, H.; Spanner-Ulmer, B. (2008). *Programme in Menschengestalt: Digitale Menschmodelle für CAx- und PLM-Systeme*. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 02/2008, S. 79-86. ISSN: 0340-2444.
- Mühlstedt, J.; Spanner-Ulmer, B. (2008a). *Der Mensch in der Digitalen Fabrik*. In: Müller, E.; Spanner-Ulmer, B. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme – TBI'08 / 2. W&P. Tagungsband, Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Sonderheft 14, TU Chemnitz, 13.11.2008, S. 169-174, ISSN 0947-2495.
- Mühlstedt, J.; Spanner-Ulmer, B. (2008b). *Effizienz und Akzeptanz aktueller digitaler Menschmodelle*. In: Tagungsband 54. GfA-Frühjahrskongress. Dortmund: GfA Press. S. 837-840. ISBN: 978-3-936804-06-5.
- Seidl, Andreas (1994). *Das Menschmodell RAMSIS*. Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. Dissertation, LfE, TU München.
- Siemens PLM (2009). *Jack and Process Simulate Human*. Siemens Product Lifecycle Management Software. Zugriff am 27.07.2009 [www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/tecnomatix/assembly\\_planning/jack/index.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/assembly_planning/jack/index.shtml).
- VDI 2209. (2006). *3-D-Produktmodellierung*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI 4499-1. (2008). *Digitale Fabrik – Grundlagen*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.
- Zhang, X.; Chaffin, D.B. (2006). *Digital human modeling for computer-aided ergonomics*. In: Karwowski, Marras (Hrsg.): *The Occupational Ergonomics Handbook*. CRC Press.