

Angelika C. Bullinger-Hoffmann  
Jens Mühlstedt *Hrsg.*

# Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle

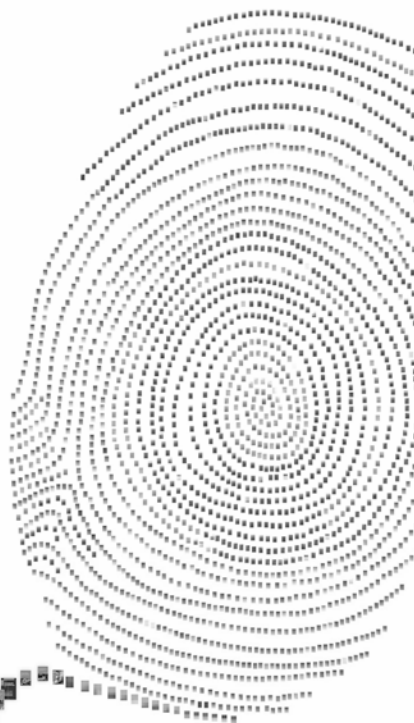
---

# Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle

# Lizenz zum Wissen.




Sichern Sie sich umfassendes Technikwissen mit Sofortzugriff auf tausende Fachbücher und Fachzeitschriften aus den Bereichen: Automobiltechnik, Maschinenbau, Energie + Umwelt, E-Technik, Informatik + IT und Bauwesen.

Exklusiv für Leser von Springer-Fachbüchern: Testen Sie Springer für Professionals 30 Tage unverbindlich. Nutzen Sie dazu im Bestellverlauf Ihren persönlichen Aktionscode **C0005406** auf [www.springerprofessional.de/buchaktion/](http://www.springerprofessional.de/buchaktion/)



Jetzt  
30 Tage  
testen!

Springer für Professionals.  
Digitale Fachbibliothek. Themen-Scout. Knowledge-Manager.

-  Zugriff auf tausende von Fachbüchern und Fachzeitschriften
-  Selektion, Komprimierung und Verknüpfung relevanter Themen durch Fachredaktionen
-  Tools zur persönlichen Wissensorganisation und Vernetzung

[www.entschieden-intelligenter.de](http://www.entschieden-intelligenter.de)

---

Angelika C. Bullinger-Hoffmann  
Jens Mühlstedt  
Herausgeber

# Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle

*Herausgeber*

Angelika C. Bullinger-Hoffmann  
Arbeitswissenschaft und  
Innovationsmanagement  
Technische Universität Chemnitz  
Chemnitz, Deutschland

Jens Mühlstedt  
designaffairs GmbH  
München, Deutschland

ISBN 978-3-662-50458-1

ISBN 978-3-662-50459-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-50459-8

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Strasse 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Vorwort

Die Digitalisierung der Arbeitswelt verändert fast alles – die Art und Weise, wie wir arbeiten, Prozesse planen und kontrollieren. Dabei fehlte ein arbeitswissenschaftliches Lehrbuch, das den Zeiten- und Paradigmenwechsel hin zu digitalen Menschmodellen und zu virtueller Ergonomie für Studierende, Wissenschaftler und auch für Praktiker anschaulich darlegen konnte. Dieses liegt mit Homo Sapiens Digitalis nun vor.

Als Grundlagenwerk setzt sich Homo Sapiens Digitalis im ersten Teil zum Ziel, nachvollziehbar und systematisch die Entwicklungen von den ersten Körperumrisschablonen bis zu aktuellsten Werkzeugen virtueller Ergonomie aufzubereiten. Im zweiten Teil illustrieren Kurzbeispiele aus Wissenschaft und Praxis nicht nur den Stand der Technik, sondern geben darüber hinaus auch einen Einblick in die weiteren Entwicklungen.

Ein solches Buch entsteht über die Zeit und wäre unmöglich ohne tatkräftige Unterstützung im eigenen Haus und darüber hinaus. Der Dank der Herausgeber gebührt dabei zunächst den Autoren aus Wissenschaft und Praxis für die Praxis- und Forschungsbeiträge, die Homo Sapiens Digitalis wesentlich bereichern. Ebenso haben sich (ehemalige) Mitarbeiter, Doktoranden und langjährige Industriepartner um das finale Werk verdient gemacht. Hervorzuheben sind Dr.-Ing. Martin Jentsch, Dr.-Ing. Ralph Hensel, Norman Hofmann, Dr.-Ing. Paul Leiber, PD Dr.-Ing. Wolfgang Leidholdt, Dr. Andreas Seidl, Dr.-Ing. Holger Unger und Hans-Joachim Wirsching. Ein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dr. Birgit Spanner-Ulmer als Doktormutter von Herausgeber Dr.-Ing. Jens Mühlstedt für wertvolle Vorarbeiten.

Besonderer Dank gilt Michael Spitzhirn und André Kaiser für die engagierte Organisationsleistung des Projektes. Mit großer Zielstrebigkeit, Begeisterungsfähigkeit und langem Atem haben sie Autoren und Herausgebern viele notwendige Detailarbeiten abgenommen und den erfolgreichen Abschluss ermöglicht.

Zu guter Letzt gilt: Alle Fehler gehen zu Lasten der Herausgeber. Beim Lesen wünschen wir Ihnen, dass Sie viele neue Aspekte der virtuellen Ergonomie und des Homo Sapiens Digitalis kennen, verstehen und anwenden lernen. In der Hoffnung auf eine nutzenstiftende Lektüre,

Chemnitz und München, im Februar 2016

Prof. Dr. Angelika C. Bullinger-Hoffmann  
Dr.-Ing. Jens Mühlstedt

---

## Geleitwort zum Homo Sapiens Digitalis

Die menschenunwürdigen Arbeitsverhältnisse der frühen Industrialisierung erzeugten den moralischen Druck, auch hinsichtlich der Arbeitswelt eine eigene Wissenschaftsdisziplin zu begründen. Bekanntlich machte bereits 1857 der polnische Wissenschaftler Jastrzebowski in der Zeitschrift „Natur und Industrie“ den Vorschlag „[...] uns mit einem wissenschaftlichen Ansatz zum Problem der Arbeit zu beschäftigen und sogar zu ihrer Erklärung eine gesonderte Lehre zu betreiben [...], damit wir aus diesem Leben die besten Früchte bei der geringsten Anstrengung mit der höchsten Befriedigung für das eigene und das allgemeine Wohl ernten und damit anderen und dem eigenen Gewissen gegenüber gerecht verfahren.“ (Jastrzebowski 1857) Er nannte diesen Wissenschaftszweig „Arbeitswissenschaft“ bzw. – wie es damals üblich war – unter Nutzung des Altgriechischen „Ergonomie“, zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern „ergon“ für „Arbeit“ und „nomos“ für „Gesetzmäßigkeit“. In vielen europäischen Ländern wurden in der Folgezeit Forschungsarbeiten zu der Frage speziell körperlicher, menschlicher Arbeit im Produktionsbereich durchgeführt. Ziel war es dabei, Messkriterien für die Beanspruchung durch körperliche Arbeit zu finden und so die Belastung, die an einem konkreten Arbeitsplatz zu dieser individuellen Beanspruchung führt, zu definieren. Unerträgliche, gesundheitsgefährdende Arbeit konnte so – zumindest ansatzweise – objektiviert werden und Anlass dafür sein, die entsprechenden Arbeitsbedingungen zu verändern. An dieser Vorgehensweise hat sich im Prinzip – natürlich unter Hinzuziehung immer differenzierterer Messmethoden und Kenntnisse – bis heute in vielen Bereichen nichts geändert. Man spricht in diesem Zusammenhang von der „korrektiven Ergonomie“, weil erst auf der Grundlage eines bereits vorhandenen Arbeitsplatzes eine Verbesserung erreicht werden kann.

Ein neues Kapitel wurde in den 1950er-Jahren aufgeschlagen, als Murell das Wort „Ergonomie“ „wiedererfand“ und in seinem gleichnamigen Buch zum ersten Mal Vorschläge zusammentrug, wie ein Arbeitsplatz bzw. ein Arbeitsmittel ergonomisch gestaltet sein soll. Er bezog sich dabei unter anderem auch auf Untersuchungen, die unter dem Druck des Zweiten Weltkrieges durchgeführt wurden und in denen zum ersten Mal auch mentale Vorgänge mittels regelungstechnischer Methoden modelliert worden sind. In den folgenden 1960er bis 1970er-Jahren wurde vor allem im Bereich der Luftfahrt daran gegangen, die Cockpits von Flugzeugen nach ergonomischen Gesichtspunkten zu gestalten. Im gleichen Zeitraum wurde speziell von der SAE (Society of Automotive Engineers) auf

der Grundlage von wissenschaftlich durchgeführten Untersuchungen Gestaltungsvorschläge für den Fahrer Arbeitsplatz im Automobil hinsichtlich Körperhaltung und Sichtbedingungen erarbeitet, die vor allem die unterschiedlichen körperlichen Abmessungen der möglichen Nutzer von solchen Fahrzeugen berücksichtigen sollten. Auf der Grundlage all dieser Arbeiten konnte nun auch die Zielsetzung der Ergonomie genauer definiert werden: durch Gestaltung der Arbeitsaufgabe, der Arbeitsumwelt und der Arbeitsmittel soll einerseits eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Arbeitssystems und – zumindest mit dem gleichen Gewicht – eine Minderung der auf den Menschen einwirkende Belastung erreicht werden. Dies bezieht sich zunächst auf die menschengerechte Gestaltung von Arbeitsplätzen in Produktion und Dienstleistungsbetrieben. Menschengerechte Arbeitsplätze setzen aber auch benutzerfreundliche Gebrauchsgegenstände voraus. Damit ergab sich eine, auch die betriebliche Praxis widerspiegelnde Einteilung in Produktions- und Produktergonomie. Das Ziel letzterer ist es, durch die Optimierung der Handhabbarkeit, die Optimierung des Komforts und auch Berücksichtigung der Forderung nach Ästhetik benutzerfreundliche Gebrauchsgegenstände zu konzipieren. Dies alles ist aber nicht mehr in befriedigendem Maße mit den Methoden der korrektiven Ergonomie nach wirtschaftlichen Forderungen erreichbar. So entstand die Forderung nach einer „*prospektiven Ergonomie*“, durch welche ergonomische Forderungen schon beim Gestaltungsprozess von Produkten und Produktionsabläufe berücksichtigt werden sollen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde aber schnell ein grundsätzlicher Mangel offensichtlich: Bisher waren alle ergonomischen Gestaltungsvorgaben in Form von Tabellenwerken oder Maßstabskizzen, die sich dann aber auf ein konkretes Produkt bezogen, verfügbar. Den immer vielfältiger werdenden Produkten, aber auch den sich ändernden Arbeitsbedingungen im Produktionsprozess, konnten diese Methoden nicht in ausreichendem Maße gerecht werden. Es fehlte ein allgemein gültiger Maßstab, an dem die Frage der menschengerechten Gestaltung objektiviert werden kann, ein Maßstab wie er für den übrigen technischen Bereich in Form von vielfältigen Formeln, mit denen das zukünftige Verhalten eines technischen Produktes zuverlässig berechnet werden kann, verfügbar ist. Ein solcher Maßstab kann selbstverständlich nur der Mensch selbst sein. Nicht zuletzt aus dieser Überlegung heraus arbeitet man – zumindest in der Produktgestaltung – bis heute mit Probanden, deren Verhalten und subjektiv geäußerte Eindrücke Grundlage für Verbesserungen sind. Es ergibt sich hierbei allerdings ein grundsätzlicher Nachteil: Probanden zeichnen sich durch eine große interpersonelle Variabilität aus. Das ist unter Umständen sogar sehr erwünscht, um dadurch die Variabilität der späteren Nutzer aufzufangen. Allerdings ergibt sich dann das in der Praxis oftmals sehr schwierig zu lösende Problem, für solche Versuche ein repräsentatives Versuchspersonenkollektiv zusammenzustellen. Um zumindest die anthropometrische Variabilität des Menschen zu berücksichtigen, hat man bereits in den 1950er- und 1960er-Jahren Zeichenschablonen entwickelt, die für Konstruktionszeichnungen einen entsprechenden menschenbezogenen Anhalt geben konnten.

Die sich rasch entwickelnde Computertechnologie bot sich als Lösung für diese angedeuteten Probleme an. Bereits in den 1960er-Jahren hat man damit begonnen, die erwähnten Zeichenschablonen zu „digitalisieren“. Man erreichte dadurch nicht nur den



Vorteil, dass die mit den Zeichenschablonen prinzipiell nur zweidimensional mögliche Repräsentation des Menschen nun dreidimensional sein konnte, sondern dass man damit auch über die rein geometrische Wiedergabe hinausgehende Eigenschaften in die so entstandenen digitalen Menschmodelle einprogrammieren konnte. Parallel zu den nun immer mehr entwickelten professionellen Computerprogrammen wurden diese *digitalen Menschmodelle* zum Teil direkt in CAD-Programme integriert, so dass nun dem Konstrukteur der gewünschte menschliche Maßstab zur Verfügung stand. Die durch die computerinitiierte Programmtechnik mögliche Vielfalt der mathematischen Repräsentation von Eigenschaften machte aber bei der Wiedergabe vor den geometrischen anthropometrischen Eigenschaften nicht halt. Schon zu Beginn der Entwicklung digitaler Menschmodelle wurden parallel zu den *anthropometrisch orientierten* Modellen auch *biomechanische* Modelle entwickelt, die zunächst die physikalischen Trägheitseigenschaften der menschlichen Körperelemente repräsentierten, die aber zunehmend mit Kräften und Muskeln ausgestattet wurden, so dass mit ihnen auch komplexe Bewegungsabläufe dargestellt werden können. Mit der Computerunterstützung konnte man auch die zunächst rein regelungstechnischen Menschmodelle mit komplexen kognitiven Eigenschaften, wie beispielsweise der Fähigkeit, Entscheidungen zwischen unterschiedlichen Handlungsalternativen zu treffen, ausstatten und so den neuen Zweig der *kognitiven* Menschmodelle generieren. Die immer mehr verbesserten Röntgenaufnahmen und insbesondere die Computertomografie lieferte die Grundlage für den weiteren Zweig der *physiologisch-medizinischen* Menschmodelle, die innere Vorgänge im Menschen nicht nur veranschaulichen, sondern beispielsweise auch Vorhersagen für den Erfolg operativer Eingriffe ermöglichen. Für die zukünftige Entwicklung scheint es – gerade auch mit Blick auf die zu erwartenden weiter fortschreitenden Möglichkeiten der Computertechnologie – sinnvoll zu sein, die erwähnten vier Zweige digitaler Menschmodellierung zunehmend zu integrieren. In jedem Fall gilt aber, dass deren in Form von Parametern realisierte Eigenschaften durch Messungen an einem repräsentativen Versuchspersonenkollektiv gewonnen worden sein müssen. Wenn dies auf einer soliden auch den Ansprüchen der wissenschaftlichen Statistik genügenden Grundlage geschehen ist, so wird durch diese Modellierung nicht nur die gewünschte Vorhersage für bestimmte konstruktive Fragestellungen ermöglicht, sondern darüber hinaus auch ganz grundsätzliche Kenntnisse über den Menschen gewonnen. Hinsichtlich der Anwendung solcher Menschmodelle kann man zwei grundsätzliche Zweige erkennen: Einerseits ist damit eine weitgehende ergonomische Gestaltung nicht nur von Produkten, sondern nun auch von Produktionsabläufen möglich, indem bereits in der CAD-orientierten Planungsphase quasi virtuelle Versuche mit dem digitalen Menschmodell durchgeführt werden. Andererseits kann man aber auch auf der Grundlage der Kenntnisse, die ein virtuelles Menschmodell liefert, eine Optimierung des individuellen Verhaltens im Bereich des Sports der Therapie und der Arbeitsanweisung erreichen.

Die fortschreitende Entwicklung der Computer und deren vielfältige Einsatz hatte aber auch Auswirkung auf den eingangs erwähnten Bereich der ergonomischen Gestaltungsvorschläge. Nun war man nicht mehr festgelegt auf die unveränderbare Papierform,

sondern konnte viele dieser Vorschläge programmtechnisch realisieren und damit flexibel auf unterschiedliche Anwendungsbereiche adaptieren. Mit den Möglichkeiten der digitalen Menschmodelle ist es zudem möglich, viele dieser Vorschläge neu zu definieren und in Wechselwirkung mit diesen zu flexibilisieren. Umgekehrt fanden und finden Methoden der ergonomischen Gestaltung Eingang in Eigenschaften der Menschmodelle. Somit ergeben sich durch diese Wechselwirkung zwischen der computerunterstützten sog. *virtuellen Ergonomie* und den digitalen Menschmodellen stetig verbessernde Möglichkeiten der ergonomischen Gestaltung von Produkten und Produktionsprozessen.

Das vorliegende Lehrbuch stellt im ersten Teil des Buches (Kap. 1 bis Kap. 5) die hier kurz in Form eines Entwicklungsprozesses dargestellten Sachzusammenhänge systematisch dar. In den jeweiligen Kapiteln wird die Darstellung durch viele anschauliche Beispiele unterstützt. Im zweiten Teil (Kap. 6 bis Kap. 24) findet sich eine Zusammenstellung von Beiträgen aus Praxis und Forschung zum Einsatz und zur Weiterentwicklung von digitalen Menschmodellen. Das Buch stellt erstmals eine systematische Zusammenstellung dieses neuen und nun bereits schon weitgehend etablierten Bereiches der Ergonomie zur Verfügung. Es wendet sich damit nicht nur an Studierende, die damit in ihrer Ausbildung moderne Methoden der Ergonomie erfahren, sondern auch an Fachleute im Bereich der Produktgestaltung und der Produktionsgestaltung sowie an Wissenschaftler, die sich mit der Weiterentwicklung ergonomischer Methoden befassen.

In der hier vorliegenden Auflage ist es den Herausgebern (noch) nicht gelungen, die Geschlechtsneutralität des Textes durchgängig zu gewährleisten. In zukünftigen Revisionen soll dieser anspruchsvollen Aufgabe besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Es muss deshalb an dieser Stelle bei dem Hinweis bleiben, dass Begriffe, die in der rein maskulinen Form verwendet werden (z. B. „Benutzer“) die weibliche Form einschließen. Dies gilt zumindest für Textpassagen, die nicht auf fremde Publikationen referenzieren.

München, im Januar 2016

Prof. em. Dr. Heiner Bubb

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil I Grundlagen und Theorie</b> .....	1
<b>1 Einleitung</b> .....	3
Angelika C. Bullinger-Hoffmann und Jens Mühlstedt	
<b>2 Grundlagen virtueller Ergonomie</b> .....	7
Jens Mühlstedt	
2.1 Arbeitswissenschaft, Ergonomie, Usability, UX und Co. ....	8
2.2 Anthropometrie .....	10
2.2.1 Anthropometrische Variablen.....	11
2.2.2 Grunddaten: Geschlecht und Perzentil.....	11
2.2.3 Demografie: Population/Nationalität, Alter und Akzeleration .....	15
2.2.4 Körperbau: Somatotyp/Plastizität/Korpulenz, Proportion, Charakteristik und Armlänge .....	17
2.2.5 Anthropometrische Messungen.....	19
2.2.6 Reihenuntersuchungen .....	20
2.2.7 Normen und Richtlinien .....	21
2.2.8 Innen- und Außenmaße, Optimalwerte .....	25
2.2.9 Greifraum und Erreichbarkeit .....	26
2.3 Fähigkeiten des Menschen .....	27
2.3.1 Perzeption .....	27
2.3.2 Kondition.....	29
2.3.3 Koordination.....	29
2.3.4 Kognition.....	30
2.4 Belastungen auf den Menschen.....	30
2.4.1 Belastung in physiologischen Arbeitsprozessen .....	31
2.4.2 Belastungsbewertungsverfahren.....	32
2.4.3 Beanspruchung in physiologischen Arbeitsprozessen .....	34
2.4.4 Beanspruchungsermittlungsverfahren.....	34
Literatur .....	37

<b>3 Körperumrisschablonen und historische digitale Menschmodelle</b> .....	41
Jens Mühlstedt	
3.1 Körperumrisschablonen.....	42
3.2 Historie digitaler Menschmodelle .....	44
3.3 Katalog Körperumrisschablonen (Anlage).....	46
3.3.1 ADAM.....	46
3.3.2 AFNOR 82297 X35-002.....	47
3.3.3 AnthroCalc .....	47
3.3.4 Bammes bewegliche Proportionsmodelle .....	47
3.3.5 BEAR-AIDE Human Figure Template .....	47
3.3.6 BOSCH-Schablone/DIN 33416/Jenik-Bosch-Zeichenschablone ...	48
3.3.7 Bruns-Schablone .....	48
3.3.8 Burg-Giebichenstein-Schablone .....	50
3.3.9 Busfahrerschablone .....	52
3.3.10 Carlyle-Körperumrisschablone.....	52
3.3.11 Dreyfuss-Körperumrisschablone/Joe und Josephine.....	52
3.3.12 ErgoForms .....	54
3.3.13 Hockenberry’s Anthropometric Task Seating Templates.....	54
3.3.14 ISO 171, ISO 172/Grüne Standardzeichenschablone .....	55
3.3.15 Jenik-Schablone .....	55
3.3.16 Kieler Puppe/DIN 33408-1/Kiel mannequin/Riehle-Puppe.....	55
3.3.17 Lawyers & Judges Template/Male/Female Human Figure Template, Pickett Human Figure.....	57
3.3.18 LN 9100 .....	57
3.3.19 Manek.....	57
3.3.20 Martin.....	59
3.3.21 Nissan-Schablonen .....	59
3.3.22 Ogasawara-Möbelschablonen .....	59
3.3.23 Peugeot-Renault-Schablone/FR 1.575.684.....	61
3.3.24 Philips-Prüfschablone .....	61
3.3.25 Rumbold-Schablone.....	61
3.3.26 SAE-Schablone/H-Point Template/CAVA Manikin.....	63
3.3.27 Template Designs Human Figure Template/TD1735A.....	65
3.3.28 USAF Drawing Board Manikin/Patent US4026041/USAF Flying Officer.....	65
3.3.29 VDI-Messpuppe .....	66
3.3.30 Warschau-Schablone .....	67
3.3.31 Zeppelin-Schablone.....	68
Literatur .....	69

<b>4</b>	<b>Digitale Menschmodelle</b> .....	<b>73</b>
	Jens Mühlstedt	
4.1	Arbeitswissenschaftliche digitale Menschmodelle .....	74
4.1.1	Human Builder .....	75
4.1.2	Jack.....	76
4.1.3	RAMSIS .....	77
4.1.4	Fazit.....	77
4.1.5	Weitere arbeitswissenschaftliche digitale Menschmodelle .....	78
4.2	Weitere digitale Menschmodelle .....	80
4.2.1	Arbeitswissenschaftlich nutzbare digitale Menschmodelle .....	80
4.2.2	Sonstige digitale Menschmodelle .....	81
4.3	Funktionen digitaler Menschmodelle.....	81
4.3.1	Manipulations-Funktionen .....	83
4.3.2	Ergonomie-Methoden .....	88
4.3.3	Ausgabe-Funktionen und weitere Funktionen .....	91
4.4	Gestaltung von Produkten mittels digitaler Menschmodelle .....	91
4.5	Gestaltung von Arbeitsplätzen mittels digitaler Menschmodelle.....	93
4.6	Katalog digitaler Menschmodelle (Anlage).....	96
4.6.1	3D Human Model .....	97
4.6.2	3DSSPP .....	98
4.6.3	ADAM.....	99
4.6.4	ADAMS/Figure und ADAMS/Android .....	99
4.6.5	ADAPS.....	100
4.6.6	ANNIE-Ergoman .....	101
4.6.7	Anthropos .....	102
4.6.8	ANYBODY (D) .....	103
4.6.9	AnyBody (DK) .....	104
4.6.10	AnyMan.....	105
4.6.11	Apolinex.....	106
4.6.12	ARMO.....	107
4.6.13	BHMS .....	107
4.6.14	BioMan.....	109
4.6.15	Boeing Human Model .....	110
4.6.16	BOEMAN .....	110
4.6.17	BOSCH Manikin/Mulit-CAD-Menschmodell .....	111
4.6.18	Bubbleman .....	112
4.6.19	Buford .....	112
4.6.20	CADHUMAN .....	113
4.6.21	CAPE.....	114
4.6.22	CAR/CAR II/CAR III/CAR IV.....	114
4.6.23	CARLA .....	114
4.6.24	CBMAN .....	116

---

4.6.25 CombiMan.....	116
4.6.26 Creo Manikin .....	116
4.6.27 CrewChief .....	117
4.6.28 CrewStation.....	118
4.6.29 CyberMan .....	118
4.6.30 DARIU/ELLEN .....	119
4.6.31 Delmia Process Engineer Human.....	119
4.6.32 Dhaiba .....	120
4.6.33 DI-Guy .....	120
4.6.34 DIANA.....	122
4.6.35 DigitalBiomechanics .....	122
4.6.36 Dynamicus.....	123
4.6.37 eM-Human .....	125
4.6.38 ema .....	125
4.6.39 ErgMan.....	126
4.6.40 ERGO.....	126
4.6.41 ErgoBim .....	127
4.6.42 ERGOman.....	127
4.6.43 ErgoSHAPE .....	128
4.6.44 First Man .....	129
4.6.45 Fourth Man.....	129
4.6.46 Franky .....	130
4.6.47 GENPAD.....	131
4.6.48 Graphic Man Model.....	131
4.6.49 GRIBS .....	131
4.6.50 HEINER .....	133
4.6.51 HUMAN .....	133
4.6.52 Human Builder .....	134
4.6.53 Human-Builder.....	135
4.6.54 HumanCAD.....	136
4.6.55 IDO:Ergonomics .....	137
4.6.56 IMMA .....	138
4.6.57 Jack.....	139
4.6.58 Landing Signal Officer (LSO) .....	141
4.6.59 LifeMOD.....	142
4.6.60 MakeHuman.....	143
4.6.61 MAN3D.....	144
4.6.62 ManneQuin.....	144
4.6.63 MATHES.....	145
4.6.64 MINTAC .....	145
4.6.65 MIRA .....	146
4.6.66 MTM-Man.....	147

---

4.6.67 NASA GRAF .....	147
4.6.68 OpenSim.....	148
4.6.69 OSCAR .....	149
4.6.70 OSKU.....	149
4.6.71 OWASCA .....	150
4.6.72 Poser.....	151
4.6.73 PRO/ENGINEER Manikin .....	152
4.6.74 RAMSIS.....	152
4.6.75 RapidManikin.....	154
4.6.76 Safework.....	155
4.6.77 SAMMIE.....	156
4.6.78 Santos .....	157
4.6.79 Sausage Man .....	159
4.6.80 Second Man.....	159
4.6.81 SIMM .....	160
4.6.82 Skeleton Animation System .....	161
4.6.83 TEMPUS .....	161
4.6.84 Third Man and Woman.....	163
4.6.85 Tommy .....	163
4.6.86 TORQUEMAN .....	164
4.6.87 VADE .....	164
4.6.88 VIMS.....	165
4.6.89 VirtualMan .....	165
4.6.90 Werner .....	165
Literatur .....	166
<b>5 Virtuelle Ergonomie.....</b>	<b>183</b>
Jens Mühlstedt	
5.1 Analysemethodik virtueller Ergonomie .....	185
5.2 Menschmodelle und ergonomische Standardverfahren .....	190
5.2.1 Diskomfort, Gelenkwinkel, NASA-Neutralhaltung .....	191
5.2.2 EAWS .....	192
5.2.3 Energieumsatz .....	194
5.2.4 H-Punkt und SAE-Schablone.....	195
5.2.5 MTM .....	197
5.2.6 NIOSH.....	199
5.2.7 OWAS.....	201
5.2.8 RULA.....	202
5.2.9 Siemens/Burandt/REFA-FA Chemie .....	204
5.2.10 Snook & Ciriello .....	205
5.2.11 Static Strength Prediction Model .....	207

5.3	Werkzeuge virtueller Ergonomie .....	209
5.3.1	Innovation Engineering .....	209
5.3.2	Product & Interaction Engineering .....	210
5.3.3	Industrial Engineering .....	212
5.4	Visionen zur Zukunft .....	212
5.4.1	Systemintegration.....	213
5.4.2	Funktionelle Weiterentwicklungen.....	215
5.4.3	Nutzungsorientierte Visionen .....	216
	Literatur .....	223
<b>Teil II Stand und Ausblick Forschung.....</b>		<b>227</b>
<b>6</b>	<b>Eine Anforderungsermittlung zu digitalen Menschmodellen als Instrument zur ergonomischen Arbeitsprozessgestaltung .....</b>	<b>229</b>
	Michael Spitzhirn und Angelika C. Bullinger-Hoffmann	
6.1	Einsatzgebiete und Bedarf zur Erweiterung bestehender digitaler Menschmodelle .....	230
6.2	Studien zum Verbesserungs- und Entwicklungsbedarf digitaler Menschmodelle .....	231
6.3	Befragungen: Anforderungen potenzieller Nutzer an arbeitswissenschaftliche Analysen mittels digitaler Menschmodelle .....	233
6.3.1	Ergebnis: Arbeitsmittelausstattung und elektronische Datenbasis .....	234
6.3.2	Ergebnis: Arbeitswissenschaftliche Vorgehensweise .....	235
6.3.3	Ergebnis: Anforderungen bzgl. Einbindung arbeitswissenschaftlicher Faktoren in DMM .....	236
6.4	Interviews bzgl. Vorgehensweise und Anforderungen an Arbeitsaufgaben in digitalen Menschmodellen .....	237
6.4.1	Ergebnis Interview: Ist-Vorgehensweise .....	238
6.4.2	Ergebnis Interview: Anforderung an die Beschreibung und Analyse von Arbeitsaufgaben mittels DMM.....	239
6.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	241
	Literatur .....	243
<b>7</b>	<b>Normen und Richtlinien zur digitalen Ergonomie .....</b>	<b>247</b>
	Gert Zülch	
7.1	Rechtsstellung von Normen und Richtlinien .....	247
7.2	Behandlung ergonomischer Aspekte in Normen.....	248
7.3	Richtlinien des VDI zur digitalen Ergonomie .....	249
7.3.1	Makroergonomische Aspekte der Personaleinsatzsimulation in VDI 3633 Blatt 6.....	250



7.3.2	Mikroergonomische Aspekte von Menschmodellen in VDI 4499 Blatt 4 .....	250
7.3.3	Analyse von Umgebungseinflüssen in einer zukünftigen VDI 4499 Blatt 5 .....	251
7.3.4	Ausblick auf Entwicklung weiterer Richtlinien und Normen.....	252
	Literatur .....	252
<b>8</b>	<b>Modellierung und Simulation des Menschen bei Sicherheitsaufgaben .....</b>	<b>255</b>
	Thomas Alexander	
8.1	Hintergrund .....	256
8.2	Organisationsergonomie: Teamarbeit und Prozessplanung .....	256
8.3	Kognitive Ergonomie: Verhalten und Informationsverarbeitung .....	257
8.4	Technische Ergonomie: Ausrüstungsgestaltung.....	258
8.5	Ausblick einer gesamtheitlichen, systemergonomischen Menschsimulation .....	258
	Literatur .....	259
<b>9</b>	<b>Kraftmodellierung für digitale Menschmodelle.....</b>	<b>261</b>
	Fabian Günzkofer	
9.1	Einleitung .....	262
9.2	Gelenkspezifische Kraftmessungen .....	262
9.3	Biomechanische Grundlagen .....	262
9.4	Beispiele für Gelenkmoment-Gelenkwinkel-Funktionen .....	263
9.5	Praxisbeispiele.....	265
9.6	Ausblick und offene Fragen .....	265
	Literatur .....	266
<b>10</b>	<b>Von Realen Menschen zu Virtuellen Charakteren: Modellierung und Animation des digitalen Menschmodells „Eva“ .....</b>	<b>269</b>
	Guido Brunnett, Liang Zhang und Thomas Kronfeld	
10.1	Einleitung.....	269
10.2	Erfassung der Geometrie .....	270
10.2.1	Texturierung des Menschmodells .....	271
10.2.2	Verbesserung des Kopfmodells .....	273
10.2.3	Haar- und Kleidungsmodelle .....	273
10.3	Animation des Körpermodells .....	274
10.3.1	Bewegungserfassung .....	275
10.3.2	Rigging und Skinning .....	276
10.3.3	Bewegungssynthesierung.....	276
	Literatur .....	277

<b>11 Virtual Ergonomics- Vision of the Future.....</b>	<b>279</b>
Julie Charland	
11.1 An evolution with a plateau .....	279
11.1.1 Very few research results live into commercial DHM.....	281
11.1.2 There is a missing bridge between 3D users and the ergonomic domain.....	281
11.2 DHM Future: Help the user make a decision .....	282
Literatur .....	283
<b>Teil III Praxisanwendungen.....</b>	<b>285</b>
<b>12 Mit RAMSIS in drei Schritten zur ergonomischen Fahrzeugkonstruktion .....</b>	<b>287</b>
Hans-Joachim Wirsching	
12.1 Einleitung.....	288
12.2 Anwendung des RAMSIS im dreistufigen Prozess .....	288
12.2.1 Schritt 1: Abbildung des Verbrauchermarktes.....	288
12.2.2 Schritt 2: Simulation der Interaktion mit dem Fahrzeug .....	289
12.2.3 Schritt 3: Ergonomische Analyse der Interaktionen .....	292
12.3 Fazit .....	294
Literatur .....	295
<b>13 RAMSIS kognitiv als Instrument zur Analyse und Auslegung von Sichtbedingungen.....</b>	<b>297</b>
Wolfram Remlinger und Klaus Bengler	
13.1 Einleitung und Motivation des Projektes ‚RAMSIS kognitiv‘ .....	297
13.2 Verfügbare Analysefunktionen in ‚RAMSIS kognitiv‘ .....	298
13.3 Ausblick: Integration der Hand-Augen-Koordination .....	301
Literatur .....	301
<b>14 Anwendung von digitalen Menschmodellen für Elektromobile .....</b>	<b>303</b>
Heidrun Steinbach, Mario Mückisch und Alexander Kunert	
14.1 Einleitung.....	303
14.2 Digitale Haltungsanalyse und ergonomische Gestaltung – am Beispiel von Innvelo Two.....	304
14.3 Digitale Sichtbarkeitsanalyse am Beispiel von Innvelo Three .....	306
14.4 Zusammenfassung .....	308
Literatur .....	309
<b>15 Analysemethodik für digitale Menschmodelle .....</b>	<b>311</b>
André Kaiser, Sabine Krause, Jörg Schliessburg und Angelika C. Bullinger-Hoffmann	
15.1 Einleitung.....	312
15.2 Analysemethodik für digitale Menschmodelle.....	312

15.3	Praxisbeispiel .....	314
15.4	Softwaredemonstrator EMS-A .....	317
15.5	Zusammenfassung .....	318
	Literatur .....	318
<b>16</b>	<b>Experiences with efficient utilisation of Digital Human Models in practice .....</b>	<b>321</b>
	Marek Bures	
16.1	Introduction.....	321
16.2	Software selection.....	322
16.3	The process of creation and analysis .....	323
16.4	Duration of ergonomic studies.....	324
16.5	Examples and case studies.....	326
16.6	Conclusion .....	327
	Literatur .....	328
<b>17</b>	<b>Bewertung digital erfasster Bewegungen mit Dynamicus.....</b>	<b>329</b>
	Heike Hermsdorf, Norman Hofmann und Albrecht Keil	
17.1	Grundlagen .....	330
17.2	Menschmodell Dynamicus .....	330
17.3	Rekonstruktion und Simulation der Bewegung .....	332
17.4	Schnittstelle zum Motion-Capture-System.....	333
17.5	Ergonomiebewertung von Arbeitsverrichtungen .....	333
17.6	Zusammenfassung und Ausblick .....	334
	Literatur .....	335
<b>18</b>	<b>Digitale ergonomische Gestaltung von Maschinen- und Fertigungssystemen.....</b>	<b>337</b>
	Heidrun Steinbach und Alexander Kunert	
18.1	Ausgangssituation.....	337
18.2	Methode zur ergonomischen Prüfung von Maschinenkonzepten.....	339
18.3	Eine Methode zur digitalen Prüfung der Maschinengestaltung.....	340
18.4	Fallbeispiele ergonomischer Prüfung und Gestaltung .....	342
18.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	343
	Literatur .....	345
<b>19</b>	<b>Ergotyping®-Tools für Ergonomieuntersuchungen im Digital Prototyping .....</b>	<b>347</b>
	Christiane Kamusella, Edgar Scherstjanoi und Martin Schmauder	
19.1	Einleitung.....	347
19.2	Ergotyping®-Tool „Body Forces“ .....	348
19.3	Ergotyping®-Tool „Manual Handling Evaluation“ .....	350
	Literatur .....	353

<b>20</b>	<b>Editor menschlicher Arbeit (ema)</b> .....	355
	Wolfgang Leidholdt, Lars Fritzsche und Sebastian Bauer	
20.1	Ausgangslage und Entwicklungshistorie .....	356
20.2	Aufbau und Grundlagen .....	356
20.3	Funktionsumfang .....	357
20.3.1	Planen und Gestalten.....	357
20.3.2	Simulieren und Visualisieren .....	358
20.3.3	Bewerten und Dokumentieren .....	359
20.4	Anwendung und Weiterentwicklung.....	360
	Literatur .....	361
<b>21</b>	<b>Anwendung digitaler Menschsimulationen im Rahmen der Planung und kontinuierlichen Verbesserung von Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie</b> .....	363
	Ricardo Schönherr und Roman Arnold	
21.1	Virtuelle Ergonomie im Produkt-Entstehungs- und Herstellungsprozess der Automobilindustrie.....	363
21.2	Werkzeuge und Optimierungspotenziale der virtuellen Ergonomie.....	364
21.3	Umsetzung der virtuellen Ergonomie am Beispiel der Aggregateherstellung .....	365
21.3.1	Vergleich von Gestaltungsalternativen.....	366
21.3.2	Simulation der Mensch-Mensch-Kooperation .....	366
21.3.3	Simulation der Mensch-Maschine-Kooperation .....	367
21.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	367
	Literatur .....	368
<b>22</b>	<b>Einsatz virtueller Werkzeuge zur ergonomischen Montagegestaltung im Produktentstehungsprozess am Beispiel der Automobilindustrie</b> .....	371
	Peter Kaniewski, Mario Wegner und David Becker	
22.1	Demographische Herausforderungen der Automobilindustrie .....	372
22.2	Ergonomieabsicherung in der Planungsphase .....	372
22.3	Einsatz von Simulationswerkzeugen zur Ergonomiebewertung am Beispiel des Kreuzgelenks .....	374
22.4	Zusammenfassung .....	375
	Literatur .....	376
<b>23</b>	<b>Multi-CAD-Menschmodell für den Einsatz in inhomogenen IT-Welten</b> .....	377
	Manfred Dangelmaier, Alexandre Boespflug und Frank Sulzmann	
23.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	378
23.2	Lösungsansatz.....	379
23.3	Ergebnis .....	380
23.3.1	Workflow.....	380

23.3.2	Anthropometrie und Menschmodell .....	381
23.3.3	Werkzeuge und Schnittstellen .....	382
23.4	Diskussion und Zusammenfassung.....	383
	Literatur .....	384
<b>24</b>	<b>The Smart Virtual Worker – Digitales Menschmodell für die Simulation industrieller Arbeitsvorgänge.....</b>	<b>385</b>
	Michael Spitzhirn, Thomas Kronfeld, Nicholas H. Müller, Martina Truschzinski, Guido Brunnett, Fred Hamker, Helge Ü. Dinkelbach, Peter Ohler, Peter Protzel, Paul Rosenthal und Angelika C. Bullinger-Hoffmann	
24.1	Einleitung und Motivation .....	386
24.2	Eingesetzte Methoden zur Modellierung und Simulation im SVW .....	387
24.2.1	Modul: Bewegungsgenerierung .....	387
24.2.2	Modul: Autonome Handlungsselektion .....	388
24.2.3	Modul: Zeit .....	389
24.2.4	Modul: Ergonomie .....	389
24.2.5	Modul: Emotion .....	391
24.3	Simulationsablauf .....	393
24.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	393
	Literatur .....	394
	<b>Glossar .....</b>	<b>399</b>
	<b>Stichwortverzeichnis.....</b>	<b>401</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

3DSSPP	Static Strength Prediction Program
AAWS	Automotive Assessment Worksheet
ADAM	Anthropometric Data Application Manikin/Anthropometric Design Aid Manikin
ADAMS	Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems
ADAPS	Anthropometric Design Assessment Program System
AEU	Arbeitsenergieumsatz
AFNOR	Association française de normalisation
alaska	advanced lagrangian solver in kinetic analysis
ANNIE	Application of Neural Networks to Integrated Ergonomic
ANSUR	Anthropometric Survey (anthropometric database)
ARML	Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory
ART	Advanced Realtime
ASER	Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BCAG	Boeing Commercial Airplane Group
B-HMS/BHMS	Boeing Human Modeling System
BkB	Bewertung körperlicher Belastungen
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMW	Bayerische Motoren Werke
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
CAAA	Computer Aided Anthropometric Assessment
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPE	Computerized Accommodated Percentage Evaluation
CAR	Crewstation Assessment of Reach
CARLA	CAD-Arbeitsplatz-Layout
CAX	Computer Aided x
CR-10	Category (C) ratio (R) scale

---

Dhaiba	Digital Human Aided Basic Assessment system
DHM	Digital Human Model
DI-Guy	Dismounted Infantry Guy
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMM	Digitale Menschmodelle
DPE	DELMIA Process Engineer
DWG	AutoCAD Datenformat
DXF	Drawing Interchange File Format (AutoCAD Datenformat)
EAWS	Ergonomic Assessment Worksheet
EDA	Electrodermal activity
EEG	Elektroenzephalografie
EEPP	Energy Expenditure Prediction Program
EKG	Elektrokardiografie
ema	Editor menschlicher Arbeit
EMG	Elektromyografie
EMMA	Experte zur Planung manueller Montagesystemen
EMS-A	Ereichbarkeits-, Machbarkeits- und Sichtbarkeitsanalyse
EOG	Elektrookulografie
FEM	Finite Elemente Methode/Finite-Elemente-Modelle
GUI	Graphical User Interface
H-Punkt	Hüft-Punkt
HS	Human Solutions
IE	Industrial Engineering
IEA	International Ergonomics Association
IGES	Initial Graphics Exchange Specification (Datenformat)
IMMA	Intelligently Moving Manikin
IT	Informationstechnik
IWA	Informationsmittel, Werbeträger, Arbeitshilfen
JT	Jupiter Tessellation (Datenformat)
KI	künstliche Intelligenz
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LMM	Leitmerkmalmethode
MA	Mitarbeiter
MIRA	Human Model of Intelligent Behaviour and Analysis
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MKS	Mehrkörpersystem
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
MTM	Methods Time Measurement
MTM-MEK	MTM in der Einzel- und Kleinserienfertigung

---

MTM-UAS	MTM Universelles Analysier-System
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NET	Normaleffektivtemperatur
NHANES	National Health and Nutrition Examination Survey
NIOSH	National Institute of Occupational Safty and Health
NPW	New Production Worksheet
OCRA	occupational repetitive actions
OWAS	ovako working posture analysis system
OWASCA	Ovako working posture analyzing system, computer-aided
PEP	Produktentstehungsprozess
PLM	Produktlebenszyklusmanagements
PTC	Parametric Technology Corporation
RAMSIS	Rechnergestütztes Anthropometrisch-Mathematisches System zur Insassen-Simulation
REBA	Rechnergestütztes Verfahren zur psychologischen Bewertung von Arbeitsinhalten
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
ROM	Range of motion
RPE	Received Perception of Exertion
RSME	Rating Scale of Mental Effort
RULA	rapid upper limb assessment
RWL	Recommended Weight Limit
SAE	Society of Automotive Engineers
SDS	Standardized discomfort scale
SIMM	Software for Interactive Musculoskeletal Modeling
SIMON	Simulation der Montage
SSP	Static Strength Prediction
SSP-Model	Static Strength Prediction Model
SVW	Smart Virtual Worker
SWAT	Subjective Workload Assessment Technique
TK	Themenkomplex
TLX	Task Load Index
TRBS	Technischen Regeln für Betriebssicherheit
TSB	Task Simulation Builder
UX	User Experience
VADE	Virtual Assembly Design Environment
VDE	Verbandes der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VIMS	Virtual interactive musculoskeletal system



VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language (Datenformat)
VW	Volkswagen
WEAR	World Engineering Anthropometry Resource (anthropometric database)
ZSB	Zusammenbau-Baugruppe

---

**Teil I**

**Grundlagen und Theorie**

Angelika C. Bullinger-Hoffmann und Jens Mühlstedt

---

## Zusammenfassung

Das Buch behandelt digitale Menschmodelle unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Wissenschaft und Technik. Dazu werden Grundlagen der Ergonomie und Anthropometrie dargelegt, Körperumrisschablonen und virtuelle Ergonomie behandelt sowie eine Reihe von Forschungs- und Praxisbeispielen gegeben.

Die Virtualisierung von Prozessen ist ein maßgeblicher Bestandteil heutiger Entwicklung und Planung. Was als technikgetriebene Forschung Ende des 20. Jahrhunderts begann, ist mittlerweile in Wissenschaft und Technik inhärenter Bestandteil bei der Produkt- und Produktionsgestaltung. CAx-Systeme (Computer Aided X) sind etablierte Werkzeuge; die Digitale Fabrik und das rechnergestützte Produktlebenszyklusmanagement setzen sich in immer mehr Phasen und Branchen durch. Wesentliche Beweggründe zur virtuellen Gestaltung im Vorfeld bzw. parallel zu realen Funktionsmustern, Prototypen, Produkten und Produktionen sind die Verkürzung von Entwicklungszeiten, die Möglichkeit zur Prüfung

---

A. C. Bullinger-Hoffmann (✉)

Technische Universität Chemnitz Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement,  
Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz, Deutschland

E-Mail: [bullinger-hoffmann@mb.tu-chemnitz.de](mailto:bullinger-hoffmann@mb.tu-chemnitz.de)

J. Mühlstedt

designaffairs GmbH, Balanstr. 73 | Haus 32, 81541 München, Deutschland

E-Mail: [Jens.Muehlstedt@designaffairs.com](mailto:Jens.Muehlstedt@designaffairs.com)

verschiedener Szenarien sowie die Vorteile durch verteilten Zugriff auf digitale Daten. Neben Standard-Werkzeugen kommen für bestimmte Prüf- und Berechnungsschritte weiterhin Spezialexsysteme zum Einsatz, wie FEM-Systeme für Festigkeitsberechnungen oder Crash-Tests, Mehrkörpersimulationssysteme zur Prüfung dynamischer Vorgänge und nicht zuletzt Werkzeuge virtueller Ergonomie zur Analyse von Mensch-Maschine-Interaktion, der Usability von Produkten und der Ergonomie von Arbeitsplätzen.

Ergonomie, Usability und verwandte Fachdisziplinen sind seit langer Zeit existent, entwickeln sich aber insbesondere in den letzten Jahren in vielen Unternehmen zu wettbewerbsentscheidenden Faktoren. Dabei steht sowohl bei ergonomischen Produkten als auch der Ergonomie von Arbeitssystemen der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Durch diese Humanisierung können kurz- wie langfristige Effekte erzielt werden, die sich positiv auf Gesundheit und Produktivität auswirken. Klassischen Begriffen der Arbeitswissenschaft und Ergonomie stehen neuere Konzepte wie Usability und User Experience gegenüber. Diese werden in Abschn. 2.1 als Grundlage virtueller Ergonomie und digitaler Menschmodelle definiert und erläutert.

Digitale Menschmodelle (DMM) sind virtuelle Abbilder des Menschen, die arbeitswissenschaftliche Zusammenhänge simulieren. Wesentliche Grundlagen dafür sind die Anthropometrie als Lehre der Maße des Menschen (Abschn. 2.2), unterschiedliche, meist physische Belastungen (Abschn. 2.4) sowie verschiedene Fähigkeiten des Menschen, die ihm die Ausführung von Prozessen und Interaktion mit Produkten ermöglichen (Abschn. 2.3). Zur Gestaltung und Analyse hauptsächlich anthropometrischer Zusammenhänge bei Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung wurden seit Mitte des 20. Jh. sogenannte Körperumrisschablonen entwickelt und eingesetzt, die auch heute noch für erste skizzenhafte Überlegungen zum Einsatz kommen können. Die Digitalisierung dieser Schablonen sowie die Entwicklung dreidimensionaler Menschmodelle auf Basis erster CAD-Systeme ermöglichte die Integration weiterer Funktionen, wie Sicht-, Erreichbarkeits- und Belastungsanalysen. Körperumrisschablonen sowie historische digitale Menschmodelle werden in Kap. 3 beschrieben. Der heutige Stand von Wissenschaft und Technik arbeitswissenschaftlicher digitaler Menschmodelle wird im darauffolgenden Kap. 4 vorgestellt. Ein Anhang im Kapitel mit einer Beschreibung aller digitalen Menschmodelle ergänzt diese Thematik.

Neben den digitalen Menschmodellen mit ihren Eigenschaften und Funktionen haben sich in der Praxis viele weitere rechnergestützte Arbeitsabläufe und Handlungsweisen etabliert, die als virtuelle Ergonomie bezeichnet werden sollen. Dazu gehören etwa die Analysemethodik virtueller Ergonomie, die Verzahnung mit weiteren ergonomischen Verfahren und Methoden sowie Visionen zur Zukunft. Diese Themen werden in Kap. 5 ebenso wie weitere Werkzeuge und Systeme virtueller Ergonomie vorgestellt.

Die Nutzung digitaler Menschmodelle und virtueller Ergonomie in der Praxis erfolgt in verschiedenen Branchen, Prozessen, Standardisierungs- und Integrationsebenen sowie in verschiedenem Umfang und Häufigkeit. Weiterhin führen verschiedene Institutionen und Organisationen Projekte zur Weiterentwicklung digitaler Menschmodelle und virtueller Ergonomie durch. In Kap. 6 bis Kap. 24 konnten namhafte Autoren nationaler und

internationaler Organisationen gewonnen werden, die in Kurzbeiträgen Forschungs- und Praxisbeispiele vorstellen.

Das vorliegende Buch stellt eine Zusammenfassung des Standes der Wissenschaft und Technik zu rechnergestützten Simulationssystemen menschlichen Abbildes – des Homo Sapiens Digitalis – dar und wurde für vertiefende Lehr- sowie Forschungszwecke basierend auf einem Jahrzehnt wissenschaftlichen Arbeitens an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der Technischen Universität Chemnitz erstellt. Insbesondere im deutschsprachigen Raum existierte bislang kein derartiges Buch; Informationen zu dem Themenfeld sind sehr verteilt in Fachartikeln, Konferenzbeiträgen oder Teilen von Monografien. Im Englischsprachigen, insbesondere in den USA, sind einige teils umfangreiche Herausgeberwerke und Manuskripte zu dem Themenfeld verlegt. Ergänzend hierzu soll dieses Buch die zentraleuropäischen Wissensstände und Herangehensweisen darlegen und damit die englischsprachige Literatur sowie Fachartikel ergänzen.

**Angelika C. Bullinger-Hoffmann** leitet die Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der Technischen Universität Chemnitz und arbeitet mit ihrem Team an der Gestaltung von Mensch-Technik-Schnittstellen für die Arbeits- und Lebenswelten von morgen. Dabei werden Lösungen gestaltet, die von Anfang an die Anforderungen der späteren Nutzer richtig erfüllen. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, wissenschaftlich fundiert Methoden und Werkzeuge zur Gestaltung von innovativen Mensch-Technik-Schnittstellen zu entwickeln. Das Vorantreiben anwendungsnaher Lösungen, die innovativ und breit akzeptiert sind, ist dabei zentral. Virtuelle Menschmodelle werden dabei für die Produkt- und Prozessentwicklung eingesetzt.

Angelika C. Bullinger-Hoffmann hat an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der University of Pennsylvania habilitiert und an der Technischen Universität München promoviert.

**Jens Mühlstedt** betreute bis 2014 das Forschungsgebiet „Digitale Menschmodelle“ an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der Technischen Universität Chemnitz. Er leitete das Team Innovation Engineering und führte Industrie- und Praxisprojekte zur ergonomischen Produkt- und Prozessgestaltung durch. Für seine Promotion zu virtueller Ergonomie erhielt er den Preis des Dresdner Gesprächskreises als „hervorragender Nachwuchswissenschaftler“.

Jens Mühlstedt arbeitet bei der Kreativagentur designaffairs als Project Manager und Usability Engineer. Dabei führt er Kundenprojekte mit dem Schwerpunkt Mensch-Maschine-Interaktion und User Experience durch.

Jens Mühlstedt

---

## Zusammenfassung

Die Hintergründe rechnergestützter, menschengerechter Gestaltung sind thematisch vielfältig. Für das Verständnis nützlich sind Definitionen wesentlicher Begriffe (Arbeitswissenschaft, Ergonomie, Usability, UX). Weiterhin erfordert die Behandlung von digitalen Menschmodellen Einblicke in das Themengebiet der Anthropometrie, der Lehre der Maße des Menschen. Insbesondere anthropometrische Variablen, Messverfahren, eine Übersicht über Normen und Richtlinien sowie wesentliche Gestaltungsmaße werden vorgestellt. Eine Darstellung der Fähigkeiten des Menschen zeigt die möglichen virtualisierbaren Zusammenhänge. Eine Übersicht zu Belastungen, die auf den Menschen wirken können, ergänzt diese Aufstellung.

Rechnergestützte Methoden und Werkzeuge zur ergonomischen Gestaltung bilden ein junges Themengebiet arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen. Diese werden als virtuelle Ergonomie bezeichnet. Unter dem Begriff sind Software-Werkzeuge oder Teile davon zusammenfassbar, mit denen ergonomische arbeitswissenschaftliche Ziele verfolgt werden können, d.h. damit erfolgt eine Gestaltung mit dem Mensch im Mittelpunkt der Technik.

Um das Themenfeld der virtuellen Ergonomie erschließen zu können, ist die Kenntnis einigen Basiswissens notwendig, das im Folgenden in der erforderlichen Tiefe dargestellt wird. Insbesondere die Lehre der Maße des Menschen, die Anthropometrie, sowie

---

J. Mühlstedt (✉)

designaffairs GmbH, Balanstr. 73 | Haus 32, 81541 München, Deutschland

E-Mail: [Jens.Muehlstedt@designaffairs.com](mailto:Jens.Muehlstedt@designaffairs.com)