

3.3.1 Personenbezogene digitale Ergonomie



■ **Stichwörter:** Arbeits- und Gesundheitsschutz, Arbeitsgestaltung

> Warum ist das Thema wichtig?

Cyber-physische Systeme (CPS)¹ bieten neue Möglichkeiten, menschliche Bewegungsabläufe digital zu erfassen, virtuell darzustellen und zu analysieren. Mit den so gewonnenen ergonomischen Erkenntnissen kann ein Betrieb bereits frühzeitig über intelligente Software² mit ihren Modellen der künstlichen Intelligenz (KI) Gestaltungsdefizite erkennen.³ Durch die stärkere Berücksichtigung der mitarbeiterspezifischen Merkmale bei der Gestaltung von Produkt- und Arbeitssystemen können die physischen Möglichkeiten der Beschäftigten besser mit der Arbeitsbelastung in Einklang gebracht

und ihre körperlichen Belastungen reduziert werden. Es bietet sich auch die Chance der besseren Integration von Beschäftigtengruppen beispielsweise mit alters-, verletzungs- und krankheitsbedingten körperlichen Einschränkungen. Darüber hinaus eignet sich die personenbezogene digitale Ergonomie auch, um Gefährdungen zu beurteilen und Präventionsmaßnahmen zu ergreifen, beispielsweise bei der manuellen Handhabung von Lasten, bei der Beanspruchung des Herz-Kreislauf- und Muskel-Skelett-Systems. Hier bieten virtuelle Sicherheitsanalysen die Möglichkeit, die Bedingungen des Ar-

beitsumfeldes von 4.0-Prozessen⁴ so zu gestalten, dass die Folgen realer Unfälle reduziert werden.

Kleine und mittlere Unternehmen erheben in ihrer Mehrzahl bisher keine personenbezogenen ergonomischen Daten. Mit 4.0-Technologien⁵ können personenbezogene ergonomische Daten digital erhoben und mittels Ergonomietools ausgewertet werden. Insofern ist es hilfreich, Kriterien der digitalen Ergonomie zu kennen, nach denen CPS mit ihrer intelligenten Software (inkl. KI) agieren.

> Worum geht es bei dem Thema?

Begriff: Digitale Ergonomie

„Die **Digitale Ergonomie** ist ein Oberbegriff für digitale Modelle und Methoden zur Planung, Realisierung und laufenden Verbesserung von Produkten und soziotechnischer Arbeitssysteme“.⁶ Um die Arbeitssysteme ergonomisch zu optimieren, werden personenbezogene

Merkmale des Beschäftigten (beziehungsweise des späteren Anwenders) erfasst. Daher wird hier der Begriff der **personenbezogenen digitalen Ergonomie** verwendet. Zu den wesentlichen Ergonomietools zählen digitale Menschmodelle. „Als **digitale Menschmodelle** werden Softwaresysteme oder Teile von Softwaresystemen be-

zeichnet, die modellhaft geometrische und weitere Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen oder Elemente davon abbilden, simulieren und zur Nutzung bereitstellen.“⁷ Das heißt, sie bilden reale Menschen virtuell ab. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf digitale Menschmodelle.

Die Modellierung digitaler Menschmodelle mit intelligenter Software (inkl. KI) erfolgt auf Basis von Maßanalysen. Sie erfassen beispielsweise:

■ **Anthropometrische Merkmale** (Maßverhältnisse des menschlichen Körpers). Die Informationen von Körpermaßen oder Reich- und Sichtweiten

ermöglichen beispielsweise die ergonomische Gestaltung von Fahrer-kabinen oder die Überprüfung der Einsehbarkeit und Erreichbarkeit von Maschinenteilen.⁸

■ **Biomechanische Merkmale**, das heißt Bewegungsabläufe und -kräfte in biologischen Bewegungsapparaten.

■ **Kognitive Merkmale**, die Indikatoren für das (Entscheidungs-)Verhalten des Menschen wiedergeben können.⁹

■ **Physiologisch-medizinische Menschmodelle**, die vor allem im medizinischen Bereich angewendet werden, um die Vorgänge im Innern des Menschen darzustellen.¹⁰

Diese Umsetzungshilfe gibt Experten und Interessierten Anregungen, wie Arbeit 4.0 zu gestalten ist. Die Empfehlungen sollten an die jeweilige konkrete betriebliche Situation angepasst werden.

¹ Cyber-physische Systeme (CPS) verbinden und steuern als autonome technische Systeme Arbeitsmittel, Produkte, Räume, Prozesse und Menschen beinahe in Echtzeit. Die komplette oder teilweise Steuerung übernimmt intelligente Software auf Grundlage von Modellen der künstlichen Intelligenz. Genutzt werden dazu unter anderem auch Sensoren/Aktoren, Verwaltungsschalen, Plattformen/Clouds.

² Intelligente Software steuert cyber-physische Systeme (CPS) und andere autonome technische Systeme (wie Messenger-Programme). Intelligente Software nutzt Modelle künstlicher Intelligenz zusammen mit anderen Basistechnologien wie zum Beispiel Algorithmen, semantischen Technologien, Data-Mining. Intelligente Software ist autonom und selbstlernend.

³ Wischniewski 2013

⁴ Unter 4.0-Prozessen werden hier alle Arbeitsprozesse verstanden, in denen cyber-physische Systeme (CPS) oder andere autonome technische Systeme (wie Plattformen, Messenger-Programme) beteiligt sind. 4.0-Prozesse sind in den Arbeitsprozessen bisher selten vollständig, aber in Ansätzen in allen Betrieben umgesetzt.

⁵ 4.0-Technologie bezeichnet hier Hardware und technologische Produkte (wie Assistenzmittel/Smartphones, Sensoren/Aktoren in smarten Arbeitsmitteln, Fahrzeugen, Produkten, Räumen usw., smarte Dienstleistungen, Apps), die von intelligenter Software (inkl. KI) ganz oder teilweise gesteuert werden.

⁶ Wischniewski 2013, S. 10

⁷ Mühlstedt 2016, S. 73

⁸ Antakli et al. 2017, S. 84; internationale Datenbanken geben Auskunft über kollektive anthropometrische Maße verschiedener Populationen. Anthropometrische Normen der deutschen Bevölkerung sind – nach Geschlecht, Perzentil, Altersgruppen differenziert – in DIN 33402-2 enthalten. Aufgabenspezifisch können (zusätzlich) individuelle Messungen der Körpermaße notwendig sein.

⁹ Bubb 2015, S. 222

¹⁰ Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt 2016, S. 83ff.

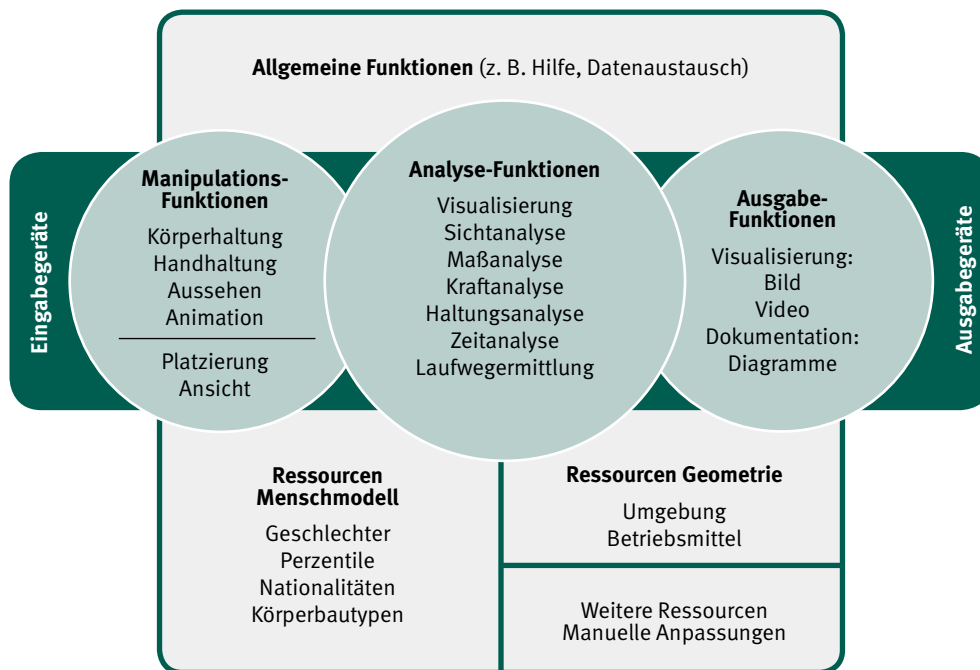


Abbildung 1: Funktionsschema digitaler Menschmodelle (IfM Bonn 17 3097 005, Quelle: in Anlehnung an Mühlstedt 2016, S. 83)

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Funktionen, die bei ergonomischen Analysen durch digitale Menschmodelle zum Einsatz kommen. Zunächst werden digitale Menschmodelle auf Basis anthropometrischer Daten oder bereits gespeicherter Menschmodelle erzeugt, in die virtuelle 3-D-Umgebung eingebettet und verschiedene Eigenschaften (zum Beispiel Aussehen, Gelenkeinstellungen, Körperhaltungen, Bewegungsfreiheiten) festgelegt. Anhand anschließender 3-D-Visualisierungen können beispielsweise Haltungs- und Sichtana-

lysen durchgeführt und anthropometrische Kollisionen identifiziert werden. Analysen können auch auf Basis von Bewegungs-Erfassungssystemen (Motion-Capture-Systemen) erfolgen. Dabei erfassen Trackingsysteme markerbasiert (zum Beispiel durch Radio-Frequency Identifikation – RFID) und/oder markerlos (videobasiert) die menschliche Bewegung. Die ergonomischen Prüfungen erfolgen anschließend durch das sequenzielle Abspielen der Bewegungen,¹¹ zum Beispiel durch die Einbettung der Simulationen in virtuelle oder erweiterte Realität

ten, die der echten Arbeitsplatzumgebung entsprechen. Das heißt, Virtual-Reality-beziehungsweise Augmented-Reality-Technologien ersetzen beziehungsweise erweitern die realen Umgebungen virtuell, die dem Anwender über den Bildschirm oder Videobrillen (sogenannte Head-Mounted Displays) zugänglich gemacht werden. Mitunter können diese Anwendungen um akustische Ausgaben erweitert werden. ▶ Siehe Umsetzungshilfen 3.2.6 Augmented Reality – Virtual Reality (künstliche Welten); 3.2.2 Smartphone, -watch, -glasses.

▶ Welche Chancen und Gefahren gibt es?

Die digitale personenbezogene Ergonomie bietet **Chancen**, Produkte und Prozesse ergonomisch und wirtschaftlich zu gestalten. Damit einhergehende Effizienzsteigerungen erhöhen die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen (die durch das Zusammenspiel mit Ambient-Intelligence-Systemen noch weiter gesteigert werden kann).

■ Digitale Ergonomie bietet eine Möglichkeit, Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit schon in der Planung zu berücksichtigen. Durch die frühzeitige interaktive Simulation von manuellen Tätigkeiten anhand digitaler Menschmodelle kann möglichen Defiziten

präventiv, also bereits vor der Gestaltung der Arbeitssysteme, begegnet werden¹² und gegebenenfalls können kostenintensive Korrekturen nach Einführung der Arbeitssysteme oder auch erhöhte Fehlzeiten der Beschäftigten (zum Beispiel infolge von Haltungsschäden) vermieden beziehungsweise reduziert werden.

■ Das Bewusstsein, dass die Gesundheit der Beschäftigten im Fokus der Arbeitgeber steht, kann ihr psychisches Wohlbefinden sowie ihre Zufriedenheit und Motivation erhöhen. Auf die Beschäftigten angepasste Arbeitssysteme werden bei den Anwendern grö-

ßere Akzeptanz finden.

■ Unternehmen profitieren zudem von einem optimierten Personaleinsatz. Insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und des Fachkräftebedarfs ist der Erhalt der Leistungsfähigkeit der Belegschaft im Allgemeinen, insbesondere aber für diejenigen mit hohem Erfahrungswissen, von Bedeutung. Diesbezüglich ermöglicht die digitale personenbezogene Ergonomie älteren Beschäftigten, länger im Unternehmen zu verbleiben, und generell eine bessere Integration von Berufsgruppen mit körperlichen Einschränkungen.

¹¹ Bockholt et al. 2017, S. 220ff.

¹² Mühlstedt 2016, S. 82

- Digitale personenbezogene Ergonomietools ermöglichen auch kleineren Betrieben die menschengerechte ergonomische Gestaltung ohne zeit- und kostenaufwendige Messungen an realen Probanden und den Einsatz von Fachleuten.¹³
- Die Erfassung der individuellen körperlichen Möglichkeiten durch personenbezogene digitale Menschmodelle kann dienlich sein, um individuelle Assistenzsysteme für die Beschäftigten anzupassen. Dies entlastet Beschäftigte entsprechend ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit und führt zu Effizienzsteigerungen.¹⁴
- Gelingt es, die menschlichen Verhaltensweisen ganzheitlich mit digitalen Menschmodellen zu verknüpfen, kann dies als Werkzeug dienen, das menschliche Verhalten auch in Extremsituationen besser zu verstehen. So könnten beispielsweise panische Reaktionen oder impulsiv eingeschlagene Fluchtwege in Gefährdungssituationen simuliert werden. Anhand solcher Simulationen können das optimale Handeln in Gefährdungssituationen geübt und Maßnahmen des Notfallmanagements virtuell trainiert werden.
- Die Anwendung digitaler Menschmodelle unterliegt auch möglichen **Gefahren** und Risiken, die bereits mit Entwicklungsbeginn zu berücksichtigen sind.
 - Beschäftigte können verunsichert und misstrauisch werden, wenn sie nicht wissen, welche personenbezogenen Ergonomiedaten erfasst, wozu sie verwendet werden und wer Zugriff auf diese hat.
- Eine zu starke Steuerung der ergonomischen Prozesse über Standards und Kennzahlen kann die Skepsis gegenüber modernen Technologien erhöhen und die Motivation der Beschäftigten senken.
- Eine zu stark auf Effizienz ausgelegte ergonomische Gestaltung durch personenbezogene digitale Ergonomietools kann zu körperlichen Überlastungen führen.
- Digitale Ergonomietools können die (präventive) Gestaltung von Arbeitssystemen begleiten, ein alleiniger Verlass auf parametrisierte Datenanalysen ist jedoch nicht empfehlenswert, da diese quantitative Daten liefern, die die persönliche Situation des Beschäftigten nicht immer adäquat abbilden können.

› Welche Maßnahmen sind zu empfehlen?

Folgende Maßnahmen werden beispielsweise vor dem Einsatz personenbezogener digitaler Ergonomietools empfohlen:

Anschaffung digitaler Ergonomietools

- Es gibt verschiedene digitale Menschmodelle, die über Grundfunktionen zusätzliche Analysefunktionen anbieten (zum Beispiel bieten Zusatzpakete die Möglichkeit von Haltungsanalysen mit der Ausgabe von Einzelwerten für Gelenke). Vor der Anschaffung sollte analysiert werden, welche sich für die Beantwortung der unternehmensspezifischen ergonomischen Fragestellungen eignen.¹⁵
- Vor der Anschaffung der Ergonomietools sollte ermittelt werden, ob die Qualität der erhobenen Daten für den Einsatzzweck geeignet ist (zum Beispiel ausreichende Differenzierung der Menschmodelle auf die Situation und die agierenden Menschen. › *Siehe Umsetzungshilfe 2.3.3 Datenqualität in 4.0-Prozessen.*
- Sich informieren, welche personenbezogenen Daten durch das Ergonomietool erfasst, wo sie gespeichert, verarbeitet werden und wer Zugriff auf diese Daten hat. › *Siehe Umsetzungshilfe 2.3.2 Datenschutz in 4.0-Prozessen.*
- Ob die Unternehmen die Kosten zur

Anschaffung und Schulung für die Anwendung der Ergonomietools amortisieren können, sollte individuell eingeschätzt werden und hängt beispielsweise von der Unternehmensgröße ab. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls mit anderen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen zu kooperieren.

- Gegebenenfalls mit dem Hersteller und der IT-Abteilung oder IT-Dienstleistern klären, ob die Unternehmen über hinlängliche Speicherkapazitäten verfügen beziehungsweise ob das Ergonomietool kompatibel mit der im Betrieb eingesetzten Software ist.
- Vom Hersteller kurze und verständliche Informationen einfordern, welche Daten das Ergonomietool erfasst, wie und wo sie gespeichert und verarbeitet werden und wer Zugriff auf die Daten hat, um Führungskräfte und Beschäftigte angemessen informieren zu können. › *Siehe Umsetzungshilfe 1.1.7 Informationsblatt smartes Produkt.*

Einführung digitaler Ergonomietools

- Festlegen, welche Daten aus dem digitalen Ergonomietool verlässliche parametrisierte Datenanalysen liefern.
- Festlegen, wie die quantitativen Daten des digitalen Ergonomietools durch menschliche Expertise ergänzt werden

sollten – zum Beispiel durch Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Betriebsärzte.

- Ein Verfahren festlegen, wie im Anwendungsprozess die Analyseergebnisse des digitalen Ergonomietools auf ihre Korrektheit und Logik überprüft werden sollen – gegebenenfalls IT-Experten hinzuziehen.¹⁶
- Führungskräfte und Beschäftigte (wenn vorhanden auch Betriebsrat beziehungsweise Personalrat) über den Umgang mit den personenbezogenen Daten des digitalen Ergonomietools informieren. Mit Führungskräften und Beschäftigten vereinbaren, wie mit den personenbezogenen Daten umgegangen wird (Betriebsvereinbarung beziehungsweise Dienstvereinbarungen in Betrieben mit Betriebs- und Personalrat).
- Führungskräfte und Beschäftigte in der Nutzung der digitalen Ergonomietools trainieren und qualifizieren.
- Überprüfen, inwieweit trotz einer verbesserten Beurteilung möglicher Gefährdungen durch das digitale Ergonomietool noch Unterweisungen zum sicheren und gesundheitsgerechten Verhalten durchgeführt werden müssen.
- Sicherstellen, dass die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung im Ergonomietool mitberücksichtigt werden.

¹³ Bockholt et al. 2017, S. 223f.

¹⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2016, S. 13

¹⁵ Mühlstedt 2016, S. 73 ff.

¹⁶ Brandl et al. 2016, S. 97

- Es ist empfehlenswert, dass die Beschäftigten umfassend über die Stärken und Schwächen personenbezogener digitaler Ergonomietools informiert werden, um deren Akzeptanz zu gewährleisten. Dies beinhaltet auch die Aufklärung darüber, welche Daten erfasst werden, wer Zugriff auf die Daten hat und wo sie gespeichert werden.
- Es sollten die Erfahrungen der Führungskräfte und Beschäftigten mit den Ergonomietools erhoben werden. Entsprechende Verbesserungsprozesse gemeinsam mit den Beteiligten besprechen und dann einleiten.

Quellen und weitere Informationsmöglichkeiten:

Antakli, A., Moya, P. A., Brüderlin, B., Canzler, U., Dammertz, H., Enderlein, ... Zürl, K. (2017). Virtuelle Techniken und Semantic-Web. In W. Schreiber, K. Zürl, & P. Zimmermann (Hrsg.), *Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken* (S. 17–116). Berlin: Springer Verlag.

Bullinger-Hoffmann, A. C., & Mühlstedt, J. (2016). Geleitwort zum Homo Sapiens Digitalis. In A. C. Bullinger-Hoffmann, & J. Mühlstedt (Hrsg.), *Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle* (S. vii–x). Wiesbaden: Springer Verlag.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016). *Arbeiten in der digitalen Welt*, Berlin. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/arbeiten-in-der-digitalen-welt.pdf?__blob=publicationFile&v=6. Zugegriffen: 30.07.2018.

Bockholt, U., Bochtler, T., Enderlein, V., Olbrich, M., Otto, M., Prieur, M., ... Wirsching, H.-J. (2017). Motion Capturing. In W. Schreiber, K. Zürl, & P. Zimmermann (Hrsg.), *Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken* (S. 219–262). Berlin: Springer Verlag.

Brandl, C., Bonin, D., Mertens, A., Wischniewski, S., & Schlick, C. M. (2016). *Digitalisierungsansätze ergonomischer Analysen und Interventionen am Beispiel der markerlosen Erfassung von Körperhaltungen bei Arbeitstätigkeiten in der Produktion*. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 70 (2), S. 89–98.

Bubb, H. (2015). Menschmodelle. In H. Bubb, K. Bengler, R. E. Grünen, & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 221–258.) Wiesbaden: Springer Vieweg.

DIN EN ISO 6385:2017 *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen* (ISO 6385:2016); Deutsche Fassung EN ISO 6385:2016.

NAErg (2017). Veröffentlichung der DIN EN ISO 5385 im Dezember 2016. *Ergonomienormung Aktuell*, 28.04.2017. <http://www.din.de/blob/235440/ca27b6b510f4d627d0246c6ceb3584e1/ergonomienormung-data.pdf>. Zugegriffen: 30.07.2018.

Mühlstedt, J. (2016). Digitale Menschmodelle. In A. C. Bullinger-Hoffmann & J. Mühlstedt (Hrsg.), *Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle* (S. 73–182). Wiesbaden: Springer Verlag.

Thüsing, G., Pötters, S., Stiebert, T., Traut, J., Wischniewski, S., & Adolph, L. (2014). *Ergonomie im Spannungsfeld von Arbeits-, Daten- und Diskriminierungsschutz*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden: Eigenverlag.

Wischniewski, S. (2013). *Digitale Ergonomie 2025*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden: Eigenverlag. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2313.html>. Zugegriffen: 30.07.2018.

Zu diesem Thema könnten Sie auch folgende weitere Umsetzungshilfen interessieren:

- 1.1.7 Informationsblatt smartes Produkt
- 1.1.2 Integration von intelligenter Software (inkl. KI) in die Organisation
- 2.3.3 Datenqualität in 4.0-Prozessen
- 2.6.1 Digitale Planung des Personaleinsatzes
- 3.2.2 Smartphone, -watch, -glasses
- 3.2.6 Augmented Reality – Virtual Reality (künstliche Welten)



**OFFENSIVE
MITTELSTAND**
GUT FÜR DEUTSCHLAND

Herausgeber: „Offensive Mittelstand – Gut für Deutschland“ – Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“ Kurfürsten-Anlage 62, 69115 Heidelberg, E-Mail: info@offensive-mittelstand.de; Heidelberg 2019

© Stiftung „Mittelstand – Gesellschaft – Verantwortung“, 2019 Heidelberg. Gemeinsam erstellt von Verbundprojekt Prävention 4.0 durch BC GmbH Forschung, Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung BGF GmbH, Forum Soziale Technikgestaltung, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. – ifaa, Institut für Mittelstandsforschung Bonn – IfM Bonn, itb – Institut für Technik der Betriebsführung im Deutschen Handwerksinstitut e. V., Sozialforschungsstelle Dortmund – sfs Technische Universität Dortmund, VDSI – Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e. V. – gefördert vom BMBF – Projektträger Karlsruhe