

## **Arbeitsplanung in der Virtuellen Realität (VR) – relevante Funktionen und deren Entwicklungsaufwand**

André KAISER, Annegret MELZER, Angelika C. BULLINGER

*Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement,  
TU Chemnitz  
Erfenschlager Straße 73, D-09125 Chemnitz*

**Kurzfassung:** Die Anwendung von Technologien der virtuellen Realität (VR) entlang des Produktprozesses führen zu spezifischen Nutzeranforderungen an die Gestaltung der Software und deren Funktionalitäten. Ausgangspunkt dieses Beitrags bildet ein Funktionsschema, das die grundlegenden Funktionalitäten entlang des Anwendungsprozesses strukturiert abbildet. Zur Priorisierung der Software-Funktionalitäten im Rahmen der Softwaregestaltung wurde eine Online-Befragung durchgeführt, die Bedeutung, potentielle Nutzungshäufigkeit und den zu erwartenden Entwicklungsbedarf der einzelnen Funktionen adressiert. Dazu wurden Entwickler sowie Anwender aus den Bereichen Planung und Industrial Engineering (N=44) befragt. Die Ergebnisse zeigen die Priorisierung von Funktionen für VR-Planungs- und Anlernsysteme.

**Schlüsselwörter:** virtuelle Realität, Montageplanung, Nutzeranforderungen, nutzerzentrierte Entwicklung

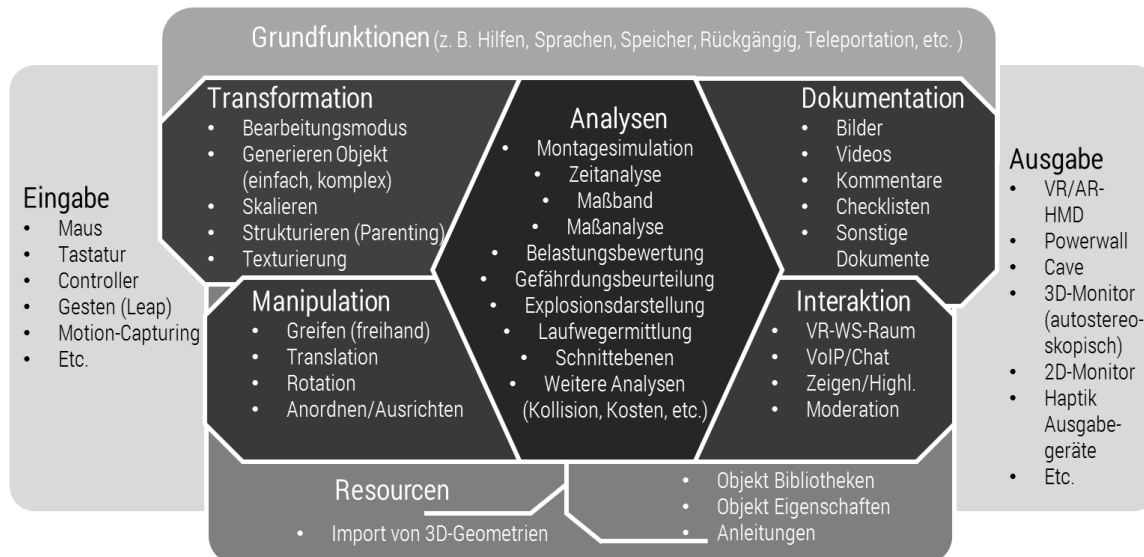
### **1. Einleitung**

Die Entwicklung von VR-Planungs- und Anlernsystemen stellt vor dem Hintergrund steigender Datenverfügbarkeit, erhöhter Komplexität und kürzeren Entwicklungs- und Anlernzeiten im Bereich der Montageplanung ein nützliches Hilfsmittel dar (Wilson 1999). Dafür stehen bereits Software und Softwareprototypen zur Verfügung (vgl. Grajewski et al. 2013, Leu et al. 2013, Michalos et al. 2018), deren Heterogenität eine strukturierte, nutzerzentrierte Betrachtung verlangen. Für die nutzerfreundliche Gestaltung von VR-Planungssoftware ist die Erhebung von Nutzeranforderungen notwendig (DIN EN 9241 2006). Dazu wurden im Rahmen einer Literaturrecherche bereits verfügbare Lösungsansätze identifiziert und Anforderungsworkshops zur Erhebung möglicher Softwarefunktionen mit potenziellen Anwendern durchgeführt (Dittrich et al. 2019). Im Ergebnis resultiert ein Funktionsschema, das die potenziellen Softwarefunktionen einer VR-Planungssoftware gruppiert und in Beziehung zueinander setzt. Im nächsten Schritt stellt sich die Frage nach der Relevanz der erhobenen Funktionen für den Planungsprozess.

Ziel des Beitrags ist folglich die Erhebung der Relevanz der einzelnen Softwarefunktionen im Planungsprozess und welcher Entwicklungsaufwand damit einhergeht. Beide Informationen bilden die Grundlage für die Priorisierung der Funktionen zur nutzerzentrierten Gestaltung der VR-Planungssoftware. Dazu wird im Folgenden das zugrundeliegende Funktionsschema vorgestellt, ein Fragebogen zur Erhebung der Relevanz entwickelt und dessen Ergebnisse vorgestellt.

## 2. Grundlagen – Funktionsschema und Nutzergruppen

Basis des Fragebogens bildet das von Dittrich et al. (2019) veröffentlichte Funktionsschema (Abbildung 1). Es repräsentiert den Arbeitsablauf bei der Verwendung einer VR-Planungs- und Anlernsoftware und ist in einen übergeordneten Prozess zur Erstellung und Bearbeitung eines 3D-Szenarios einzuordnen (Green 2000, Lämkuhl et al. 2009, Bullinger & Mühlstedt, 2016). Das Schema bildet die Grundlage für die Identifizierung relevanter Funktionen.



**Abbildung 1:** Funktionsschema für VR-Planungssoftware (angepasst nach Dittrich et al. 2019)

Das Funktionsschema gliedert sich in die Bereiche *Eingabe*, *Ausgabe*, *Grundfunktionen*, *Ressourcen* und die Funktionsgruppen *Transformation*, *Manipulation*, *Analyse*, *Dokumentation* und *Interaktion*.

Unter Verwendung von Geräten zur **Eingabe** und zur **Ausgabe** lässt sich ein erstelltes VR-Szenario bearbeiten und visualisieren. Die VR-Planungssoftware beinhaltet die dazu notwendigen Funktionsgruppen, bestehend aus den übergeordneten **Grundfunktionen** (z. B. Speichern, Spracheinstellungen, Teleportation etc.) und den zugrundeliegenden **Ressourcen** (z. B. 3D-Geometrien, Montageanleitungen, Teilengewichte, Fügekräfte, Vorranggraphen). Aus der Struktur der restlichen Funktionsgruppen wird der iterative Arbeitsablauf erkenntlich. Dieser besteht aus Objektbearbeitung (**Transformation**), Objektpositionierung (**Manipulation**), der **Analyse** des entstandenen Szenarios, deren **Dokumentation** und dem Austausch der Ergebnisse in Multi-User-Anwendungen (**Interaktion**). Die den Funktionsgruppen zugeordneten Funktionen sind vielfältig und in vorhandenen VR-Softwarelösungen unterschiedlich ausgeprägt (vgl. z. B. VR Sketch, irisVR, Simlab composer VR, taraVR, R3DT). Sie zeigen daher den aktuellen Stand der nutzerzentrierten Entwicklung der VR-Planungssoftware und können iterativ erweitert werden.

Die vielfältigen Funktionen werden von einer heterogenen Nutzergruppe genutzt. So nehmen an klassischen 3P oder Cardboard-Workshops (Baraldi & Kaminski 2008, Meyer & Nyhuis 2012,) neben Arbeitsplanern beispielsweise auch das Industrial Engineering (IE), Ergonomen, Fachkräfte für Arbeitssicherheit (Sifa), der Betriebsrat (BR), Werksärzte, die Fertigung (Werker, Gruppenleiter), Werks-/Layoutplaner, Konstrukteure/Entwickler sowie Entscheider aus dem Management teil.

### 3. Methode

Zur Abfrage, welche Relevanz die einzelnen Funktionen besitzen, wurde eine Online-Umfrage mittels Limesurvey erstellt. Die Entwicklung des Fragebogens berücksichtigt allgemeine Anforderungen und Vorschriften der Fragebogen-konstruktion (Porst, 2011). Dabei orientiert sich die Umfrage an vergleichbaren Vorgehensweisen (Spitzhirm et al. 2016, Mühlstedt 2012, Tinz, 2007) und beinhaltet einen 15 minütigen, teilstandardisierten Fragebogen. Der Fragebogen unterteilt sich in Anlehnung an die Funktionsgruppen in die sieben Themenkomplexe: Datenschutz-bestätigung mit Angaben zur Person, Transformationsfunktionen, Manipulations-funktionen, Analyse-funktionen, Dokumentationsfunktionen, Interaktionsfunktionen sowie Ein- und Ausgabegeräte.

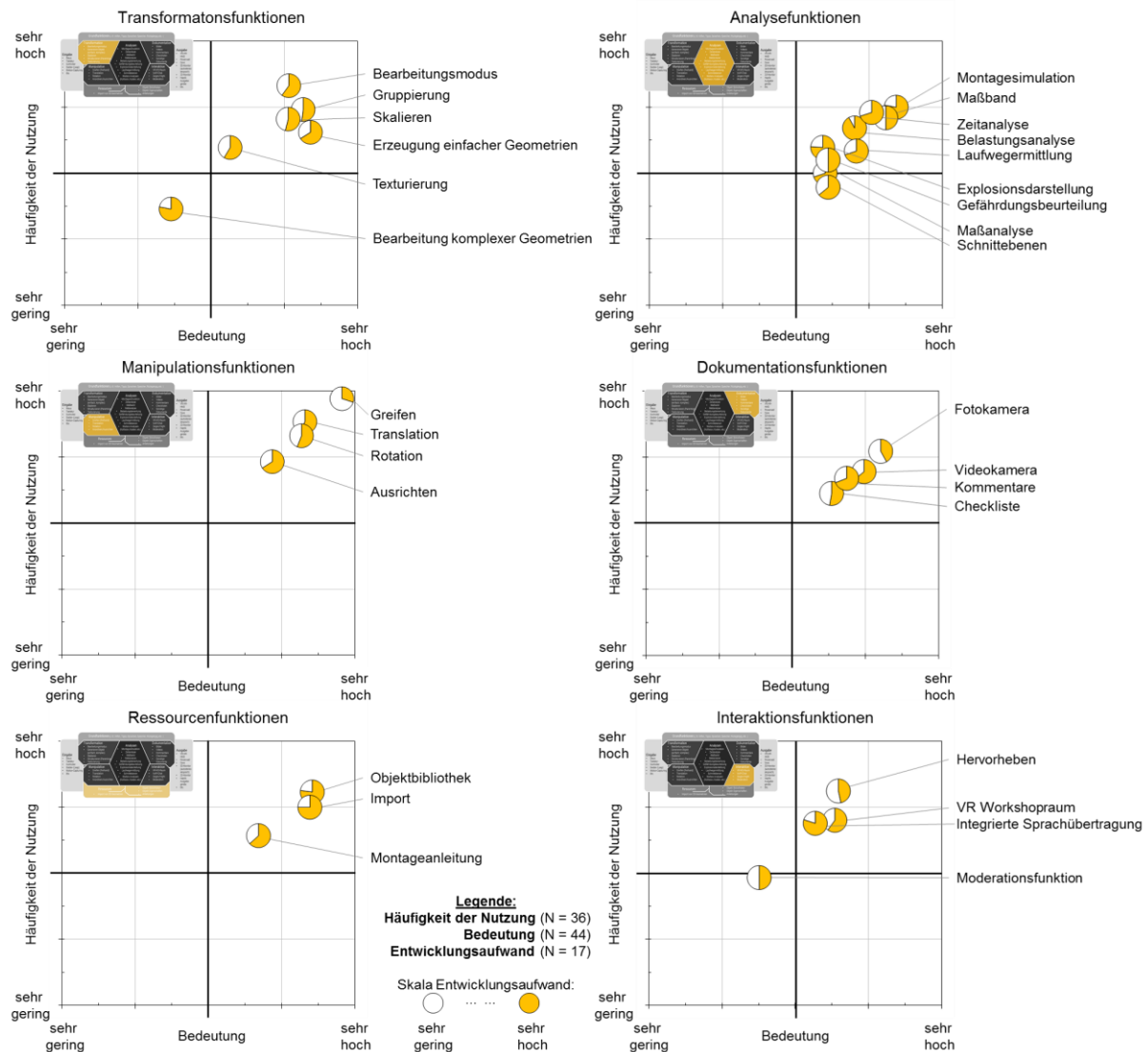
Jede Funktionsgruppe wurde den Probanden einzeln vorgestellt. Anschließend erfolgten Fragen zu den zugehörigen Funktionen, wobei diese mit Bildern und kurzen Textbeschreibungen erläutert wurden. Die Fragen bestanden aus einer **Einschätzung der potentiellen Nutzungshäufigkeit**, einer **Bewertung der Bedeutung** für den Planungsprozess und einer **Beurteilung des Entwicklungsaufwands**. Als Skalenniveau konnten Werte von sehr gering (1) bis sehr hoch (5) ausgewählt werden. Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Nutzergruppen und deren Expertise, wurden die Probanden vorab nach ihrem Tätigkeitfeld (Entwickler und/oder Anwender) gefragt. Während Entwickler die Fragen nach Entwicklungsaufwand und der Bedeutung der jeweiligen Funktionen beantworteten, wurden Anwender nach der potentiellen Nutzungshäufigkeit und Bedeutung der Funktionen befragt. Nach jeder Funktionsgruppe bestand die Möglichkeit, offene Fragen für weitere Ideen und Wünsche zu formulieren.

Der Fragebogen wurde an VR-Entwickler sowie potentielle Anwender aus den Bereichen Industrial Engineering, Planung und Ergonomie verteilt. Dadurch wird sichergestellt, dass die wichtigsten Nutzergruppen einer VR-Planungssoftware abgebildet werden. Alle teilnehmenden Personen haben Kenntnisse im Umgang mit 3D-Modellierungssoftware oder VR-Applikationen. Die Verteilung erfolgte gleichermaßen zwischen KMU und OEM. Insgesamt konnten **44 Personen** befragt werden. Diese unterteilen sich in 9 Entwickler von VR-Software, 8 Entwickler und Anwender sowie 28 potentielle Anwender. Mit der Möglichkeit der Mehrfachnennung arbeiten die 36 Anwender in den Bereichen in der Produktplanung (17 %), Prozessplanung (36 %), Layoutplanung (22 %), Industrial Engineering (33 %) oder als Ergonomie-Experten (39 %), während 11 % in anderen Bereichen tätig sind.

### 4. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse für alle befragten Funktionsgruppen, wobei die Diagramme die arithmetischen Mittelwerte abbilden. Die **Transformationsfunktionen** besitzen eine hohe Bedeutung und werden potentiell häufig genutzt. Lediglich Texturierung sowie Funktionen zur Bearbeitung komplexer Geometrien werden als weniger bedeutend bewertet. Der Entwicklungsaufwand wird insbesondere bei den Funktionen zur Erzeugung einfacher oder zur Bearbeitung komplexer Geometrien als hoch eingeschätzt. Qualitativ wurden zusätzliche benannt: „Fügen und Trennen von Objekten/Geometrien“, „Darstellung als durchsichtiges Modell bzw. Drahtgittermodell“, „Drehen in Schritten (z. B. 15-Grad-Schritte)“ sowie „Snapping - Objekte bei Transformationen an anderen Objekten oder an inkrementellen Schritten einrasten“.

Im Mittel besitzen die **Manipulationsfunktionen** die höchste Bedeutung und werden potentiell am häufigsten genutzt. Dabei wird der Entwicklungsaufwand durch die Befragten im Vergleich zu anderen Funktionsgruppen als geringer eingeschätzt. Qualitativ wurde zusätzlich angemerkt: „Kollisionskontrolle mit anderen Objekten“ und „Snapping - für die Ausrichtung an anderen Objekten bei der Manipulation“.



**Abbildung 2:** Überblick der Einschätzung aller Funktionen der verschiedenen Funktionsgruppen

Im Rahmen der **Analysefunktionen** sind vor allem die Montagesimulation, die Maßbandfunktion sowie Zeit- und Belastungsanalyse von hoher Bedeutung und hoher Nutzungshäufigkeit. Während die Laufwegermittlung noch eine hohe Bedeutung bei potentiell eher mittleren Nutzungshäufigkeit zugeordnet wurde, sind die restlichen Funktionen als weniger bedeutsam bewertet. Hervorzuheben ist der als gering eingeschätzte Entwicklungsaufwand für eine Maßbandfunktion sowie der hoch eingeschätzte Aufwand für die Belastungsanalyse und die Gefährdungsbeurteilung. Qualitativ wurden zusätzlich angemerkt: „eigene Kriterien bei der Belastungsanalyse und Gefährdungsbeurteilung anwenden zu können“ sowie „Körperbewegungsänderung virtueller zu realen Ausführung beachten“. Die **Dokumentationsfunktionen** beinhalten mit der Fotokamera die Funktion mit dem geringsten Entwicklungsaufwand. Da-

bei ist deren Bedeutung und Nutzungshäufigkeit hoch eingeschätzt worden. Die Importfunktion und Objektbibliotheken der **Ressourcenfunktionen** wurden mit hoher bis sehr hoher Bedeutung und Nutzungshäufigkeit eingeschätzt. Trotzdem wurde qualitativ angemerkt: „Materialien, Physikeigenschaften und Verhaltensweisen von Importobjekten zu konfigurieren ist nicht trivial und sollte vorab geschehen“. Dieser Umstand könnte die Bewertung des Entwicklungsaufwandes bedingen, der bei beiden Funktionen als hoch bis sehr hoch eingeschätzt wurde. Die **Interaktionsfunktionen** wurden im Mittel als signifikant ( $p < 0,05$ ) weniger bedeutsam bewertet im Vergleich zu den anderen Funktionsgruppen. Dabei ist deren Nutzungshäufigkeit im Mittel nicht geringer. Insbesondere eine Funktion zum Hervorheben wird potentiell häufig bis sehr häufig genutzt und weist nach den Einschätzungen keinen hohen Entwicklungsaufwand auf. Qualitativ wurde angemerkt: „Interaktionsfunktionen bilden den Mehrwert der VR um Ortsunabhängigkeit für Planungsworkshops zu schaffen“, „eigenes Sichtfeld mit anderen teilen“ sowie „einen virtuellen Avatare für alle Nutzer beachten“. Die verringerte Bedeutung lässt sich erklären, da bei den Befragten aktuell keine VR-Planungsworkshops standortübergreifend stattfinden. Aus den qualitativen Angaben ist jedoch ersichtlich, dass hier Entwicklungspotential vorhanden ist. Im Rahmen der **Methodenkritik** ist zu bemerken, dass die Befragten durch Beispielbilder und textuelle Funktionsbeschreibungen potentiell beeinflusst wurden. Dies ist relevant, da die Funktionalitäten vielfältigen Umsetzungsmöglichkeiten unterliegen. Diese müssten im Einzelfall sehr verschieden bewertet werden. Zwar hatten alle Teilnehmer Kenntnisse im Bereich der 3D-Modellierung, deren Ausprägung wurde jedoch nicht erfasst. Um eine erste Bewertung zu generieren, wurden die Fragen als globale Bewertung formuliert. Sie ermöglicht keine detaillierte Erfassung von Problemstellungen. Weiterführende Anwendungshürden wurden nicht abgefragt. Da sich die Befragung auf Planer, IE, Ergonomie-Experten und VR-Entwickler im deutschsprachigen Raum bezieht, lassen sich keine Rückschlüsse auf weitere potentielle Nutzergruppen (vgl. Kapitel 2) oder internationaler Märkte ziehen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse steht aktuell noch aus.

## 5. Zusammenfassung

Der Beitrag zeigt die Relevanz der einzelnen Funktionen im Montageplanungsprozess und den einhergehenden Entwicklungsaufwand für deren Umsetzung in einer VR-Planungssoftware. Beide Informationen zusammen ermöglichen die Priorisierung der umzusetzenden Funktionen. Die Ergebnisse zeigen klare Unterschiede zwischen den einzelnen Funktionen und repräsentieren sowohl VR-Entwickler als auch potenzielle VR-Anwender in der Planung. Im Vergleich zu Software aus anderen VR-Bereichen ist für die Arbeitsplanung die **Analysefunktion** *Montagesimulation* essenziell. Sie hat nach den **Manipulationsfunktionen** die höchste Bedeutung für die Anwender. Letztere müssen dafür bereits umgesetzt sein und sind wahrscheinlich deshalb höher bewertet. Für die Analyse von Arbeitsplätzen sind weiterführend vor allem *Zeit-* und *Belastungsanalysen* relevant. Deren Umsetzung ist methodenabhängig mit einem hohen Entwicklungsaufwand verbunden. Eine Integration von *Objektbibliotheken* oder *Importfunktionen* hat für die Anwender eine hohe Bedeutung, geht jedoch ebenfalls mit hohen Entwicklungsaufwänden einher. Alternative **Transformationsfunktionen** zur *Erzeugung einfacher Geometrien* haben eine vergleichbare Bedeutung, würden jedoch potentiell nicht so häufig genutzt werden. Mit geringerem Aufwand umzusetzende Funktionen wie eine *Fotokamera*, ein *Maßband* oder eine Funk-

tion zum *Hervorheben* werden potentiell oft genutzt und sind bereits in vielen VR-Softwareprodukten ohne Planungshintergrund zu finden. Die **Interaktionsfunktionen** haben nach aktuellem Stand weniger Bedeutung. Aus den qualitativen Antworten ist jedoch Potential für zukünftige Entwicklungen erkennbar. Weiterführend sollen Ein- und Ausgabegeräte von VR-Planungssoftware erforscht werden. Dabei wird untersucht, welche Eingabegeräte in der Montageplanung besonders geeignet sind.

## 6. Literatur

- Baraldi EC, Kaminski PC (2008) Using the production preparation process as an advanced lean enterprise methods tool (No. 2008-36-0057) SAE Technical Paper.
- Bullinger AC, Mühlstedt J (2016) Homo Sapiens Digitalis. Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Wiesbaden: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-662-50458-1
- DIN EN ISO 9241-210 (2006) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin: Beuth Verlag.
- Dittrich F, Kaiser A, Melzer A (2019) VR-Technologien für partizipative Arbeitsgestaltungs- und Anlernprozesse - Chancen, Hindernisse, Anforderungen. Tagungsband Vernetzt Planen und Produzieren (VPP). 06.11.2019 bis 07.11.2019, Chemnitz (S. 229-238).
- Grajewski D, Górski F, Zawadzki P, Hamrol A (2013) Application of virtual reality techniques in design of ergonomic manufacturing workplaces. *Procedia Computer Science*, 25, 289-301.
- Green RF (2000) A Generic Process for Human Model Analysis. Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference and Exposition. Paper 2000-01-2167. Warrendale, Pa. (USA): Society of Automotive Engineers (SAE). ISSN: 0148-7191.
- Lämkull D; Hanson L; Örtengren R (2009) A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles. *Int.Journal of Industrial Ergonomics* 39, 428-441 and Exposition. Paper 2000-01-2167. Warrendale, Pa. (USA): Society of Automotive Engineers (SAE). ISSN: 0148-7191.
- Leu MC, ElMaraghy HA, Nee AY, Ong SK, Lanzetta M, Putz M, ... Bernard A (2013) CAD model based virtual assembly simulation, planning and training. *CIRP Annals*, 62(2), 799-822.
- Meyer G, Nyhuis P (2012) Age-appropriate workplace engineering with the aid of cardboard engineering. *Advances in Ergonomics in Manufacturing*, 88.
- Michalos G, Karvouniari A, Dimitropoulos N, Togiias T, Makris S (2018) Workplace analysis and design using virtual reality techniques. *CIRP Annals*, 67(1), 141-144.
- Mühlstedt J (2012) Entwicklung eines Modells dynamisch-muskulärer Arbeitsbeanspruchungen auf Basis digitaler Menschmodelle. Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz. Chemnitz: Universitätsverlag Chemnitz.
- Porst R (2011) Fragebogen. Ein Arbeitsbuch. 3. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
- Spitzhirm M, Kaiser A, Bullinger AC (2016) Virtual Aging – Nutzerbefragung ü. Anforderungen u. Bedarf z. Integration altersspezifischer Veränderungen d. Menschen in dig. Menschmodellen. In Bullinger AC (Hrsg.) 3D SENSATION (S. 236-251). aw&I Wissenschaft u. Praxis. ISBN: 978-3-944192-07-9
- Tinz TV (2007) Spitzenprodukte durch Spitzensportler?: kooperative Produktentwicklung bei Sportartikeln. Dissertation. Abgerufen unter: [http://www.business.uzh.ch/dam/jcr:00000000-51f1-701c-ffff-ffff8cd949df/DiSS\\_Tinz.pdf](http://www.business.uzh.ch/dam/jcr:00000000-51f1-701c-ffff-ffff8cd949df/DiSS_Tinz.pdf)
- Wilson JR (1999) Virtual environments applications and applied ergonomics. *Appl. Ergon.*, 30(1), 3-9.

**Danksagung:** Die Autoren danken dem Projektarbeitern Andreas Bräuer, Felix Pfeiffer, Jens Schönfelder, Madeleine Berger, Mario Lorenz, Martin Benter, Michael Salwasser, Sabine Müller und Stefan Stüring für die Unterstützung bei der Entwicklung und Umsetzung des Fragebogens. Außerdem gilt ein spezieller Dank Michael Wächter für die Korrektur des Beitrags.

Dieser Beitrag wäre ohne die Unterstützung durch das Programm „Zukunft der Arbeit“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds unmöglich gewesen. (Projekt: VirMont, 02L17C050).



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?**

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme  
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.  
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**  
**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)