

Katharina Müller-Eppendorfer

Systematik zur Planung menschen-  
gerechter Materialbereitstellung  
mit Hilfe von Virtual Reality

# **Systematik zur Planung menschengerechter Materialbereitstellung mit Hilfe von Virtual Reality**

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus–Senftenberg  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

M. Eng.

Katharina Müller-Eppendorfer (geb. Müller)

geboren am 19. Dezember 1985 in Stollberg / Sachsen

Vorsitzende:	Professorin Dr.-Ing. habil. Sabine Weiß
Gutachter:	Apl. Professorin Dr.-Ing. habil. Dr. paed. Annette Hoppe
Gutachter:	Professor Dr.-Ing. Leif Goldhahn

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2024





Forschungsberichte

Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie

Herausgeberin: apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. paed. Annette Hoppe

Katharina Müller-Eppendorfer

**Systematik zur Planung menschengerechter  
Materialbereitstellung mit Hilfe von Virtual Reality**

Shaker Verlag  
Düren 2024

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zugl.: Cottbus-Senftenberg, BTU, Diss., 2024

Copyright Shaker Verlag 2024

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-9454-1

ISSN 1869-1501

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Bibliographische Angaben und Referat**

Müller-Eppendorfer, Katharina

### **Thema**

Systematik zur Planung menschengerechter Materialbereitstellung mit Hilfe von Virtual Reality

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus–Senftenberg

Seitenzahl:	124 + Glossar und Anlagen
Anzahl der Abbildungen:	62 + Anlagen
Anzahl der Tabellen:	14
Anzahl der Literaturzitate:	165

### **Referat**

Aufgrund der Digitalisierung, steigender Komplexität der Prozesse bzw. Kundenanforderungen sowie alternder Belegschaft ist es notwendig, menschengerechte Arbeitsbedingungen zu schaffen. Dazu werden zunächst existierende Planungsansätze der Fabrik- & Montageplanung vorgestellt, die Bedeutung der Materialbereitstellungsplanung, als entscheidender Nebenprozess der Montage, betont und die Potenziale dieser Nebenprozesse aufgeführt. Darauf aufbauend wird die Notwendigkeit einer ganzheitlichen strukturierten Planungssystematik dargestellt.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst Anforderungen für die neu entwickelte Systematik erarbeitet und anschließend die Struktur sowie ihre einzelnen Komponenten (3 Bausteine) erläutert. Eine Methodensammlung mit bewährten und innovativen Planungsinstrumenten, Handlungsanweisungen sowie die Integration moderner Informationsverarbeitungs- und Visualisierungstechniken innerhalb der Bausteine, runden die Systematik zur Materialbereitstellung ab. Besonders hervorgehoben wird das Potenzial der Virtual Reality-Technik als unterstützendes Planungsinstrument für Visualisierung, Variantenbewertung, Entscheidungsfindung und Ergonomieuntersuchungen. Die Entwicklung einer prototypischen Schnittstelle („Digitaler Erweiterbarer Katalog für Bereitstellungs-equipment“) zwischen schriftlicher und virtueller Planung wird erstellt, beschrieben und soll den Planern bei der Nutzung von VR unterstützen sowie Technikstress vermeiden. Im Ergebnis sollen menschengerecht gestaltete Montagearbeitssysteme entstehen. Abschließend wird die Eignung der entwickelten Systematik durch eine Validierung in drei Phasen verdeutlicht.

### **Schlüsselworte**

Planung, manuelle Montage, Materialbereitstellung, Beanspruchungsgerechte Arbeitsplatzgestaltung, Ergonomie, Virtual Reality



## **Vorwort**

Das Thema ist aktuell, praxisnah und fachwissenschaftlich gut aufgearbeitet. Die Autorin ist einen interessanten Weg von der Analyse und der Bewertung realer Gegebenheiten zur wissenschaftlichen Aufarbeitung theoriebasierter Lösungen gegangen. Damit ist eine ingenieurwissenschaftliche Arbeit entstanden, die den aktuellen Stand der Wissenschaft berücksichtigt, arbeitswissenschaftliche Gestaltungsvorschläge einbezieht und ein Konzept beispielhaft erprobt. Dabei wird die Fabrik und speziell die Montageprozesse der Gegenwart, von der Autorin kritisch beleuchtet und moderne Entwicklungstrends diskutiert. Von Relevanz sind besonders die Einflussfaktoren im modernen Arbeitssystem auf den Menschen, da sich die Arbeitswelt in rasantem Tempo ständig verändert. Dem müssen sich Organisationsabläufe ständig anpassen, was in der betrieblichen Praxis oft zeitverzögert erfolgt. Deshalb ist die wissenschaftliche Betrachtung solcher Prozesse von großer Bedeutung, um Hilfen und Gestaltungsvorschläge abgesichert zur Verfügung zu stellen. Der Einbezug Augmented und Virtual Reality stellt dabei einen neuen und interessanten Ansatz dar. Die Autorin greift mit dem Thema eine sehr relevante Thematik der praktischen Arbeitsforschung auf.

Dem Buch zum Geleit und der Autorin zur Anerkennung.

apl. Prof. Dr. –Ing. habil. Dr. paed. Annette Hoppe

Leiterin des Fachgebiets Arbeitswissenschaft / Arbeitspsychologie (Awip)

Leiterin der Kooperativen Forschungsstelle Technikstress (KFT)



## Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Institut InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft der Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften sowie der Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Arbeitswissenschaft und Arbeitspsychologie.

Hierbei möchte ich mich besonders bei meinen Betreuern Frau apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. paed. Annette Hoppe sowie bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn bedanken. Vor allem Herr Prof. Goldhahn hat mich in den letzten Jahren immer wieder dazu ermutigt, diese Arbeit weiterzuschreiben und gab mir viele Hinweise und Gedankenansätze.

Zudem danke ich Frau Prof. Hoppe für die Übernahme des Gutachtens und die kurze, aber intensive Betreuung mit vielen wertvollen Impulsen, um die Arbeit zum Ende zu führen.

In den Zeiten der Frustration und Antriebslosigkeit hat mich meine Kollegin und Freundin Dipl.-Ing. Christina Pietschmann immer wieder aufgemuntert, wichtige Ansätze und Ideen geliefert und hat maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen - Danke.

Weiterhin bedanke ich mich bei meinen Arbeitskollegen Dr.-Ing. Annett Raupach, M. Eng. Robert Eckardt sowie Dipl.-Inf. Dorit Bock, welche essenzielle Hinweise und fachlichen Input gaben und immer an mich geglaubt haben. Mein weiterer Dank gilt den Kollegen Dipl.-Ing. Harald Thomale, Kerstin Jacob, Dipl.-Ing. Sebastian Roch und M. Sc. Christin Voigt sowie meinen Freunden für den Zuspruch und die Kraft diese Arbeit zu schreiben. Auch bei den Kollegen aus Cottbus, allen voran Dr.-Ing. Roberto Kockrow sowie Dr.-Ing. Rico Ganßauge, möchte ich mich für den Zuspruch zur Beendigung der Arbeit und die Unterstützung in der finalen Phase bedanken.

Ferner möchte ich mich bei Frau Franziska Seifert für die abschließende Durchsicht der Arbeit sowie bei Frau Katja Fay und Frau Melanie Götz für die Korrekturen und Anmerkungen während der Bearbeitung bedanken.

Meinen Eltern sowie meiner Schwester danke ich für die Unterstützung während meines gesamten Studiums und der Bearbeitung dieser Arbeit.

Der größte Dank gilt meinem Mann André und meinen Kindern Luca Maxim, Luis Mateo sowie Levi Moris für ihre Geduld und den Zuspruch für diese Arbeit.

Zuletzt möchte ich diese Arbeit meinem Opa, Herrn Harry Müller, widmen, der mit großem Interesse den Entstehungsprozess der Arbeit verfolgte, aber leider den Endstand der Arbeit nicht mehr miterleben konnte.



---

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>IV</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>VII</b>
<b>ANLAGENVERZEICHNIS</b>	<b>VIII</b>
<b>ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS</b>	<b>X</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>
<b>1</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEMSTELLUNG .....1
1.1.1	FABRIKEN AUF DEM WEG ZUR INDUSTRIE 4.0 .....1
1.1.2	MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG FÜR DIE MONTAGE .....2
1.2	THEMATISCHE ABGRENZUNG UND STAND DER TECHNIK .....4
1.3	ZIELSETZUNG .....8
1.4	LÖSUNGSWEG UND METHODISCHES VORGEHEN .....9
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>
<b>2</b>	<b>11</b>
2.1	FABRIK .....11
2.2	FABRIKPLANUNG UND FABRIKBETRIEB.....12
2.2.1	BEGRIFFSBESTIMMUNG .....12
2.2.2	HERAUSFORDERUNGEN UND AKTUELLE TRENDS .....13
2.2.3	VORGEHENSWEISEN DER FABRIK-, MONTAGE- BZW. BEREITSTELLUNGSPLANUNG .....14
2.3	PRODUKTIONSPROZESS EINER FABRIK.....17
2.3.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG .....17
2.3.2	EINGRENZUNG DES BETRACHTUNGSRAHMENS AUF DEN PROZESS DER MONTAGE .....19
2.4	MATERIALBEREITSTELLUNG ALS NEBENPROZESS EINER FERTIGUNG .....20
2.4.1	BEGRIFFSBESTIMMUNG UND EINORDNUNG .....20
2.4.2	MERKMALE MIT EINFLUSS AUF DIE MATERIALBEREITSTELLUNG .....23
2.4.3	LAGERSTRATEGIEN .....25
2.4.4	FÖRDER-, LAGER- UND BEREITSTELLEQUIPMENT .....26
2.4.5	UNTERSTÜTZENDE PLANUNGSHILFSMITTEL .....27
2.5	EINFLUSSFAKTOREN MENSCH - TECHNIK - ORGANISATION IM ARBEITSSYSTEM.....30
2.6	MENSCHENGERECHTE ARBEITSGESTALTUNG .....32
2.6.1	BEGRIFFSBESTIMMUNG .....32
2.6.2	ERGONOMISCHE BEWERTUNGSVERFAHREN .....33
2.6.3	TECHNIKSTRESS .....36
2.7	TECHNISCHE UNTERSTÜTZUNG MODERNER FABRIKPLANUNG.....36
2.7.1	ÜBERBLICK .....36
2.7.2	AUGMENTED UND VIRTUAL REALITY UND EINGRENZUNG DES BETRACHTUNGSRAHMENS .....38
2.7.3	ALLGEMEINE ANWENDUNGSGBIETE VON VIRTUAL REALITY .....40

2.7.4	VR-EINSATZ IM INDUSTRIEUMFELD UND POTENZIALE FÜR DIE FABRIKPLANUNG .....	41
2.7.5	NUTZUNGSANSATZ FÜR DIE MATERIALBEREITSTELLUNG IN DER MONTAGE.....	42
2.7.6	ETABLIERTE HARD- UND SOFTWARE FÜR VR-ANWENDUNGEN .....	44
<b>3</b>	<b>HYPOTHESEN</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>ENTWICKLUNG EINER SYSTEMATIK ZUR MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG</b>	<b>49</b>
4.1	BASIS DER SYSTEMATIK ZUR MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG.....	49
4.2	VIRTUAL REALITY - VR.....	49
4.2.1	VR - EIN TRAUM MIT POTENZIAL ZUR REALITÄT.....	49
4.2.2	VR-LABOR DES INSTITUTS INNARBEIT - BEISPIEL EINER NUTZBAREN KONFIGURATION.....	50
4.2.3	KATEGORISIERUNG VON NUTZENDEN IM KONTEXT DER PLANUNG .....	50
4.3	ANFORDERUNGEN AN DIE SYSTEMATIK.....	52
4.4	LOGIK UND STRUKTUR DER METHODE ZUR SYSTEMATISCHEN MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG MIT HILFE VON VIRTUAL REALITY.....	53
4.5	METHODENBAUSTEIN 1 – LOKALISIERUNG DES MATERIALHANDLINGS INNERHALB DES FERTIGUNGSPROZESSES .....	57
4.6	METHODENBAUSTEIN 2 – PLANUNGSABFOLGE DER MATERIALBEREITSTELLUNG .....	60
4.6.1	BESCHREIBUNG DES PLANUNGSABLAUFES .....	60
4.6.2	INTEGRATION DER VIRTUAL-REALITY-TECHNIK .....	61
4.6.3	PLANUNGSSCHRITT „ANALYSE“ .....	63
4.6.4	PLANUNGSSCHRITT „VORBEREITENDE MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG“ .....	63
4.6.4.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES PLANUNGSSCHRITTES .....	63
4.6.4.2	METHODENWERKZEUG „STRATEGIE-MATRIX“ DER MATERIALBEREITSTELLUNG .....	64
4.6.5	PLANUNGSSCHRITT „GROBE MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG“ .....	66
4.6.5.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DES PLANUNGSSCHRITTES .....	66
4.6.5.2	METHODENWERKZEUG „FÖRDERKETTE“ .....	67
4.6.6	PROTOTYPISCHE ENTWICKLUNG DES METHODENWERKZEUGES „DIGITALER ERWEITERBARER KATALOG FÜR BEREITSTELLEQUIPMENT“ .....	70
4.6.6.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG.....	70
4.6.6.2	SOFTWAREERGONOMIE .....	70
4.6.6.3	PHASE „IDEEGENERIERUNG“ .....	71
4.6.6.4	PHASE „AUFBAU GRUNDGERÜST“ .....	72
4.6.6.5	PHASE „AUSBAUSTUFE 1“ .....	77
4.6.6.6	PHASE „AUSBAUSTUFE 2“ .....	78
4.6.6.7	AUSBLICK FÜR EINE MÖGLICHE WEITERENTWICKLUNG DES „DEKAB“ .....	83
4.6.7	PLANUNGSSCHRITT „PRÄZISE MATERIALBEREITSTELLUNGSPLANUNG“ .....	84
4.7	METHODENBAUSTEIN 3 – WIRKSAMKEIT DER PLANUNG BZW. ÄNDERUNGEN .....	84
4.7.1	BESCHREIBUNG.....	84
4.7.2	BEISPIELANWENDUNG.....	85
4.8	SCHLUSSFOLGERUNG ZUR ENTWICKLUNG DER SYSTEMATIK .....	87
<b>5</b>	<b>ITERATIVER ENTWICKLUNGSPROZESS ZUR VALIDIERUNG DER SYSTEMATIK</b>	<b>88</b>
5.1	ZIEL UND KONZEPTION DER VALIDIERUNG .....	88
5.2	DURCHFÜHRUNG DER VALIDIERUNG.....	89

---

5.2.1	PHASE 1 – PRÄTEST MIT PILOTPRODUKT „STECKDOSE“ .....	89
5.2.1.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG .....	89
5.2.1.2	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG .....	89
5.2.1.3	AUSWERTUNG DER METHODE MITTELS ZEITSTUDIE ZUR BELEGUNG DES PLANUNGSERFOLGS .....	97
5.2.1.4	EXZELLENTER VR-NUTZUNG DURCH VERFEINERUNG DES MODELLS .....	99
5.2.2	PHASE 2 - TEST MITTELS VIER PILOTANWENDUNGEN UND ZWEI ARBEITSSYSTEMEN ..	103
5.2.2.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG .....	103
5.2.2.2	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG .....	103
5.2.2.3	ERGEBNISSE DER PLANUNGEN .....	104
5.2.2.4	BEURTEILUNG DER ANWENDBARKEIT MITTELS STRUKTURIERTER MÜNDLICHER UND SCHRIFTLICHER BEFRAGUNGEN .....	109
5.2.3	PHASE 3 - ERPROBUNG DER PRAXISTAUGLICHKEIT IN EINEM KMU .....	113
5.2.3.1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG .....	113
5.2.3.2	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG .....	113
5.2.3.3	ABSCHLUSS .....	117
5.3	SCHLUSSFOLGERUNG DES ITERATIVEN ENTWICKLUNGSPROZESSES .....	118
<b>6</b>	<b>ERGEBNISBETRACHTUNG</b> .....	<b>119</b>
6.1	DISKUSSION DER HYPOTHESEN .....	119
6.2	ZUSAMMENFASSUNG .....	122
6.3	AUSBLICK .....	123
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>125</b>
	<b>GLOSSAR</b> .....	<b>136</b>
	<b>ANLAGEN</b> .....	<b>A1</b>

---