

Ergonomische Gestaltung von Maschinen und Fertigungssystemen bis zu Industrie 4.0 – 25 Jahre ICM e.V.

Heidrun STEINBACH

*ICM – Institut Chemnitzer Maschinen und Anlagenbau e.V.,
Otto-Schmerbach-Straße 19, D-09117 Chemnitz*

Kurzfassung: Im ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. werden seit 25 Jahren rechnerunterstützte CAD-Modelle zur ergonomischen Gestaltung von Maschinen und Anlagen eingesetzt. Genügen diese CAD-Modelle einer prospektiven Gestaltung dieser Systeme auch in Zukunft? Die Analyse von Arbeitsaufgaben und die zugehörige Bewertung des Mensch-Maschine-Systems nach ergonomischen und sicherheitstechnischen Parametern in der Konzeption neuer Produkte und Anlagen ermöglicht neue Wege einer nutzerorientierten Gestaltung. Anhand von ausgewählten Beispielen werden Anforderungen zur Entwicklung von Methodenbausteinen definiert.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Fertigungssysteme, Mensch-Technik-Schnittstelle

1. Ausgangssituation

In Sachsen werden seit ca. 150 Jahren Werkzeug- und Textilmaschinen hergestellt. Das Erfahrungswissen zur Ergonomie und der Industrieform lag in der Gründerzeit komplett in den Händen des Ingenieurs. Waren die ersten Maschinen zur Bearbeitung von Teilen und Textilien hinsichtlich ihrer Bedienung und Funktionalität transparent, so steht man heute vor einer eingehausten Maschine bzw. einem kompletten Fertigungssystem. Die Software zur Bedienung von Maschinen und Steuerungen wird in Handbüchern beschrieben und ist nur vom jeweiligen Programmierer unmittelbar nachvollziehbar.

Die Analyse und Gestaltung der Beziehung Mensch-Technik gewann erst nach der Automatisierung von Prozessen besonders in der Fabrik in den 70er Jahren im letzten Jahrhundert an Bedeutung. Die Ergonomie als Teildisziplin der Arbeitswissenschaft diente der Optimierung der Schnittstelle Mensch und Maschine bzgl. der Hard- und Software.

Mit dem Wirken von Prof. Kulka an der TU Chemnitz und der Universität Leipzig mit seinen Lehrbüchern „Arbeitswissenschaft für Ingenieure“ und Prof. Schmidtke (1989) zur „Ergonomischen Prüfung“ wurden u.a. den Ingenieuren das gebündelte Erfahrungswissen für die Gestaltung von Arbeitssystemen zur Verfügung gestellt.

Mit immer komplexer werdenden Fertigungssystemen wurden hierarchische Systeme zur ergonomischen Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen nach Hacker (1986) mit dem Ruf nach Maßnahmen zur Sicherung der Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit (Zumutbarkeit) und Persönlichkeitsförderlichkeit stärker.

Zahlreiche Forschungsarbeiten zur Gestaltung und Bewertung von flexiblen Fertigungssystemen wurden von 1980 bis 2000 durchgeführt.

In Forschungsprojekten der TU Chemnitz (ehemals TU Karl-Marx-Stadt) und der sächsischen Werkzeugmaschinenindustrie wurde eine Methodik zur Gestaltung von Komplexarbeitsplätzen (Steinbach, 1988) entwickelt. Auf Grundlage dieser Vorgehensweise konnten Informations- und Bearbeitungsprozesse stärker miteinander verflochten werden. Bestandteil dieser Methode war eine projektive Bewertung der Ausführbarkeit und Schädigungslosigkeit der zukünftigen Tätigkeiten. Rechnerunterstützte Checklisten und die 2-D-Konzipierung von Arbeitsbereichen in Fertigungssystemen und in Fertigungsleitständen wurden für den automatisierten Betrieb im Maschinenbau entwickelt und angewendet.

Ergebnis waren sogenannte Komplexarbeitsplätze, die die Möglichkeit der Realisierung von Gruppenarbeit in Fertigungssystemen unterstützten. Die Abbildung 1 zeigt das FMS 630 (Ulrich, 1990, S. 10), das eine Vielzahl von Forschungsergebnissen widerspiegelt.

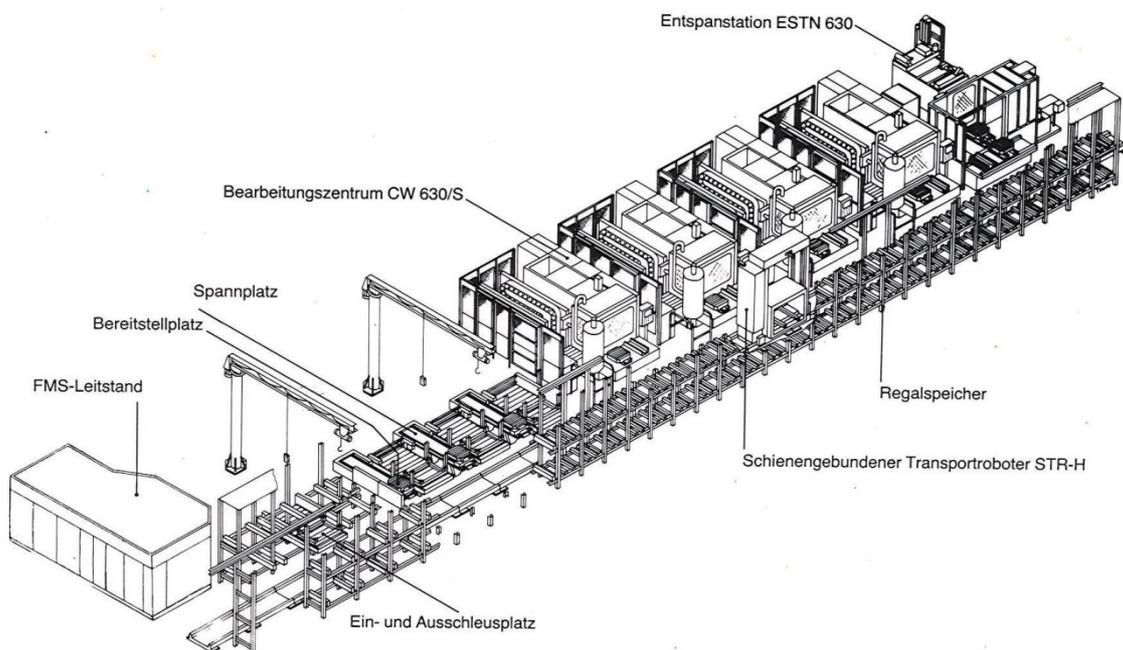


Abbildung 1: FMS 630

Methoden für die Gestaltung und Bewertung flexibler Fertigungssysteme bezogen auf ergonomische und sicherheitstechnische Aspekte entstanden in der Folge dieser Arbeiten bis 1998.

Das ergonomische Fachwissen wurde allerdings in dieser Zeit auf die Optimierung von Maschinen in Forschungsprojekten (Steinbach, Haase & Falk, 1997; Steinbach, Henning & Weck, 1998) heruntergebrochen. Der Einsatz rechnerunterstützter Menschmodelle erfolgte nur punktuell in den Forschungseinrichtungen, die über 3D-Menschmodelle Modelle verfügten.

Erst mit der Forderung der ergonomischen Betrachtung in der EU-Maschinenrichtlinie ab 2009 kamen erste Anfragen aus Unternehmen. Maschinen waren oft schlecht bedienbar oder Servicetätigkeiten kaum ausführbar.

Es ist zu erwarten, dass in der Euphorie bei der Gestaltung der Fabrik der Zukunft im Zuge von Industrie 4.0 und komplexen Automatisierungslösungen die Optimierung

von Mensch und Technik zu eng als Aufgabe hinsichtlich der Optimierung von Steuerungsaufgaben und der Softwareergonomie betrachtet wird.

Die Verfügbarkeit von digitalen Menschmodellen und Planungssoftware am Markt löst allein die Gestaltung hinsichtlich der Ausführbarkeit und Schädigungslosigkeit in komplexen Arbeitssystemen nicht, auch nicht in der Smart Factory.

Ziel dieses Beitrages ist es, Ergebnisse zur ergonomischen Gestaltung von Arbeitssystemen vorzustellen und Ansätze für die Entwicklung und den Einsatz neuer Methodenbausteine in die Arbeitsplatzgestaltung vor allem für den Mittelstand einzubringen und zu fordern.

2. Beispiele ergonomischer Prüfung und Gestaltung

Das ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. erarbeitete im Rahmen mehrerer BMBF-Projekte (1994 bis 2000) Methoden zur ganzheitlichen ergonomischen und sicherheitstechnischen Gestaltung von Maschinen und Anlagen.

Bereits damals wurde der Schwerpunkt darauf gelegt, dass die Ergonomie in allen Phasen der Konstruktion in die Produkt- und Prozessgestaltung einbezogen werden kann. Bedienhandlungen, Wartungs- und Servicetätigkeiten wurden in Konzepten und Entwürfen von neuen Maschinen an Bedienstellen definiert, aber ebenso die Anforderungen an Arbeitsumwelt und Arbeitsphysiologie in Checklisten zusammengestellt, bevor die Maschine als Prototyp entstand.

Die an Prototypen der CNCplus- und InnovatiF-Maschinen beispielhaft durchgeführten Prüfungen entsprechend der EU-Maschinenrichtlinie waren Anleitung bei der Entwicklung von Werkzeug- und Sondermaschinen der letzten 15 Jahre.

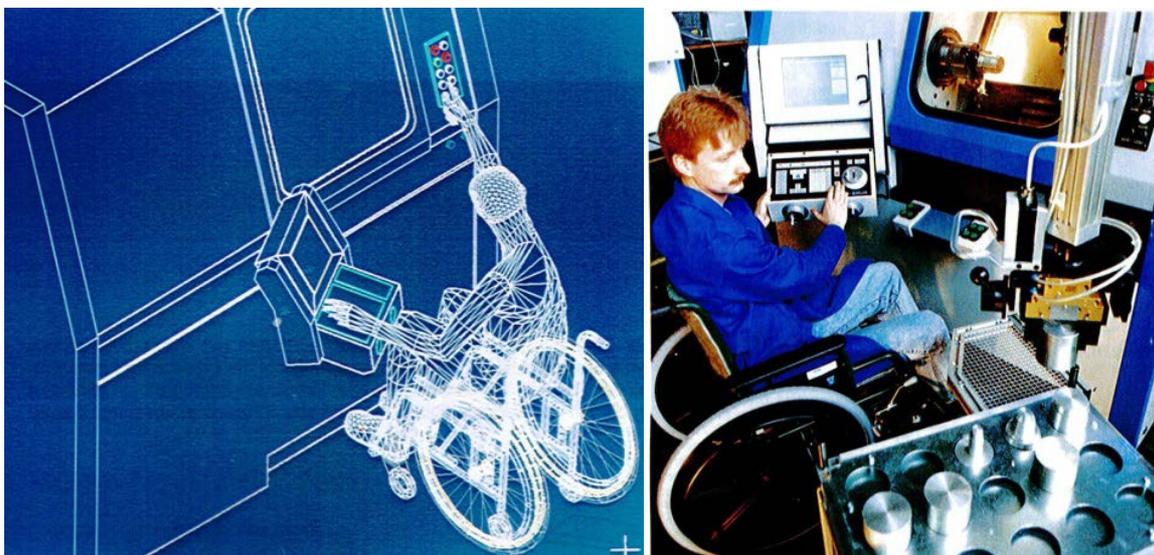


Abbildung 2: Beispiel CNCplus mit Rollstuhlfahrer

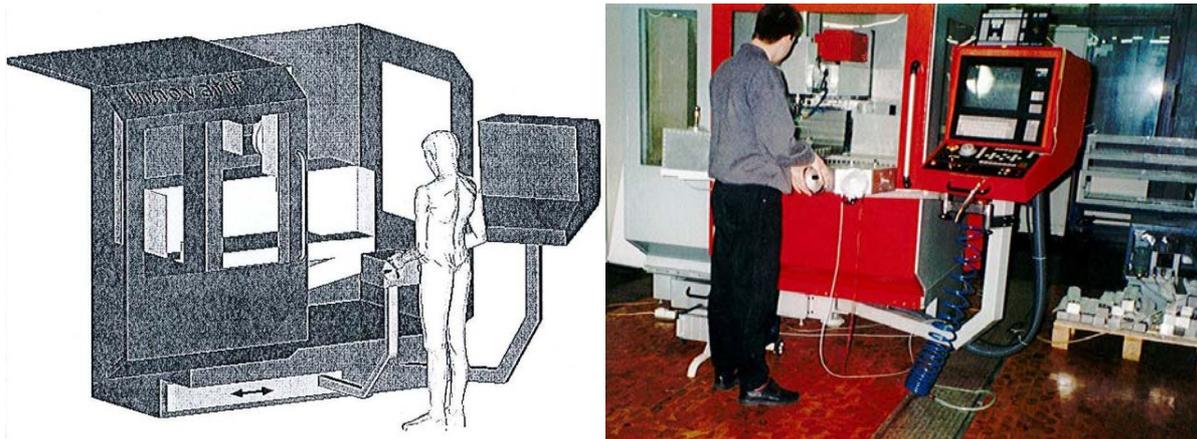


Abbildung 3: Beispiel InnovatiF-Maschine

3. Methode zur ergonomischen Prüfung für Maschinenkonzepte

In Anlehnung an die Methode zur ergonomischen Prüfung nach Schmidtke (1989) und Steinbach (1998) wurden die Beurteilungsebenen Ausführbarkeit und Schädigungslosigkeit als Grundlage für die ergonomische Prüfung von Maschinen benutzt. Geprüft wurden Prototypen und 3-D-CAD-Zeichnungen mit teilweiser Unterstützung von verschiedenen Menschmodellen (Anthropos, Ramsis und Dynamicus).

Die ergonomische Prüfliste wurde für Prototypen arbeitsaufgabenbezogen durch Auswertung vorhandener bzw. konzipierter Arbeitshandlungen erarbeitet. Die Schwerpunkte der Beurteilung der in Tabelle 1 aufgeführten Hauptkriterien bilden die Prüfkriterien zu:

1. Anthropometrischen Werten
2. Arbeitshygienischen Normativen und Grenzwerten
3. Psychologischen Kennwerten der Sinnesorgane und psychologische Grenzwerte der Informationsverarbeitung

Die Prüfliste für Maschinen enthält pro Bewertungsebene 6 Hauptkriterien zur Bewertung, die die Ausführungsbedingungen wesentlich beeinflussen.

Die Prüffragen werden in der Prüfliste mit einer Ja-Nein- bzw. Erfüllt-/Nicht Erfüllt-Beurteilung eingeschätzt. Die Bewertung der Analyseergebnisse erfolgt pro Hauptkriterium entsprechend dem Erfüllungsgrad (60% positiv=0,6) durch eine Bewertungsskala (0-1,0). Aus den errechneten Erfüllungsgraden lässt sich ein Bewertungsprofil bereits in der Konstruktions- und Entwicklungsphase grafisch darstellen. Die errechnete Gestaltungsgüte ist nach Tabelle 2 einer Bewertungsklasse (I-III) zuzuordnen.

Tabelle 1: Untergliederung der Hauptkriterien Ausführbarkeit und Schädigungslosigkeit

I. Ausführbarkeit	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arbeitsraum 2. Arbeitsplatzausstattung 3. Bedien- und Anzeigeelemente (konventionell) 4. Bedienung Steuerung 5. Werkzeugwechsel 6. Wartung und Instandhaltung
II. Schädigungslosigkeit	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beleuchtung 2. Farbe 3. Klima 4. Lärm 5. Kommunikation Bediener und Maschine 6. Sicherheitstechnische Bedingungen

Tabelle 2: Bewertung der Gestaltungsgüte

Mittlere Gestaltungsgüte	Bewertung	Beurteilung
1,0 – 0,8	1,0 Klasse I	Es tritt keine Schädigung beim Benutzer bzw. Beeinträchtigung auf.
0,79 – 0,5	0,5 Klasse II	Es sind entsprechende Verbesserungsmaßnahmen durchzuführen.
0,49 - 0	0 Klasse III	Die Gestaltungsmaßnahme ist vollkommen zu überarbeiten.

Mit Hilfe des Bewertungsprofils lassen sich die Gestaltungserfordernisse bei Erreichen des Negativbereiches (Klasse III) ableiten.

Die an den Prototypen der CNCplus-Drehmaschine und der InnovatiF-Fräsmaschine nach Steinbach (1998) beispielhaft durchgeführten Prüfungen unter Beachtung der Checklisten zur EU-Maschinenrichtlinie ergaben eine Übersicht über

verschiedene bei der Entwicklung von Werkzeugmaschinen zu berücksichtigende Gestaltungsaspekte. Weitere Anwendungen erfolgten an Textilmaschinen, Wasserstrahlanlagen sowie für verschiedene Bearbeitungssysteme sowohl mit den Prüflisten als auch mit dem Einsatz von rechnerunterstützten Menschmodellen zur Untersuchung der Ausführbarkeit von unterschiedlichen Bedien-, Überwachungs- und Instandhaltungstätigkeiten.

Ab 2010 kam die Anwendung von Dynamicus und RAMSIS in Produktentwicklungen der Medizintechnik und der Elektromobilität im ICM e.V. hinzu.

4. Produkt- und Prozessentwicklung im ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.

Im ICM Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. standen nach 1996 Aufgaben zur Wiederherstellung von kooperativen Beziehungen der Maschinen- und Anlagenbauer in Sachsen im Mittelpunkt.

Der Aufbau von eigenen FuE-Kapazitäten stellte sich insbesondere bei Zulieferern im Maschinenbau als sehr schwierig heraus.

Vor diesem Hintergrund entwickelte das ICM Projekte, die auf innovative Produkte und Leistungen ausgerichtet waren. Mit dem InnoRegio-Vorhaben „InnoSachs“, Teilprojekt InnoSystem „Modellentwicklung für innovative Zulieferstrukturen im Maschinenbau“, das zwischen 2001 und 2006 bearbeitet wurde, eröffneten sich für das ICM e.V. neue Aufgaben. Das Institut hat sich seit 2009 darauf orientiert, die vernetzte Forschung und Entwicklung für die Zusammenarbeit zwischen KMU und Forschungseinrichtung anzuwenden, um die fehlenden FuE-Kapazitäten in Forschungsverbänden zu ersetzen.



Abbildung 4: Kompetenzfelder des ICM Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.

Darüber hinaus wird der mittelständische Maschinenbau mit FuE-Dienstleistungen bezüglich Mess- und Prüfaufgaben, Konstruktion und FEM-Berechnungen sowie Projekt- und Prozessmanagement stark gefördert und unterstützt.

In Kooperation mit dem Institut können Problemstellungen gemeinsam mit KMU aufgegriffen und neue Lösungen erarbeitet werden. Für den Maschinen- und Anlagenbau und deren Zulieferer wird auf folgenden Gebieten gearbeitet:

Produktentwicklung:

- Entwicklung von Systemen zur Überwachung und Steuerung von Prozessen
- Spezialtechnologien zur Komplettbearbeitung im Sondermaschinenbau
- Produkt- und Konzeptentwicklung für energieeffiziente Recyclingtechnologien
- Neue Maschinenkonzepte
- Ergonomische und sicherheitstechnische Gestaltung und Bewertung
- Neue Prüfmaschinen

Prozessentwicklung:

- Methodenentwicklung zum Auslösen von Innovationsprozessen zwischen KMU
- Innovationsprozesse zwischen Produzenten und Dienstleistern
- Modellentwicklung für innovative Zulieferstrukturen
- Forschung und Entwicklung für KMU-Netzwerke
- Methoden zur Entwicklung hybrider Produkte

ZIM-NEMO-Netzwerke haben sich für die Entwicklung von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben und einer unterstützenden Projektkoordinierung als sehr wertvoll für den forschenden Mittelstand erwiesen.

Die Werkzeuge der rechnerunterstützten Ergonomie im Rahmen der Produktentwicklung werden im Institut bereits in der Konzeptphase neuer Arbeitssysteme zum Einsatz gebracht und anschließend prototypisch im Technikum des Institutes getestet.

Entwicklungen, die anschließend in Maschinenbauunternehmen hergestellt werden, erhalten für die Maschinendokumentation eine ergonomische Beurteilung. Nach Wunsch können Risikobeurteilungen für den künftigen Nutzer erstellt werden.

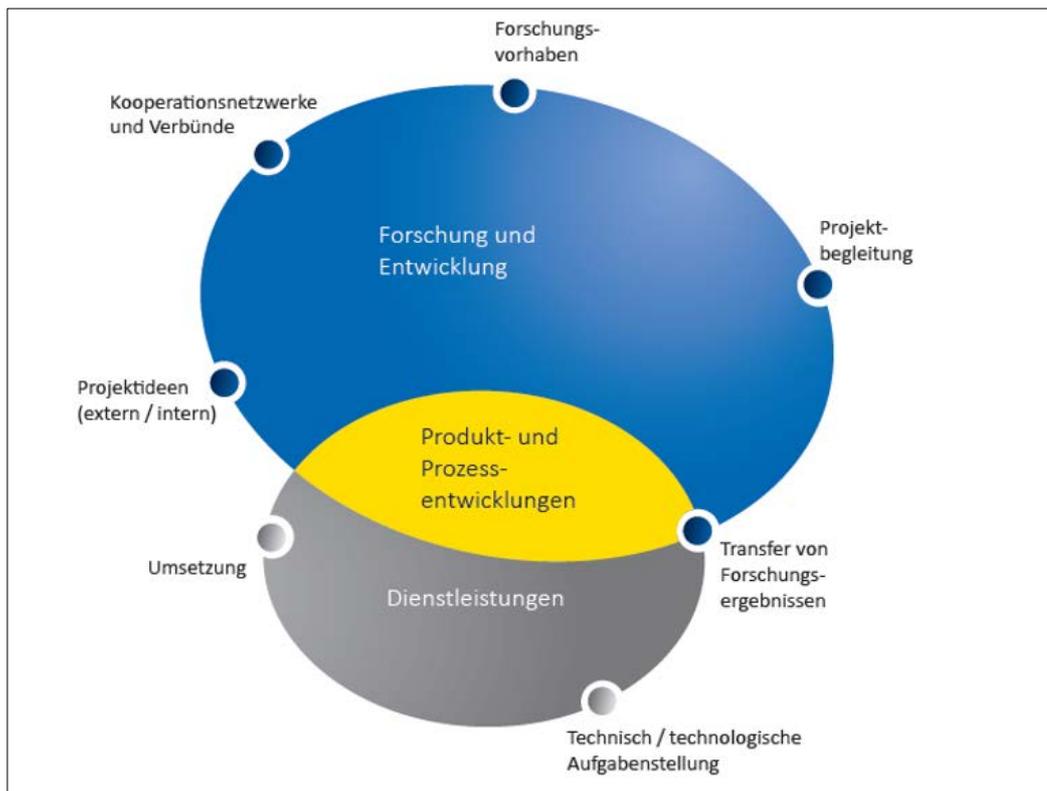


Abbildung. 5: Arbeitsprinzip zur Projektentwicklung

5. Zusammenfassung

Auf der Basis des ergonomischen Erfahrungswissens und den Forschungsarbeiten zu Industrie 4.0 können neue technisch-technologische Lösungen für Maschinen und Fertigungssysteme unter Beachtung arbeitspsychologischer und funktionell-ästhetischer Gestaltungsanforderungen entstehen, die in verschiedenen Branchen interessante gestaltete Arbeitsaufgaben sowie eine motivierende und gut gestaltete Arbeitsumwelt zur Folge haben.

Die Entwicklung zur Fabrik der Zukunft mit neuen Technologien Industrie 4.0 erfordert die arbeitswissenschaftliche Analyse, Gestaltung und Bewertung neuentstehender Arbeitsaufgaben sowie der damit verbundenen Ausführungsbedingungen. Es besteht das Erfordernis auf der Basis des Erfahrungswissens aus der Zeit der Automatisierung rechnerunterstützte Methoden zur Gewährleistung der Schädigungslosigkeit und Ausführbarkeit neuer Tätigkeiten für den Fabrikplaner und den Konstrukteur zu entwickeln bzw. in technischen Dienstleistungen anzubieten. Das ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. wendet in seinen Forschungs- und Entwicklungsprojekten diese Methoden an.

Das ICM stärkt als Mitglied der SIG Sächsischen Industrieforschungsgemeinschaft und der Deutschen Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse die transferorientierte, marktvorbereitende Forschung im Interesse des Mittelstandes. Ziel ist in den nächsten Jahren die Sicherung und der Ausbau von qualifizierten Arbeitsplätzen in Forschung und Industrie.



Abbildung 6: Leitlinien für Forschung und Entwicklung im ICM

6. Literatur

- Hacker, W. (1986). Arbeitspsychologie. Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin
- Steinbach, H. (1988). Ergonomische Gestaltung von Arbeitsbereichen der Fertigungssteuerung flexibler Fertigungssysteme. Dissertation B. Fakultät für Maschineningenieurwesen der TU Karl-Marx-Stadt
- Schmidtke, H. (1989). Ergonomische Prüfung von technischen Komponenten, Umweltfaktoren und Arbeitsaufgaben. Carl Hanser Verlag München Wien
- Ulrich, P. (1990). Stand und Entwicklungen rechnerintegrierter Fertigungen. In: IKM 90 Internationaler Kongreß Metallbearbeitung Karl-Marx-Stadt
- Steinbach, H. (1992). A method for job safety and ergonomics design and evaluation of flexible manufacturing systems. In: Mattila, M.; Karwowski: Computer Applications in Ergonomics, Occupational Safety and Health. Proceedings CAES`92, Elsevier Science Publ. B.V. Amsterdams
- Steinbach, H.; Haase, M.; Falk, E.V. (1997). The Using of a Man Model in Product Design. In: Proceedings 13th Triennial Congress, International Ergonomics Association. Tampere/ Finland
- Steinbach, H. (1998). Methode zur sicherheitstechnischen und ergonomischen Prüfung. In: Henning, K.; Weck, M.: Innovative Wege zur Handlungsunterstützung des Facharbeiters an Werkzeugmaschinen. Wissenschaftsverlag Mainz in Aachen, ISBN 3-86073-732-5
- Steinbach, H.; Heikenwälder, J. (2000). Computer-based Man-Model in Product Design of a Watercutting Hexapod System. In: Proceedings of the 7th International Conference "Human Aspects of Advaced Manufacturing. Krakow/ Poland
- Naumann, H. J.; Neugebauer, R. (2003). Werkzeugmaschinenbau in Sachsen. Verlag Heimatland Sachsen Chemnitz, ISBN 3-910186-44-0
- Grundmann, A.; Steinbach, H.; Lindner, J. (2009). Anwendung rechnerunterstützter Menschmodelle für KMU im Maschinenbau. In: BMBF-Innovationsforum „Digitale Fabrik“. Westsächsische Hochschule Zwickau
- Kunert, A.; Bobe, U.; Schneider, R. (2014). Modulbaukasten zur ergonomischen Gestaltung von Maschinen. Abschlussbericht InnoKom-Ost Vorlauforschung des BMWi
- Ortmann, S. (2015). Industrie 4.0 – Wie bedienen Menschen Maschinen optimal? Vortrag Innovationsforum der InnoSIG, Dresden, 06.10.2015
- Steinbach, H.; Kunert, A. (2016): Digitale ergonomische Gestaltung von Maschinen- und Fertigungssystemen. In: Bullinger-Hoffmann, A.C.; Mühlstedt, J. (Hrsg.): Homo Sapiens Digitalis – Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle. Springer Verlag Wiesbaden



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Fokus Mensch im Maschinen- und Fahrzeugbau 4.0

Herbstkonferenz der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Institut für Betriebswissenschaften und
Fabriksysteme / TU Chemnitz

ICM - Institut Chemnitzer Maschinen-
und Anlagenbau e.V.

28. und 29. September 2017

GfA Press

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
vom 28. und 29. September 2017, Chemnitz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2017
ISBN 978-3-936804-23-2

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.)
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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Isabell Grundmann

Screendesign und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de