

## **Wie digital ist die Ergonomie wirklich? – Eine mittelstandsgerechte Methode zur Arbeitsplatzgestaltung im Sonder- und Werkzeugmaschinenbau**

Alexander KUNERT, Andreas GRUNDMANN, Heidrun STEINBACH

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

**Kurzfassung:** "Smart Production" und Industrie 4.0 gehen mit Digitalisierung von Prozess- und Produktplanung einher. Zwangsläufig wird sich somit auch mit der digitalen Planung von Mensch-Maschine-Schnittstellen beschäftigt. Doch wo gerät die Digitalisierung an Grenzen der Machbarkeit? Wo ist die Grenze zwischen objektiver Betrachtung von Bedienhandlungen und übermäßiger Maskierung und Abstrahierung? An welcher Stelle verlieren die Anwender die Bindung zu neuen Methoden? Diesen Fragen stellt sich das ICM e.V. seit 2 Jahren vor dem Hintergrund, Werkzeug- und Sondermaschinenbauern Methoden zur Planung von Mensch-Maschine-Schnittstellen zur Verfügung zu stellen. In diesem Spannungsfeld entwickeln die Mitarbeiter des ICM e.V. in Kooperation mit dem Institut für Mechatronik e.V. in Chemnitz eine fachgebietsübergreifende Applikation zur Gestaltung, Analyse und Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen verschiedenster Arten.

**Schlüsselwörter:** digitale Menschmodelle, Maschinenbau, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Motion Capturing

### **1. Einleitung**

Hochautomatisierte Prozesse im Wandel der vierten industriellen Revolution erwecken schnell den Anschein einer ganzheitlichen digitalen Planbarkeit. In diesem Zusammenhang herrscht wiederholt (vgl. Steinbach, 1988) die Vorstellung von menschenleeren Fabriken. Inwieweit ist diese Vorstellung aber umsetzbar? Es erscheint trivial, dass sich mit den Produktionsprozessen ebenso die Arbeitsprozesse weiterentwickeln. Dabei stellt sich jedoch die Frage, inwieweit eine ganzheitlich, digitale Planung umsetzbar und vor allem zweckdienlich ist.

Die Verfügbarkeit digitaler Menschmodelle und Planungssoftware am Markt ist äußerst vielfältig. Für kleine und mittelständische Unternehmen im Maschinenbau stellen Software und Schulungskosten sowie teure Folgekosten durch Lizenz- und Supportverträge einen Kostenfaktor dar, der gepaart mit einem enormen zeitlichen Analyseaufwand, wirtschaftlich oft nicht vertretbar ist. Aufzuzeigen, inwieweit die Mensch-Maschine-Interaktion mit digitalen Methoden gestaltet wird, aber insbesondere unter Einbindung von kleinen und mittleren Unternehmen auch an Grenzen stößt, soll Thema dieses Beitrages sein.

Eine Befragung leitender Konstrukteure in kleinen und mittelständigen Unternehmen (KMU) in Sachsen durch den ICM e.V. zeigt erste Tendenzen auf, dass die ergonomische Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen zwar als wichtig erachtet wird, aber dennoch nicht von geschultem Personal in den Unternehmen durchgeführt wird. Gründe dafür nennt beispielsweise auch Mühlstedt (2012, S.90) in

seiner Dissertation: 59 befragte Anwender gaben als größte Nachteile von digitalen Menschmodellen an, dass der Zeitaufwand sowie der finanzielle Aufwand zu hoch sind. Außerdem wurden fehlende Akzeptanz, zu wenige Bibliotheken, Bewertungs- und Analyseverfahren als Kritikpunkte genannt.

Die digitalisierte Bewertung von Arbeitsprozessen kommt in Folge nicht im Mittelstand an. Die Simulationen und zu abstrakt die Bewertungsalgorithmen sind zu abstrakt und nicht greifbar. Ausgehend davon erarbeitet der ICM e.V. Methoden zur Gestaltung von Bedien- und Handlungsstellen sowie den dazugehörigen Prozessen, die für den Mittelstand nutzbar und praktikabel sind, aber dennoch den Anforderungen der späteren Anwender nachkommen.

## **2. Inhalt des Forschungsprojektes**

Das ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. entwickelte gemeinsam mit dem Institut für Mechatronik e.V., im Rahmen eines Vorlaufforschungsprojektes des BMWi, Methoden zur ganzheitlichen ergonomischen und sicherheitstechnischen Gestaltung von Maschinen und Anlagen (Kunert, Bobe & Schneider, 2015). Der Fokus ist darauf gerichtet, dass die Ergonomie in allen Phasen der Konstruktion in die Produkt- und Prozessgestaltung einbezogen werden kann. Weiterhin ist der Anspruch an das Gesamtkonzept, dass dieses für Konstrukteure und Anwender greifbar und realitätsnah bleibt, ohne dabei wirtschaftlich ineffizient zu sein.

Die Zielstellung dieses Vorlaufforschungsprojektes war die Entwicklung eines Modulbaukastens und eines anwendungsorientierten Tools zur ergonomischen und sicherheitstechnischen Gestaltung von Maschinen und Anlagen im Entwicklungsprozess. Diese interdisziplinäre Applikation soll den Konstrukteuren und Maschinenentwicklern bei der ergonomischen Gestaltung von Maschinen während des Entstehungsprozesses Unterstützung bieten, aber auch hinsichtlich der Auslegung von Rüst- und Wartungsprozessen durch eine quantitative Bewertung eine Entscheidungshilfe für den Vergleich verschiedener Entwürfe darstellen. Der methodische Schwerpunkt liegt auf einer ganzheitlichen individuell für das Produkt gestalteten, ergonomischen Auslegung.

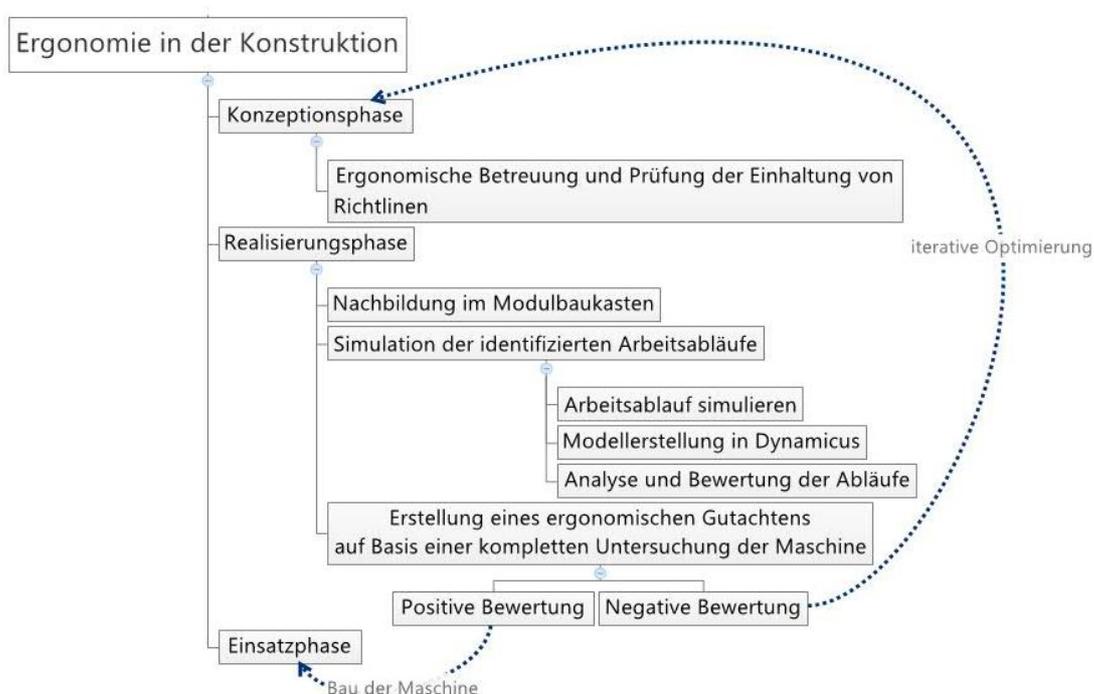
Neben der Bewertung der Bedienhandlungen soll aber auch der aktive Austausch zwischen Konstrukteuren und Arbeitswissenschaftlern gefördert und damit das gegenseitige Verständnis verbessert werden. Die am Modulbaukasten durchgeführten Bedienhandlungen sollen neben der realitätsnahen Abbildung der Prozesse auch zur praxisnahen Ideenfindung und synergetischen Verbesserung beider Systeme, sowohl der zu bewertenden Maschine, als auch der Methodik selbst führen. Dementsprechend sind die hier vorgestellten Forschungsergebnisse als Zwischenergebnisse zu betrachten und bedürfen weiterem Entwicklungsaufwand.

## **3. Methodik**

Mittels Motion Capturing werden die Arbeitshandlungen, welche zur Maschinenbedienung und -wartung ausgeführt werden müssen, aufgenommen, digitalisiert und im Menschmodell alaska/Dynamicus simuliert. Mit dem entwickelten Modulbaukasten ist es nicht erforderlich, einen Prototypen der Maschine zu fertigen. Die wichtigsten Bedien- und Handlungsstellen werden als Mock-Up nachgebildet.

Somit können bereits in Konstruktions- und Planungsphase ergonomische Hinweise in die Konstruktion einfließen. Die real ausgeführten Handlungen einer mit Markern ausgestatteten Versuchsperson werden mit 12 Infrarotkameras und optischen Markertargets des Herstellers A.R.T. getrackt, im Menschmodell alaska/Dynamicus verarbeitet und ergonomisch nach dem Verfahren Rapid Upper Limb Assembly (RULA, McAtammey und Corlett, 1993) bewertet. Bei optischer Verdeckung von Targets kommen ebenfalls darauf angebrachte Inertialsensoren zum Einsatz. Auf Basis der Bewertungen werden Änderungsvorschläge erarbeitet, wiederum am Modulbaukasten getestet und somit iterativ optimiert.

Auf der Basis des vorhandenen Menschmodells wurde die Softwareerweiterung Dynamicus/RULA entwickelt. Diese Vorgehensweise zeichnet sich durch eine anwenderorientierte Softwareoberfläche und eine schnelle und effiziente Auswertefunktion für aufgenommene Bedienhandlungen aus.



**Abbildung 1:** Ergonomischer Gestaltungsprozess mit Dynamicus/RULA am Modulbaukasten

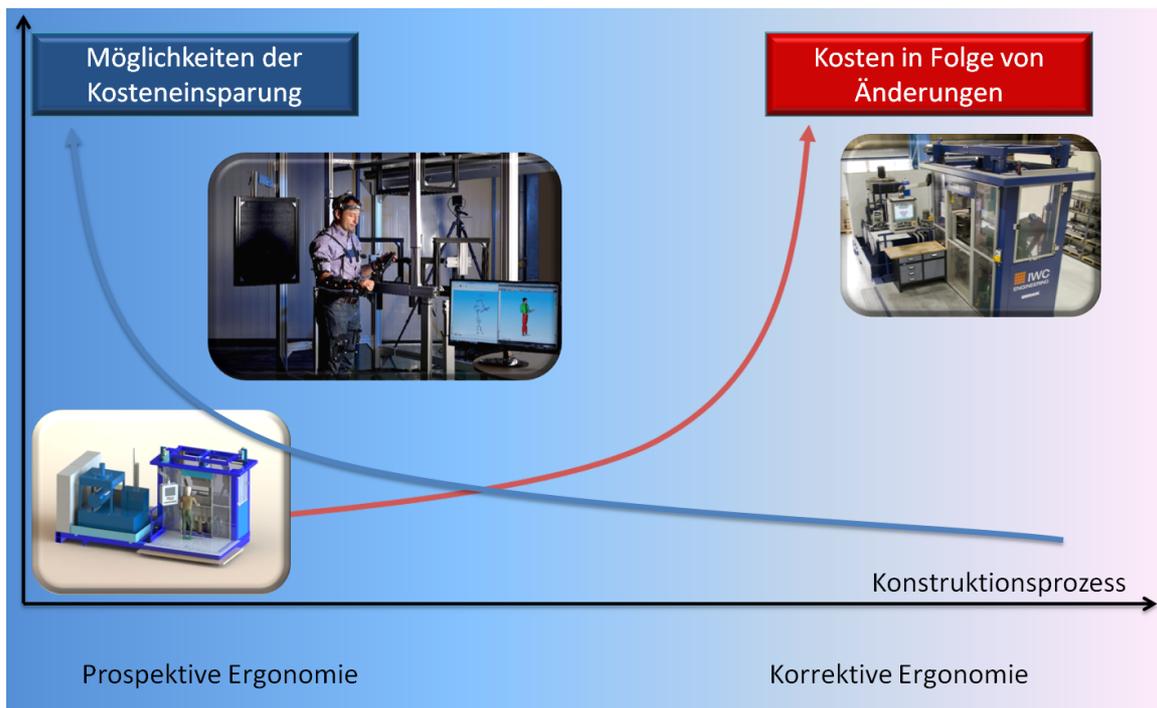
Das RULA Verfahren dient der Bewertung der zuvor modellierten Bewegungen. Das von McAtammey und Corlett (1993) entwickelte Verfahren diente ursprünglich der schnellen und einfachen ergonomischen Begutachtung von Arbeitsplätzen. Die Verwendung in Verbindung mit einem Motion Capturing System erlaubt darüber hinaus eine sehr genaue Messung von Gelenkwinkeln und damit von Haltungen und Bewegungsverläufen, die als Rohdaten für die RULA Bewertung dienen.

#### 4. Diskussion

Die beschriebene Methodik verfolgt das Ziel, die digitalen Werkzeuge bestmöglich in die Bewertung von Haltungen, Bewegungen an Maschinenarbeitsplätzen einzubeziehen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Methoden für

Maschinenkonstrukteure greifbar und nachvollziehbar sind. Die Anwendung des Modulbaukastens ermöglicht eine digitale Auswertung der Bewegungen, die am physischen Demonstrator durchgeführt werden. Änderungen am Modulbaukasten sind dabei einfach vorzunehmen und deren Effekt ist objektiv und vor Ort nachweisbar. Ein weiterer Vorteil gegenüber einer ausschließlich digitalen Planung von Bedien- und Handlungsstellen besteht darin, dass bei der Verwendung des Mock-Ups und eines Motion-Capturing-Systems real durchgeführte Handlungen bewertet werden können. Die Bewertung auf Basis von Gelenkwinkeln des Menschmodells führt zu einer Objektivierung des RULA Verfahrens, da die Haltungen somit untersucherunabhängig bewertet werden. Erhalten bleibt jedoch die Abhängigkeit vom Untersuchungsobjekt, also in dem Fall vom Probanden. Inter-individuelle-Besonderheiten sind im Bewegungsverhalten nicht vermeidbar, stehen aber in Abhängigkeit der Komplexität der Arbeitsaufgabe. Im Umkehrschluss ziehen rein digital gestaltete Bedienhandlungen stets eine Maskierung und Abstrahierung natürlicher Handlungsabläufe nach sich. Eine subjektive Einschätzung der Ausführbarkeit ist somit nicht möglich.

Die Vorteile gegenüber korrekativer Ergonomie hingegen werden in Abbildung 2 dargestellt. Die Kosten einer Konstruktionsänderung steigen ab der Planungsphase exponentiell. Oftmals werden ergonomische Fehler erst in der Fertigungs- oder Nutzungsphase erkannt. Die entwickelte Methodik kombiniert die Vorteile prospektiver Ergonomie im Bereich der Einsparung von Kosten, mit der praxisnähe der korrekiven Ergonomie.



**Abbildung 2:** Einordnung der Methodik in den Konstruktionsprozess

Zur Überprüfung der Reliabilität des Verfahrens wurde in Pilotstudien bereits das Thema Inter-Trail-Variabilität untersucht (vgl. Kunert, Bobe & Schneider, 2015). Wiederholte Messungen des gleichen Probanden am Modulbaukasten zeigen mittlere bis hohe Korrelationen der Gelenkwinkelverläufe bei Flexions- und Extensionsbewegungen in Schulter- (Pearson Korrelation,  $0,5 < r < 0,75$ ) und

Ellenbogengelenken ( $0,45 < r < 0,65$ ). Vergleiche zwischen Bedienhandlungen an der originalen Maschine und dem dazugehörigen Mock-Up korrelieren in vergleichbarem Maß. Für weiterführende statistische Aussagen wären jedoch Studien mit einer größeren Probandenanzahl bzw. mehr Trails notwendig.

Stark streuende Korrelationen treten bei Rotations- und Abduktions- bzw. Adduktionsbewegungen auf, sowie in allen Achsen des Atlasgelenks. Es wurde eine teilweise erhebliche Variabilität in der Bewegungsausführung eines Probanden bei wiederholten Messungen festgestellt, die wiederum die Ergebnisse der RULA Bewertung beeinflussen kann.

## 5. Zusammenfassung

Die im Beitrag gestellte Frage lässt sich damit zumindest für die Zielgruppe der KMU im Sonder- und Werkzeugmaschinenbau beantworten: Der Einsatz digitaler Menschmodelle fördert die prospektive Betrachtung ergonomischer Problemstellungen. Dieser Ansatz allein ist jedoch nicht ausreichend, um Fehler in der Gestaltung von Arbeits- und Bedienprozessen auszuschließen. Die in der Pilotstudie aufgezeigte Bewegungsvariabilität bei der Ausführung von Bedienhandlungen verdeutlicht die Komplexität menschlicher Bewegungsabläufe und stellt somit eine rein digitale Vorhersage humaner Bewegungszyklen in Frage.

Die Nutzung eines Mock-Ups und eines anwenderorientierten Menschmodells, um die Vorteile korrektiver mit denen der prospektiven Ergonomie zusammenzufassen, stellt einen innovativen Ansatz dar. Es bedarf weiterer Studien zur Validität des Mock-Ups gegenüber einer korrektiven ergonomischen Analyse und zum digitalen Einsatz des RULA Verfahrens, um die entwickelte Methode in der Praxis zum Einsatz zu bringen.

## 6. Literatur

- McAtamney, L. & Corlett, E.N. (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24, 91-9
- Mühlstedt, J. (2012) Entwicklung eines Modells dynamisch-muskulärer Arbeitsbeanspruchungen auf Basis digitaler Menschmodelle, Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Universitätsverlag Chemnitz, ISBN 978-3-941003-62-0
- Kunert, A.; Bobe, U.; Schneider, R. (2015): Modulbaukasten zur ergonomischen Gestaltung von Maschinen. Abschlussbericht InnoKom-Ost Vorlaufforschung des BMWi.
- Steinbach, H. (1988) Ergonomische Gestaltung von Arbeitsbereichen der Fertigungssteuerung flexibler Fertigungssysteme. Dissertation B. Fakultät für Maschineningenieurwesen der TU Karl-Marx-Stadt