

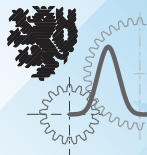
Reihe 1

Konstruktions-
technik/
Maschinen-
elemente

Nr. 451

Nico Feller, M.Eng.,
Hürth

Konzept zur alters- und belastungsorientierten Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen in der industriellen Fertigung



Ingenieurwissenschaftliche Berichte des
Lehrstuhls Konstruktion
an der Bergischen Universität Wuppertal



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

**Konzept zur alters- und belastungsorientierten Entwicklung und
Bewertung von Arbeitssystemen in der industriellen Fertigung**

Dissertation zur Erlangung eines Doktorgrades

(Dr.-Ing.)

in der

Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

der

Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von

Nico Feller

aus Leverkusen

Wuppertal 2020

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Janoske
Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Gust
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. André Klußmann
Beisitzer: Jun.-Prof. Dr. rer. nat. Antoine Tordeux
Tag der Disputation: 27. Juli 2020

Fortschritt-Berichte VDI

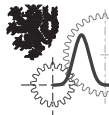
Reihe 1

Konstruktionstechnik/
Maschinenelemente

Nico Feller, M.Eng.,
Hürth

Nr. 451

Konzept zur alters- und
belastungsorientierten
Entwicklung und
Bewertung von
Arbeitssystemen in der
industriellen Fertigung



Ingenieurwissenschaftliche Berichte des
Lehrstuhls Konstruktion
an der Bergischen Universität Wuppertal

Feller, Nico

Konzept zur alters- und belastungsorientierten Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen in der industriellen Fertigung

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1 Nr. 451. Düsseldorf: VDI Verlag 2021.

220 Seiten, 63 Bilder, 4 Tabellen.

ISBN 978-3-18-345101-2 ISSN 0178-949X,

€ 76,00/VDI-Mitgliederpreis € 68,40.

Für die Dokumentation: Arbeitssystemgestaltung – Körperliche Fähigkeiten – Alterungsprozesse – Zusammengesetzte Belastungen - Beanspruchungssimulation

Die vorliegende Arbeit wendet sich an Ingenieurinnen und Ingenieure aus dem Bereichen Konstruktion, Produktionsplanung und Simulation. Sie befasst sich mit einem Simulationsmodell für die alters- und belastungsorientierte Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen in der industriellen Fertigung. Hierbei werden individuelle körperliche Fähigkeiten und altersassoziierte körperliche Veränderungen von Erwerbstätigen berücksichtigt. Das Simulationsmodell ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Belastungsverläufen bei hauptsächlich körperlicher Arbeit sowie die Prognose von Beanspruchungsverläufen. Das Simulationsmodell wurde im Rahmen einer Feldstudie in zwei KMU validiert.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

D 468

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2021

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-949X

ISBN 978-3-18-345101-2

Vorwort

Die vorliegende Arbeit habe ich während meiner Tätigkeit als Projektmanager an der Technischen Hochschule Köln und parallel als externer Doktorand am Lehrstuhl für Konstruktion an der Bergischen Universität verfasst.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Gust von der Bergischen Universität Wuppertal für seine fachliche und persönliche Unterstützung und Gesprächsbereitschaft, sowohl während meiner Forschungstätigkeiten als auch bei der Erstellung dieser Arbeit. Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Ulf Müller von der Technischen Hochschule Köln für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Förderung dieser Arbeit.

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. André Klußmann danke ich herzlich für das entgegengebrachte Interesse und die kritische Durchsicht dieser Arbeit, sowie für die Übernahme des Korreferats. Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Janoske gilt mein Dank für die Bereitschaft den Vorsitz der Prüfungskommission zu übernehmen, sowie Herrn Jun.-Prof. Dr. rer. nat. Antoine Tordeux für den Beisitz in der Kommission.

Nicht zu vergessen ist mein Team an der Technischen Hochschule Köln, das mich auf unterschiedliche Weise motiviert und unterstützt hat. Ganz besonders herzlich möchte ich Martina und Bernd für fachliche Diskussionen und freundschaftlichen Rat danken.

Bedanken möchte ich mich vor allem auch bei meiner Familie und insbesondere bei meiner Frau Manuela. Ihr habt mir immer die notwendige Kraft und den Rückhalt für diese Arbeit gegeben.

Nico Feller

für Manuela

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	VIII
Abstract	IX
1 Einleitung	1
1.1 Zielstellung	3
1.2 Vorgehen.....	4
2 Wirtschaftliche, technologische und soziale Herausforderungen für kleine und mittlere Unternehmen.....	6
2.1 Demographischer Wandel: Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit alternder Belegschaften	8
2.2 Arbeitnehmer im Wandel der Digitalisierung.....	12
3 Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen in der industriellen Fertigung	16
3.1 Personalabbildung in der Simulation im Bereich von Produktion und Logistik (Makroperspektive)	19
3.2 Ergonomische und digitale Abbildung von Menschen (Mikroperspektive).....	28
3.3 Regelwerk und Methoden für die Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen.....	34
3.3.1 Regelwerk.....	35
3.3.2 Methoden.....	39
3.4 Handlungsbedarf.....	48

4	Alters- und belastungsorientiertes Simulationsmodell für die Entwicklung neuer und die Bewertung bestehender Arbeitssysteme	52
4.1	Modellelemente des Simulationssystems.....	55
4.1.1	Attribute zur individuellen Beschreibung von Erwerbstätigen	56
4.1.2	Parametrierung der Basiskomponente Arbeitsplatz.....	67
4.2	Beschreibung individueller und altersassoziierter physischer Veränderungen	82
4.2.1	Geschlecht.....	85
4.2.2	Sauerstoffaufnahme	98
4.2.3	Visuelle Veränderungen	105
4.2.4	Auditive Veränderungen	113
4.3	Berechnungsansatz zur Bestimmung einer ganzheitlichen Arbeitsbelastung	119
4.3.1	Ganzheitliche Arbeitsbelastung	120
4.3.2	Beanspruchung.....	123
4.3.3	Regeneration	127
4.4	Ansatz zur Berücksichtigung außerberuflicher Aktivitäten	130
4.4.1	Arbeitszeit und Schichtarbeit	132
4.4.2	Freizeit und Ruhephasen.....	138
4.5	SWOT-Analyse des Simulationsmodells.....	140
5	Prototypische Umsetzung des Simulationsmodells als Software-Applikation	145
5.1	Systemidee WorkDesigner	145
5.2	Ablaufstruktur.....	147
5.3	Erwerbstätige als zentrales Simulationselement	153
5.4	Implementierung des Simulators in SWIFT	155

5.4.1	Zufällige Generierung von Arbeitstagen – WorkProcessingSheet	155
5.4.2	Diskrete Simulation von Tätigkeiten bzw. außerberuflichen Aktivitäten – doSimulation.....	161
5.5	Reflektion des Software-Realisierungsprozesses.....	162
6	Validierung des Simulationstools durch eine Feldstudie in der industriellen Fertigung von kleinen und mittelgroßen Unternehmen.....	165
6.1	Zielsetzung und Methodik der Simulationsstudie	165
6.2	Generierung der Datenbasis	168
6.2.1	Probanden	170
6.2.2	Arbeitsplätze.....	172
6.2.3	Tätigkeitsprofile.....	174
6.3	Simulationsexperimente und Analysen	176
6.3.1	Beanspruchung und Auswirkung auf die Testpersonen für ein Jahr betrachtet.....	176
6.3.2	Beanspruchung und Auswirkung auf das Arbeitsergebnis für ein Jahr betrachtet.....	178
6.3.3	Mikroperspektivische Betrachtung von Beanspruchungs-verläufen über eine Woche.....	183
6.3.4	Biorhythmus, Schlafphasen, Resilienz und Stress.....	187
6.4	Fazit der Feldstudie.....	189
7	Zusammenfassung und Ausblick	191
	Literatur	197

Zusammenfassung

Die Megatrends „Demographischer Wandel“ und „Digitalisierung“ sind aktuell die größten Treiber wirtschaftlicher, technischer und sozialer Veränderungen und Herausforderungen – aber auch großer Chancen. Während der nächsten zehn Jahre wird der Demographische Wandel in den Industrienationen zu einem weltweiten Fachkräftemangel von mehr als 85 Mio. Erwerbstätigen führen und in Folge dessen global einen wirtschaftlichen Schaden von über \$ 8.450 Mrd. verursachen (vgl. Korn Ferry 2018). Die Digitalisierung hat das Potential diesen Fachkräftemangel um etwa 50 % durch die Substitution von Arbeitsplätzen durch intelligente Computer Systeme und Roboter abzufangen. In Deutschland könnten bspw. im Bereich industriellen Fertigung, bis zum Jahr 2030, voraussichtlich zwei Drittel aller Arbeitsplätze durch intelligente Systeme ersetzt werden (vgl. Dibrani et al. 2018 und PWC 2018). Beide Megatrends werden die Zukunft der Arbeit hinsichtlich Inhalten, Zeitmodellen und der Gestaltung von Arbeitsplätzen formen. Dies führt zu zwei zentralen Fragen: „wird die Belastung der Erwerbstätigen mit der Digitalisierung der Arbeitswelt zunehmen?“ und „wie müssen zukünftige Arbeitssysteme gestaltet sein, um die Leistungsfähigkeit, die Gesundheit und das Wohlbefinden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu erhalten und zu steigern?“.

Diese Arbeit leistet einen wissenschaftlichen Beitrag zur alters- und belastungsorientierten Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen. Es werden drei miteinander verknüpfte Forschungsfragen bearbeitet:

- Wie können die individuelle Arbeitsleistungsfähigkeit und altersassoziierte körperliche Veränderungen in einem Simulationsmodell abgebildet werden?
- Wie können zusammengesetzte Arbeitsbelastungen und sukzessive Belastungsverläufe von Erwerbstätigen über mittel- und langfristige Zeiträume simuliert werden?
- Wie kann die Beanspruchung von Erwerbstätigen prognostiziert werden, als Basis für die Entwicklung und Bewertung von Arbeitssystemen?

Abstract

Today, the two megatrends “Demographic Change” and “Digitalization” are the strongest drivers for economical, technical and social changes and challenges – but also for great opportunities. During about the next ten years, the Demographic Change will lead to a dramatic global talent crunch of more than 85 million skilled employees and to an enormous global economic damage of more than \$ 8.450 trillion in the developed countries (see Korn Ferry 2018). The Digitalization has the potential to intercept the global talent crunch by about 50 % due to the substitution of workplaces by intelligent computer systems and robots. Just in the field of the German industrial production and manufacturing, for example, more than two-thirds of all workplaces are expected to be substituted by intelligent systems until the year 2030 (see Dibrani et al. 2018 and PWC 2018). Both megatrends will shape the future of work in the dimensions of work content, organization of working time and workspace design. This leads to the following connected questions: “is the employees’ work stress increasing due to the digitalization of the working world?” and “how do future work systems have to be designed to maintain and to support the employees’ work ability, health and wellbeing?”.

This research work makes a scientific contribution to the age- and stress-based development and assessment of work systems and deals with three joined research questions:

- How can the employees’ individual work ability and their age-related physical changes be mapped within a tool for the design of work systems?
- How can complex work stress compositions and the employees’ successive stress trends be simulated over middle and long-term periods?
- How can the employees’ strain be predicted as a basis for the development and assessment of work systems?

