



**HOCHSCHULE
MITTWEIDA**
University of Applied Sciences

Wissenschaftliche Berichte | Scientific reports

Entwicklung hybrider Arbeitssysteme

Nr. 1, 2023



www.perspektivearbeitlausitz.de

Entwicklung hybrider Arbeitssysteme



Herausgeber:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences

Der Rektor
Prof. Dr. rer. oec. Volker Tolkmitt
Der Prorektor Forschung
Prof. Dr.-Ing. Uwe Mahn

Redaktion dieser Ausgabe:

Hochschule Mittweida | Referat Forschung
University of Applied Sciences

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn

Kontakt:

Hochschule Mittweida
University of Applied Sciences
Referat Forschung
Postfach 1457
D-09644 Mittweida

Tel.: +49 (0) 3727 / 58-1264
forschung@hs-mittweida.de
www.forschung.hs-mittweida.de

ISSN 1437-7624

Erscheinungsweise:

Unregelmäßig

Auflage:

Belegexemplare sowie bestellte Druckexemplare

Druck:

Hochschuldruckerei Hochschule Mittweida

Förderung:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Die Hochschule wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Foto Titelseite: Hochschule Mittweida

Bildnachweise werden direkt am Foto bzw. im jeweiligen Artikel aufgeführt.

Im Scientific Report gelten grammatikalisch maskuline Personenbezeichnungen gleichermaßen für Personen jeglichen Geschlechts.

Die Scientific Reports/Wissenschaftliche Berichte als Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida - University of Applied Sciences lösen die bisherigen Scientific Reports mit allen Volume I-III ab und erscheinen mit Nr.1, 1998 ab November 1998 in neuem Layout und in neuer Zählung.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

SCIENTIFIC REPORTS | WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE

The main aspect of the Scientific Reports is to promote the discussion of modern developments in research and production and to stimulate the interdisciplinary cooperation by information about conferences, workshops, promotion of partnerships and statistical information on annual work of the Hochschule Mittweida (FH) University of Applied Sciences. This issue will be published sporadically. Contributors are requested to present results of current research, transfer activities in the field of technology and applied modern techniques to support the discussion among engineers, mathematicians, experts in material science and technology, business and economy and social work.

Die Scientific Reports der Hochschule Mittweida sind online verfügbar unter:
www.forschung.hs-mittweida.de/veroeffentlichungen/scientific-reports

Eine Veröffentlichung einzelner Beiträge erfolgt entsprechend der Open Access Strategie der Hochschule Mittweida auf dem Hochschulschriftenserver: <https://monami.hs-mittweida.de>

Vorwort

Hybride Arbeitssysteme unterstützen die Mitarbeitenden durch technische Lösungen wie virtuelle Darstellungen und Simulationen, digitale Information und Assistenz, kooperative Robotik oder leicht umrüstbare Arbeitsplätze. Ausführenden Aufgaben wie Fertigung von Teilen, logistische Bereitstellung und Montage bilden derzeit noch den Schwerpunkt innovativer technischer Applikationen. Ganzheitliche Arbeitsaufgaben sollten aber auch Planen, Vorbereiten und Kontrollieren der Arbeit umfassen, so dass diese zukünftig mehr in den Blick kommen.

Die systematische Entwicklung dieser Systeme wurde zunächst für Laborumgebungen des Living Lab „Hybride Arbeitssysteme“ an der Hochschule Mittweida angewendet und geht über in die Bearbeitung industrieller Schwerpunktprojekte, beide im Verbundvorhaben „PerspektiveArbeit Lausitz – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ implementiert. Für weitere Informationen sei Ihnen die Webseite www.pal-lausitz.de empfohlen.

Auch das Verbundprojekt „AuRoToolbox - Automationsbaukasten für flexibel einsetzbare Bauteilhandhabung zur digitalen Inbetriebnahme und digitalem Training“ zeigt diesen systemischen Entwicklungsansatz, hier für die angestrebte eigenständige Inbetriebnahme der Automationskomponenten an spanenden Bestandsmaschinen.

Der vorliegende Scientific Report greift die Aussagen des Workshopdays „Entwicklung hybrider Arbeitssysteme“ am 06. Juni 2023 in Mittweida auf. Er bietet vertiefende Darstellungen sowie zusätzliche Fachaufsätze zu aktuellen Aspekten im Themenbereich wie New Work, Technikstress, intuitives Programmieren oder Transfer. Er regt zur Diskussion und Nachnutzung der Erkenntnisse an.

Allen Beitragenden aus den Verbundvorhaben PAL und AuroToolbox und den Aktiven des Workshopdays sei hiermit herzlich gedankt. Die Vielfalt der beteiligten Firmen, Hochschulen und Netzwerkpartner und



die Spezifik ihrer Beiträge zur Thematik lässt sich leicht erkennen. Die Dynamik des Workshopdays lässt sich schwerer vermitteln. Da freuen wir uns auf weitere Möglichkeiten des Zusammentreffens.

Zunächst aber: Ihnen beim Lesen viel Freude, neue Erkenntnisse und Ermunterung für eigenes Handeln

Leif Goldhahn

Inhaltsverzeichnis

Entwicklung hybrider Arbeitssysteme	1
Leif Goldhahn Hochschule Mittweida, InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft, Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland	
Entwicklungsansatz eines datenbasierten Assistenzsystems zur dynamischen Ergonomiebewertung	6
Katharina Müller-Eppendorfer ¹ , Christina Pietschmann ¹ , Alexander Engelsberger ² , Thomas Davies ² , Leif Goldhahn ¹ 1) Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland 2) Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Professur Computational Intelligence, Mittweida, Deutschland	
Intuitives, nutzerzentriertes Roboter-Teaching am Beispiel des Fertigungsverfahrens Entgraten	11
Ehsan Matour ¹ , Robert Eckardt ¹ , Sebastian Roch ¹ , Leif Goldhahn ¹ , Alexander Winkler ¹ , Petra Hoske ² , Michelle Schlicher ² , Christopher Werner ² , Dirk Ackner ² , Carolin Böhme ³ , Markus Gahrlich ⁴ 1) Hochschule Mittweida, Mittweida; Deutschland 2) Wandelbots GmbH, Dresden, Deutschland 3) ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V., Chemnitz, Deutschland 4) Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH, Calau, Deutschland	
Anwendung von Wearables zur Gefährdungsbeurteilung sowie Arbeitsumfeldbewertung in unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern	18
Torsten Merkel, Gabriele Buruck, Sven Hellbach, Rigo Herold, Tobias Teich, Fabian Dietrich, Sandro Fischer, Daniel Franke, Aaron Freier, Stefanie Liebl, Sebastian Junghans, Toni Junghans, Patrick Nausch, Alina Puhl, Falk Weidenmüller Westfälische Hochschule Zwickau, Deutschland	
Megatrend Gesundheit in Zeiten von New Work	26
Gabriele Buruck Westfälische Hochschule Zwickau, Professur Gesundheitsförderung und Prävention, Deutschland	
Barrierenanalyse bei digitalen Arbeitsmitteln	31
Ulrike Pietrzyk, Michael Gühne Technische Universität Dresden, Fakultät Psychologie, Dresden, Deutschland	
Vorgehensweise zur Implementation von datenbasierten Assistenzsystemen	35
Daniel Gröllich ¹ , Martin Hahmann ² , Gritt Ott ³ , Claudia Graf-Pfohl ⁴ 1) TU Dresden, Professur für Arbeitswissenschaft, Deutschland 2) TU Dresden, Professur für Datenbanken, Deutschland 3) TU Dresden, CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation, Deutschland 4) ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH, Chemnitz, Deutschland	
Technikstress – Analyse, Diagnose, Intervention beim Einsatz von KI	39
Annette Hoppe, Alexander Ezzeldin, Rico Ganßauge, Roberto Kockrow Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie, Cottbus, Deutschland	

Informieren - Übersetzen - Befähigen: Transferarbeit im kooperativen..... 45

Forschungsprojekt PerspektiveArbeit Lausitz

Sylvia Franke-Jordan¹, Sophie Berger¹, Carolin Böhme², Katrin Meusinger³, Claudia Graf-Pfohl⁴,
Jörg Engelmann⁵, Friederike Wittenburg⁶

- 1) Technische Universität Dresden, CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation
- 2) ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.
- 3) Silicon Saxony e.V.
- 4) ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH
- 5) GVFB Gemeinnütziger Verein zur Förderung der beruflichen Bildung e. V. Elsterwerda
- 6) BSW Bildungswerk der sächsischen Wirtschaft gGmbH

**Entwicklung eines flexiblen Automationsbaukastens zur Bauteilhandhabung 51
an Werkzeugmaschinen**

Matthias Hertel¹, Torsten Hildebrand², Leif Goldhahn¹

- 1) Hochschule Mittweida, InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft,
Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland
- 2) ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V., Chemnitz, Deutschland

2. Systematik zur Entwicklung hybrider Arbeitssysteme

Zur systematischen Planung von Arbeitssystemen finden sich grundlegende Vorgehensweisen wie die REFA-Planungssystematik [3, S. 2]. Daneben existieren Methoden, die spezifische Gegenstandsbereiche wie Montage [4, S. 367] oder Materialbereitstellung [5] unterstützen. Außerdem induzieren neue Techniken in der Planung spezifische Vorgehensweisen [6, 7, 8, 9]. Auch die Arbeitsmarktlage, Demographie, neue Fertigungsverfahren, Geräte, Anlagen, Richtlinien, Umweltauflagen, Ressourceneinsparung [10, 11] o. ä. benötigen passende methodische Planung für neue Lösungen und deren Umsetzung.

Im Verbundvorhaben „Perspektive Arbeit Lausitz (PAL) – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ gilt es neue Techniken system- und datenbasierter Assistenz der Menschen im Arbeitsprozess zu entwickeln. In Living Labs der beteiligten Hochschulen werden diese zunächst erarbeitet, mit industriellen Akteuren diskutiert, neue Ideen entwickelt, parallel für Demonstratoren in Unternehmen spezifiziert oder fallweise auch neu erstellt. Daraus entstehen wiederum Innovation Labs, die für andere Unternehmen Umsetzungspotentiale zeigen. So lassen sich zwischen den wissenschaftlich-technischen Erkenntnissen, betrieblichen und gesellschaftlichen Bedarfen sowie befähigenden und nutzenden Unternehmen Brücken bauen. Die Beteiligung betrieblicher Akteure erfolgt frühzeitig im Sinne der Arbeitsforschung.

Die Hochschule Mittweida konzentriert sich dabei auf hybride Arbeitssysteme für Aufgaben der Teilefertigung und Montage. Es entstehen neue Laborversuche. Dabei kommen verstärkt digitale und virtuelle Techniken zur Planung, Bewertung, Programmierung, Simulation, Dokumentation u. ä. zum Einsatz.

Die Lösungen entstehen im Zusammenwirken der drei Professuren Fertigungsautomatisierung, Produktionsinformatik (Institut InnArbeit-Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft) sowie Computational Intelligence und Technomathematik (Institut SICIM - Sächsisches Institut für Computational Intelligence und Machine Learning).

Bedarfe wurden vorrangig im Verbund für die Lausitz analysiert. Die zentrale Versuchsumgebung an der Hochschule wird das Living Lab „Hybride Arbeitssysteme“ sein.

Parallel entstehen in Schwerpunktprojekten der Hochschulen mit jeweils mehreren Verbundpartnern unternehmensspezifische Applikationen. Dies ermöglicht Querverbindungen, Synergien, Transfer und Öffentlichkeitsarbeit.

Außerdem zielt derzeit das ZIM-Netzwerk-Verbundvorhaben „AuRo-Toolbox“ auf einen Automations-Baukasten ab, der die flexible Bauteilhandhabung

an Werkzeugmaschinen und dessen digital unterstützte Fern-Inbetriebnahme durch den Anwender selbst ermöglicht. Eine digitale Prozesskette mit Konfigurations- und Trainingskomponenten realisiert dies auch für Bestandsmaschinen.

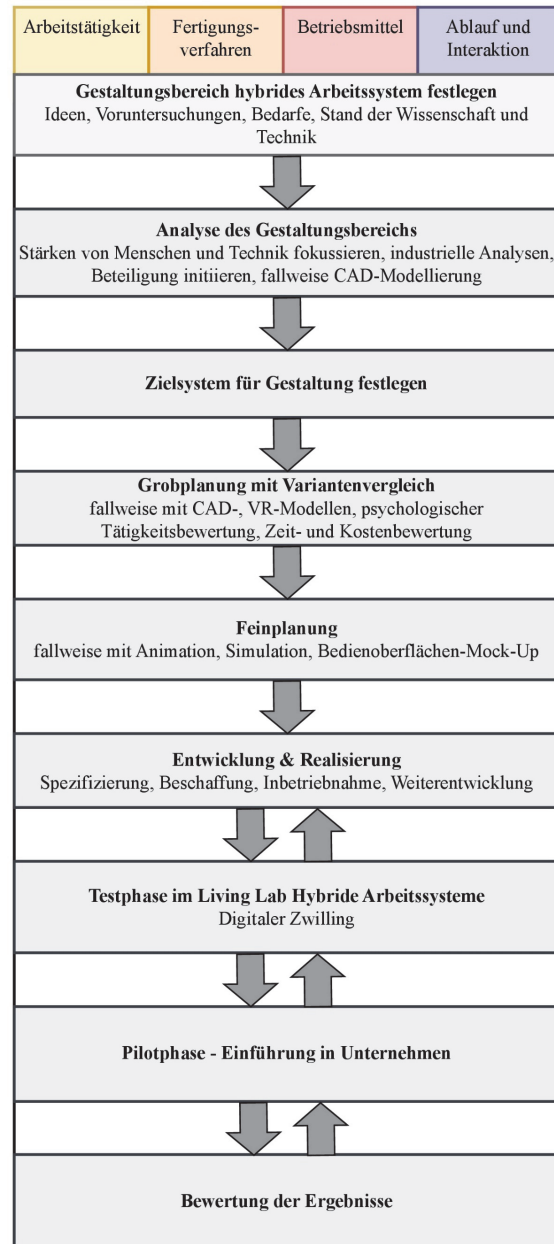


Abbildung 3: Systematik zur grundlegenden Neuentwicklung hybrider Arbeitssysteme an der Schnittstelle Hochschule - Unternehmen

3. Anwendungsbeispiele

3.1. Living Lab Hybride Arbeitssysteme

Überblick

Durch die Einbeziehung vorhandener Labortechnik und die Spezifizierung, Beschaffung und Nutzbarmachung neuer Technik entsteht aktuell das Living Lab „Hybride Arbeitssysteme“ des PAL-Verbundes an der Hochschule Mittweida. Die Anwendungen erstrecken sich auf Teile-

folgenden Abschnitte spezifizieren drei neue Teilbereiche des Labs.

Mobiles Palettenhandling in Trainingsfabrik 4.0

Die bisherige Trainingsfabrik 4.0 bildet mit Hochregallager, Transportsystem, Grundmodul inkl. Bypass (Gurtbandförderer) kollaborativem Roboter, CNC-Drehmaschine, CNC-Fräsmaschine und manuellem Arbeitsplatz ein hybrid gestaltetes, Flexibles Fertigungssystem. Über ein palettengestütztes Handlingssystem soll z. B. der Transport verschiedener Rohteile von der Sägemaschine erfolgen. Dafür wurde eine Erweiterung der Trainingsfabrik durch ein selbstfahrendes System, den Robotino, und als Schnittstelle zum Fertigungssystem, ein Modul Weiche, vorgenommen.

Die Abbildung 4 zeigt links die graphische Oberfläche zum Scannen der Fabrikumgebung, Anlegen von Stationen und Wegen, Zuordnen von Ressourcen (z. B. Modul Weiche). Im rechten Bild fährt eine Palette vom Modul Weiche auf den Robotino, der dann automatisch zur Sägemaschine navigiert. Hindernissen weicht das Gerät selbstständig aus oder bleibt notfalls stehen. Ein sicherer Betrieb im Zusammenwirken mit Menschen an anderen Maschinen wird ermöglicht.

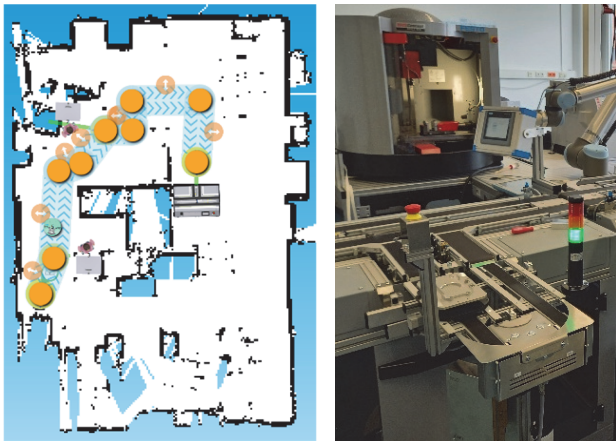


Abbildung 4: Layout Trainingsfabrik 4.0 mit Stationen und Wegen für Robotino (li.), Robotino an Station Weiche (re.)

Adaptives, flexibles Montagesystem

Im Montagelabor existierte lange Zeit ein SPS-gesteuertes, manuelles Montagesystem mit 4 Stationen, Palettenumlauf und multimedialen Arbeitsinformationen. Diese Systeme eignen sich hervorragend für die Großserien- und Massenfertigung. Planung, Einrichtung, Betrieb von Montageanlagen sowie Ergonomie- und Zeitstudien ließen sich daran gut lernen. Weiterhin entstand ein Einzelarbeitsplatz mit alternativen Material-Bereitstellungsvarianten und Zusatzausstattung für ältere Menschen, vorrangig genutzt für Forschungszwecke (12, 13, 14).

Ein adaptives, flexibel nutzbares Montagesystem würde demgegenüber auch bei kleineren Stückzahlen, wechselnden Produkten und kurzfristig geänderten Bedarfen aktuellen industriellen Anforderungen entsprechen. Das neuartige Konzept sieht deshalb eine neue

Laborumgebung mit drei flexibel anorden- und kombinierbare Montagearbeitsplätzen und jeweils unterschiedlich realisierbaren Materialbereitstellungsmöglichkeiten vor. Alle Komponenten lassen sich per Rollenverfahren und neu kombinieren, z. B. heute für drei verschiedene Einzelplatzmontagen und morgen als Reihenmontage für eine höhere Bedarfsmenge. Eine teilbare Rollenbahn mit Rückführung ermöglicht auf einfache Weise (schwerkraftgetrieben) die Behälterweitergabe. Für die Ausgestaltung des Living Labs werden an diesen Arbeitsplätzen Tablet-PCs und verschiedene Sensoren angebracht, um Daten für die datenbasierte Assistenz aufzunehmen und im Ergebnis den Montagemitarbeitenden Informationen und Tipps zur eigenen Körperhaltung (Ergonomie), zu Prozessabläufen (Anzeige des nächsten Prozessschrittes) oder zur Objekterkennung (Bauteile liegen z. B. in falschen Behältern) übermitteln zu können.

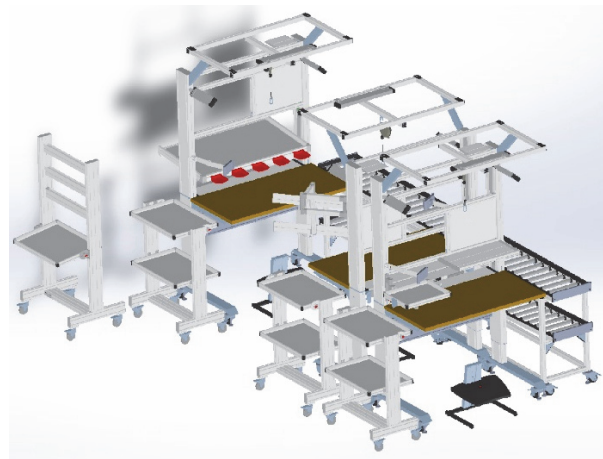


Abbildung 5: Spezifizierte Montagestationen, Bereitstellerequipment und Rollenbahn als CAD-Modell

Mobile Robotik für Bauteilhandling

Ein Fahrerloses Transportsystem (FTS), das sich autonom seinen Weg sucht. Ein Roboter ohne Schutzumhüllung, der mit dem arbeitenden Menschen kooperiert [15] — geht das? Lässt sich das auch kombinieren? Was ist mit der Sicherheit? Kann das System beim Ausstrecken des Roboterarms kippen? Lassen sich auch Fertigungsoperationen ausführen? Kommt das System per Aufzug in die zweite Etage?

Diese Fragen stehen derzeit zur Beantwortung, um logistische Aufgaben mit Handhabungsaufgaben und Montage zu verknüpfen, einfaches und sicheres Zusammenwirken von Menschen und Technik zu erreichen, möglichst auf Programmierung zu verzichten und hochflexible Automation zu ermöglichen.

Für das Handling von Bauteilen in und zwischen den Laboren Trainingsfabrik 4.0 und Robotik entsteht derzeit eine speziell entwickelte Kombination der sonst nur autark erhältlichen FTS- und kollaborativen Robotersysteme als mobiler Roboter. Auch im Maßstab internationaler Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden derartige Technologien derzeit verfolgt [16].



Abbildung 6: Einrichten des mobilen Roboters in der Software MobilePlanner

3.2. Schwerpunktprojekte in PAL

Die zehn Schwerpunktprojekte (SPP) im Verbund PerspektiveArbeit Lausitz entstanden aus den Anforderungen der beteiligten Unternehmen. Diese entwickeln gemeinsam mit den Forschungs- und Netzwerkpartnern neue arbeitsgestalterische Lösungen und demonstrieren diese nachfolgend für weitere potenzielle Anwenderbetriebe und interessierte Bevölkerungsgruppen. Die Bearbeitung erfolgt teilweise dynamisch. Die Hochschule Mittweida bearbeitet federführend drei Schwerpunktprojekte:

SPP 1: Gestaltung und Bewertung ergonomischer hybrider Arbeitssysteme mittels interpretierbarer KI-Modelle am Beispiel der Entwicklung eines Montagearbeitsplatzes der Elektronikbranche

SPP 2: Gestaltung mobiler Arbeit bei der Montage und Instandhaltung von Photovoltaikanlagen mit digitaler Fernunterstützung

SPP 3: Intuitives, nutzerzentriertes Roboter-Teaching in differierenden Systemen der Fertigung unter FTS-Einbindung und Applikation sensorischer Daten.

3.3. Automatische Bauteilhandhabung mit AuRo-Toolbox

Die Entwicklung eines Automationsbaukastens für die flexibel einsetzbare Bauteilhandhabung an Werkzeugmaschinen bildet die innovative Basis für die angestrebte digital unterstützte Fern-Inbetriebnahme und das dazugehörige Training. Im Verbund mit einem Maschinenbau-Institut der industrienahen Forschung und drei Industrieunternehmen entstehen Demonstratoren, die gerade auch für Bestandsmaschinen eine

nachträgliche Automation ermöglichen soll. Eine digital aufgebaute Prozesskette liefert Daten für die Inbetriebnahme- und Trainingsumgebung. Als Aufgaben bleiben das Detektieren potenzieller technischer Herausforderungen und Risiken, die algorithmische oder grafische Aufbereitung von Gegenstrategien und Teillösungen sowie das Ableiten aussagekräftiger Anleitungen für einen möglichst selbstständigen Aufbau des Systems durch die Kunden.

4. Fazit und Ausblick

Der Beitrag zeigt die Notwendigkeit systematischer Vorgehensweisen zur Entwicklung hybrider Arbeitssysteme für Teilefertigung, Montage, innerbetrieblichen Transport und Handhabung. Mensch und Technik bilden Teile des REFA-Arbeitssystems, wobei hybride Lösungen nicht nur für ausführende Teilaufgaben, sondern verstärkt auch für planende, vorbereitende und prüfende Tätigkeiten in den Blick kommen.

Auf der Basis der Erfahrungen des Instituts InnArbeit und seiner Forschungspartner wird eine Methodik zur grundlegenden Neuentwicklung derartiger sozio-technischer Systeme an der Schnittstelle Hochschule - Unternehmen vorgestellt.

Anwendungsbeispiele liefern das neu aufgebaute Living Lab Hybride Arbeitssysteme, die Schwerpunktprojekte im Verbundvorhaben PAL und das zeitgleich laufende Projekt AuRo-Toolbox. In den Zeitschriftenartikeln des Sonderheftes finden sich vertiefende Ausführungen der dazugehörigen Forschungsarbeiten.

Danksagung

Der Autor dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL)“, Förderkennzeichen 02L19C300, außerdem dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger FILINA Innovation + Technik GmbH für die Betreuung des Forschungsprojektes Auro-Toolbox, Förderkennzeichen 16KN091730.

Der Autor dankt den Mitwirkenden im Verbundvorhaben PAL und in der Professur Produktionsinformatik.

Kontakt Daten

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn
goldhahn@hs-mittweida.de
www.inw.hs-mittweida.de/webs/wfq/produktionsinformatik/
www.institute.hs-mittweida.de/webs/innarb/
www.PerspektiveArbeitLausitz.de

Literaturverzeichnis

- [1] Goldhahn, Leif; Müller-Eppendorfer, Katharina; Pietschmann, Christina; Eckardt, Robert: Integration von Künstlicher Intelligenz in das Arbeitssystem-Modell nach REFA. In: Wilms, Andreas; Hirsch, Sören (Hrsg.): 22. Nachwuchswissenschaftler*innenkonferenz (NWK) 11. - 13. Mai 2022. Brandenburg an der Havel: Technische Hochschule Brandenburg, ISSN (online): 2749-5841, doi.org/10.52825/ocp.v2i.138, S. 221 - 225.
- [2] Autorenteam REFA/ REFA-Institut (2019): REFA-Grundausbildung 4.0. Teil 1: Analyse und Gestaltung von Prozessen, 1. Aufl., Darmstadt, REFA-Bundesverband e. V. Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung.
- [3] REFA-Institut (2021): REFA-Grundausbildung 4.0 – Begriffe und Formeln. 1. Aufl., Darmstadt, REFA Fachverband e.V.
- [4] Hartel, Marko; Lotter, Bruno (2012): Planung und Bewertung von Montagesystemen. In: Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 365-388
- [5] Müller-Eppendorfer, Katharina; Goldhahn, Leif: Planung der Materialbereitstellung. Methode und Werkzeuge zur digitalen Planung der Materialbereitstellung. ZWF (ISSN 0947-0085 Jahrg. 115 (2020) 11, doi.org/10.3139/104.112449, S. 818 - S. 823
- [6] Goldhahn, Leif; Raupach, Annett: Methode zur digitalen und virtuellen Modellierung, Bewertung und Verbesserung von Arbeitssystemen. In: GfA – Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme. Dortmund: GfA Press, 2012, S. 507 – 511
- [7] Goldhahn, Leif; Thümer, Christian; Bock, Dorit: Systematisierung und virtuelle Abbildung von interaktiven Bedienvorgängen an automatisierten Sonderanlagen. In: Bullinger-Hoffmann, Angelika C. (Hrsg.): Mensch 2020 - transdisziplinäre Perspektiven. Tagungsband. 07.- 08. Mai 2015. Chemnitz: aw&l Wissenschaft und Praxis, ISBN 978-3-944192-04-8, 2015, S. 221 – 232
- [8] Goldhahn, Leif; Müller-Eppendorfer, Katharina: Integrierte Nutzung von Virtual Reality für die Materialbereitstellungsplanung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. 71(4) <https://doi.org/10.1007/s41449-017-0078-3>, 2017, S. 233 - 241
- [9] Goldhahn, Leif; Roch, Sebastian: AR-gestützte Vorrichtungsplanung für Werkzeugmaschinen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. Bericht zum 68. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 02.-04. März 2022. Sankt Augustin: GfA Press, ISBN 978-3-936804-31-7, 2022, B.9.1. pp. 1-6
- [10] Goldhahn, Leif; Eckardt, Robert: Sustainable process planning of manufacturing variants for high-precision parts. In: Wertheim, Rafi; Ihlefeldt, Steffen; Hochmuth, Carsten; Putz, Matthias (Ed.): 7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting, Procedia CIRP Volume 46, ISSN: 2212-8271, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.127>, p. 344 – 347
- [11] Goldhahn, Leif; Köster, Frank; Wißuwa, Eckardt: Modelle und Qualifizierungskonzepte zur ressourceneffizienten Teilefertigung - MoQuaRT. Nachwuchsforschergruppe. Scientific Reports. Hochschule Mittweida. ISSN 1437-7624, 2021, Nr. 1, doi: 10.48446/opus-12080, S. 1 - 243
- [12] Goldhahn, Leif; Müller-Eppendorfer, Katharina: Holistic Planning of Material Provision for Assembly. In: Bagnara, S. et al. (Eds.): Proceedings of the 20th Congress International Ergonomics Association (IEA 2018), Advances in Intelligent Systems and Computing 825, ISBN: 978-3-319-96067-8, doi: 10.1007/978-3-319-96068-5_29, pp. 258 – 266, 2019
- [13] Goldhahn, Leif; Roch, Sebastian: Einsatzszenarien für Electronic Shelf Label in der Produktion. In: Ökologische Transformation in Technik, Wirtschaft und Gesellschaft? Scientific Reports. 26. Interdisziplinäre Wissenschaftliche Konferenz Mittweida, ISSN 1437-7624, 2021, Nr. 2, doi: 10.48446/opus-12315, S. 76 - 79
- [14] Goldhahn, Leif; Bock, Dorit; Müller-Eppendorfer, Katharina: Virtuelle Lernszenarien für die manuelle Montage: Entwicklung und Validierung einer virtuellen Lernumgebung am Beispiel der Steckdosenmontage. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrg. 117 (2022) 11, <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1145>, pp. 763-767
- [15] Bothe, Kathrin; Winkler, Alexander; Goldhahn, Leif: Effective Use of Lightweight Robots in HumanRobot Workstations with Monitoring Via RGBD –Camera. In: 23rd International Conference on Methods & Models in Automation & Robotics (MMAR) 2018. 27-30 Aug. 2018, Miedzydroje, Poland, doi: 10.1109/MMAR.2018.8486036, 2018, pp. 698 – 702
- [16] Ghodsian, Nooshin; Benfriha, Khaled; Olabi, Adel; Gopinath, Varun; Arnou, Aurelien; el Zant, Chawki; Charrier, Quentin; el Helou, Marwan. (2022). Toward designing an integration architecture for a mobile manipulator in production systems: Industry 4.0. Procedia CIRP. 109. 10.1016/j.procir.2022.05.276

Entwicklungsansatz eines datenbasierten Assistenzsystems zur dynamischen Ergonomiebewertung

Katharina Müller-Eppendorfer¹, Christina Pietschmann¹, Alexander Engelsberger²,
Thomas Davies², Leif Goldhahn¹

¹Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,
Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland

²Hochschule Mittweida, Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften,
Professur Computational Intelligence, Mittweida, Deutschland

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) - Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ wird ein datenbasiertes Assistenzsystem zur Ergonomiebewertung entwickelt. Hohe Produktvarianz und flexibel wechselnde Arbeitsaufgaben fordern die Mitarbeitenden der Montage immer stärker heraus. Der Digitale Wandel bietet Möglichkeiten, die Menschen bei ihren Tätigkeiten zu unterstützen und somit dem Fachkräftemangel und der demographischen Entwicklung entgegenzuwirken. Durch Analyse und Bewertung ergonomischer Aspekte der Arbeitstätigkeit und ein Echtzeit-Feedback zur Körperhaltung soll der Mensch bei seinen Tätigkeiten entlastet werden. Hierbei kommen auch Methoden und Techniken der Künstlichen Intelligenz (KI) zum Tragen. Die Attraktivität der Arbeit wird gesteigert und die Arbeitsfähigkeit der Arbeitenden bleibt länger erhalten. Der Beitrag zeigt den Ansatz für diese dynamische Ergonomiebewertung und stellt den Einsatz und die Kombination der Hardware sowie die Anforderungsspezifikationen und die geplante Softwarearchitektur vor.

1. Einleitung

Hohe Produktvarianz, wandlungsfähige Arbeitsaufgaben und -inhalte sowie der digitale Wandel zeichnen die heutige Arbeitswelt aus [5]. Ebenfalls sind der Strukturwandel, alternde Belegschaften und der Fachkräftemangel als Herausforderung bei der Erstellung technischer Hilfsmittel zu berücksichtigen. Mittels datenbasierter Assistenzsysteme (basierend auf Algorithmen, Datenanalysen, Datenauswertung und Visualisierung) sollen die Anforderungen menschengerechter Arbeitsgestaltung, speziell im Bereich der Montage, Unterstützung finden und Stress und Belastungen der Mitarbeitenden reduzieren [2]. Im Beitrag werden speziell die Ziele der unternehmensspezifischen Einführung eines datenbasierten Assistenzsystems, die Vorgehenssystematik zur Erstellung datenbasierter Assistenzsysteme, die Auswahl und der Test der Hardware sowie der softwaretechnische Ansatz beschrieben.

2. Grundlagen und Ziel

2.1. Reihenfolge

Im Rahmen des Projektes PAL werden aktuelle Fragen zu datenbasierten Assistenzsystemen, Strukturwandel, menschengerechter Arbeit sowie Wettbewerbsfähigkeit beantwortet. Mit Partnerunternehmen werden spezielle Problemstellungen in verschiedenen Schwerpunktprojekten bearbeitet und dafür themenspezifische Strategien entwickelt und perspektivisch die Einführung bei den Partnern erarbeitet.

2.2 Unternehmensspezifische Ziele

Das Partnerunternehmen des ersten Schwerpunktprojektes ist ein Elektronikdienstleister, welcher sich auf die Montage von Leiterplatten und Geräten spezialisiert hat. Für den digitalen Wandel und die Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Mitarbeitenden soll ein datenbasiertes Assistenzsystem entwickelt werden. Dies hat maßgeblich folgendes Zielsystem. Echtzeit-Feedback an den Mitarbeitenden in den Bereichen:

- Ergonomische Haltung (per Ampel) inkl. zusätzlicher Empfehlungen für Verbesserungen der Haltung
- Perspektivisch Müdigkeitserkennung inkl. Empfehlungen für Arbeitsunterbrechung bzw. Wechsel der Arbeitstätigkeit

Im späteren Projektverlauf soll über eine anonymisierte Auswertungsmöglichkeit der Produktnummer auch ein Rückschluss auf die Produktionsergonomie und damit einhergehend auf Änderungen im Arbeitsablauf genommen werden. Dies muss produktbezogen, aber mitarbeiteranonym passieren.

Diese Ziele stellen wesentliche Rahmenbedingungen bei der Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems dar und werden zwingend bei der Erstellung der Softwarearchitektur berücksichtigt.

2.3. Systematik

Um die genannten Ziele zu erreichen und die eingangs genannten Herausforderungen zu bewältigen, ist es

notwendig nach einem systematischen Vorgehen zu handeln (Abbildung 1).

Grundsätzlich wird der klassische, regelbasierte Ansatz zur ergonomischen Bewertung genutzt, der auf bekannten arbeitswissenschaftlichen Regeln, Algorithmen und Normen basiert. Diesen Ansatz soll ein lernendes System ergänzen.

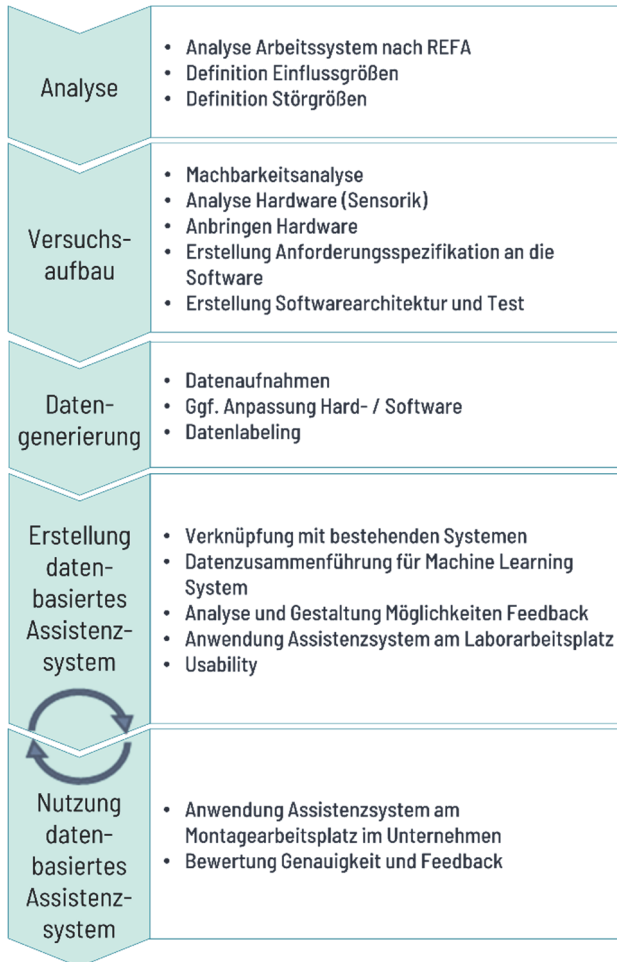


Abbildung 1: Vorgehenssystematik zur Erstellung eines datenbasierten Assistenzsystems (in Anlehnung an [3])

Zur Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems werden fünf Entwicklungsschritte (Analyse, Versuchsaufbau, Erstellung datenbasiertes Assistenzsystem, Nutzung) durchlaufen.

Aktuell befindet sich das Schwerpunktprojekt in der zweiten Phase. Es erfolgen parallel die Definition der Anforderungen an die Software, das Anbringen der Hardware, sowie die Erstellung der Softwarearchitektur. Datenaufnahmen und das Labeln der Daten sind im nächsten Schritt geplant.

3. Hardwaretechnik

3.1 Herangehensweise

Folgende Punkte werden bei den grundlegenden Überlegung zur Hardware berücksichtigt:

- Datenschutz,

- Datenspeicherung,
- Bildauflösung und -wiederholffrequenz,
- KI-Strategie [6] und
- Untersuchung von Edge Hardware (zur lokalen, netzwerklosen Anwendung)

Die Hardware setzt sich aus zwei Entwicklungsgegenständen zusammen. Zum einen die Wahl der passenden **Hardwarekomponenten**, zum anderen die Entwicklung der **Schnittstellen zum Softwaresystem** (Kommunikation zwischen Hardware und Softwaresystem).

3.2 Hardware Versuche

Die Hardwareentwicklung findet in mehreren Versuchen statt, die auf die verschiedenen Schwerpunkte angepasst sind.

Im **ersten Versuchsaufbau** wird jeder Typ Hardware (Vgl. Abbildung 2) einmal aufgebaut. Ziel ist der Test der Software auf Stabilität und Hardwarekompatibilität.

Der **zweite Aufbau** repräsentiert die vollständige Hardware ohne Positionierung an einem Arbeitsplatz. Dies ermöglicht das Testen auf Engpässe / Barrieren / Beeinträchtigungen in der Datenübertragung sowie die Entwicklung der Werkzeuge zur Verwaltung von Software und Modell-Versionen. Als Ergebnis dieses Schrittes sind die Hardwarekonfiguration und das Software-system (Vgl. Absatz 4) prototypisch vollständig vorhanden.

Im **dritten Versuch**, dem Laborversuch am Montagearbeitsplatz, werden Sensorpositionierungen getestet und Daten für das KI-Training gesammelt.

Dieser Laborarbeitsplatz wird mit einem weiteren Arbeitsplatz in einer Partnerfirma validiert und bei Bedarf adaptiert. Hier werden Laborannahmen geprüft, komplexere Montageprozesse getestet und weitere Daten gesammelt.

3.3 Prototypische Umsetzung

Der Hardwareprototyp setzt sich aus unterschiedlichen Komponenten zusammen, die verschiedene potenzielle Stärken von Edge Hardware hervorheben. Die Stärken sind:

- günstige Kamera-Hardware,
- günstige, energieeffiziente KI-Hardware,
- energieeffiziente Logikhardware und
- flexible Installation aufgrund vieler kleiner Komponenten.

Die Komponenten basieren auf marktüblichen Single Board Computern (SBC), also vollständigen Computern, die auf einer 9cm x 6cm großen Platine untergebracht sind.

Führend ist dabei der Raspberry Pi der Firma Raspberry Pi Foundation. Aufgrund seiner hohen Kompatibilität bei Hardware und Software kommt dieser auch bei den

Prototypen, hier in der Version 4B zum Einsatz. Die Videoaufnahmen werden mit der als Zubehör erhältlichen High-Quality-Kamera erstellt.

Für die vorgesehenen KI-Funktionen wird der auf diese Anwendung spezialisierte Prozessor der Firma Coral.ai eingesetzt. Dieser ist ebenfalls als SBC verfügbar, kann aber auch als USB-Erweiterung einen Raspberry Pi nachrüsten.

Speicherung und Logik werden von einem Odroid M1 der Firma Hardkernel übernommen. Dieser verfügt über ein schnelles Speicherinterface zur Aufzeichnung der Daten. Zudem verfügt das verbaute System on a chip (SoC) eine auf Neuronale Netze spezialisierte Neural Processing Unit (NPU) deren Fähigkeiten ebenfalls untersucht werden soll, da ähnliche Einheiten in modernen Smartphones verbaut sind.

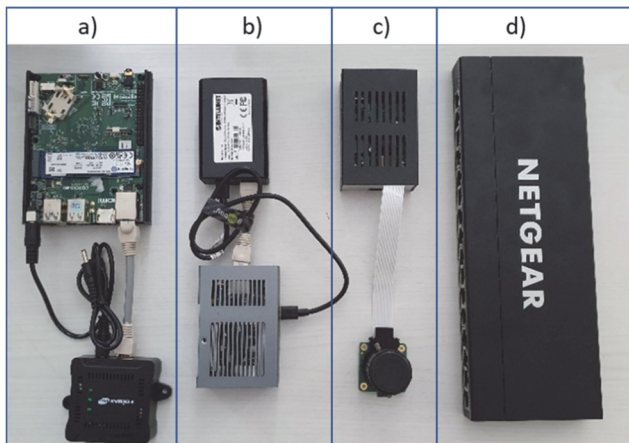


Abbildung 2: Abbildung 2: Komponenten der Hardware
a) Odroid M1 **b)** Coral Dev Board **c)** Rasperry Pi 4B mit High-Quality Kamera **d)** Switch zur Netzwerk- und Stromversorgung

Bei der Umsetzung als Produkt könnten die Komponenten durch individuelle und spezialisierte Hardwarelösungen ersetzt werden. Kosten durch evtl. überflüssige Komponenten würden wegfallen. Dadurch sinkt die Softwarekomplexität, was ebenfalls zu verbesserter Stabilität, Effizienz und Leistung führt.

4. Softwaretechnischer Ansatz

4.1 Vorbereitung und Anforderungsspezifikation

Für den Betrieb und die Anwendung des „Assistenzsystems“ wird eine Software entwickelt. Die Software ist dabei die Schnittstelle zwischen der Hardware und den Anwendern. Als Grundlage zum Entwicklungsprozess werden nach softwaretechnischen Prinzipien zunächst Anforderungsspezifikationen entwickelt. Dafür wird ein Lastenheft erstellt, welches aus Sicht des Auftraggebers (hier: die Arbeitsforschung) Lieferungen und Leistungen beschreibt, die das zu entwickelnde Produkt definieren [1, S.447]. Hierbei sind die am Projekt beteiligten Organisationen die Auftraggeber. Das Lastenheft dient für gewöhnlich als Ausschreibungs- oder auch Angebotsgrundlage. In diesem Projekt wird die Software inner-

halb der Hochschule Mittweida entwickelt, wodurch das Lastenheft die Grundlage für das Entwicklungsteam bildet.

Aus dem Lastenheft wird ein Pflichtenheft entwickelt. Das Pflichtenheft ist eine detaillierte Ausarbeitung des Entwicklungsprogramms [1]. Es wird beschrieben mit welchen Entwicklungswerkzeugen und in welcher architektureller Ausgestaltung in Software- und Hardwareform das Produkt tatsächlich entwickelt wird. Die Ausarbeitung geschieht in dem Fall im engen Austausch mit den Auftraggebern. Das Pflichtenheft stellt somit einen Entwicklungsvorschlag dar, der durch die Auftraggeber akzeptiert wird oder zur Überarbeitung wieder zurückgegeben wird. Abbildung 3 stellt die beschriebene Interaktion zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zur Erstellung der Artefakte Lasten- und Pflichtenheft dar.

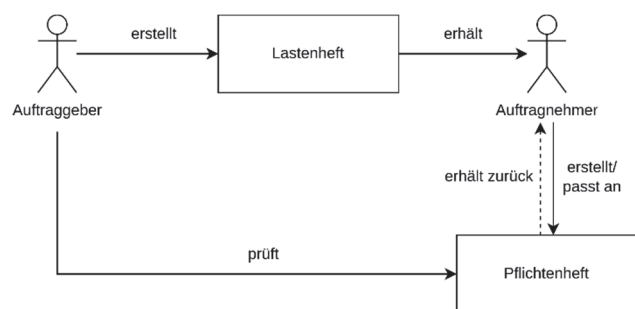


Abbildung 3: Dynamik zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zur Erstellung der Artefakte Lasten- und Pflichtenheft

Im Lastenheft werden dabei für die Entwicklung wichtige Kriterien definiert. Diese Kriterien werden nach bestimmten Maßgaben in der Formulierung und Form entwickelt [1]. In Kapiteln gegliedert werden grobe Fragen wie allgemeine Zielstellung, Nutzergruppen/Zielgruppen, Zielsystem und Betriebsform etc. geklärt und zunehmend weiter konkretisiert, wodurch begleitend durch die Struktur dieser Artefakte ein zunehmender Detailgrad entsteht. Das Herzstück für die Entwicklungsarbeit bilden die nichtfunktionalen und funktionalen Anforderungen. Nichtfunktionale Anforderungen können als Qualitätsanforderungen verstanden werden, die qualitative oder auch quantitative Anforderungen des gesamten Softwaresystems oder in einer seiner Bestandteile formulieren. Funktionale Anforderungen hingegen beschreiben, wie ein System sich konkret verhalten soll. Hier werden konkret Funktionen beschrieben, die das System leisten soll. Zuletzt folgen noch Qualitätsmerkmale und Abnahmekriterien. Das Pflichtenheft wird nach den oben beschriebenen Anforderungen in Form einer technischen Spezifikation erzeugt.

4.2 Entwurf der Softwarearchitektur

Das Softwaresystem ist in drei Bestandteile (Labelingsoftware, Anwendersoftware, Feedbackkomponente) gegliedert. Die erste Komponente ist die **Labelingsoftware**. Diese dient zur Zuweisung von Bezeichnern (auch als Label bekannt) an aufgenommenem Bildmaterial

zum Betrieb von maschinellen Lernalgorithmen. Im maschinellen Lernprozess wird ein Lernalgorithmus trainiert, dem aufgenommenen Bildmaterial die korrekten Bezeichner wieder zuzuordnen. Ebenfalls wird dieser Teil der Software zur Entwicklung eines Kalibrierungssystems für die Assistenz des ergonomischen Arbeitens verwendet. Als zweite Komponente wird die **Anwendersoftware** entwickelt. Diese ist die Schnittstelle zwischen dem Hardwaresystem und dem Anwender, der gewonnene Daten verarbeiten will. Zuletzt gibt es noch die **Feedbackkomponente**, die als Dienst dem Mitarbeitenden Feedback zum Arbeitsprozess gibt. In der Ausgestaltung der Softwarebestandteile werden die Bestandteile eines wissensbasierten Systems berücksichtigt [4]. Die Abbildung 4 veranschaulicht das Softwaresystem.

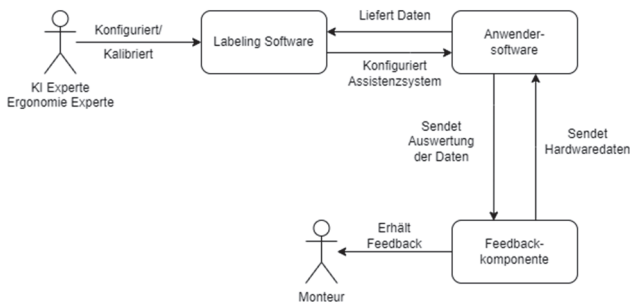


Abbildung 4: Softwaresystem

Die Entwicklung der Software erfolgt in verschiedenen Stufen. In der ersten Stufe wird das ergonomische Assistenzsystem entwickelt. Da dieses eine essenzielle Grundlage für alle weiteren Funktionen darstellt, ist es sinnvoll dafür einen einsatzfähigen Prototyp zu entwickeln.

In den weiteren Entwicklungsstufen folgen voraussichtlich die Erkennung von Bauteilen und Abläufen der Montage und eine Müdigkeitserkennung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag stellt die Vorgehenssystematik zum Etablieren technischer Unterstützungsmöglichkeiten mit Fokus auf Hard- und Software für Mitarbeitende im Bereich der manuellen Montage vor.

Dieses Assistenzsystem soll den Mitarbeitenden Feedback zu ergonomischen Aspekten geben. Dieses Feedback soll in angemessener Form und ohne Störung des Arbeitsprozesses erfolgen. Hierfür werden gegenwärtig Regel-, Hardware- und Softwareoptionen geprüft. Durch

Literaturverzeichnis

- [1] Balzert, Helmut (2009): Basiskonzepte und requirements engineering, Lehrbücher der Informatik, 3. Aufl., Heidelberg: 1. Spektrum Akademischer Verlag.
- [2] Bayer, Christian Peter (2022): Methodik zur datenbasierten Unterstützung der Arbeitsvorbereitung beim Anlegen neuer Produktvarianten in digitalen Assistenzsystemen, Dissertation, Darmstadt, Technische Universität: TUprints. DOI: 10.26083.
- [3] Goldhahn, Leif; Pietschmann, Christina; Müller-Eppendorfer Katharina (2023). Systematik datenbasierter Assistenzsysteme im Bereich dynamischer Ergonomiegestaltung für Montagearbeitsplätze. In GfA 69. Frühjahrskongress 2023 Nachhaltig Arbeiten und Lernen. Sankt Augustin: GfA-Press, A.2.1.

das System sollen drohende Gefahren erkannt und/oder abgewendet, ungünstige ergonomische Bewegungen oder Haltungen vermieden und stabile und sichere Arbeitsprozesse ermöglicht werden.

Hierbei sind grundsätzlich auch ein früher Fokus auf den Datenschutz und die möglichst hohe Akzeptanz durch die Mitarbeitenden wichtige und brisante Themen, die derzeit bearbeitet werden.

Im weiteren Verlauf des Projektes ist geplant zu testen, ob das datenbasiertes Assistenzsystem bezüglich der Prozessverfolgung mittels Objekterkennung im Arbeitsablauf anpassbar und erweiterbar ist. Auch das Erkennen von unerwarteten Ereignissen im Arbeitsverlauf wird derzeit diskutiert.

Weiterhin ist eine Überprüfung alternativer Kamerasysteme und Algorithmen zur Erfassung und Bewertung ergonomischer Faktoren und ein Variantenvergleich der verschiedenen Systeme geplant.

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“, Förderkennzeichen 02L19C300.



Kontaktdaten

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn

Hochschule Mittweida Leiter Institut InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft

Koordinator Verbundvorhaben PAL

Goldhahn@hs-mittweida.de



- [4] Kaiser, Michael (2008): Mehrkriterielle Adaption multimedialer Prozessbeschreibungen für den Fabrikbetrieb mittels wissensbasierter Planungssysteme, Dissertation, Chemnitz, Technische Universität: Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, 68. IBF.
- [5] Neitzner, Ina (2021): IFA - Fachinformationen: Arbeiten 4.0. Neue Herausforderungen für die Prävention, [online] <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeiten-4.0/index.jsp> [01.06.2023].
- [6] Villmann, Thomas; Tolkmitt, Volker; Baumgart, Matthias (2022). KI-Strategie der Hochschule Mittweida, Ludwig Hilmer (Hrsg.), [online] https://www.forschung.hs-mittweida.de/index.php?eID=tx_naw-securedl&u=0&g=0&t=1685763791&hash=d2849991cf10ee4f167724822d49ad64512abb68&file=fileadmin/verzeichnisfreigaben/forschng/dokumente/KI_Strategie_HSMW_2021_netz.pdf [01.06.2023].

Intuitives, nutzerzentriertes Roboter-Teaching am Beispiel des Fertigungsverfahrens Entgraten

Ehsan Matour¹, Robert Eckardt¹, Sebastian Roch¹, Leif Goldhahn¹, Alexander Winkler¹, Petra Hoske², Michelle Schlicher², Christopher Werner², Dirk Ackner², Carolin Böhme³, Markus Gahrlich⁴

¹) Hochschule Mittweida, Mittweida; Deutschland

²) Wandelbots GmbH, Dresden, Deutschland

³) ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V., Chemnitz, Deutschland

⁴) Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH, Calau, Deutschland

Kurzfassung

Hilfsmittel zur Entlastung der Menschen, welche täglich monotone Tätigkeiten in spanenden Fertigungssystemen durchführen, werden aus Sicht der menschengerechten Arbeitsgestaltung, fehlender Arbeitskräfte und hoher Lohnkosten vor allem in den Strukturwandelregionen, welche vom Braunkohleausstieg betroffen sind, immer wichtiger. Aufgaben wie das Handentgraten, als monotone Tätigkeit mit Gefährdungspotential, führen häufig zu Fehlern an den Produkten. Kleine Losgrößen (im betrachteten Unternehmen zwischen 20 und 100 Stück) lassen den unterstützenden oder auch ablösenden Einsatz von Industrierobotern zur Durchführung solcher Tätigkeiten bisher unwirtschaftlich erscheinen. Auch die kognitive und motorische Anpassungsfähigkeit des Menschen an unterschiedliche Entgrataufgaben konnte bisher nicht zufriedenstellend auf Roboter adaptiert werden. Daher ist die Entwicklung von effizienten und intuitiven Einlernprozessen von Robotern auf variierende Bauteile durch den Menschen notwendig. Der Beitrag befasst sich mit dem intuitiven, nutzerzentrierten Roboter-Teaching am Beispiel des Fertigungsverfahrens Entgraten für ein KMU aus der Lausitz.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat der Einsatz von kollaborativen Leichtbaurobotern zugenommen. Im Vergleich zu traditionellen Industrierobotern liegt hier das Verhältnis von Handhabungsmasse zu Eigenmasse näher bei 1:1 als bei 1:10. Kollaborative Roboter, auch bekannt als Cobots, werden aufgrund ihrer Fähigkeit, sicher mit Menschen und der Umgebung zu interagieren, zunehmend eingesetzt [1]. Diese Roboter ermöglichen die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine, da sie über eine sichere Leistungs- und Kraftbegrenzung verfügen. Ausgestattet mit weiteren Sensoren, wie z. B. Kameras und Laserscannern können sie zudem mögliche Kollisionen mit Menschen erkennen und vermeiden. Die Anzahl der Installationen von Industrierobotern hat sich in den vergangenen Jahren erheblich gesteigert.

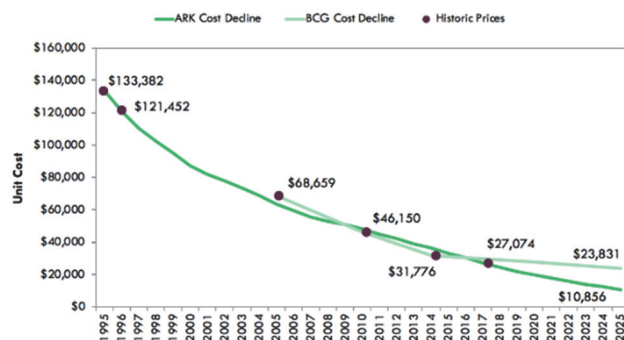


Abbildung 1: Kostentwicklung Industrieroboter [2]

Nach wie vor stellen die hohen Anschaffungskosten (siehe Abbildung 1) und teils sehr komplexe Programmierung die größten Eintrittsbarreren für Unternehmen dar [2].

Kollaborative Roboter sind aufgrund ihrer integrierten Schutzeinrichtungen einfacher einzurichten und zu betreiben, was sie für kleinere Unternehmen und Anwender mit begrenzten Ressourcen zugänglicher macht [3]. Ihre Flexibilität und Anpassungsfähigkeit treiben auch ihre Akzeptanz voran, da sie leicht umprogrammiert und neu konfiguriert werden können, um unterschiedliche Aufgaben auszuführen. Dadurch sind sie vielseitiger als traditionelle Industrieroboter, die in der Regel für spezifische Anwendungen eingesetzt werden.

Arbeitswissenschaftliche Analysen bieten die Möglichkeit Arbeitstätigkeiten zu strukturieren sowie menschliches Handeln und entsprechend vorhandenes Wissen besser zu verstehen und zu nutzen. Mit Hilfe einer datenbasierten Modellierung kann dieses Wissen als Grundlage intuitiver nutzerzentrierter Technologien dienen. Dazu sind Daten aus den realen Prozessen, über die Umwelt und zum Umgang der Nutzer mit intuitiven Technologien erforderlich. Datenbasierte Assistenzsysteme, welche auf Basis dieser Daten entwickelt werden, können den Menschen in hybriden Arbeitssystemen ergonomisch und effektiv unterstützen [4].

Das Thema des intuitiven, nutzerzentrierten Roboter-Teachings am Beispiel des Fertigungsverfahrens

Handentgraten ordnet sich in das Schwerpunktprojekt 3 des Verbundvorhabens PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) sein.

2. Ausgangssituation

Die Firma Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH ist im Sonderschaltschrankbau tätig. Hierbei werden kundenspezifische Lösungen gefertigt und keine eigenen Serienprodukte. Die Fertigung ist daher im Vergleich zu Großserienproduktionen wenig automatisiert. Die Arbeitsplätze müssen daher regelmäßig modifiziert werden, um sich auf das jeweilige Produkt anzupassen. Die durchschnittliche Losgröße in der Fertigung bewegt sich zwischen 20 und 100 Stück, im Mittel 45 Stück pro Fertigungslos. Es handelt sich dann jedoch um Wiederholteile, welche über mehrere Jahre regelmäßig gefertigt werden. Automatisierungen in den einzelnen Fertigungsprozessen können durch die Wiederholfertigung auch bei kleinen Losgrößen lohnenswert sein.

Die Produkte werden zu 90% aus Dünnsblech, im Bereich zwischen 1,0 bis 3,0 mm gefertigt. Es werden hierbei nur wenige Halbzeuge verarbeitet, sondern fast ausschließlich Blechplatinen. Der Materialmix besteht aus ca. 88% kaltgewalztem Stahlblech DC01 (1.0330), 10% X5CrNi18-10 (1.4301) und 2% AlMg3 (3.3535)

Die Zuschnitte werden auf Laser- Stanzmaschinen gefertigt (vgl. Abbildung 2).



Abbildung 2: Laser- Stanzmaschine bei Caleg

Teile, welche nachfolgend fertigungsseitig nicht pulverbeschichtet werden, müssen zusätzlich entgratet werden, um Schnittverletzungen zu verhindern. Bis dato geschieht dieser Entgratprozess durch handgeführte Werkzeuge mit Messer- oder Rollen Klinge, sowie Feilen oder Schleifwerkzeuge (vgl. Abbildung 3).

Diese Arbeit findet größtenteils auf Montageböcken oder einem Drehtisch statt, um Mitarbeitenden eine ergonomische Arbeitshöhe zu bieten. Da diese Arbeit äußerst monoton ist und das Wenden der Teile auch

körperlich anstrengend, ist die Firma Caleg bestrebt dies zukünftig zu automatisieren. Verstärkt wird dieser Fakt durch den anhaltenden Fachkräftemangel, wodurch es zukünftig nicht gelingen wird unattraktive Arbeiten zu besetzen. Durch die geringen Losgrößen und den langwierigen Programmieraufwand schien es bisher nicht möglich Industrieroboter oder Ähnliches einzusetzen. Zudem ist die kognitive und handwerkliche Anpassungsfähigkeit des Menschen bis dato den automatisierten Prozessen überlegen. Des Weiteren müssen auch die Nebentätigkeiten, wie das Entnehmen, Ablegen, Palettieren, Fixieren, Drehen mit betrachtet werden, um eine Automatisierung gewinnbringend einzubinden.



Abbildung 3: Beispiel für manuellen Entgratvorgang

Durch die aktuellen Fortschritte in der Cobot-Programmierung scheint es möglich, dass keine Robotik-Spezialisten benötigt werden, um die Roboteranwendung anzulernen. Anwendungsspezifische Assistenten wie der TracePen der Firma Wandelbots werden Mitarbeitende in der Fertigung unterstützen. Zudem können Cobots auch mit intuitiven „Direct Teaching“ Methoden angeleitet werden. Beides setzt die Hemmschwelle bei der Roboterprogrammierung und auch Vorkenntnisse im Umgang mit diesen herab. Durch diese Vereinfachung hofft die Firma Caleg auch bei geringen Losgrößen Cobot-Systeme wirtschaftlich einsetzen zu können.

3. Technologische Herangehensweise

3.1. Roboterassistiertes Entgraten mittels universellem Hand-Entgratwerkzeug

3.1.1. Komponenten und Systemaufbau roboterassistiertes Handentgraten

Die Versuche an der Hochschule Mittweida zum roboterassistierten Entgraten basieren auf der Substitution eines konventionellen Spindelmotors durch ein universelles Entgratungswerkzeug mit Klinge am Roboterflansch. Das eingesetzte Entgratwerkzeug wird normalerweise

für manuelles Entgraten verwendet. Der Cobot mit Werkzeug ist in Abbildung 4 zu sehen. Der Kopf des Werkzeugs ist drehbar, so dass er bei Bedarf leicht ausgerichtet werden kann. Als zu entgratendes Werkstück wurde ein quadratischer Aluminiumblock verwendet und auf einem Tisch aufgespannt.



Abbildung 4: Prozess des Entgratens mit manuellen Entgratwerkzeug

Die Vorteile dieser Methode liegen darin, dass das Entgratwerkzeug viel wirtschaftlicher ist als ein Spindelmotor, sehr einfach installiert werden kann [5] und kein Schleifstaub entsteht. Bei Verwendung eines Handentgraters entstehen im Vergleich zu klassischen maschinellen Entgratmethoden größere Späne, welche zudem aufgrund der fehlenden Rotationsbewegung in unmittelbarer Nähe zum Werkstück liegen bleiben. Da passive Werkzeuge keine externe Medienversorgung benötigen, wie z. B. Druckluft, sind diese Werkzeugtypen eine günstige Alternative. Darüber hinaus sind sie im Vergleich zu anderen Entgratwerkzeugen aus sicherheitstechnischer Sicht zuverlässiger und stellen geringere Gefahren für den menschlichen Bediener dar, da sie keinen mechanischen oder elektrischen Aktuator haben.

Der Roboter, der im Anwendungsfall verwendet wird, ist ein Cobot des Typs UR3e von Universal Robots. Dieser Ansatz eignet sich z. B. für kleinere Arbeitsplätze an denen außerdem nur geringe Schmutzentwicklung gewünscht ist. Die Roboter vom Typ URxe sind mit einem internen 6-Komponenten Kraft-/ Momentensensor ausgestattet. Dieser macht es der Steuerung möglich, sensorgeführte Bewegungen zu generieren, was zur Kraft-/ Momentregelung führt. Eine gängige Regelstruktur ist dabei die hybride Kraft-/ Lageregelung, bei der die Kontaktkräfte entlang der einzelnen kartesischen Freiheitsgrade eingestellt werden können [6]. Die interne Kraftregelungsschleife wird für die kraftgeregelte Bewegung des Roboters während des Prozesses verwendet. Das UR-Skript, das alle Steuerparameter für das Entgraten enthält, wie z. B. Kraft und Geschwindigkeit des Mani-

pulators, wird über MATLAB einmalig gestartet und anschließend an den Robotercontroller gesendet.

3.1.2 Kraftregelung am Cobot

Die Steuerung des Roboters verfügt über die Funktion des Multithreadings. Der Kraftregler wird dabei parallel zum Hauptprogramm ausgeführt, welches die gewünschte Bewegung des Roboters enthält. Als Bewegungsbefehle stehen *movej*, *movel* und *movec* für Gelenk-, Linear- bzw. Kreisinterpolation zur Verfügung. Zur Implementierung der Kraft-/Momentenregelung wurde der Befehl *force mode* in URScript [7] verwendet.

3.1.3 Versuchsdurchführung

Um ein gleichmäßiges Entgraten des Werkstücks zu erreichen ist es wichtig, während des gesamten Prozesses eine konstante Kraft auf die Kante des Werkstücks aufzubringen. Hierfür sind die korrekten Einstellungen für die Geschwindigkeit des Roboters entlang der Kante die entsprechend aufgewendete Kraft erforderlich. Daher ist es notwendig, zunächst die Auswirkungen von Schnittgeschwindigkeit und Kraft zu untersuchen.

Um die angewandte Kraft während des Entgratungsprozesses in Echtzeit zu messen und aufzuzeichnen, wurde ein externer Kraft-/ Momentensensor (KMS) am Flansch des Roboters montiert. Dieser ist präziser als der interne KMS. Er wird über Ethernet mit einem PC verbunden, um die Messwerte von Kraft und Moment zu erfassen.

Es wurden Experimente mit unterschiedlichen Einstellungen für Kraft und Geschwindigkeit durchgeführt und dabei die auf das Werkstück tatsächlich wirkende Kraft gemessen. So konnten die minimalen und maximalen Grenzwerte für einen optimalen Entgratprozess bestimmt werden.

Die aufgewendete Kraft wurde schrittweise von 1N auf 10N erhöht und für jede Kraft wurde die Geschwindigkeit zwischen 10 mm/s auf 100 mm/s variiert. Anhand der aufgenommenen Kraftkurven konnte festgestellt werden, dass Kräfte von weniger als 5N fast keine Auswirkungen auf das Werkstück hatten. Die Abbildung 5 zeigt, dass eine geregelte Kraft von 7N und eine konstante Geschwindigkeit von 10 mm/s zu einer stabilen Kraftkurve mit weniger Schwingungen führte, was wünschenswert ist.

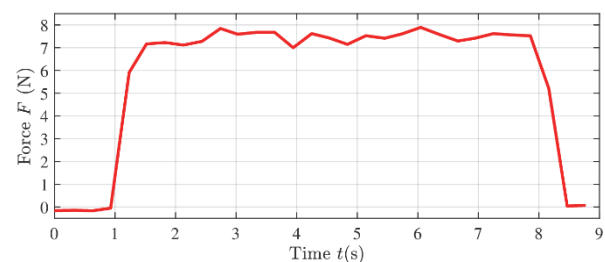


Abbildung 5: Kontaktkraft während des Entgratens mit einem gewünschten Wert von 7 N und konstanter Geschwindigkeit

Eine Erhöhung der Geschwindigkeit kann jedoch Vibrationen im Roboterarm verursachen, was zu einer Verän-

derung der auf das Objekt ausgeübten Kraft führt, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Daher haben sich eine Geschwindigkeit von weniger als 30 mm/s und eine Kraft zwischen 5N und 10N als beste Ergebnisse erwiesen.

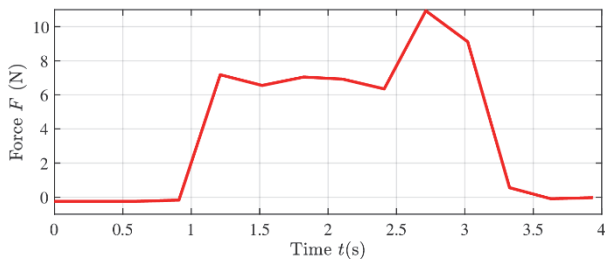


Abbildung 6: Kontaktkraft während des Entgratens mit einem gewünschten Wert von 7N und hoher Geschwindigkeit

3.1.4 Intuitive kraftgeregelter Roboterbewegungen

In diesem Ansatz soll der Roboter per Teach-in-Methode programmiert werden. Die Geometrie des zu entgratenden Objekts ist nicht immer die gleiche und die Programmierung durch diese Methode kann in einigen Fällen zeitaufwendig sein. Das System sollte daher in der Lage sein, schnell programmiert zu werden, um die Kante des Objekts zu identifizieren.

Eine Lösung könnte die Verwendung einer Kamera sein, um die Kante des Objekts auf der Grundlage von Bildverarbeitungsmethoden zu erkennen, gefolgt von der automatischen Generierung einer Robotertrajektorie. Hier bietet sich auch der Einsatz von Augmented Reality (AR) an, da diese einen benutzerfreundlichen und vereinfachten Programmierprozess ermöglicht. An der Hochschule Mittweida wird eine AR-basierte Methode entwickelt, die eine intuitive Bewegungsplanung mit Hilfe eines Head-Mounted Displays (HMD) (Microsoft Hololens 2) ermöglicht. Der Bediener erhält visuelles Feedback der internen Roboterinformationen und kann auf intuitivem Wege einen Pfad für den Roboter definieren. Dieser Pfad kann durch überlagerte Objekte verfolgt werden, was den Programmieraufwand erheblich reduziert.

Die Abbildung 7 zeigt den Roboter und sein virtuelles Modell, die einem generierten Pfad folgen, der auf Wegpunkten basiert, die durch den menschlichen Bediener mittels AR definiert wurden.

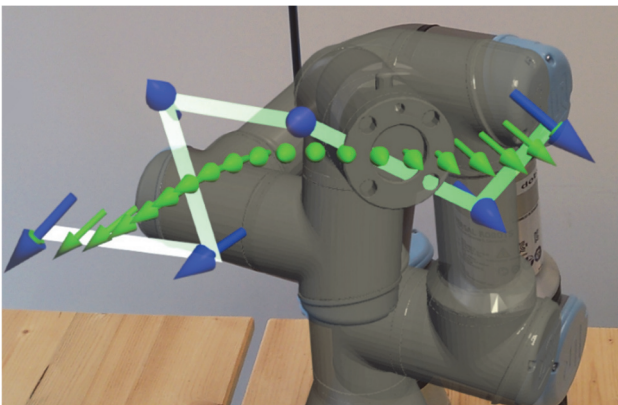


Abbildung 7: Intuitive Roboter-Bewegungsplanung durch AR

3.1.5 Zusammenfassung und Ausblick

Da es sich bei dem in dieser Arbeit verwendeten Roboter um einen kollaborativen Roboter handelt und der Entgratungsprozess mittels einer kraftgesteuerten Bewegung durchgeführt wird, kann die vom Roboter ausgeübte Kraft für härtere Materialien zu gering sein. Das Entgratwerkzeug kann jedoch für eine Vielzahl von anderen Werkstoffen (zum Beispiel Werkstoffe wie 1.0330, 1.4301 oder 3.3535) eingesetzt werden.

Die manuelle Programmierung des Robotersystems ist ein großer Nachteil, was für Objekte mit unterschiedlichen Größen zeitaufwendig sein kann. Eine automatische Bahngenerierung durch eine Kamera oder AR-basierte Ansätze können die Programmierzeit erheblich reduzieren. In diesem Fall lässt sich der Einrichter ein visuelles Feedback über die internen Informationen des Roboters geben, während er die Qualität des entgrateten Werkstücks bewertet, was zu einer Qualitätssicherung in Form des bewerteten Grats (keine Schnittgefahr) führt. Allerdings kann die Verwendung eines HMD bei längerem Tragen mühsam werden [8].

3.2. Robotergestützte Entgraten mittels druckluftbasiertem Entgratwerkzeug

3.2.1. Ausgangssituation

Mehr und mehr Firmen versuchen mit innovativen Ansätzen zumindest die Roboterprogrammierung zu vereinfachen, wie auch die Firma Wandelbots.

Bestehende Software-Anwendungen von Wandelbots ermöglichen es intuitiv mit Robotern zu interagieren und von konkreter Roboter-Hardware unabhängige Automatisierungsanwendungen aufzubauen. Nicht-Roboterexperten können, ganz ohne eine einzige Zeile Code zu schreiben, die Roboter programmieren. Auf diese Weise wurden auch die Entgratversuche von Wandelbots mittels des selbst entwickelten TracePen durchgeführt.

3.2.2. Komponenten und Systemaufbau robotergestütztes, druckluftbasiertes Entgraten

Die Firma Wandelbots testete das CDB-Entgratwerkzeug der Firma Schunk (Abbildung 8 und 9), welches den Anpressdruck wechselbarer Werkzeuge, wie bspw. einer Entgratklinge, mittels Druckluft regelt. Das CDB-Tool wirkt als dämpfendes Element zwischen dem starr verfahrenen Roboter und dem fest eingespannten Werkstück. Die Entgratklinge kann dadurch in radialer und axialer Richtung nachgeben. Wird der Luftdruck (in bar) erhöht, wird mehr Kraft (in N) auf das Werkstück übertragen.

Zum Anlernen von Roboterpfaden nutzte die Firma Wandelbots den selbst entwickelten TracePen als smartes Zeigergerät bzw. Werkzeug-Mockup (Abbildung 10). Damit führen Nutzer die über einen Knickarmroboter zu automatisierenden Arbeitsaufgaben händisch vor (Teaching by Demonstration). Die Bewegungen des TracePens (Pfade der TracePen-Spitze, Ausrichtungen

des TracePens, ggf. Geschwindigkeiten und I/O-Signale) werden erfasst und anschließend in Trajektorien überführt, welche Roboterarme ausführen können. Wandelbots kombiniert dazu Sensordaten mit visueller Programmierung (App), Wissensplattform (Robotik / Fertigung) und KI-Methoden. Inverse kinematische Modelle ermöglichen, Roboterarme im Teaching-Prozess live zu steuern, damit Nutzer Bewegungen und Aktionen im Fertigungsumfeld überprüfen und mit der intuitiven Werkzeugpalette der App nachjustieren können. Softwarealgorithmen erzeugen anschließend fertige Automatisierungsprozesse, die basierend auf den jeweiligen Roboterprotokollen in ausführbare Skripte übersetzt werden.

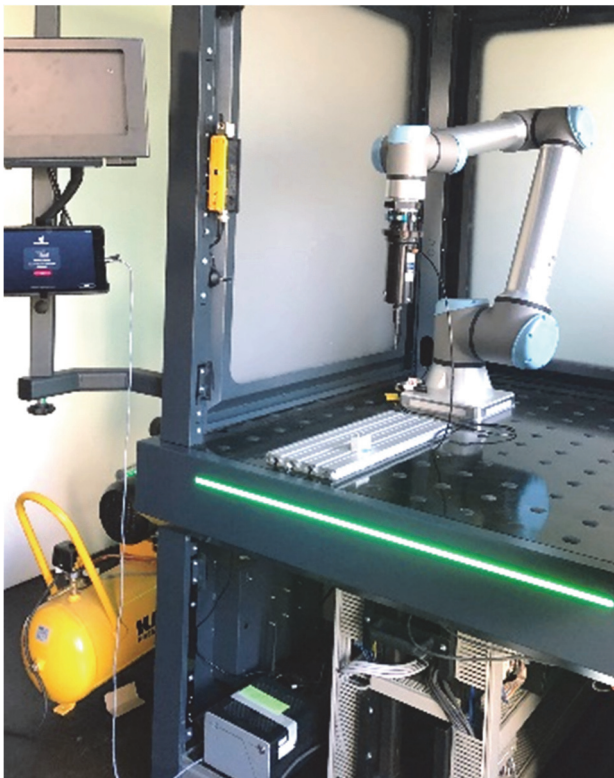


Abbildung 8: Testaufbau zum Roboterentgraten mit einem Universal Robot UR10, CDB-Entgratwerkzeug der Fa. Schunk, einem transportablen Kompressor der Fa. KAESER in einer Standardzelle der Fa. Sojka Automation



Abbildung 9: CDB-Entgratwerkzeug [9]

Zum TracePen gibt es verschiedene auswechselbare Werkzeug-Spitzen. Beim Entgraten mit der Wandelbots Teaching-Lösung musste festgestellt werden, dass die Standardspitzen keine intuitive Nutzung zulassen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Anpassungen an den Spitzen vorgenommen und getestet (Abbildung 11).



Abbildung 10: Handhabung des TracePen beim Teachen (Teaching by Demonstration)

Hierbei wurde zum einen eine Spitze mit Entgratklinge entworfen, welche direkt den Prozess eines Handentgraters nachahmen soll. Die Art der Nutzung einer Entgratklinge variiert von Person zu Person und wird davon beeinflusst, ob ein Nutzer Links- oder Rechtshänder ist und wie er besser Druck auf das Werkstück ausüben kann. Diese Informationen bilden den Prozess zwar gut ab, bei bereits aufgespanntem Werkstück wird der TracePen mit Entgratklinge aber unnatürlich geführt, was zu einem erhöhten Aufwand der Nachbearbeitung führt. Eine nutzerunabhängige Optimierung wird zudem erschwert. Aus diesem Grund wurde eine weitere Spitzenvariante entworfen, welche eine rechtwinklige Kante besitzt, mit der die zu entgratende Kante geometrisch eingelernt werden kann. Bei dieser Variante ist es notwendig den Pfad und die Prozessparameter in einem Folgeschritt möglichst automatisiert anzupassen, so dass die optimale Kraft und der optimale Winkel zum Werkstück eingestellt werden. Bei der Parameterbestimmung können KI-Algorithmen zum Einsatz kommen.



Abbildung 11: Neue Spitzen zum händischen teachen mit dem TracePen (links Entgratklinge, rechts rechtwinklige Ausführung zum teachen gerader Kanten)

3.2.3 Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Vorversuche im Projekt sind Kanten von Aluminiumquadraten und -zylindern aus AlCuMgPb (3.1645) (Abbildung 12) entgratet worden. Bei Zylinderdurchmessern kleiner 30mm erwies sich das automatisierte Entgraten der Werkstücke mit der Entgratklinge als schwierig. Hier sind andere Werkzeuge, wie bspw. Rohrentgrater besser geeignet.

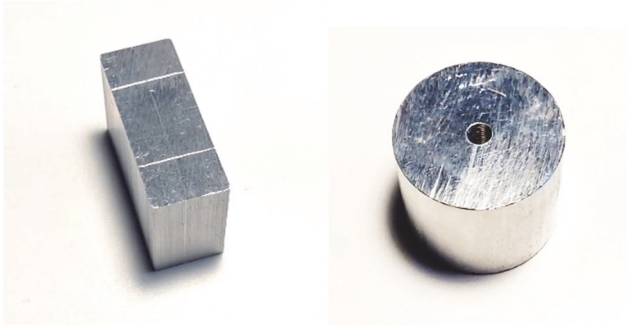


Abbildung 12: Werkstücke für die Vorversuche (Alublöcke)

Endanwender akzeptieren Automatisierungslösungen mit Entgratklinge nur, wenn es dem Roboter so, wie dem Mensch, gelingt, den kompletten Grat beim einmaligen Überfahren der Kante zu entfernen. Für die vollständige Bearbeitung einer Kante wird 2-mal mittig dieser Kante angesetzt und zu jeder Seite hin abgezogen, da die Entgratklinge nicht an Werkstückecken ansetzen kann. Zudem ist die Entgratklinge zu Beginn an einer Kante auszurichten, damit sie beim automatischen Ansetzen keine Einschnitte im Werkstück erzeugt. Für gute Ergebnisse sollte die Entgratklinge mit einem Winkel zwischen 30° und 45° geführt werden, was von der Materialhärte, der gewünschten Fase und nutzbaren Kraft abhängt. Hierbei wird empfohlen, eine Geschwindigkeit von 100 mm/s oder weniger zu verwenden, wobei nur ziehend zu arbeiten ist.

3.2.4 Intuitive kraftgeregelter Roboterbewegungen

Um verschiedene Kräfte auf die Kante des Werkstücks aufzubringen wurden der Druck des Kompressors für das Entgratwerkzeug und die Fahrgeschwindigkeit des Roboters variiert sowie die y-Achse am Entgratwerkzeug (axiale Richtung) mit und ohne Sperre verwendet. Bei den Messungen sind die auf den Roboter wirkenden Kräfte (Kraft-Momentensensor im Roboterflansch) in Richtung des Roboter-Arbeitspunkts am Werkstück (TCP Tool Center Point) ausgelesen und über die Zeit geplottet worden, wobei das Entgratergebnis qualitativ beurteilt wurde. Externe Kraft-/Momentensensoren am Werkzeugflansch kamen nicht zum Einsatz. Abbildung 13 stellt ausgewählte Messergebnisse dar. Dabei zeigt sich, dass eine Sperrung der Werkzeuglängsachse (y-Achse) die aufgebrachte Kraft erhöht und zu weniger Oszillation beim Kantenkontakt führt. Eine langsamere Verfahrensgeschwindigkeit, bspw. 10 mm/s, führt zu einem gleichmäßigeren Abtrag, wobei aber auch bei 100 mm/s die Resultate noch als gut bewertet wurden. Daraus resultiert die Empfehlung 50 mm/s Verfahrensgeschwindigkeit zu

wählen. Bei Aluteilen reichen ca. 2 bar Kompressordruck aus, wobei sich bei der Einstellung der Kraftsteuerung (Force Control) des UR10e Roboters ein mittlerer Wert, ca. 8N, als günstig erwiesen hat.

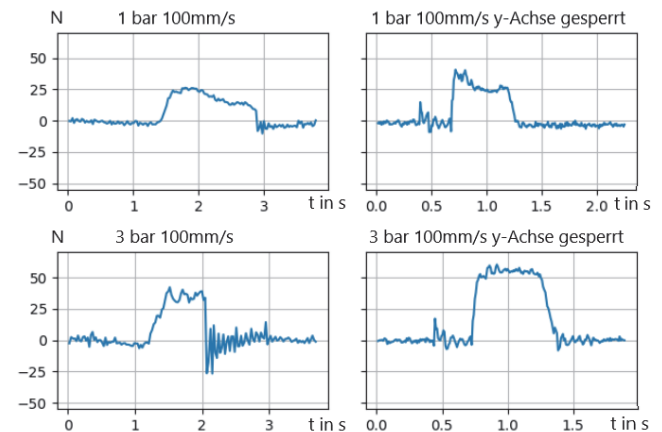


Abbildung 13: Vergleich der auf den Roboter wirkenden Kräfte bei unterschiedlichen Drücken des Kompressors, Verfahrensgeschwindigkeiten des Roboters sowie ohne und mit Sperrung der Werkzeuglängsachse (y-Achse)

3.2.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen zum roboterbasierten Entgraten zeigten, dass das Einlernen des Roboters mit dem TracePen in seiner aktuellen Form möglich ist. Das manuelle Teaching und die Handhabung der Teile können sich für den praktischen Einsatz bei vielen Bauteilen der Fa. Caleg als immer noch zu kompliziert und aufwendig erweisen. Aus diesem Grund wurden erste Tests hinsichtlich einer automatischen Detektion der Entgratkanten durchgeführt. Hierfür soll eine Untersuchungsumgebung mit Kamera entstehen, um die an einem Werkstück zu entgratenden Kanten mittels Bildverarbeitung automatisiert zu erkennen. Basierend auf einem KI-Algorithmus gilt es, daraus einen günstigen Roboterpfad zu generieren und diesen mit optimaler Geschwindigkeit abzufahren.

4. Ausblick Schwerpunktprojekt

Im weiteren Fortschritt des Schwerpunktprojektes ist die Erweiterung der Technologiebetrachtung um das Fertigungsverfahren Schweißen vorgesehen. Hier soll vor allem die Kombination unterschiedlicher Teachingvarianten und Sensoren zur Bahnverfolgung für praxistypische Bauteiltoleranzen beim Schweißen untersucht werden.

Ein Entwicklungsschwerpunkt von Wandelbots ist derzeit des Wandelbots Operating System, mit Wandelscript als eigener Programmiersprache. Hierbei handelt es sich um ein eigens entwickeltes Betriebssystem für Roboteranwendungen als flexible Lösung für industrielle Umgebungen. Mit Hilfe des Wandelscript können spezifische Roboterprozesse beschrieben, simuliert und im Nachgang ausgeführt werden. Die Berechnung der Roboterpfade mitsamt der Interaktionen wird dabei durch eine künstliche Intelligenz (KI) vorgenommen werden. Indem die KI Roboterpfade für konkrete

Bauteile automatisiert erzeugt, reduziert sich der Programmieraufwand erheblich, was einer praxistauglichen Entgratanwendung zugutekommen kann.

Ergänzend dazu bietet der Import von CAD-Daten der Bauteile für einige Anwendungsfälle eine Mehrwert, insb. wenn es sich um komplexe Geometrien handelt die sich schwer mittels Kamera oder TracePen allein erfassen lassen. Diese Funktionalität ist in naher Zukunft für Tests einsetzbar und kann zur Vereinfachung und Stabilität des Prozesses beitragen.

Darüber hinaus ist die Detektierung von Bauteilkanten (vgl. Abbildung 14), durch eine Kamera vorgesehen. Diese Kanten entstehen beispielsweise beim Schweißen. Die kamerabasierte Kantenerkennung soll zur Bahnplanung, basierend auf der optischen Detektierung der Kanten und einer daraus resultierenden Bahnberechnung, von Cobots genutzt werden.

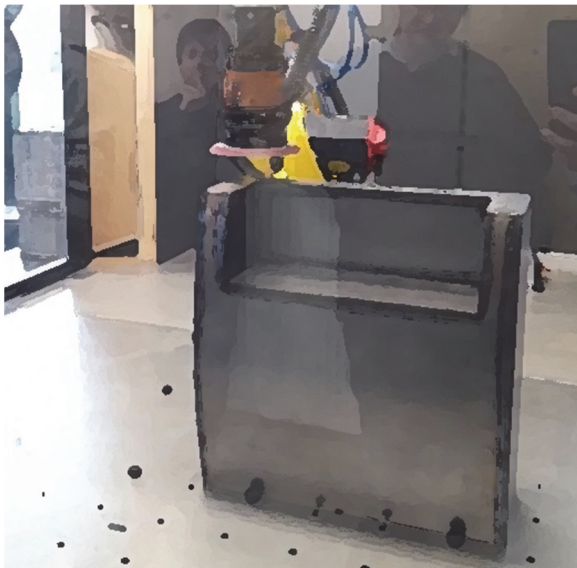


Abbildung 14: Beispielbauteil im Versuchsaufbau zur Kantenerkennung

Literaturverzeichnis

- [1] Bernd Finkemeyer, „Towards safe human-robot collaboration,“ 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), pp. 883-885, 2017
- [2] Sam Korus. Industrial Robot Cost Declines Should Trigger Tipping Points in Demand. URL: <https://ark-invest.com/articles/analyst-research/industrial-robot-cost-declines/>, verfügbar: 30.05.2023, 2019
- [3] Christoph Petzoldt, Dennis Keiser, Henrik Siesenis, Thies Beinke, and Michael Freitag. Ermittlung und Bewertung von Einsatzpotenzialen der Mensch-Roboter-Kollaboration. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 116(1-2):8-15, 2021
- [4] Reinhart, Gunther; Bengler, Klaus; Dollinger, Christiane; Intra, Carsten; Lock, Christopher; Popova-Dlogosch, Severina; Rimpau, Christoph; Schmidler, Jonas; Teubner, Severin; Vernim, Susanne: Der Mensch in der Produktion von Morgen. In: Gunther, Reinhart (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 – Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser Verlag, ISBN 978-3-446-44642-7, pp. 51-88, 2017
- [5] I. F. Onstein, O. Semeniuta, and M. Bjerkeng, “Deburring using robot manipulators: A review,“ in Proc of. 3rd International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS), 2020
- [6] John J. Craig, Hans Raibert, „Hybrid position/force control of manipulators,“ ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, pp. 126-133, 1981
- [7] Universal Robots A/S, The URScript Programming Language, 2018
- [8] Goldhahn, Leif; Roch, Sebastian: AR-gestützte Vorrichtungsplanung für Werkzeugmaschinen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. Bericht zum 68. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 02.-04. März 2022. Sankt Augustin: GfA Press, ISBN 978-3-936804-31-7, B.9.1. pp. 1-6, 2022
- [9] Schunk: CDB Entgratwerkzeug. URL: https://schunk.com/de/de/automatisierungstechnik/bearbeitungswerkzeuge/cdb/c/PGR_5138, Verfügbar 30.05.2023, 2023

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die administrative Unterstützung des Verbundvorhabens PerspektiveArbeit Lausitz (PAL). Darüber hinaus gilt der Dank bei der inhaltlichen Zusammenarbeit den Projektpartnern Wandelbots GmbH, ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. sowie der Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH für eine innovative und sehr kooperative Zusammenarbeit.



Förderkennzeichen 02L19C300 - 02L19C327. Projektlaufzeit: 01.11.2021 – 31.10.2026

Kontaktdaten

Prof. Dr.-Ing. Leif Goldhahn

Hochschule Mittweida Leiter
Insitut InnArbeit – Zentrum für
innovative Arbeitsplanung und
Arbeitswissenschaft

Koordinator Verbundvorhaben
PAL

Goldhahn@hs-mittweida.de



Anwendung von Wearables zur Gefährdungsbeurteilung sowie Arbeitsumfeldbewertung in unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern

Torsten Merkel, Gabriele Buruck, Sven Hellbach, Rigo Herold, Tobias Teich, Fabian Dietrich, Sandro Fischer, Daniel Franke, Aaron Freier, Stefanie Liebl, Sebastian Jung-hans, Toni Junghans, Patrick Nausch, Alina Puhl, Falk Weidenmüller

Westfälische Hochschule Zwickau, Zwickau; Deutschland

Die nutzerorientierte Arbeitsplatzgestaltung der Zukunft erfordert auf Grund großer Diversität von Tätigkeitsfeldern sowie individuell geprägten Voraussetzungen jedes Arbeitnehmers die exklusiv auf jede Person angepasste Bewertung von psychischen und physischen Beanspruchungslagen. Als Grundlage dafür dienen in den vorliegenden Untersuchungen die in der Gesellschaft mittlerweile weit verbreiteten Wearables. Diese erfassen Vitaldaten in Echtzeit, welche anschließend in einer eigens entwickelten Applikation unter Einhaltung der geltenden Datenschutzvorgaben verarbeitet werden. Über diese Daten sind, wie die in Durchführung befindlichen Versuche zeigen, Rückschlüsse auf physischer und psychischer Fehlbeanspruchungen des Nutzers möglich. Weiterhin werden mittels maschinellen Lernens erstellte Trendauswertungen, beispielsweise zur Darstellung von Erholungsfähigkeit oder vitaler Arbeitsfähigkeit, dargestellt. So wird der Arbeitnehmer im Bereich der Gesundheitskompetenz sensibilisiert und kann somit das persönliche Wohlbefinden steigern. Weiterhin können Vorgesetzte oder Arbeits- bzw. Prozessplaner pseudonymisierte und anonymisierte Gruppenauswertungen, beispielsweise aus einer Abteilung, einsehen. Durch resultierende prospektive Arbeitsgestaltung können lern- und persönlichkeitsförderliche Arbeitsbedingungen gestaltet aber auch die Motivation für Leistung und Lernen erhöht werden.

1. Einleitung

In der heutigen Arbeitswelt ist der Einfluss der physischen und psychischen Belastung mehr denn je von großer Bedeutung, um die Leistungsfähigkeit und Gesundheit von Beschäftigten in einem durch den demografischen Wandel beeinflussten Arbeitskräftemarktes dauerhaft zu gewährleisten bzw. zu fördern. In den letzten Jahren hat das Interesse an der privaten Verwendung von mobilen Applikationen und Wearables zur Bewertung von Beanspruchungen und gesundheitsrelevanten Faktoren wie bspw. Ernährung stetig zugenommen (vgl. Schäfer 2022: 2). In Anlehnung an diesen Trend wird in diesem Beitrag eine mobile Applikation vorgestellt welche es den Nutzern ermöglicht ihre Belastungs- und Beanspruchungslagen mittels Wearables aufzuzeichnen und aus arbeits- und gesundheitswissenschaftlicher Sicht bewerten zu lassen. So kann durch den Nutzer eine konkrete, klar quantifizierbare Einordnung des Einflusses einzelner Beanspruchungslagen erfolgen.

Da die mobile Applikation die Darstellung des individuellen Beanspruchungsgrades über leicht verständliche Indizes realisieren soll ist die Generierung einer umfassenden Datenbasis notwendig. Mit dieser können durch maschinelles Lernen die erforderlichen Berechnungen präzise und situationsangepasst von der Applikation vorgenommen werden. Die dafür erforderlichen Basisdaten werden in zwei unterschiedlichen Versuchsreihen gesammelt welche ebenfalls im vorliegenden Artikel beschrieben sind.

2. Untersuchung von arbeitsplatzspezifischen Belastungen

Aufgrund der arbeitswissenschaftlich relevanten Faktoren der Konstitutionsmerkmale (Geschlecht, Körperbau, ethnologische Unterschiede), Dispositionsmerkmale (Alter, Körpergewicht, Gesundheitszustand, rhythmologische Einflüsse), Anpassungsmerkmale (Ermüdung, Stimmung, Motivation, Konzentration) und Qualifikationsmerkmale sind nach Lorenz 1989 die psychischen und physischen Leistungsfähigkeiten jedes Individuums unterschiedlich und somit auch die spezifische Reaktion auf Belastungen (vgl. Schlick et al. 2017: 25). Dabei lassen sich Belastungen in verschiedene Typen von Arbeit (energetisch und informatorisch bzw. Mischformen, vgl. Abb. 1) und psychische Beanspruchung einteilen.

Typ der Arbeit	Energetische Arbeit				
	Mechanisch	Motorisch	Reaktiv	Kombinativ	Informatorische Arbeit
Was verlangt die Erledigung der Aufgabe primär vom Menschen?	Kräfte abgeben	Bewegungen ausführen	Reagieren und Handeln	Informationen kombinieren	Wissen erzeugen
	„Mechanische Arbeit“ im Sinne der Physik	Genaue Bewegung bei geringer, geregelter Kraftabgabe	Information aufnehmen und darauf reagieren	Informations- mit Gedächtnis- inhalten verknüpfen	Transformation von Informations- inhalten zu „neuen“, erklärenden Informationen

Abb. 1: Arbeitsformen als Kombination der Grundtypen energetischer und informatorischer Arbeit (Auszug) (Schlick et al. 2017: 142)

Einen validen Indikator, sowohl für die Verrichtung *physischer Arbeit* als auch *psychische Beanspruchungen* (vgl. Sammito et al. 2014:47), stellt die Herzfrequenz dar, da das Herz-Kreislauf-System unter anderem mit der Änderung der Schlagfrequenz nachweisbar auf diese Belastungen reagiert. Somit steigt typischerweise nach Belastungsbeginn die Herzfrequenz an (vgl. Schlick et al. 2017: 126). Durch Belastungen welche die Dauerleistungsgrenze (DLG) nicht überschreiten stellt sich allmählich eine konstante Schlagfrequenz ein. Dauerleistungsfähigkeit bedeutet dabei, dass ein Mensch eine geforderte Leistung über einen längeren Zeitraum, theoretisch ohne Zeitbegrenzung, bspw. in einer regulären 8 h-Schicht, erbringen kann (vgl. Schlick et al. 2017: 126). Dies bezieht sich sowohl auf physische als auch auf psychische Leistung. Oberhalb der Dauerleistungsgrenze führen Belastungen zu einem kontinuierlichen Anstieg der Herzfrequenz (vgl. Abb. 2). Resultierend aus diesen Erkenntnissen können mittels des Verlaufs der Herzfrequenz über einen Zeitabschnitt die Beanspruchungslagen und im speziellen deren Extrema identifiziert werden. Daraus folgend ergibt sich die Möglichkeit der Arbeitsplatz- und Prozessanpassungen zur Optimierung der Belastungen im Interesse des Arbeitnehmers.

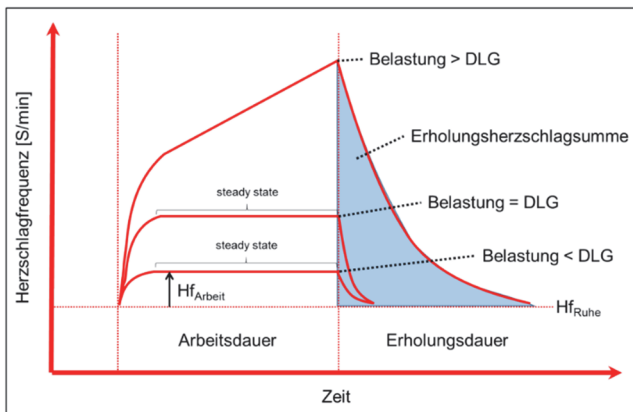


Abb. 2: Herzfrequenzverläufe bei unterschiedlichen Belastungsintensitäten (Sammito et al. 2014)

2.1 Verwendete Sensorik

Um auftretende Belastungen zu bewerten und konkrete Optimierungspotenziale in Arbeitssystemen zu identifizieren wurde für die Studie ein dreistufiges, digitales Mess- und Erfassungskonzept ausgearbeitet. Es basiert auf der Aufnahme von Vitalparametern mittels nicht-invasiver Sensoren (Wearables) und der anschließenden Auswertung und Darstellung der Ergebnisse in einer eigen entwickelten mobilen Applikation. Hierbei wird, wie bereits erläutert, die Reaktion des Körpers auf eine Belastung als Beanspruchungs- bzw. Ermüdungsindikator herangezogen. Dies gilt nicht nur für Belastungen durch definierte Tätigkeiten (Höhe \times Dauer = Belastungsintensität), sondern auch für weitere Aspekte wie beispielsweise Umgebungsfaktoren (Lärm, Temperatur, CO₂-Gehalt, usw.).

Die quantitative Beurteilung der *physischen und psychischen* Belastungen kann generell über folgende Messgrößen erfolgen (vgl. Abb. 3):

Herzfrequenz (HF), Herzratenvariabilität (HRV) mittels EKG-Sensor (Elektrokardiogramm, Messung des RR-Intervalls) und PPG-Sensor (Photoplethysmogramm, Messung des Interbeat-Intervalls)

Elektrodermale Aktivität (EDA) mittels cEDA-Sensor (Hautleitfähigkeitsniveau SCL bzw. Hautleitfähigkeitsreaktion SCR)

Bewegungsaufnahme mittels Orts- und Körperlagemessung (Bluetooth-Sensoren und Funkbeacons oder optischer Auswertung)

Bodenreaktionskräfte mittels Sensor-Einlegesohlen zur Druckmessung



Abb. 3: Versuchsarbeitsplatz mit Erfassung von Umgebungsfaktoren und Vitalparametern

Die Messung der Umgebungsfaktoren erfolgt durch einen Multisensor. Dieser erfasst unter anderem:

- Kohlendioxid- und -monoxidgehalt der Raumluft,
- Sauerstoffgehalt der Raumluft,
- Temperatur und
- Lärm.

Die Aufzeichnung der Bodenreaktionskräfte ist für die Erfassung physischer Belastungen (Heben und Tragen von Lasten, Laufgeschwindigkeit, etc.) von zentraler Bedeutung. Zur Messung der Bodenreaktionskräfte sind derzeit am Markt keine Messsysteme verfügbar welche einen automatisierten, drahtlosen Datentransport in die Datenbank ermöglichen. Dies macht eine Eigenentwicklung unumgänglich (vgl. Abb. 4). Das zu entwickelnde Messsystem muss folgende Kriterien erfüllen:

- Erfassung der Bodenreaktionskräfte in 4 Zonen (Zehen, 2 x Mittelfuß, Fußwurzel) zur exakten Erfassung unterschiedlicher Bewegungsabläufe
- integrierter Energie- und Datenspeicher für mind. 8 h Betriebsdauer bei 25 Messwerte / Sekunde zur komfortablen Nutzung und Steigerung der Anwenderakzeptanz
- Bluetooth / WiFi Schnittstelle (gem. Spezifikation für Datenaustausch) sowie USB-Ladebuchse

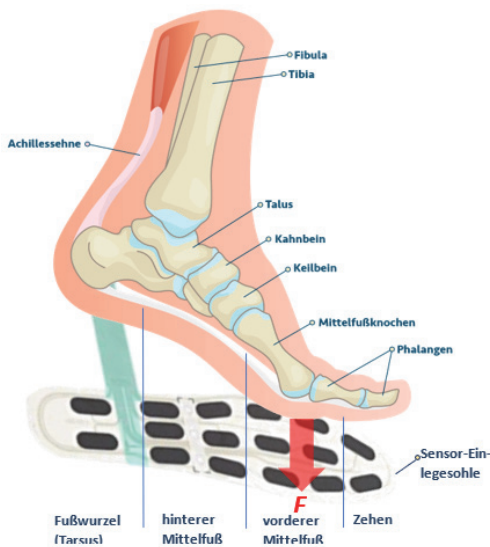


Abb. 4: Vier Erfassungszonen für die Erfassung der Bodenreaktionskräfte

Kriterien für die Auswahl von Messgeräten

Kommerziell verfügbare Messsysteme der Kategorie 1 sind nach Sammito/Böckelmann 2016 für die Messung der Herzfrequenz und im Ansatz auch für die Erfassung der Herzratenvariabilität „als geeignet einzustufen“. Zur allgemeinen Bewertung und Ermittlung der die Herzfrequenzänderung auslösenden Belastungen ist die Messgenauigkeit und die Auflösung der verwendeten Messhilfsmittel von entscheidender Bedeutung. In Folge der individuell unterschiedlichen Reaktion auf verschiedene Beanspruchungsarten und -intensitäten ist die Messwertaufnahme von mindestens 85 Probanden geplant. Folgende Messmittel werden unter Beachtung der genannten Kriterien zur Projektdurchführung eingesetzt:

Tabelle 1: Technische Daten der eingesetzten Messsysteme

Bezeichnung	Art	Messbereich	Genauigkeit/ Auflösung	Quellen
EcgMove 4	EKG	560 +/-5 mV	1.024 Hz, 12 Bit	(Movisens I)
EdaMove 4	EKG	2 μ S - 100 μ S	32 Hz, 14 Bit	(Movisens II)
OH1+	PPG	k.A.	MW = 0,27 - 0,33 S · min ⁻¹ ; r = 0,99	(Polar 2023)

2.2 Analyse von kognitiven Fähigkeiten und Motivation im Szenario „Büroarbeit“

Bildschirmarbeit als eine arbeitsbezogene Form der digitalen Information und Kommunikation ist häufig mit hohen kognitiven Anforderungen verbunden. Entsprechende Belastungssituationen können zu Motivations- und Leistungsverlusten führen sowie die Entwicklung von Erkrankungen begünstigen. Dabei fehlt häufig die Betrachtung altersspezifischer Unterschiede. Mit dem

Laborexperiment „Motivation beim digitalen Arbeiten“ werden deshalb altersspezifische Unterschiede der Motivation bei der Bearbeitung einer komplexen Büroarbeitsaufgabe erfasst. Im Versuch erfolgt die Operationalisierung der Arbeitsaufgabe über den „Berufsbezogenen Test zur kognitiven Kompetenz“ (SMART) (vgl. Kersting 2014), bei welchem Aufgaben aus dem Büroalltag zu bewältigen sind. Die Motivation wird über ein standardisiertes, valides Verfahren (Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen – „FAM“) ermittelt (vgl. Rheinberg 2019). Im Fokus der Untersuchung steht die motivationsinduzierte kognitive Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen in Abhängigkeit von Emotionen. Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

Wie wird die aktuelle Motivation durch kognitive Fähigkeiten unter Variation von externen digitalen Unterbrechungen in Abhängigkeit vom Alter beeinflusst?

Wie wird die aktuelle Motivation durch kognitive Fähigkeiten von digitalen Unterbrechungen durch Emotionen vermittelt?

Die Manipulation der digitalen Unterbrechungen basiert auf einem standardisierten Experiment nach Foroughi et al. (2014). Ziel dieser Studie war es festzustellen, ob Unterbrechungen die Qualität der Arbeit beeinflussen. 54 Studenten skizzierten und schrieben dafür Aufsätze unter folgenden Bedingungen:

- 1) Unterbrechungen, während Teilnehmer Gliederung erstellten
- 2) Unterbrechung, während die Teilnehmer den Text verfassten
- 3) keine Unterbrechung.

Während einer Unterbrechungsbedingung wurden die Teilnehmer dreimal für jeweils 60 Sekunden bei der Durchführung ihrer Aufgabe gestört. Für jede Untersuchungsbedingung wurde die Qualität der Arbeit im Vergleich zur Nicht-Unterbrechung untersucht. Das Ergebnis der Untersuchungen deutet darauf hin, dass sich Unterbrechungen negativ auf die Qualität der Arbeit während einer komplexen, kreativen Schreibaufgabe auswirken.

Die Zuteilung der Teilnehmenden für das in Durchführung befindlichen Experiments (N> 55) erfolgte randomisiert nach Zeitpunkt der Anmeldung in Versuchsgruppe und Kontrollgruppe. Ausschlusskriterien sind kritische Lebensereignisse, Konsum von Drogen sowie psychische Vorerkrankungen und sprachliche Einschränkungen. Die Gesamtversuchsdauer beträgt ca. 90 Minuten. Zusätzlich wurde vorab eine Online-Baseline-Erhebung durchgeführt, welche 14 Tage vor dem eigentlichen Experiment von den Probanden zu bearbeiten war. Vor Beginn des Experimentes wird der Raum gelüftet, da während der Durchführung die Fenster geschlossen bleiben sollten, um Störungen durch externe Geräusche zu vermeiden. Während der ersten Experimente stellte sich jedoch heraus, dass an einem der zwei Arbeitsplätze der

Kohlenstoffdioxidgehalt bis zum „inakzeptablen“ Grenzwert von 2000 ppm (vgl. BAuA 2018: 2) anstieg. Somit ist ein Lüften während der Durchführung in dem betroffenen Büro notwendig. Dieses erfolgt bei der Versuchsgruppe während der 1. Unterbrechungsaufgabe und wird während der 2. Unterbrechungsaufgabe (nach 10 Minuten) geschlossen. In der Kontrollgruppe hingegen wird das Fenster nach 15 Minuten Arbeitszeit am SMART-Test geöffnet. So kann in beiden Räumen eine gute Luftqualität über den gesamten Testverlauf sichergestellt werden.

Die Versuchsdurchführung (vgl. Abb. 5) beginnt mit dem bereits beschriebenen erstmaligen Lüften. Daraufhin wird der Arbeitslaptop aufgebaut und alle benötigten Dokumente werden vom Versuchsleiter vorbereitet. Nach der Begrüßung des jeweiligen Probanden sowie einer kurzen Einführung in den Ablauf des Experimentes erfolgt das Abgleichen und Einsammeln der Datenschutzerklärung, Einverständniserklärung Ton/Video/Bild und der Aufklärung. Aufgrund der anzulegenden Messtechnik (vgl. Kapitel 2.1) wird eine Pflasterallergie abgefragt und nachfolgend die Messtechnik zur Überwachung des Hautleitwertes (movisens EDA) an der nicht dominanten Hand angebracht, um Störungen der Hand und Messfehler durch die Bedienung der Maus während der Testbearbeitung zu vermeiden. Am Arm selbiger Hand wird außerdem, kurz unterhalb des Ellenbogens, der Polar OH1 Sensor angelegt. Es werden Fotos der angebrachten Sensorik aufgenommen, um während der Auswertung die korrekte Anbringung der Messtechnik prüfen und eventuelle Fehlerquellen besser identifizieren zu können. Nachfolgend legt sich der Proband selbst den movisense ECG-Sensor an der linken Brusthälfte an, dessen korrekter Sitz jedoch auf Grund der Anlegeposition nicht geprüft wird. Anschließend erfolgt ein Raumwechsel. In jedem Raum sitzt nur ein Proband mit seinem zugeordneten Versuchsleiter. Ab diesem Zeitpunkt startet die Messung der Herzfrequenz mittels Polar OH1 Sensor, welche über die Fitness-Applikation „Flow App von Polar“ aufgezeichnet wird. Der EDA-Sensor zeichnet ab dem Moment der Versuchsdatenprogrammierung Daten auf. Die Messwerterfassung des ECG-Sensors startet beim Anlegen.

Nach der Instruktion für die Ruhephase ist diese mit Hilfe einer 5- minütigen Entspannungsübung durch

durchzuführen. Dafür sollen sich die Probanden entspannt hinsetzen und die Augen schließen. Während dessen wird eine Anleitung für Atemraumübungen über die Videoplattform YouTube abgespielt. Anschließend wird der Proband aufgefordert die Instruktion des SMART-Tests zu lesen, ohne jedoch die Bearbeitung zu beginnen. Die Pre-Messung (T1) wird durch den FAM (Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation in Lern- und Leistungssituationen), NASA (NASA-Task Load Index, vgl. Hart (2016))- und PANAS (Positive and Negative Affect Schedule, vgl. Breyer, B./Bluemke, M. (2016))-Fragebogen durchgeführt. Anschließend startet der Versuchsleitende die Unterbrechungssoftware, sofern es sich um die Versuchsgruppe handelt, und dem Probanden wird mitgeteilt, dass er mit der Bearbeitung des SMART-Tests beginnen kann. Er erhält hierfür 60 Minuten Zeit. Die Unterbrechungssoftware erfüllt dabei den Zweck der Störung der eigengesteuerten Testbearbeitung des Probanden, um eine definierte Stresssituation zu schaffen. Im 10-minütigen Rhythmus wird der Proband unterbrochen und muss je eine zusätzliche Aufgabe bearbeiten. Erst nach deren Abschluss kann er zur Bearbeitung des eigentlichen Tests zurückkehren. Nach Beendigung des SMART-Tests folgt erneut eine kurze Instruktion für die folgende Ruhephase, in welcher die 5-minütige Atementspannungsübung erneut abgespielt wird. Anschließend wird die Messung der Herzfrequenz gestoppt und es erfolgt die Post-Messung (T2), indem erneut der FAM, NASA- und PANAS-Fragebogen vom Probanden auszufüllen ist. Abschließend findet der Raumwechsel zum Ablegen der Messtechnik statt. Außerplanmäßige Störungen und Anmerkungen des Probanden werden in der angefertigten Checkliste vom Versuchsleiter festgehalten. Das Experiment der Kontrollgruppe verläuft identisch zur Versuchsgruppe, jedoch ohne Unterbrechungsaufgaben.

2.3 Analyse von physischen und psychischen Belastungen im Szenario „Kommissionierung und manuelle Montage“

Dieser Laboraufbau ist im Kontext des praxisnahen Anwendungsszenarios „motorisch-reaktiv-geprägter Arbeitsplatz“ realisiert worden. Dieser besteht aus zwei Teilarbeitssystemen und beinhaltet einerseits die Abbildung der Tätigkeiten manuelle Montage (genaue Bewegung bei geringer, geregelter Kraftabgabe mit zusätzlicher Informationsverarbeitung, vgl. Kapitel 2) und andererseits das Kommissionieren (Information aufnehmen

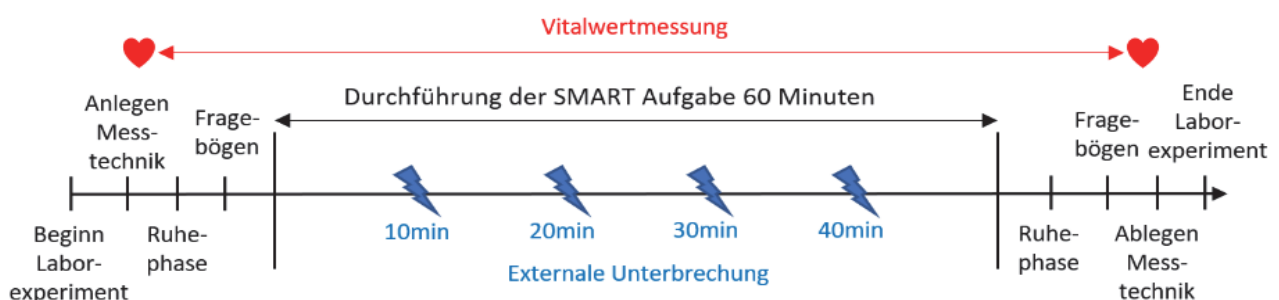


Abb. 5: Zeitlicher Ablauf des Szenarios „Büroarbeit“

und darauf mit geregelter Kraftabgabe reagieren). Somit kann eine Kombination aus physischen und psychischen Belastungen generiert werden. Zur Abbildung typischer Tätigkeiten in beiden Arbeitsformen ist im Kontext des Versuchsaufbaus ein Modellbausatz (Gabelstapler) zu montieren und dessen Einzelteile über eine auf einem Laufband simulierte Wegestrecke zu kommissionieren. Um eine Reproduzierbarkeit zu gewährleisten ist ein Versuchsablauf für Experimentierlagen konzipiert worden. Damit sollen zukünftig Forschungsarbeiten zur Erfassung von Vitalparametern über größere Zeiträume in einer für die Testpersonen akzeptablen Form unter mechanischer Belastung und bei Lageänderung des gesamten Körpers in verschiedenen Applikationsstufen bei gleichzeitiger Erfassung von Umgebungsfaktoren (Temperatur, Lautstärke, Luftzusammensetzung, Beleuchtung) umgesetzt werden. Andererseits werden geeignete Bewertungsmethoden erprobt, um die erhobenen Messwerte über den historischen Trendverlauf je Aufnahme über Grenzwerte der HF bzw. HRV oder Indexbildung für die individuelle Beanspruchungslage darzustellen. Zudem soll ein Erkenntnisgewinn über Zusammenhänge zwischen Arbeitsintensität, Arbeitsleistung, Motivation und Vitalparametern ermöglicht werden. Das Labor sowie der Versuchsablauf werden schon zur studentischen Ausbildung verwendet. In diesem Kontext wurden die Szenarien bereits erprobt.

3. Integration von Informationstechnischen Unterstützungssystemen

3.1 Entwicklung einer mobilen Applikation zur Erfassung und Auswertung von Vitalwerten

Die Applikation bietet die Möglichkeit, handelsübliche Wearables der Produktfamilie Polar Electro Oy zur Datengewinnung zu nutzen oder alternativ Daten von GoogleFit zu synchronisieren. Der Nutzer kann sich dazu registrieren, wobei die Applikation die erforderliche Datensicherheit gewährleistet. Bei der Registrierung wird dem Nutzer ein Einrichtungsassistent angeboten, welcher Daten wie Alter, Gewicht, Größe und RR-Intervalle für die Baseline des Arbeitsruhepulses erhebt. Zusätzlich wird die primäre Arbeitstätigkeit des Nutzers erfragt, um eine Klassifikation der Vitaldaten bzgl. der Belastungen zu ermöglichen. Nutzer können eine Aufnahme starten welche einen definierten Zeitraum, beispielsweise einen Arbeitstag, umfasst. Während dieser Aufnahme können Nutzer Einflüsse auf ihre Tagesform erheben. Dazu gehört das Ausfüllen eines NASA-TLX-Fragebogens zur Beurteilung der Arbeitsbelastung nach definierten Intervallen. Innerhalb der Aufnahmefunktion ist es möglich eine Aktivität zu erfassen, die den aktuellen Arbeitsprozess beschreibt. Diese Aktivität besteht aus einem Ereignis und der erneuten Erhebung eines NASA-TLX zum Ende der zu bewertenden Arbeitstätigkeit. Dies ermöglicht eine genaue Beschreibung der Verfassung des Nutzers.

Die mobile Applikation bietet dem Nutzer ebenfalls die Möglichkeit, seine Daten nachträglich zu bearbeiten und seine Nutzerdaten einzusehen. Zusätzlich kann eine erneute Bestimmung des Arbeitsruhepulses vorgenommen werden, da dieser eine individuelle Größe darstellt und Schwankungen unterliegt.

Die wichtigsten Funktionen der Applikation beinhalten die Anzeige der individuellen Leistungs- und Erholungsfähigkeit in einem Ampelsystem auf Grundlage der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Versuchen und Daten aus der Literatur, das Starten einer Aufnahme für einen definierten Prüfzeitraum und das Erfassen der aktuellen Arbeitsprozesse. Mit Hilfe der in Entwicklung befindlichen Applikation wird die individuelle Leistungsfähigkeit bei rein körperlicher bzw. kombinierter körperlicher und geistiger Beanspruchungslagen über die Herzfrequenz bestimmt, die kleiner oder gleich der Dauerleistungsgrenze (vgl. Sammito et al. 2014:39) sind (vgl. Abb. 6). Die Zonenminuten werden in Intervallen täglich berechnet, was eine angestrebte Trendanalyse von mindestens 90 Tagen ermöglicht.

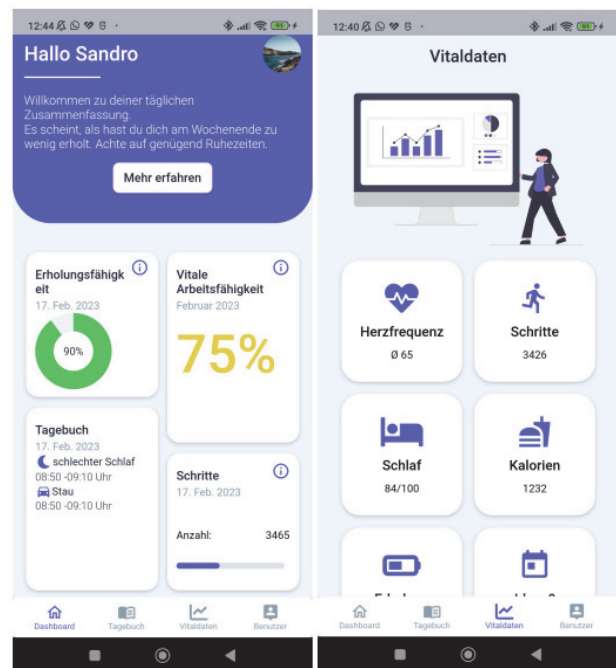


Abb. 6: Auszug aus dem Funktionalitätsspektrum der mobilen Applikation

Die Erholungsfähigkeit wird durch die Herzratenvariabilität (HRV) bestimmt, welche durch den Parameter RMSSD (quadratischer Mittelwert der Differenzen aufeinanderfolgender R-R-Intervalle) des Nutzers (vgl. Sammito 2021) berechnet wird und die parasympathische Aktivität reflektiert. Der Anwender erhält über diesen Parameter eine Auswertung der Tagesform in Bezug auf die individuelle Erholungsfähigkeit.

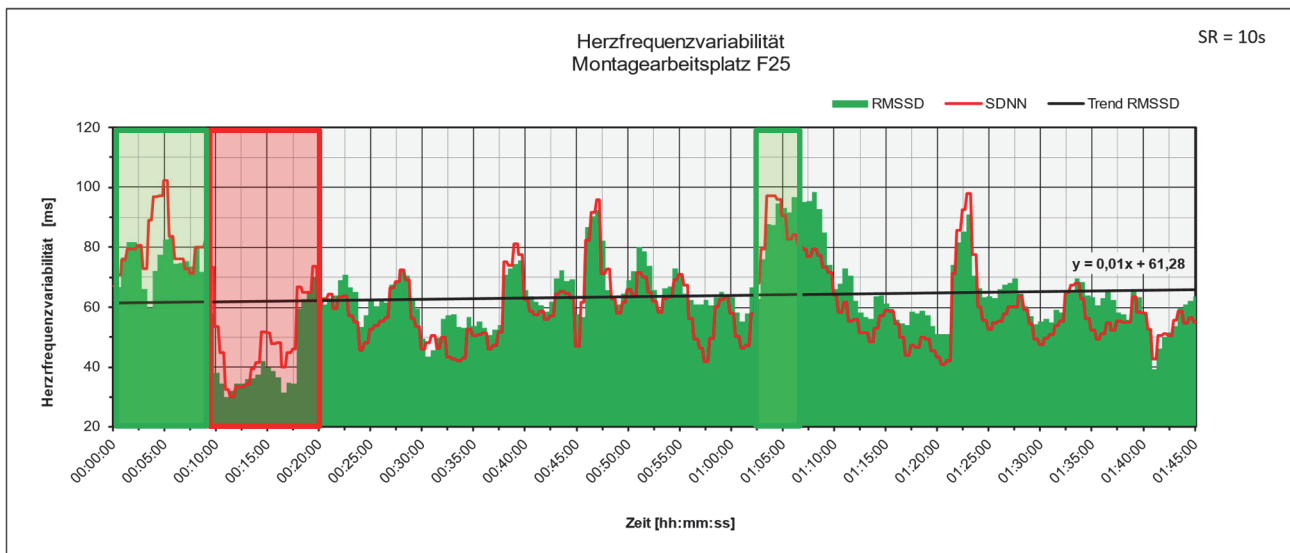


Abb. 7: Herzratenvariabilität im Modellarbeitssystem – RMSSD als Auswertekriterium für die Applikation

Eine erhöhte RMSSD zeigt an, dass der Körper in der Lage ist, sich nach einer Belastung schnell zu erholen. Dies schließt sowohl *physische* als auch *psychische* Belastungen ein. Darüber hinaus können über den RMSSD auch Rückschlüsse auf die Gesamtbelastung gezogen werden, welcher der Körper ausgesetzt ist. Dabei kann er dazu beitragen, mögliche Überlastungen oder Stressreaktionen zu erkennen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper auf eine Belastung reagieren kann, ist ebenfalls durch den RMSSD messbar. Je höher der RMSSD desto schneller kann der Körper sich anpassen, d.h. er besitzt eine hohe Regulationsfähigkeit. Der HRV-Parameter RMSSD eignet sich für die Verwendung in Längsschnittanalysen, da sie Veränderungen im Erholungszustand des Körpers im Laufe der Zeit messen kann. Allerdings ist der RMSSD auch anfällig für Artefakte, welche durch fehlerhafte Messungen oder andere Störfaktoren entstehen können (vgl. Abb. 7). Daher müssen die Rohdaten von Artefakten bereinigt werden. Dafür gibt es nach Sammito (2014) folgende Verfahren:

Artefaktelimination

Ursprungssignal wird verkürzt

Artefaktersatz

Interpolation, d.h. Länge der ursprünglichen Zeitreihe bleibt nahezu erhalten, künstliche Werte werden in das Signal eingefügt

In der mobilen Applikation werden die aufgezeichneten Messreihen entsprechend korrigiert, aufbereitet und dem Nutzer in einer ohne fachliches Hintergrundwissen verständlichen Form präsentiert.

3.2 VR- und AR-Technologien als Fähigkeitsverstärker

Digitale Mess- und Erfassungssysteme eröffnen neue Möglichkeiten der direkten Unterstützung im Arbeitsprozess. Im Rahmen der beschriebenen Versuche werden Technologien für Augmented Reality (AR)-Anwen-

dungen geprüft, um zusätzliche Orientierungspunkte ohne Arbeitsunterbrechung im Prozess für den Arbeitnehmer bereitzustellen. Im Rahmen eines ersten Tests werden industriell genutzte Pick-by-Light-Verfahren getestet, um die Kommissionier- und Montagetätigkeiten zu erleichtern. Dabei wird aktiv projiziertes Licht genutzt um anzuzeigen, welches Bauteil als nächstes verwendet oder kommissioniert werden soll (vgl. Abb. 8). Weiterführend kann die sogenannte Spatial/ Projektive Augmented Reality angewendet werden, um Inhalte wie Diagramme, Animationen und 3D-Modelle an beliebigen Positionen während des Arbeitsfortschritts einzublenden. So kann beispielsweise direkt am Entnahmeort angezeigt werden wie viele Teile zu kommissionieren sind. Das Mixed Reality-Setup ermöglicht außerdem die individuelle Anpassung des Arbeitsablaufs. So kann für Ungelernte ein höheres Maß an Unterstützung gewährleistet werden, indem Tutorials in Form von Videos und Zusammenbauzeichnungen eingeblendet werden. Fachkräfte hingegen können von einer kognitiven Entlastung durch Begleitung des Arbeitsprozesses profitieren, wobei der Fokus auf der Einhaltung der Reihenfolge liegt. Die Möglichkeit das System flexibel zu erweitern begünstigt zukünftige Weiterentwicklungen.



Abb. 8: AR-Anwendung „Pick-by-Light“

4. Einbindung in eine digitale Infrastruktur

Im Rahmen des Projekts wird eine Infrastruktur zum interdisziplinären Datenaustausch und Forschungsmanagement geschaffen (vgl. Abb. 9). Dafür müssen verschiedenste Systeme und Sensorik, die im Projekt Einsatz finden, integriert werden können. Daten die anfallen müssen auf unterschiedliche Arten verarbeitet, gespeichert und präsentiert bzw. dargestellt werden.

Die Teilnehmer und Systeme werden über das öffentliche Internet eingewählt, um Zugriff auf die Ressourcen des Servers zu bekommen. Um eine sichere Verbindung zum Server und zu den Diensten zu gewährleisten wird eine VPN-Verbindung verwendet. Die Einwahl kann automatisch über einen Systemdienst, manuell über eine Konfigurationsdatei oder über eine Oberflächenanwendung erfolgen.

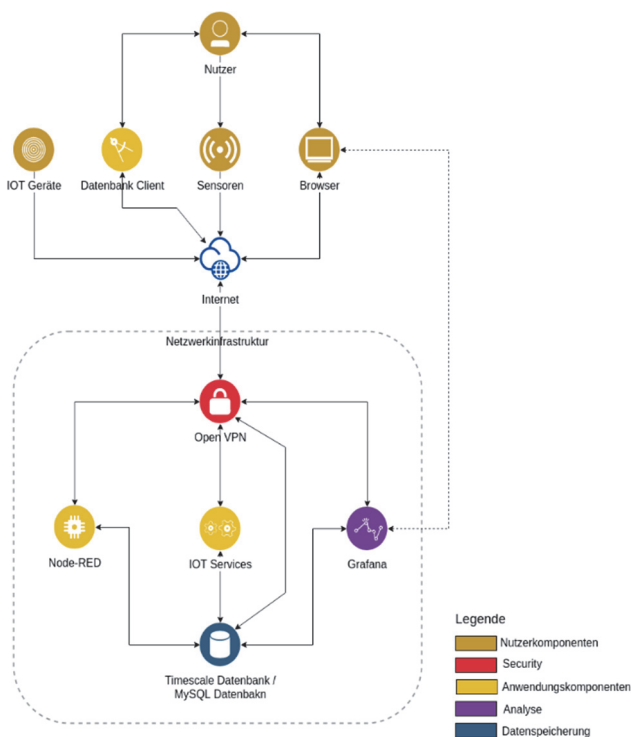


Abb. 9: Aufbauschema der digitalen Infrastruktur

Nach der Einwahl werden jedem Teilnehmer eine statische IP-Adresse, Netzwerkroutern und der DNS-Server zugewiesen. Abgegrenzte Dienste werden in virtuellen Maschinen eingerichtet, in denen Applikationen mithilfe von Containern betrieben werden. Zum Beispiel können Datenbanken, Backends von mobilen Applikationen, IOT-Middleware wie Node-RED oder Visualisierungen wie Grafana als separate Einheiten eingerichtet werden. Es besteht weiterhin die Möglichkeit einzelne Elemente bei Bedarf zu kombinieren, um eine Systemlandschaft zu schaffen, die den anwendungsspezifischen Anforderungen entspricht.

Schließlich werden noch öffentliche Endpunkte für die Kommunikation mit externen Datenquellen und Applikationen bereitgestellt. Der Datenaustausch erfolgt

dann über die dafür bereitgestellten Endpunkte des Servers, hinter denen der dafür vorgesehene Dienst läuft.

Um die Sicherheit der Daten zu gewährleisten beinhaltet die Infrastruktur für Informations- und Kommunikationstechnik Maßnahmen zur Absicherung. Dies sind unter anderem Zugangssteuerung, physische und umgebungsbezogene Sicherheitsmaßnahmen, sowie regelmäßige Datensicherungen. Die Zugangssteuerung umfasst die Zuteilung von Benutzerzugängen auf Anfrage, die Überprüfung von Benutzungsrechten und den Entzug von Zugangsrechten bei Beendigung der Tätigkeit. Die physischen und umgebungsbezogenen Sicherheitsmaßnahmen umfassen die physische Zutrittssteuerung, das Arbeiten in Sicherheitsbereichen, die Platzierung und den Schutz von Geräten und Betriebsmitteln sowie die sichere Entsorgung oder Wiederverwendung von Geräten und Betriebsmitteln. Die Datensicherung beinhaltet die regelmäßige Anfertigung und Überprüfung von Sicherheitskopien und Systemabbildern. Der Zugang zu Netzwerken, Datenbanken und Diensten ist ausschließlich befugten Benutzern und Rechnern gestattet. Privilegierte Zugangsrechte werden nur bei Bedarf vergeben und sind auf wenige Personen beschränkt.

Zur Verarbeitung von Messdaten wird ein leistungsstarker Server genutzt um KI-Algorithmen auszuführen und Modelle zu trainieren. Zusätzlich können die Modelle auch auf diesem Server angewendet und Verfahren demonstriert werden. Um die Verwendung der Auswertungstools auch in realer Anwendungsumgebungen ohne leistungsstarken KI-Server zu ermöglichen werden im Labor zusätzlich kleine KI-Anwendungs-Rechner eingesetzt, die die trainierten Modelle ausführen können.

5. Ausblick und Diskussion

Die vorliegenden Versuche bilden einen guten Querschnitt von verschiedenen Belastungslagen innerhalb unterschiedlicher Tätigkeitsfelder ab. Mit den gewonnenen Daten kann in der mobilen Applikation mittels maschinellen Lernens die Ermittlung von Indexwerten erfolgen. Im Ersten Schritt wird die beschriebene App nur Privatpersonen zur Verfügung gestellt (vgl. Abb. 10). Somit kann die Datenbasis erweitert werden und die Fehlerbehebung wird durchgeführt. Ist diese Phase abgeschlossen erfolgt die Einführung des Systems in Partnerunternehmen wie beispielsweise der Trumpf Sachsen GmbH, bei welchen einzelne Abteilungen mit Wearables ausgestattet werden. Durch die pseudonymisierte und anonymisierte, gruppenweise Datenweitergabe an Arbeits- und Prozessplaner nach Einverständniserklärung der betroffenen Mitarbeiter können die konkreten Belastungslagen einzelner Prozesse bestimmt werden. So ist es möglich, belastungsgerechte und lern- wie auch persönlichkeitsförderliche Arbeitsumgebungen zu realisieren und die Motivation der Mitarbeiter für Leistung und Lernen zu erhöhen. Im letzten Schritt wird das digitale Erfassungssystem mit klassischen Verfahren der Arbeits- und Gesundheitsgestaltung gekoppelt, um in beliebigen

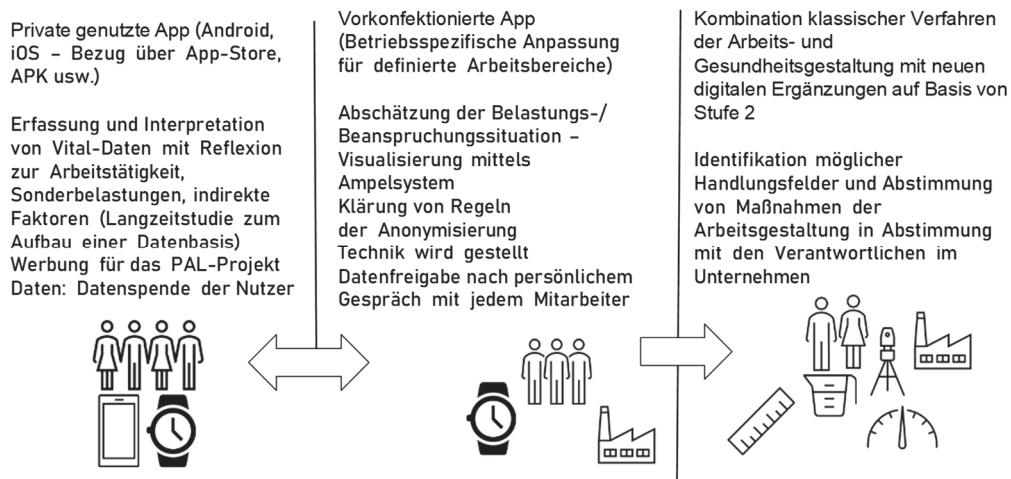


Abb. 10: Stufenmodell zur Einführung der mobilen Applikation in Verbindung mit Wearables

Unternehmen ganzheitliche Prozessanalysen und -optimierungen mit Fokus auf ein gesundes, nachhaltiges Arbeitsumfeld zu verwirklichen.

6. Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „Perspektive Arbeit Lausitz (PAL)“, Förderkennzeichen 02L19C302.

7. Quellen

- [1] BAuA (2018): Technischer Arbeitsschutz (inkl. Technische Regeln) - ASR A3.6 Lüftung, Dortmund, Deutschland.
- [2] Breyer, B./Bluemke, M. (2016): Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANAS (GESIS Panel, Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). ZIS - GESIS Leibniz Institute for the Social Sciences. [online] <https://doi.org/10.6102/zis242>.
- [3] Foroughi, C. K./Werner, N. E./Nelson, E. J./Boehm-Davis, D. A. (2014): Do Interruptions Affect Quality of Work?, in: Human Factors, Bd. 56, Nr.7, S. 1262–1271, [online] <https://doi.org/10.1177/0018720814531786>.
- [4] Hart, S. G. (2006): NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later, in: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting, S. 904-908.
- [5] Kersting, M. (2014): SMART – berufsbezogener Test zur kognitiven Kompetenz, in: Testmanual / Verfahrenshinweise, Mödling, Austria: Schuhfried.
- [6] Lorenz, D. (1989): CAD-Videosomatographie. Entwicklung und Bewertung einer Methode zur anthropometrischen Arbeitsgestaltung. Berlin, Deutschland: Springer.
- [7] Movisens GmbH I (2023): movisens Docs – EcgMove4 - Technical Data. [online] <https://docs.movisens.com/Sensors/EcgMove4/#technical-data> [abgerufen am 28.04.2023].
- [8] Movisens GmbH II (2023): movisens Docs – EdaMove4 - Technical Data. [online] <https://docs.movisens.com/Sensors/EcgMove4/#technical-data> [abgerufen am 28.04.2023].
- [9] Sammito, S. (2015): Analyse der Herzfrequenzvariabilität - Mathematische Basis und praktische Anwendung, [Online]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00059-014-4145-7> [abgerufen am 21.04.2023].
- [9] Sammito, S./Böckelmann, I. (2021): Aktualisierung der S2k-Leitlinie "Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft", Deutschland: AWMF online, [online] https://register.awmf.org/assets/guidelines/002-042l_S2k_Nutzung-Herzschlagfrequenz-Herzfrequenzvariabilitaet-Arbeitsmedizin-Arbeitswissenschaft_2022-03_1.pdf [abgerufen am 11.05.2023].
- [10] Polar GmbH (2023): Technische Daten OH1. [online] https://support.polar.com/e_manuals/OH1/Polar_OH1_user_manual_Deutsch/Content/Technical-Specifications.htm [abgerufen am 11.05.2023].
- [11] Sammito, S./Böckelmann, I. (2016): Möglichkeiten und Einschränkungen der Herzfrequenzmessung und der Analyse der Herzfrequenzvariabilität mittels mobiler Messgeräte. In: Herzschrittachertherapie + Elektrophysiologie, Nr. 27, S. 38 – 45.
- [12] Sammito, S./Thielmann, B./Seibt, R./Klussmann, A./Weippert, M./Böckelmann (2014): S2k-Leitlinie: Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und Arbeitswissenschaft. [online] https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-042l_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilit%C3%A4t_2014-07.pdf [abgerufen am 04.11.2019].
- [13] Schlick, C./Bruder, R./Luczak, H. (2017): Arbeitswissenschaft, 4. Aufl., Berlin, Deutschland: Springer Vieweg.
- [14] Schäfer, Holger (2022) Viel besser wird es nicht – Deutschlands Arbeitsmarkt am Höhepunkt, in: IW-Kurzbericht, Nr. 71/2022, S. 2, [online] iwkoeln.de
- [15] Rheinberg, F./ Vollmeyer, R./Burns, B. D. (2019): FAM. Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen, [Verfahrensdokumentation und Fragebogen], in: Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID), Open Test Archive. Trier: ZPID. [online] <https://doi.org/10.23668/psycharchives.4486>.

Megatrend Gesundheit in Zeiten von New Work

Gabriele Buruck

Westsächsische Hochschule Zwickau, Professur Gesundheitsförderung und Prävention, Germany

Gesundheit hat sich vor allem durch die Corona-Pandemie in unserem Bewusstsein verankert und ist für viele Menschen zum Lebensziel geworden. Damit einhergehend rückten auch die Potenziale von digitalen Assistenzsystemen und KI-Algorithmen auf Basis des Maschinellen Lernens in den Fokus der Wahrnehmung. Eine sichere Mensch-Roboter-Kollaboration mit einem guten Safety Engineering sowie der Einbezug motivationaler Aspekte von Kreativität und Mitgestaltung können nachhaltige Arbeitsplatzstrategien unterstützen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie sich der Wandel von Arbeit in der Zukunft auswirken wird und wie dieser Wandel gesundheitsförderlich in einer hybriden Arbeitsgesellschaft gelingen kann?

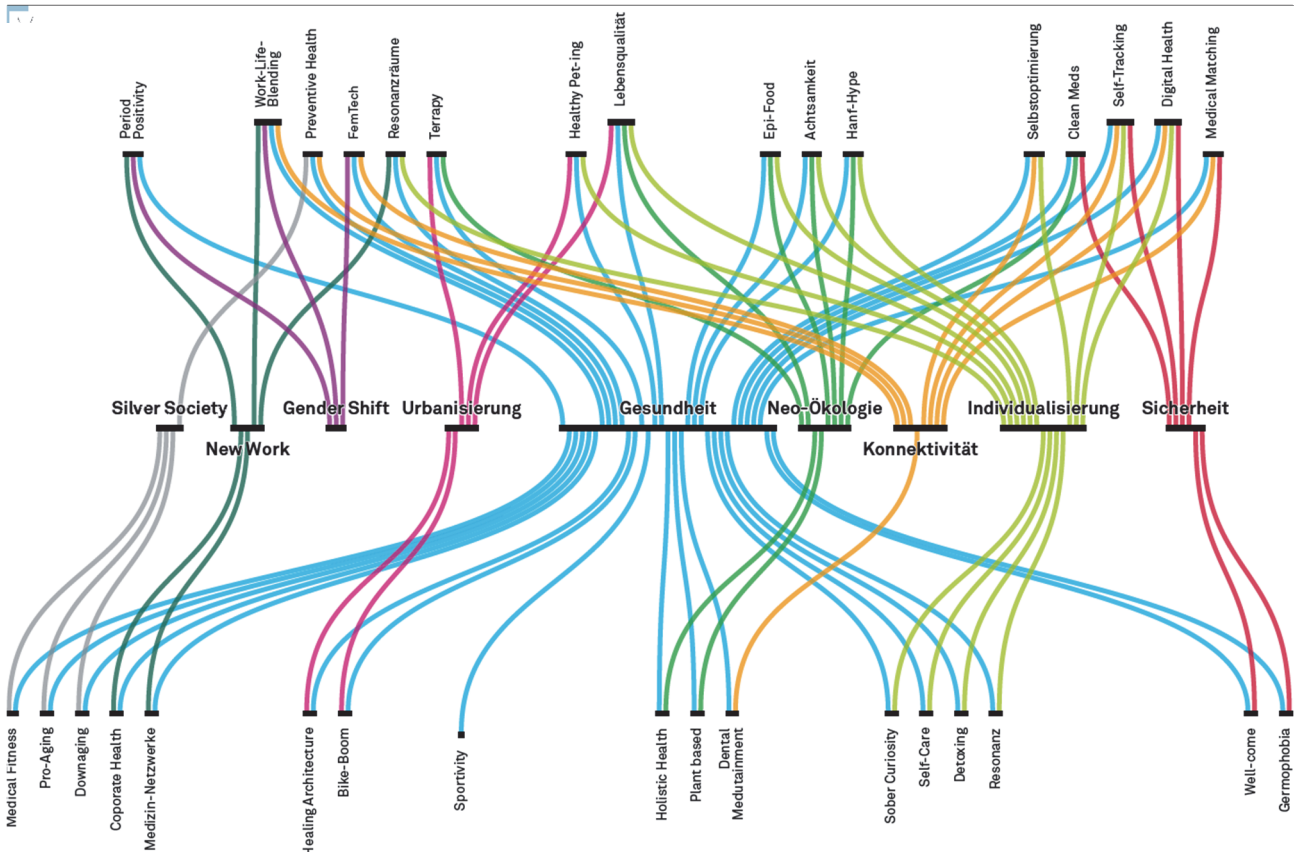


Abbildung 1 Health Trend Map 2024 aus Health Report 2024, Zukunftsinstitut

1. Zukunft von Gesundheit und Arbeit

Eine der folgenreichsten Veränderungen in der Geschichte des 21. Jahrhunderts zeigt sich in der gravierenden Verlängerung des Lebens für die Menschen dieses Zeitalters. Dieser Wandel berührt jeden Teil der Zukunft, die uns bevorsteht und die Art und Weise, wie wir in ihr leben und arbeiten werden. Ein Modell, welches diesen Wandel gut flankieren und beschreiben kann ist das Phänomen der Megatrends. Diese können dazu dienen, Veränderungsmerkmale des Wandels zu erklären und Gestaltungsempfehlungen für die Zukunft vorzubereiten und sind somit große Treiber des Wandels. Das deutsche Zukunftsinstitut definiert ab dem Jahr 2023 vier Hauptmerkmale, welche für das Konstrukt Megatrend erfüllt sein müssen (Zukunftsinstitut 2023).

1. Ein Megatrend hat eine Dauer von mindestens 50 Jahren.

2. Die Auswirkungen von Megatrends zeigen sich in allen gesellschaftlichen Bereichen.
3. Megatrends lassen sich auf der ganzen Welt beobachten.
4. Megatrends zeichnen sich durch vielfältige Wechselbeziehungen untereinander und eine hohe Dynamik aus.

Daraus leiten sich 12 Megatrends für die kommenden Jahrzehnte für die Menschen ab. Einer dieser Megatrends stellt der Wert einer guten Gesundheit im Sinne einer guten Lebensqualität dar (Abb. 1). Gemeint sind aber auch das Wissen über Epigenetik sowie Klimaschutz und Gesundheit.

Ein weiterer Megatrend bildet sich in dem Konstrukt der New Work mit einem starken Fokus auf die eigene Selbstbestimmung ab. Hier rückt vor allem die Sinnfrage von Arbeit stärker in den Fokus. Durch Digitalisierung und

Postwachstum wiederum wird der Sinn der Arbeit stärker thematisiert. Sei es, weil echte Freiräume und Potenziale dadurch entstehen oder eben auch, weil Produkte verkauft werden müssen.

Fakt ist, dass ohne digitale Kompetenzen eine Zukunft von Arbeit nicht mehr denkbar sein wird (König, Drescher & Hemel, 2022). In den vergangenen drei Jahren haben sich diese Kompetenzen durch den Einsatz von Tools zur Kommunikation, aber auch zum Projekt- und Wissensmanagement in Unternehmen sehr schnell entwickelt. Viele Unternehmen setzen dabei auf Künstliche Intelligenz (KI), welche vor allem neuen Geschäftsmodellen, wie z.B. Everything as a Service einen starken Auftrieb verleihen werden. Aber auch repetitive und eintönige Arbeitstätigkeiten können durch diese neuen digitalen Methoden der Vergangenheit angehören.

Voraussetzung dafür ist allerdings die Schaffung eines Raumes für Weiterentwicklung und die Abschaffung permanenter Rationalisierung und Optimierung.

Diesen Raum zu schaffen kann durch unterschiedliche – teils durchaus diskussionswürdige – Leitsätze gut oder weniger gut gelingen. Die Frage nach dem Sinn der Arbeit, die 30 h Woche als Vollzeitmodell oder Work-Life-Blending durch Remote Work müssen dabei immer anhand des Arbeitskontextes diskutiert werden, denn sie setzen einen echten Kulturwandel voraus. New Work kann somit nur Motivation und Arbeitszufriedenheit steigern, wenn gesundheitsförderliche Arbeitsbedingungen vorhanden sind. Diese sollten in den kommenden Jahrzehnten von Nachhaltigkeit und Wertschätzung geprägt sein und den Link zu einer ganzheitlichen Betrachtung von Gesundheit im Blick behalten.

Die Dimensionen von menschengerechter Gestaltung von Arbeit können hier als Denkraum dienen (DIN EN ISO 9241-220, 2020). Insbesondere die Entwicklungen von lern- und persönlichkeitsförderlicher Arbeit stellen für aktuelle und zukünftige Arbeitsgestaltungen unter den Bedingungen von Digitalisierung eine große Herausforderung dar.

An den Schnittstellen von Gesundheit und New Work werden sich in den kommenden Jahrzehnten neue Ansätze von Corporate Health und Open Knowledge platzieren. Bereits seit ca. 15 Jahren findet in deutschen Unternehmen ein Wechsel vom klassischen Industrial Safety (Arbeitsschutz und -sicherheit) hin zu neuen Ansätzen des Corporate Health Management (Betrieblichen Gesundheitsmanagement) mit einer Fokussierung auf die Stärkung der psychischen Gesundheit statt.

Seit Jahren sinken erfreulicherweise die Zahlen für meldepflichtige Arbeitsunfälle, insbesondere tödlicher Arbeitsunfälle in Deutschland (DGUV, 2023). Das weist darauf hin, dass in den vergangenen Jahrzehnten das Fachwissen aus den Bereichen Ergonomie und Arbeitssicherheit erfolgreich in den Unternehmen umgesetzt wurde.

Auf der anderen Seite wandeln sich die Anforderungen an Arbeit, neue Arbeitsformen entstehen und auch dank der Digitalisierung nimmt der Anteil der körperlichen Anforderungen weiter ab. Leider ist der erfolgreiche Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu psychischen Belastungen und einem ganzheitlichen Corporate Health Management bis heute nur in den Großunternehmen in Deutschland gelungen. Klein- und mittelständische Unternehmen haben für sich bis heute noch nicht vollständig den Nutzen einer effektiven Verzahnung von Gesundheit und Arbeit erkannt.

An dieser Stelle können hybride Arbeitsformen und Personalentwicklungsansätze von Open Knowledge einen wichtigen Beitrag leisten. Gemeint ist hier der offene Zugang zu Informationen und die Entwicklung von digitalen und Selbstkompetenzen, um Informationen zu Zusammenhängen von Arbeit und Gesundheit stärker in den Fokus zu stellen und diese angemessen zu interpretieren.

Bewährt hat sich aus dem gesundheitswissenschaftlichen Kontext der Ansatz der Gesundheitskompetenz (Health Literacy), welcher sich in drei Formen beobachten lässt (Abb. 2, Schaeffer et al 2017):

- die funktionale Form meint das Verstehen von Gesundheitsinformation,
- die interaktive Gesundheitskompetenz beschreibt vor allem die Informationsbeschaffung- und den Austausch von Informationen durch Kommunikation. Diese Form setzt also Kommunikationskompetenzen im mündlichen und schriftlichen Rahmen voraus.
- Die kritische Form der Gesundheitskompetenz geht von einer guten Selbstreflexion und Abstraktionsfähigkeit aus, welches es möglich macht, Informationen für eine gute Lebensqualität und damit auch Arbeitsqualität zu bewerten und einzuordnen.

Adäquat dazu hat sich in den vergangenen drei Jahren die digitale Gesundheitskompetenz, auch aufgrund der Corona-Pandemie, als Forschungs- und Anwendungsfeld etabliert (van Kessel et al, 2022).



Abbildung 2 Formen der Gesundheitskompetenz, eigene Abbildung

Diese schließt alle vorher genannten Formen der Gesundheitskompetenz ein und bezieht diese auf den Umgang mit digitalen Anwendungen und digitalen Informationen.

Erst durch die Entwicklung und Stärkung von Gesundheitskompetenz sind somit Beschäftigte und Unternehmen in der Lage Gesundheit und New Work zu gestalten.

2. Kollaboration – die Herausforderungen hybrider Arbeitssysteme in der Mensch-Technik-Interaktion

Bei der Gestaltung von Arbeit, welche bisher vor allem durch die gesetzlichen Rahmenempfehlungen des Arbeitsschutz- und des Präventionsgesetzes sowie verschiedene DIN Normen (ArbSch, § 5, 2015; PräVG, 2015; DIN EN ISO 10075, 2018, DIN EN ISO, DIN EN ISO 9241-200, 2019) geregelt ist, kommt nun, getrieben durch die Digitalisierung, ein neuer Akteur hinzu.

Künstliche Intelligenz, datengetriebene Assistenzsysteme, Roboter und Cobots (kollaborative Roboter) erweitern nun den Kreis der Interaktionspartner. Diese neuen möglichen Partner können unter Einbezug von ethischen und partizipativen Ansätzen der Organisationsentwicklung eine sinnvolle Ergänzung im Arbeitsleben darstellen. Ergänzung meint an dieser Stelle die Schaffung von Freiräumen für kognitive, kreative und soziale Fähigkeiten, da physische und repetitive Arbeitstätigkeiten durch die neuen Interaktionspartnern geleistet werden.

Bereits 2016 hat die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin eine Standortbestimmung zu unterschiedlichen Arbeitsmerkmalen und Psychischer Gesundheit vorgenommen. Zu den technischen Faktoren, auf welche Beschäftigte im Arbeitskontext treffen, gehört auch das Merkmal der Mensch-Maschine-Interaktion (Robelski, 2016). Diese Form der Arbeit war bis vor einigen Jahren noch ausschließlich in klassischer Produktionsarbeit angesiedelt. Wertschöpfung konnte bereits zu diesem Zeitpunkt nur unter den Kriterien vor allem ergonomischer Kriterien der menschengerechten Arbeitsge-

staltung gelingen. Insbesondere die Schnittstellengestaltung bzw. die Bedienung und Überwachung wiesen darauf hin, dass zum einen subjektive Präferenzen aber auch die Leistung eine positive ergonomische Schnittstellengestaltung beeinflussen. Zum anderen konnte bestätigt werden, dass zu enge technologische Kopplungen der Mensch-Technik-Interaktion negativen Folgen für die psychische Gesundheit und die Arbeitszufriedenheit haben (Robelski, 2016).

Diese Betrachtungen haben sich nun auf die Mensch-Roboter-Interaktion als ein hybrides Arbeitssystem erweitert. Diese Interaktion findet üblicherweise mit physisch verkörperten Robotern (embodiment) statt (Tausch, 2021). Dabei können die Roboter ganz unterschiedliche Aufgabentypen wahrnehmen, z.B. im klassische Montagefunktionen im Bereich der Industrie. Im Arbeitskontext geht es vor allem um die funktionale Erfüllung der Arbeitsaufgabe und die dafür notwendige Kommunikation und Koordination zwischen Menschen und Roboter. Zunehmend entwickeln sich aber kollaborative Systeme der Robotik, welche die Grenzen zwischen Industrie- und Servicerobotik mehr und mehr verschwinden lassen (Tausch, 2021, S. 13).



Abbildung 3: Bildbeispiel Roboter – Stock-adobe

Aus der arbeitswissenschaftlichen Forschung werden drei Interaktionsformen zwischen Menschen und Roboter definiert (Schmidler et al 2015):

- Ko-Existenz ohne direkte Interaktion, aber im gleichen Raum mit beidseitigem Wissen über die Arbeit und das Verhalten des anderen Partners,
- Kooperation mit einem arbeitsteiligen Vorgehen bezogen auf das produktbezogene Endziel und
- Kollaboration als eine Form der direkten Zusammenarbeit mit einer fortlaufenden Koordination und dem Ziel der Synergiebildung.

Aus diesen Interaktionsformen entstehen die technik- und arbeitsgestalterischen Bedarfe, welche sich primär auf die Ausführbarkeit der Arbeitsaufgabe beziehen. Andererseits stellen soziale Faktoren, Handlungs- und Entscheidungsspielräume, Lernförderlichkeit und intrinsische Motivation ebenfalls wichtige Dimensionen dieser Interaktion dar (Hackman & Oldman, 1976; Hacker & Sachse, 2014). Aber auch soziotechnische Ansätze, welche die Mensch-Roboter-Interaktion im Arbeitskontext erklären, können durch ihre Schwerpunktsetzung auf die Gestaltung der Arbeitsorganisation einen wichtigen Beitrag leisten. Hier spielt die Verteilung von Aufgaben (Aufgabenallokation) zwischen Menschen und Technik innerhalb der Arbeitsorganisation eine entscheidende Rolle (Tausch, 2021). Prominent vertreten sind hier wissenschaftliche Modelle, welche den Fokus auf die Zusammenarbeit (Kollaboration) von Menschen und Entscheidungsunterstützungssystemen legen und das Ziel einer guten psychischen Gesundheit haben (Cummings & Bruni, 2010). Erste Studienergebnisse bestätigen die Wichtigkeit der Aufgabenallokation unter einer starken Beteiligung der Beschäftigten und somit ihre Folgen für das Erleben und Verhalten der Beschäftigten durch starke kognitive und motivationale Prozesse (Tausch, 2021).

Leider ganz am Anfang befindet sich der Diskurs über die ethische und soziale Implikation der Mensch-Roboter-Interaktionen, insbesondere was die Technikfolgen betreffen. Drei Einflussgrößen sollten zukünftig diskutiert werden (Onnasch et al 2019):

1. die Stärke der Aufgabenführung bei der Interaktion,
2. eine hohe Roboterautonomie sowie

Literaturverzeichnis

- [1] Cummings, Mary L./ Bruni, Sylvain (2010): Human-automation collaboration in complex multivariate resource allocation decision support systems, in: *Intelligent Decision Technologies*, Bd. 4, S. 101-114, [online] doi: 10.3233/idt-2010-0072.
- [2] Daugherty, Paul/ Wilson, H. James (2018): *Human + Machine: Reimagining Work in the Age of AI*, Boston: Harvard Business Review Press.
- [3] DGUV e.V. (2023): Fast 300.000 Verdachtsanzeigen auf COVID-19 als Berufskrankheit, DGUV, [online] https://www.dguv.de/de/mediencenter/pm/pressemitteilung_549632.jsp [abgerufen am 15.05.2023].
- [4] DIN e.V. (Hrsg.) (DIN EN ISO 10075-1:2018-01, 2018): DIN 10075-1:2018-01, Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe (ISO 10075-1:2017), Berlin, Deutschland: Beuth-Verlag.

3. die Morphologie des Roboters.

Tatsächlich zeigt sich, dass Unternehmen, welche hybride Arbeitssysteme nur einsetzen, um Arbeitskräfte zu ersetzen nur kurzfristig Produktionsgewinne erzielen werden. Die Studie von Wilson und Daugherty (2018) belegt, dass die größten Leistungssteigerungen erzielt werden, wenn Menschen und intelligente Maschinen zusammenarbeiten und die Stärken des jeweils anderen unterstützen. Das betrifft auch das gesamte Gebiet der KI im Arbeitskontext. Menschen müssen KI-Agenten schulen, ihre Leistungen erklären und dafür sorgen, dass sie verantwortungsvoll eingesetzt werden.

KI-Agenten wiederum können Menschen bei der Informationsbeschaffung, der Datenverarbeitung, dem routinemäßigen Kundendienst und der körperlichen Arbeit unterstützen und sie so für höherwertige Aufgaben freisetzen, die Führung, kreatives Denken, Urteilsvermögen und andere menschliche Fähigkeiten erfordern.

Um das Beste aus der KI herauszuholen, müssen Unternehmen ihre Geschäftsprozesse neugestalten. Nachdem sie entschieden haben, was verbessert werden muss - ihre betriebliche Flexibilität, Geschwindigkeit oder Skalierbarkeit, ihre Entscheidungsfindung oder ihre Fähigkeit, Produkte und Dienstleistungen zu personalisieren - können sie geeignete Lösungen entwickeln. Das bedeutet nicht nur die Implementierung von KI-Technologie, sondern auch die Entwicklung von Mitarbeitern, die effektiv an der Schnittstelle zwischen Menschen und Maschine arbeiten können.

3. Danksagung

Die Autorin dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „Perspektive Arbeit Lausitz (PAL)“ Förderkennzeichen 02L19C302

Kontakt Daten (optional)

Westfälische Hochschule Zwickau, Fakultät Gesundheits- und Pflegewissenschaften, Professur für Gesundheitsförderung und Prävention

Prof. Dr. rer. medic. Gabriele Buruck

gabriele.buruck@fh-zwickau.de

- [5] DIN e.V. (Hrsg.) (DIN EN ISO 9241-220:2020-07, 2020): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 220: Prozesse zur Ermöglichung, Durchführung und Bewertung menschenzentrierter Gestaltung für interaktive Systeme in Hersteller- und Betreiberorganisationen (ISO 9241-220:2019), Berlin, Deutschland: Beuth-Verlag.
- [6] Hacker, Winfried/ Sachse Pierre (2014): *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten*, 3. Aufl., Göttingen, Deutschland: Hogrefe.
- [7] Hackman, J. Richard/Greg R. Oldham (1976): Motivation through the design of work: test of a theory, in: *Organizational Behavior and Human Performance*, Bd. 16, Nr. 2, S. 250–279, [online] doi:10.1016/0030-5073(76)90016-7.
- [8] König, Sebastian/ Drescher, Simon/ Hemel, Ulrich (2022): *Digitale Kompetenzen im Beruf*, Stuttgart, Deutschland: Kohlhammer Verlag.
- [9] Onnasch, Linda/ Jürgensohn, Thomas/ Remmers, Peter/ Asmuth, Christoph (2019): *Ethische und soziologische Aspekte der Mensch-Roboter-Interaktion*, Dortmund, Deutschland: BAuA, [online] doi: 10.21934/baua:bericht20190128.
- [10] Robelski, Swanjite (2016): *Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt - Mensch-Maschine-Interaktion*, Dortmund, Deutschland: BAuA, [online] doi: 10.21934/baua:bericht20160713/4d.
- [11] Schaeffer, Doris/ Vogt, Dominique/ Berens, Eva-Maria/ Messer, Melanie/ Quenzel, Gudrun/ Hurrelmann, Klaus (2017): Health Literacy in Deutschland, in Doris Schaeffer/ Jürgen Pelikan (Hrsg.): *Health Literacy. Forschungsstand und Perspektiven*, Bern, Schweiz: Hogrefe, S.129-143.
- [12] Schmidtler, Jonas/Verena Knott/Christin Hölzel/Klaus Bengler (2015): Human Centered Assistance Applications for the working environment of the future, in: *Occupational ergonomics*, Bd. 12, Nr. 3, S. 83–95, [online] doi:10.3233/oer-150226.
- [13] Tausch, Alina (2021): Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion - Eine psychologische Betrachtung von Aufgabenzuteilungs-Prozessen zur Gestaltung menschengerechter Zusammenarbeit von Mensch und Roboter, Dissertation, Fakultät für Psychologie, Ruhr-Universität Bochum, [online] doi: 10.21934/baua:bericht20210614.
- [14] Van Kessel, Robin/Brian J. F. Wong/Timo Clemens/Helmut R. Brand (2022): Digital health literacy as a super determinant of health: More than simply the sum of its parts, in: *Internet interventions*, Elsevier BV, Bd. 27, S. 100500, [online] doi:10.1016/j.invent.2022.100500.
- [15] Zukunftsinstitut GmbH (2023): Die Megatrends, zukunftsinstitut, [online] <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/> [abgerufen am 15.05.2023].

Barrierenanalyse bei digitalen Arbeitsmitteln

Ulrike Pietrzyk¹, Michael Gühne²

¹Technische Universität Dresden, Fakultät Psychologie, Dresden, Deutschland

²Technische Universität Dresden, Fakultät Psychologie, Dresden, Deutschland

Kurzfassung

Digitale Arbeitsmittel können die mit ihrer Einführung angestrebten Effekte nur erzielen, wenn sie von den Beschäftigten in Unternehmen wie intendiert genutzt werden. Barrieren, die einer intendierten Nutzung entgegenstehen, können in allen Anwendungsphasen und auf allen Ebenen von Unternehmen auftreten. Die erfolgreiche Bearbeitung von Barrieren setzt das Wissen um deren Existenz und Ausgestaltung voraus. Die Existenz und die Ausgestaltung von Barrieren sind kontextspezifisch und variieren zwischen Unternehmen, weswegen die Barrierenanalyse ergebnisoffen und unternehmensspezifisch erfolgen sollte. Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch stellt als zeitweilige partizipative Kleingruppenarbeit einen methodischen Ansatz dar, unternehmensspezifisch und ergebnisoffen Barrieren des intendierten Einsatzes digitaler Arbeitsmittel in Unternehmen zu identifizieren und Lösungsansätze zu erarbeiten.

1. Problemlage

Die Einführung digitaler Arbeitsmittel in Unternehmen ist verbunden mit der Erwartung, die Effizienz zu erhöhen. Digitale Arbeitsmittel umfassen vielfältige Formen und können in fast allen Bereichen der Wertschöpfung in Unternehmen Verwendung finden. Eine Gemeinsamkeit ist, dass digitale Arbeitsmittel, wie alle Veränderungen in Unternehmen, welche menschliches Verhalten betreffen, die mit ihrer Einführung angestrebten Effekte nur erzielen können, wenn sie wie intendiert genutzt werden, d. h. erfolgreich implementiert wurden [2]. Einflüsse, welcher einer erfolgreichen Implementierung entgegenstehen, können als Barrieren verstanden werden. Barrieren der Implementierung digitaler Arbeitsmittel sind eine Form von Innovationsbarrieren [6]. Die erfolgreiche Bearbeitung von Barrieren im Implementierungsprozess digitaler Arbeitsmittel in Unternehmen setzt eine adäquate Barrierenanalyse voraus, d. h. das Wissen um die Existenz und Ausgestaltung der Barrieren. Daran anschließend wird im Beitrag der Frage nachgegangen, wie Unternehmen Barrieren bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel adäquat analysieren können.

In Abschnitt zwei wird dargestellt, welche Herausforderungen mit der Analyse von Barrieren bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel in Unternehmen verbunden sind. In Abschnitt drei wird das Vorgehen beim Aufgabenbezogenen Informationsaustausch [9] vorgestellt, welches einen möglichen Ansatz bietet, diesen Herausforderungen zu begegnen. In Abschnitt vier wird dargestellt, wie das Vorgehen des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs für die Barrierenanalyse bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel in Unternehmen Verwendung finden kann. Den Abschluss des Beitrags bildet ein kurzer Ausblick zum weiteren Vorgehen.

2. Herausforderungen der Barrierenanalyse

(A) Überträgt man die Darstellung von Guest & Bos-Nehles [2], so kann die Implementierung von digitalen Arbeitsmitteln in Unternehmen als Prozess verstanden werden, welcher sich vereinfacht in vier Schritte unterteilen lässt: (1) Die Entscheidung durch die Unternehmensführung und die zuständigen Akteure, bestimmte digitale Arbeitsmittel einzuführen, (2) die Anpassung und Gestaltung der digitalen Arbeitsmittel an den unternehmensinternen (z. B. existierende Prozesse) und unternehmensexternen (z. B. gesetzliche Vorgaben) Kontext, (3) die formale Einführung der Praktik, (4) die Feinabstimmung der digitalen Arbeitsmittel an die Erfordernisse der Adressaten und der Umwelt, in welche sie eingebettet sind. Barrieren können nun in allen vier Schritten auftreten. Für eine erfolgreiche Implementierung von digitalen Arbeitsmitteln in Unternehmen ist es somit zentral, Barrieren in allen vier Schritten der Umsetzung zu erkennen [11].

(B) Eine Herausforderung für die Barrierenanalyse ist der dynamische Charakter von Barrieren, d. h. die Veränderung bzw. Neuentstehung von Barrieren im Implementierungsprozess digitaler Arbeitsmittel. Die Vorabanalyse möglicher Barrieren in den vier Schritten des Implementierungsprozesses ist somit notwendig, oftmals jedoch nicht ausreichend für eine erfolgreiche Implementierung. Eine adäquate Analyse von Barrieren der Implementierung digitaler Arbeitsmittel sollte den dynamischen Charakter berücksichtigen.

(C) Barrieren können unterteilt werden in Barrieren des einzuführenden Arbeitsmittels (z. B. mangelhafte Bedienbarkeit), der Person (z. B. fehlende Qualifikation der Person) und des Umfelds [1]. Das Umfeld kann Barrieren auf Ebene von Gruppen (z. B. ablehnendes Gruppendenken), des Unternehmens (z. B. unpassende IT-Infrastruktur) sowie der Unternehmensumwelt (z. B. beschränkende gesetzliche Vorgaben) umfassen. Barrieren des Umfelds können formal fixiert (z. B. ineffizient definierte

Prozesse) aber auch informell vorliegen (z. B. Stereotype oder etablierte nicht-formalisierte Prozesse). Die Analyse von Barrieren der Implementierung digitaler Arbeitsmittel sollte die verschiedenen Ebenen des Auftretens berücksichtigen.

(D) Die Formen des Auftretens von Barrieren sind mannigfaltig und nicht abschließend zu erfassen [6] [10]. Eine Barrierenanalyse, welche bestimmte Typen von Barrieren sucht, übersieht somit viele weitere mögliche Erscheinungsformen. Ein adäquates Vorgehen zur Analyse von Barrieren der Implementierung digitaler Arbeitsmittel sollte es demgegenüber ermöglichen, auch nicht erwartete bzw. nicht bekannte Formen von Barrieren erkennen und erfassen zu können.

(E) Die Abhängigkeit des Auftretens und der Ausgestaltung der Barrieren von Personen und dem Umfeld hat zur Folge, dass bestimmte Barrieren zwar gehäuft bei bestimmten digitalen Arbeitsmitteln auftreten können, die konkrete Ausgestaltung der Barrieren jedoch kontextspezifisch ist und zwischen Unternehmen und sogar zwischen Bereichen von Unternehmen variiert, was bei der Barrierenanalyse zu berücksichtigen ist. Die alleinige Nutzung von Best Practice bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel ist vor diesem Hintergrund kritisch zu sehen, da die Spezifik von Unternehmen nicht beachtet wird.

Daran anschließend ist ein standardisiertes Vorgehen bei der Implementierung eines digitalen Arbeitsmittels als nicht der Komplexität der Herausforderung adäquat einzuschätzen. Damit einhergehend greift in vielen Fällen die Fokussierung auf das Design eines digitalen Arbeitsmittels sowie bloße Anwenderschulungen zu kurz. Demgegenüber kann ein standardisiertes Vorgehen für die Barrierenanalyse bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel, welches die fünf skizzierten Herausforderungen adressiert, eine ertragreiche Hilfestellung für Unternehmen sein.

3. Aufgabenbezogener Informationsaustausch

Ein standardisiertes Vorgehen, welches die skizzierten fünf Herausforderungen der Barrierenanalyse bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel adressieren kann, ist der Aufgabenbezogene Informationsaustausch.

Das auf Neubert & Tomczyk [8] basierende und vielfältig weiterentwickelte Verfahren versucht mittels zeitweiliger moderierter Kleingruppenarbeit partizipativ Gruppenverluste zu minimieren und Gruppengewinne zu optimieren. Dabei werden sowohl individuelle als auch organisationale Lernprozesse gefördert [3].

Zur Durchführung des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs wird ein zu analysierendes Ziel in Teilziele zerlegt und die Gruppe zur Bearbeitung des Teilziels der Problemstruktur entsprechend zusammengestellt. Die Gruppe sollte vertikal heterogen (Personen

der relevanten Organisationseinheiten und weisungsbefugte Vorgesetzte) und horizontal heterogen (Personen mit unterschiedlichen Erfahrungen aus unterschiedlichen Bereichen) zusammengesetzt sein und durch eine neutrale Person (z. B. eine unternehmensexterne Person) moderiert werden [14]. Die Teilnahme sollte freiwillig erfolgen. Die mit der Moderation beauftragte Person muss für das Verfahren des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs geschult sein. Bei Bedarf, d. h. mehreren Teilzielen oder mehreren Schritten zur Erreichung eines Teilziels, ist das Verfahren mehrfach wiederholbar.

Die Anwendung des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs ist zielführend, wenn (1) die relevanten Informationen bei den beteiligten Personen unterschiedlich verteilt sind, (2) Teile der relevanten Informationen nur einzelne Personen besitzen, (3) dabei können Teile der benötigten Informationen allen beteiligten Personen unbekannt sein, (4) die beteiligten Personen zusammen mehr Informationen besitzen als jede einzelne Person [4].

Der konkrete Ablauf kann in Abhängigkeit des Einsatzziels variieren, orientiert sich jedoch nach Looks [5] an dreizehn Prinzipien:

- Vereinbarung von Zielen und Bewertung von Zielen: Bei Beginn der Verfahrensumsetzung werden durch die teilnehmenden Personen Ziele bzw. Teilziele vereinbart, priorisiert und fixiert. Bei der Umsetzung ist die Erreichung der Ziele bzw. Teilziele zu evaluieren.
- Sequentielle Trennung von Zustandsanalyse und Lösungssuche: Die Trennung der Analyse des Ist-Zustands von der Suche nach Lösungen soll die Bearbeitung für die Personen erleichtern.
- Trennung von Phasen der Informationssammlung und -bewertung: Informationen sollen zuerst ohne Bewertung gesammelt werden. Damit sollen Majoritätseffekte reduziert, Bewertungsängste minimiert und Komplexität reduziert werden.
- Individualarbeit vor Gruppenarbeit: Es soll zuerst individuell und erst im Anschluss daran in der Gruppe gearbeitet werden, damit auch Informationen genutzt werden können, welche bei Gruppendiskussionen nicht geäußert werden würden.
- Individuelle Arbeit im Gruppenauftrag: Durch Aufgaben für die Zeit zwischen den Treffen wird den Personen Zeit und Anlass gegeben, sich intensiv mit dem Sachverhalt auseinanderzusetzen.
- Information aller Betroffenen: Alle betroffenen Personen im Unternehmen sollen mittels eines gemeinsam erarbeiteten Informationsmodells einbezogen werden, ohne die Gruppengröße zu erhöhen, um die Akzeptanz zu steigern.
- Verfahrens- und Gesprächsregeln: Verfahrens- und Gesprächsregeln sind festzulegen und zu fixieren.

Diese sollen die Motivation und Koordination erhöhen, Gruppendenken reduzieren, die Gleichheit der Personen bei der Gruppenarbeit garantieren und das Einbringen heterogener Positionen fördern. Die Einhaltung ist durch die Person in der Moderatorenrolle sicherzustellen.

- Gleichgewicht von Geben und Nehmen: Durch die heterogene Zusammensetzung soll die Angst vor „Wissensenteignung“ bei den Personen der Gruppe verringert werden.
- Externalisierung: Durch den Einsatz verschiedener Verbalisierungs- und Visualisierungstechniken sollen geistige Prozesse externalisiert werden, welche oftmals nicht einfach zu verbalisieren sind.
- Prozess- und Ergebnisdokumentation: Durch die Prozess- und Ergebnisdokumentation wird es möglich, nicht nur die Ergebnisse sondern auch den Prozess ihrer Entstehung für Nicht-Beteiligte oder spätere Analysen nachvollziehbar abzulegen.
- Optimale Bearbeitungsstrategie: Die einzelnen Phasen sollen vollständig und abfolgelogisch bearbeitet werden um einen optimalen Kommunikationszyklus und damit eine bessere Lösungsgüte zu erreichen.
- Kleine Gruppen: Die Gruppengröße sollte auf maximal 6-8 Personen beschränkt sein um Motivations- und Koordinationsverluste zu reduzieren, welche den Gruppenerfolg verringern.
- Integration in Unternehmensziele: Die Orientierung an den Zielen des Unternehmens steigern die Wahrscheinlichkeit der Integration der Ergebnisse in das Unternehmen.

4. Barrierenanalyse mit dem Aufgabenbezogenen Informationsaustausch

Die Anwendung des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs zur Barrierenanalyse bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel kann die im zweiten Abschnitt skizzierten Herausforderungen adressieren.

(A) Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch kann in den vier dargestellten Phasen der Implementierung zur Analyse möglicher Barrieren eingesetzt werden, indem das heterogene Wissen der beteiligten Personen zusammengeführt und analysiert werden kann. (1) So kann bei der Entscheidung, ein digitales Arbeitsmittel einzuführen, das Wissen der Geschäftsführung, den Personen, welche das digitale Arbeitsmittel nutzen sollen, sowie unternehmensinternen und unternehmensexternen Personen mit spezifischen Fachkenntnissen zusammengeführt und analysiert werden, um vorab mögliche Barrieren zu erkennen. (2) Potenzielle Anwenderinnen und Anwender können im Austausch mit IT-Fachkräften partizipativ bei der Requirementanalyse beteiligt werden, was die Wahrscheinlichkeit der Identifikation von Barrieren erhöht sowie die Akzeptanz steigern kann. (3)

Die Einbindung und Beteiligung aller relevanter Akteure bei der Planung und Umsetzung der Einführung des digitalen Arbeitsmittels hilft, viele potentielle Barrieren schon vor der konkreten Umsetzung zu erkennen. (4) Auch nach der Einführung eines digitalen Arbeitsmittels ist es wichtig, vorab nicht erkannte Barrieren der Anwendung im Alltag unter Einbeziehung aller betroffener Personen zu identifizieren und zu beseitigen.

(B) Wird der Aufgabenbezogene Informationsaustausch im Vorfeld der Einführung, bei deren Umsetzung sowie bei der Anwendung des digitalen Arbeitsmittels im Arbeitsalltag nicht nur anlassbezogen sondern regelmäßig eingesetzt, kann die mögliche Dynamik bei der Analyse von Barrieren Berücksichtigung finden.

(C) und (D) Die zentrale Stärke des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs bei der Analyse von Barrieren bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel liegt in dem Potential, Gruppenverluste zu minimieren und Gruppengewinne zu optimieren, welche aus der Kombination der im dritten Abschnitt dargestellten Prinzipien folgt. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Barrieren auf verschiedenen Ebenen und in manigfaltiger Form zu erkennen. Durch die Einbeziehung aller relevanter Personen und die heterogene Gruppenzusammensetzung besteht die Möglichkeit, umfassendes Wissen in der Analyse zu berücksichtigen. Die Trennung von Phasen der Informationssammlung und -bewertung oder das Prinzip der Individualarbeit vor Gruppenarbeit erleichtert das Einbringen des gesamten individuellen Wissens in den Gruppenprozess. Auch implizites und schwer verbalisierbares Wissen kann auf diese Weise expliziert und eingebracht werden. Wichtig sind zudem die Verfahrens- und Gesprächsregeln. Diese sollen gewährleisten, dass sich alle Personen gleichberechtigt einbringen können und auch heterogene Positionen geäußert und diskutiert werden. Die Einhaltung der Verfahrens- und Gesprächsregeln ist durch die Person in der Moderatorenrolle zu gewährleisten, weswegen diese Person unabhängig gegenüber allen Personen der Gruppe sein sollte. Ist dies nicht durch Personen aus dem Unternehmen zu gewährleisten, was bei KMU zumeist der Fall ist, ist das Hinzuziehen externer Personen anzuraten. Durch die Einhaltung dieser Prinzipien ist es möglich, Barrieren ergebnisoffen zu erkennen und zu analysieren. Da das Verfahren getrennt von den Standardprozessen im Unternehmen umgesetzt wird, ermöglicht es eine Außen-sicht, was das Erkennen von Barrieren erleichtert [12]. Insofern die Verfahrens- und Gesprächsregeln einen reflexiven Austausch anregen [7], lassen sich auch schwer zu identifizierende Barrieren, wie beispielsweise Pfadabhängigkeiten [13], identifizieren. Dies kann beispielsweise durch die Person in der Moderatorenrolle durch „naive Fragen“ bzw. das Einnehmen der Rolle des „Advocatus Diaboli“ unterstützt werden.

(E) Da das Vorgehen des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs über die Aufnahme von Expertinnen und Experten in die Kleingruppen vorhandenes Fachwissen

über Barrieren integriert, jedoch auch die betroffenen Personen aus dem Unternehmen partizipativ beteiligt, kann die Analyse von Barrieren bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel unternehmensspezifisch erfolgen und somit deren Spezifika aufnehmen.

Die Anwendung des skizzierten Vorgehens ist nicht auf die Analyse von Barrieren bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel beschränkt. Da Begriffe wie „Digitalisierung“ oder „Künstliche Intelligenz“ jedoch auch jenseits von Unternehmen in öffentlichen Diskursen oder Debatten im privaten Raum diskutiert werden, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von schwierig zu identifizierenden Barrieren aufgrund etablierter Denkmuster, was die Notwendigkeit einer Barrierenanalyse unterstreicht, welche die aufgeführten fünf Herausforderungen adressiert.

5. Ausblick

Im Beitrag wurden Herausforderungen der Analyse von Barrieren bei der Implementierung digitaler Arbeitsmittel in Unternehmen dargestellt, sowie das Potenzial des Aufgabenbezogenen Informationsaustauschs, diese Herausforderungen zu adressieren, umrissen.

Wie genau dieses Potenzial im Alltag der Unternehmen unter Beachtung ökonomischer Erfordernisse effizient in konkrete Ergebnisse umgesetzt werden kann, Bedarf weitergehender Analysen.

Fördermittelgeber



Kontaktdaten

Technische Universität Dresden
Bereich Mathematik und Naturwissenschaften
Fakultät Psychologie
Arbeitsgruppe Wissen-Denken-Handeln
Michael Gühne
michael.guehne@tu-dresden.de

Literaturverzeichnis

- [1] Bürg Oliver/Heinz Mandl (2005): Akzeptanz von E-Learning in Unternehmen, in: *Zeitschrift für Personalpsychologie*, Bd. 4, Nr. 2, S. 75-85.
- [2] Guest, David/Anne Bos-Nehles (2013): *HRM and Performance: the role of effective implementation*, in: Jaap Paauwe/David E. Guest/Patrick M. Wright (Hrsg.): *HRM & performance. Achievements and challenges*, Chichester: Wiley-Blackwell, S. 79-96.
- [3] Hacker, Winfried/ Frank Pietzcker/Peggy Looks (2010): *Vorwort*, in: Frank Pietzcker/Peggy Looks (Hrsg.): *Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch - zeitweilige partizipative Gruppenarbeit zur Problemlösung*, Zürich: vdf Hochschulverlag, S. 7-9.
- [4] Jahn, Frauke/ Annekatri Wetzstein/Ariunaa Ishig/Winfried Hacker (2002): *Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch (AI). Weiterentwicklung einer Methode zur Gestaltung und Optimierung von Arbeitsprozessen*, Dresden: TU-Dresden.
- [5] Looks, Peggy (2010): *1. Vorbereitung, Durchführung und Auswertung eines AI*, in: Frank Pietzcker/Peggy Looks (Hrsg.): *Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch - zeitweilige partizipative Gruppenarbeit zur Problemlösung*, Zürich: vdf Hochschulverlag, S. 11-48.
- [6] Mirow, Christoph (2010): *Innovationsbarrieren*, Wiesbaden: Gabler.
- [7] Moldaschl Manfred (2006): *Innovationsfähigkeit, Zukunftsfähigkeit, Dynamic Capabilities. Moderne Fähigkeitsmystik und eine Alternative*, in: Georg Schreyögg/Peter Conrad (Hrsg.): *Managementforschung 16. Management von Kompetenz*, Wiesbaden: Gabler, S. 1-36.
- [8] Neubert, Jürgen/Rolf Tomczyk (1986): *Gruppenverfahren der Arbeitsanalyse und Arbeitsgestaltung*, Berlin: Springer.
- [9] Pietzcker, Frank/ Peggy Looks (2010) (Hrsg.): *Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch - zeitweilige partizipative Gruppenarbeit zur Problemlösung*, Zürich: vdf Hochschulverlag.
- [10] Schirmer, Frank/ Daniel Knödler/ Michael Tasto (2012): *Innovationsfähigkeit durch Reflexivität: Neue Perspektiven auf Praktiken des Change Management*, Wiesbaden: Gabler.
- [11] Schirmer, Frank/ Michael Gühne/ Silke Geithner (2022): *Barrieren des Demografiemanagements erkennen und überwinden*, in: Karlheinz Schwuchow/ Joachim Gutmann (Hrsg.): *HR-Strategie: Demografie als Chance. Alter - Gesundheit - Diversität*, Freiburg: Haufe, S. 13-23.
- [12] Schreyögg, Georg/Martina Kliesch-Eberl (2007): How dynamic can organizational capabilities be? Towards a dual-process model of capability dynamization, in: *Strategic Management Journal*, Bd. 28, Nr. 9, S. 913-933.
- [13] Sydow, Jörg/Georg Schreyögg/Jochen Koch (2009): Organizational path dependence: Opening the black box, in: *Academy of Management Review*, Bd. 34, Nr. 4, S. 689-709.
- [14] Wetzstein, Annekatri/Ariunaa Ishig/Winfried Hacker (2004): Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch als innovationsförderndes Instrument für Unternehmen, in: *Wirtschaftspsychologie aktuell*, Bd. 11, Nr. 3, S. 57-60.

Vorgehensweise zur Implementation von datenbasierten Assistenzsystemen

Daniel Grölllich¹, Martin Hahmann², Gritt Ott³, Claudia Graf-Pfohl⁴

¹TU Dresden, Professur für Arbeitswissenschaft, Deutschland

²TU Dresden, Professur für Datenbanken, Deutschland

³TU Dresden, CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation, Deutschland

⁴ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH, Chemnitz, Deutschland

Kurzfassung

Einsatz datenbasierter Assistenzsysteme in Wertschöpfungsprozessen ist sowohl mit Chancen als auch mit Risiken für diese Prozesse bzw. für die Arbeitskräfte verbunden. Studien zeigen gegenwärtig noch Defizite im Entwicklungs-/Implementationsprozess der Assistenzsysteme auf, z. B. bei der Auswahl der Datengrundlage, der Modellerstellung und dem Trainieren von Modellen. Eine erfolgreiche Implementation von Assistenz-Lösungen erfordert ein systematisches Vorgehen, um alle relevanten Gestaltungsaspekte und deren Abhängigkeiten der Gestaltungsdimensionen Mensch – Technik – Organisation voneinander zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wird eine Vorgehensweise entwickelt, die der notwendigen Interdisziplinarität Rechnung trägt. Diese wird in den nächsten Jahren anhand von Fallbeispielen erprobt und bewertet.

1. Motivation

Implementationsstrategien bzw. -Vorgehensweisen sind sowohl für technische als auch arbeitswissenschaftliche Gestaltungslösungen grundsätzlich bekannt und verfügbar. Teilweise sind solche Strategien bereits in Form von Standards und Richtlinien dokumentiert und verbreitet. Beispiele hierfür sind die VDI 2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, die VDI 3780 Technikbewertung oder Wissensmanagement für KMU – DIN SPEC 91443.

Für die Implementation von KI-Lösungen sind die aktuellen Vorgehensweisen unserer Meinung nach nur bedingt geeignet. Sie sind für die Umsetzung in Unternehmen einerseits zu allgemein, um eine effektive und erfolgsversprechende Implementation zu unterstützen, und spiegeln andererseits die zu beachtenden Zusammenhänge zwischen Gestaltungsaspekten noch nicht hinreichend wider. KI-Lösungen stehen nicht wie andere Technologien als modularer Baukasten zur Verfügung, aus denen je nach Unternehmensanforderungen auswählbar sind. Die Lösungen müssen extrem unternehmensspezifisch zugeschnitten werden, da es sich bei KI einerseits um ein neues Innovationsfeld handelt. Hier liegen bisher nur mangels realisierter Umsetzungsvorhaben im KMU-Bereich nur wenige empirische Untersuchungen zu Einsatzfällen und Implementationsstrategien vor. Nur 8% der Unternehmen nutzen KI im geschäftsalldag [5]. Hinzu kommt, dass sich das Spektrum möglicher KI-Lösungen und der realisierbare Funktionsumfang im Moment noch sprunghaft weiterentwickelt, völlig neue Anwendungsalgorithmen und Umsetzungsmöglichkeiten entstehen.

Andererseits sind KI-Lösungen grundsätzlich dadurch gekennzeichnet, dass sie eine sehr hohe Komplexität und vielfältige Abhängigkeiten zwischen unterschied-

lichen Gestaltungsaspekten in den Feldern Technik, Organisation und Personal aufweisen. Eine erfolgsversprechende Vorgehensweise verlangt, diese Zusammenhänge adäquat zu berücksichtigen. Aufgrund der individuellen Bedingungen in Organisation und Personal resultiert die angesprochene immense Unternehmensspezifik von KI-Lösungen. Eine generalisierte Formulierung von Gestaltungsempfehlungen zur technischen Lösung, wie bisher für Arbeitsmittel üblich, ist daher nicht möglich. Stattdessen muss fallspezifisch gearbeitet werden, um handlungsleitende Empfehlungen aussprechen zu können.

Das wirkt sich auch auf die Arbeit der Forscher an in den Projekten aus. Empirisches Arbeiten, um Umsetzungserfahrungen zu identifizieren und zu verallgemeinern, ist bei der gegebenen Feldgröße und bei dem aktuellen Tempo der KI-Entwicklung nicht möglich. Für die Schwerpunktprojekte, die von der TU Dresden im Rahmen des Projektes PAL bearbeitet werden und die Implementationsstrategien im Fokus haben, wird daher Action Research als Arbeitsansatz verfolgt. Action Research (auch Handlungsforschung) bedeutet in unserem Kontext, dass die Forschenden nicht als passive Beobachter auftreten, sondern eine aktive, beeinflussende Haltung einnehmen, um die Veränderungsprozesse zu unterstützen [2]. Konkrete, praktische Problemlösungen und wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn werden miteinander verknüpft [1].

Im Folgenden wird die entworfene Vorgehensweise am Beispiel von datenbasierten Assistenzsystemen verdeutlicht. Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau eines solchen Assistenzsystems. Potenzielle Einsatzmöglichkeiten solcher Assistenzsysteme sind die Analyse von Abläufen, die Identifikation von Prozessabweichungen oder die Analyse von Aufwänden und

Prozessparametern, um Ursachen für bestimmte Zustände zu ermitteln bzw. Prozesse zu optimieren.

Die meisten Unternehmens-Fallbeispiele in den Schwerpunktprojekten haben als Ausprägungsform Entscheidungsunterstützungssysteme zum Ziel.

Exemplarisch hier einige Probleme und Herausforderungen, die die Komplexität der Lösungsentwicklung und das Erfordernis eines ganzheitlichen Lösungsansatzes verdeutlichen.

Datenbasis:

- digitale Daten in ausreichendem Maße als strukturierte beziehungsweise unstrukturierten Daten bereitstellen und miteinander verknüpfen
- Erfordernis neue Prozesse und IT-Infrastruktur zu etablieren

Modell:

- ➔ Auswahl- und Entscheidungskriterien modellieren und geeignete Datenverarbeitungsalgorithmen auswählen
- ➔ Erfahrungswissen der Beschäftigten hinsichtlich der Entscheidungsprozesse aufgreifen und integrieren,

Beschäftigte müssen zur Bereitstellung motiviert und befähigt werden

Nutzerschnittstelle:

- Kommunikation der Ergebnisse bzw. Inhalte des Modells sowie Interaktion mit dem Modell.
- Bei passiver Unterstützung werden Informationen bereitgestellt, während aktive Unterstützungssysteme explizite Vorschläge erzeugen und präsentieren.
- ➔ Belastungsoptimale und bediensichere Gestaltung der Schnittstelle mit Hinblick auf die geplante Art der Entscheidungsunterstützung.

Anwender:

- auf Anwenderebene wird bestimmt, bei welcher Entscheidung unterstützt werden soll
- legt fest, wo die Entscheidungshoheit für Mensch und System liegt.
- legt die Komplexität und Methodik des Modells fest und damit auch Anforderungen und Eigenschaften für die Datenbasis und Nutzerschnittstelle.
- ➔ Identifikation geeigneter Anwendungsbereiche/-prozesse durch Kombination aus Personas und bekannten Use Cases zur prospektiven Gestaltung

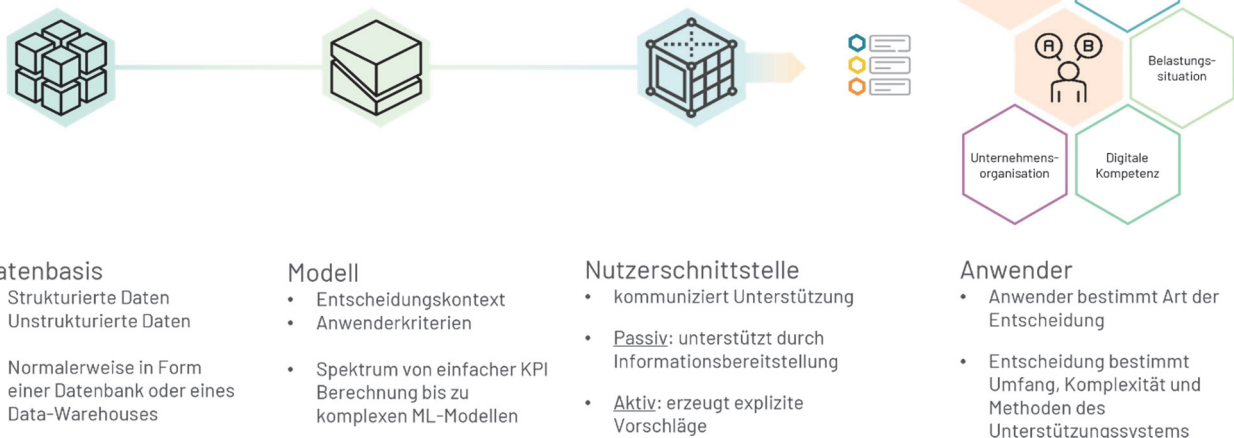


Abbildung 1: Handlungsfelder im Kontext eines Entscheidungsunterstützungssystems

2. Vorgehen zur Entwicklung der Implementationsstrategie

Die Entwicklung der Implementationsstrategie erfolgt deduktiv. Auf Grundlage existierender Implementationsstrategien und eigener fachlicher Expertise wird ein Vorgehensmodell entwickelt, das auf die genannten speziellen Anforderungen reagiert (Abbildung 2). Zur Absiche-

rung des ganzheitlichen Herangehens werden Methoden von Informatik, speziell CRISP-DM [6] und Arbeitswissenschaft so kombiniert, dass die Gestaltungsdimensionen Mensch, Technik und Organisation und die Abhängigkeiten zwischen einzelnen Gestaltungsmerkmalen abgebildet werden. Das Vorgehensmodell ordnet die prioritären Analyse- und Gestaltungsaspekte in Phasen an (Abbildung 2).

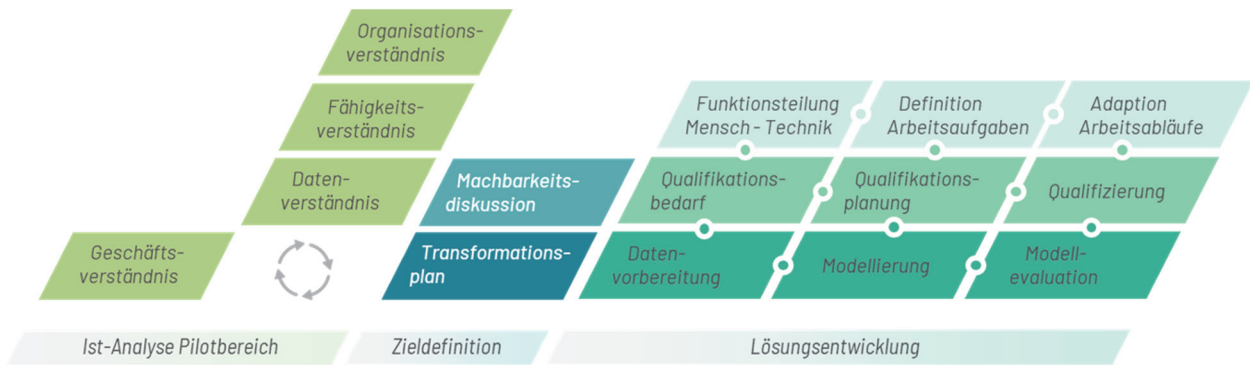


Abbildung 2: Vorgehensmodell

Dieses Modell wird aktuell in den Schwerpunktprojekten von PAL erprobt und evaluiert.

Neben einer Strukturierung in Phasen sind weitere Sichten auf die Teilprozesse im Vorgehensmodell sinnvoll (Abbildung 3, Abbildung 4). Einerseits können konkrete fachliche Verantwortlichkeiten im Modell sichtbar gemacht werden. Außerdem lassen sich Prioritäten bzw. Abhängigkeiten zwischen Arbeitsschritten anzeigen.

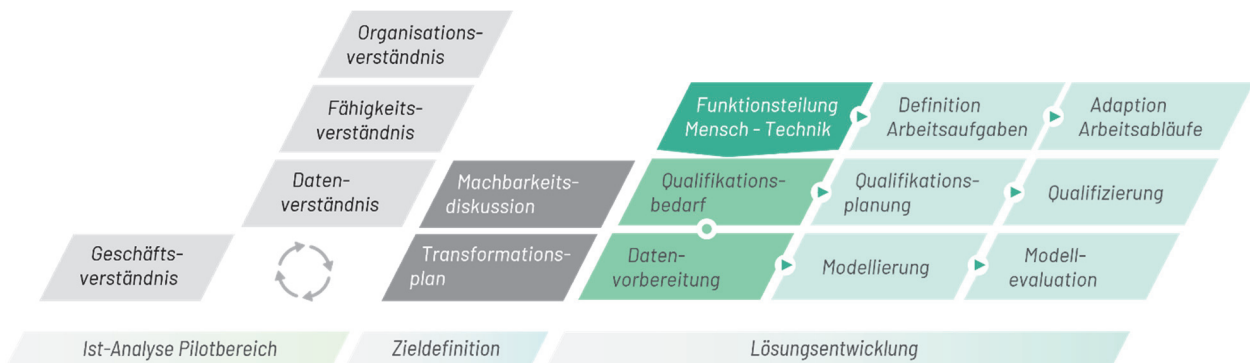


Abbildung 3: Prioritäre Gestaltungsfelder im Vorgehensmodell

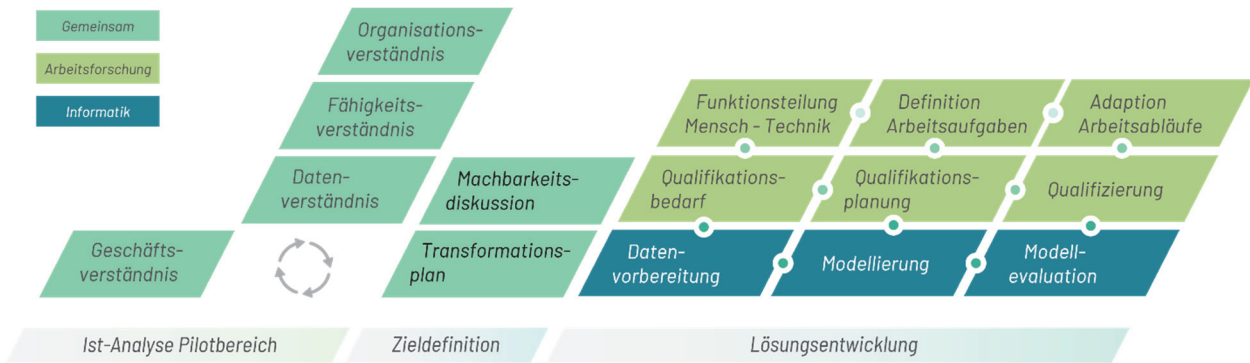


Abbildung 4: disziplinäre Sicht auf die Gestaltungsfelder

Wie in Abbildung 1 bereits angedeutet, sehen wir die Funktionsteilung zwischen Mensch und Assistenzsystem als prioritär an. Aus der konkreten Funktionsteilung leiten sich die Anforderungen an das Assistenzsystem und die Kompetenzen/Qualifikation der Beschäftigten ab. Die Funktionsteilung erfolgt in Rückkopplung mit dem gemeinsam festgelegten Wertekanon, aus dem sich KO-Kriterien, also nicht akzeptable Lösungen, ableiten lassen. Die in der Ist-Analyse ermittelten Einflussfaktoren aus Organisationsfähigkeiten, Datenbasis und Qualifikationspotenzial stellen moderierende Variablen dar. Sie charakterisieren Rahmenbedingungen des jeweiligen Unternehmens bei der Auswahl der technischen Lösung, z. B. eigene Investitionsfähigkeit, Qualifikationsniveau

von verfügbaren Fachkräften in der Region beziehungsweise eigene IT-Infrastruktur.

Das Vorgehensmodell thematisiert folgende weitere Anforderungen:

- iteratives Vorgehen mit zunehmenden Detaillierungsgrad,
- zunächst Lösungsentwicklung und Erprobung im Rahmen eines Pilotbereiches, um nach positiver Beurteilung im gesamten Unternehmen „ausgerollt“ zu werden,
- Unterstützung interdisziplinärer Bearbeitung auf Basis eines gemeinsamen Zielsystems durch:

- Identifikation und Formulierung von Input-Output-Beziehungen zwischen Detaillösungsprozessen
- Multikriterielle Bewertung an definierten Abstimmungspunkte bei unterschiedlichen Detaillierungsgraden (technisch, wirtschaftlich, arbeitswissenschaftlich, ethisch)

Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Implementation schaffen eine partizipative Herangehensweise, d. h. die Einbeziehung aller betroffenen Beschäftigten und die Einbeziehung von Promotoren (Promotorenmodell für Innovationsprozesse nach Witte, 1973). Zu den Promotoren gehören die Macht- (z. B. Geschäftsleitungen) und Fachpromotoren (z. B. IT-Verantwortliche), ebenso aber auch Prozess- und Beziehungspromotoren, um die Willens- und Fähigkeitsbarrieren im Implementationsprozess zu beseitigen. [3]

Die Partizipation der betroffenen Beschäftigten dient einerseits der Schaffung von Akzeptanz von Veränderungen und neuartigen Lösungen – was im Fall KI aktuell eine besonders große Bedeutung hat, denn

- Intransparenz bei der Datennutzung (50%) und Überwachung am Arbeitsplatz (40%) werden als am meisten befürchtete Konsequenzen durch KI genannt
- Veränderungen durch KI werden vor allem bei der Datensicherheit und den Kompetenzanforderungen erwartet [3]

Partizipation dient aber auch der Nutzung des Beschäftigten-Know-hows, indem sie als Experten in eigener Sache in die Implementation datenbasierter Assistenzsysteme mindestens einbezogen werden. Konkret denkbare Formen der Partizipation ist die punktuelle Bearbeitung von Teilaufgaben, z. B. die Formulierung von Anforderungen an die Nutzerschnittstelle oder die aktive Mitwirkung bei der Qualifizierungsplanung, im Rahmen moderierter Gruppendiskussionen.

Das Zielsystem basiert auf dem PAL-Leitbild (Abbildung 5) und wird durch unternehmensspezifische Ziele unteretzt.

Literaturverzeichnis

- [1] Richenhagen, G., & Dick, M. (2019): Aktions- und Handlungsforschung in den Arbeitswissenschaften. Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten, Beitrag C.8.7.
- [2] Schnell, R., Hill, P. B., & Esser, E. (2018): Methoden der empirischen Sozialforschung. In De Gruyter Studium (11., überarbeitete Auflage). De Gruyter Oldenbourg.
- [3] Fichter, Klaus (2010): Innovationsnetzwerke und die Rolle von Promotoren in Netzwerken. <https://slideplayer.org/slide/1290892/>
- [4] Denkfabrik des BMAS KI-Indikatoren: KI in Arbeit und Gesellschaft. <https://www.ki-observatorium.de/indikatoren#tab-636>
- [5] Hasenkamp, Henrik (2022) „Kollege KI“ oder „Wie ich lernte, die KI zu lieben“. <https://www.dev-insider.de/kollege-ki-oder-wie-ich-lernte-die-ki-zu-lieben-a-09aafe3ac7b761ace4fc33df297ad37/>
- [6] Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C. & Wirth, R. (2000): CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide, The CRISP-DM consortium



nachhaltige, wettbewerbsfähige und menschengerechte Arbeitstätigkeiten und Arbeitsplätze

- motivierende und vielfältige Tätigkeiten
- Möglichkeit, seine Tätigkeit eigenverantwortlich zu organisieren und sich in der Tätigkeit zu verwirklichen
- höhere Vertretbarkeit und Flexibilität im Team
- Substitution belastender unattraktive Arbeit
- Vermeidung von Belastungen durch Technikstress
- sicheres Einkommen
- Chancen für alle Altersgruppen und Qualifikationsebenen
- organisatorischen Rahmenbedingungen und die Arbeitsaufgabe mit den daraus erwachsenden Qualifikationsanforderungen konsequent aufeinander abgestimmt
- Datengetriebene Assistenzsysteme erweitern und ergänzen menschliche Fähigkeiten
- Mensch führt die Entscheidungsprozesse
- Transparenz der Prozesse und Daten

Abbildung 5: PAL-Leitbild (https://pal.webspace.tu-dresden.de/wp-content/uploads/2023/01/Leitbild_PAL.pdf)

3. Erwartete Ergebnisse

Im Ergebnis der Forschungsarbeiten liegt eine Implementationsstrategie vor, die für Unternehmen handhabbar und praktikabel ist. Sie befähigt Unternehmen, den Prozess in eigener Verantwortung zu realisieren und fallweise Spezialisten in die Bearbeitung zu integrieren. Jeder Teil des Vorgehensmodells wird durch Tools und Checklisten unteretzt, die im Rahmen der Bearbeitung der Schwerpunktprojekte erarbeitet und erprobt wurden bzw. werden good-practice-Lösungen als Anregung hinterlegt. Abschließend wird das Modell mit Erfolgsbedingungen und zu berücksichtigenden Barrieren aufbereitet und verallgemeinert.

Danksagung

Der Beitrag entstand im Rahmen der Arbeiten im Projekt PerspektiveArbeit Lausitz (PAL), gefördert vom BMBF.

Kontaktinformationen

TU Dresden, CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation
01062 Dresden
gritt.ott@tu-dresden.de

Technikstress – Analyse, Diagnose, Intervention beim Einsatz von KI

Annette Hoppe, Alexander Ezzeldin, Rico Ganßauge, Roberto Kockrow

Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie, 03046 Cottbus, Deutschland

Kurzfassung

Gerade bei kognitiven Tätigkeiten, bei denen viele Informationen aufgenommen, verarbeitet und daraus adäquate Entscheidungen abgeleitet werden müssen, kommt es drauf an, den Menschen optimal mit KI-Technik zu unterstützen und nicht zu überlasten. So spielen Systemtransparenz, Plausibilität der vorgeschlagenen Lösungen, Entscheidungsgewalt, beanspruchungsoptimale Informationsdarbietung und die Wahrnehmungsadäquatheit eine sehr bedeutsame Rolle. Phänomene und negative Effekte, wie zum Beispiel Technikstress, können als unerwünschte Beanspruchungsfolge auftreten. Gerade bei Umstrukturierungen und Veränderungsprozessen muss ein besonderes Augenmerk auf eine mögliche Doppelbelastung durch Parallelstrukturen (z.B. gleichzeitig verwendete Softwaresysteme neu und alt) gelegt werden. Somit stellt sich die Frage nach den Gelingensbedingungen für einen erfolgreichen Technikeinsatz. Es gilt, die Verantwortung für den Menschen in diesen Prozessen zu übernehmen. Der Artikel stellt die Herangehensweise und Lösungsansätze im Rahmen der PAL-Schwerpunkte an der BTU Cottbus-Senftenberg dar.

1. Einleitung und Zielstellung

In Deutschland befindet sich die Region Lausitz mitten in einem tiefgreifenden Strukturwandel, in dem in 2020 durch das „Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung“ beschlossen worden ist, dass die in der Region vorherrschende Kohleverstromung bis 2038 einzustellen ist. Gegenwärtig sind in dem benannten Sektor rund 8000 Mitarbeiter unmittelbar beschäftigt [1] und unter Berücksichtigung von Zulieferern sowie weiteren eng verzahnten Unternehmen stellt sich die Beschäftigtenanzahl noch deutlich höher dar. Vor diesem Hintergrund sind umfangreiche Maßnahmen eingeleitet worden, um diesem Strukturwandel entsprechend zu begegnen. Das Projekt „Perspektive Arbeit Lausitz“ (PAL) ist in diesem Zusammenhang ein entwickeltes Konsortium von sowohl regionalen Universitäten als auch lokalen Praxispartnern. Ziel dieses Projektes bzw. Konsortium ist es, die im Strukturwandel befindliche Wirtschaftsstruktur in der Lausitzer Region durch arbeitswissenschaftlich begleitete Digitalisierungsprozesse und den Einsatz von Technologien mit „künstlicher Intelligenz“ (KI) zu unterstützen. Die arbeitswissenschaftliche Begleitung soll hierbei die menschengerechte Tätigkeitsgestaltung absichern, wobei sowohl die Benutzbarkeit als auch die Vermeidung von Technikstress und die lernförderliche Arbeitsgestaltung, die mit Kompetenzentwicklungsmaßnahmen zu unterstützen ist, im Fokus stehen. In diesem Kontext soll einerseits die lokale Unternehmensstruktur gestärkt werden und andererseits schließlich auch neue Wirtschaftspotenziale erschlossen werden.

Im besonderen Fokus des Fachgebiets Awip stehen dabei Tätigkeiten mit einem hohen Anteil kognitiver Prozesse, insbesondere Steuern und Überwachen als eine Herausforderung heutiger industrieller Prozesse. Diese sind vielfach bereits in der jüngeren Vergangenheit

hochautomatisiert worden, dieser Trend wird sich fortsetzen [2]. Die künftige Herausforderung ist die menschengerechte Gestaltung einer KI-Unterstützung für diese Art von Tätigkeit. Die Tätigkeiten waren und sind oft durch stark wechselnde Anforderungen geprägt: längere Phasen von Überwachung können sehr schnell mit Phasen hoher Aktivität und Entscheidungsdruck für den Bediener wechseln [3]. Bereits bei der Hochautomatisierung in der Vergangenheit war das Systemverständnis wichtig, d.h. ein Bediener sollte genügend Wissen über den Aufbau und die Funktionsweise des Systems haben, um dessen Einsatzmöglichkeiten und -grenzen gut abschätzen zu können [3]. Mit dem Einsatz von KI zur Entscheidungsunterstützung wird es noch wichtiger, das Gesamtsystem menschengerecht zu gestalten. Neben den später ausgeführten Gestaltungen des Systems und der Ergonomie der Benutzeroberfläche, muss das gesamte Arbeitssystem einschließlich der übergreifenden Organisation in Betracht gezogen werden, da hier ebenfalls Potenziale für eine menschengerechte Gestaltung liegen [4]. So können z.B. auch Aufgabenerweiterung oder Aufgabenerweiterung wirksame Methoden sein, unerwünschte psychische Belastungen zu vermeiden und menschengerechte Tätigkeitsgestaltung sicherzustellen.

2. Belastungsverschiebungen durch Technikstress in der Digitalisierung

Teilweise sind in der Vergangenheit einzelne Konzepte umgesetzt worden, bei denen dem Menschen als Bediener lediglich nicht oder schwer automatisierbare Restfunktionen zugestanden worden sind [3]. Dies hat aus arbeitswissenschaftlicher Sicht zu einigen problematischen Entwicklungen geführt. Dahingehend ist z. B. die Anforderungsvielfalt gesunken und die Arbeitstätigkeit z. B. eines Operators, ist durch oft langandauernde, monotone Überwachung, unterbrochen von schnellen Handlungserfordernissen, charakterisiert [5]. Vor

diesem Hintergrund ist im Umgang mit Technik verstärkt das Phänomen des Technikstress aufgetreten [6]. Dieser Technikstress kann hierbei durch den direkten und indirekten Umgang mit technischen Hilfsmitteln entstehen, wenn u. a. Softwareergonomie, Komplexität, Zeitdruck, Reizhäufung oder auch das Versagen von Technik für eine objektiv empfundene Überforderung sorgen. Im Hinblick auf den Nutzer von Technik sind die eigenen Kompetenzen, die aktuelle Befindlichkeit, die Erfolgsantizipation und die entsprechende Einstellung zur Technik von entscheidender Bedeutung [6]. Tabelle 1 stellt in diesem Kontext mögliche Technikstressoren dar, welche im direkten oder indirekten Umgang mit technischen Hilfsmitteln entstehen.

Tabelle 1: Technikstressoren für Nutzer. Quelle: [6].

Für Nutzer objektiv durch	Für Nutzer subjektiv durch
Ergonomie	Kompetenzen
Softwareergonomie	Motivation
Arbeitsumgebung	Einstellung
Versagen	Aktuelle Befindlichkeit
Komplexität	Erfolgsantizipation
Anforderungskonformität	Eigenbewertung
Zeitdruck	Akzeptanz
Reizhäufung	Sozialbezug
...	...

In diesem Zusammenhang ist es die wesentliche Aufgabe der Wissenschaft, nicht nur Technik weiter zu entwickeln, sondern in Verantwortung für die Gesellschaft darüber hinaus auch Fragen zu existierenden Risiken zu stellen, um schließlich prospektiv sinnvolle Hinweise zu Gestaltungsprozessen zu geben [6]. Die Arbeit des Fachgebietes Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie der BTU fokussiert sich hierbei insbesondere auf die menschenzentrierte und beanspruchungsoptimale Gestaltung von technisch visuellen Schnittstellen sowie Hilfsmitteln.

2.1. Technikstress - Das Modell

„Technikstress ist eine spezielle Form von Stress, ein spezifisches oder unspezifisches Reaktionsmuster des Organismus auf äußere und innere Reizereignisse, die direkt oder indirekt durch Technik, das heißt schon durch die Gestaltung technischer Hilfsmittel, bei der Nutzung von technischen Hilfsmitteln und durch die allgemeine Einstellung und Akzeptanz gegenüber technischen Hilfsmitteln, entsteht und sein physisches und psychisches Gleichgewicht stört sowie seine Fähigkeiten zur Anpassung oder Bewältigung strapaziert oder überschreitet“ [6]. Folgend soll schließlich das Technikstressmodell dargestellt werden, welches in Form eines Stufenmodell die Entstehung von Technikstress inhaltlich verdeutlicht.

Die modelhafte Darstellung der Entstehung von Technikstress gestaltet sich durch die Vielzahl an Bedingungen als ein komplexes Konstrukt, das in der Folge als 3-Stufenmodell erläutert wird. Als Stufe 1 (Abb. 1) wird das Belastungs-, Beanspruchungs- und Reaktionsmodell

(BBRm), welches durch Hoppe entwickelt wurde, zur Erklärung durch einen Pfeil erweitert, der den äußeren Handlungsvollzug nicht nur bis zur Selbstkontrolle darstellt, sondern auch die direkte Tätigkeit mit dem technischen Hilfsmittel deutlich macht. Dieser Zusatz ist für die Erarbeitung dieses Modells von Relevanz, da es die Darstellung der Entstehung von Technikstress durch den direkten und indirekten Umgang mit Technik aufzeigen soll. Weiterhin werden bei der Betrachtung der Technik-Mensch-Schnittstelle sowohl die äußeren Einflüsse und beobachtbaren Reaktionen als auch die inneren, im Menschen ablaufenden Prozesse in die erklärende Darstellung einbezogen (Abb. 1). Die Stufe 1 stellt die ankommenden und auf den Menschen einwirkenden Reize dar. Hierbei kann keine vollständige Einzelnennung erfolgen, da keine konkrete Situation beispielhaft beschrieben wird, sondern ein generelles Modell erarbeitet wurde. Die Technik ist als bevorzugt zu betrachtender Reiz besonders gekennzeichnet. Weiterhin werden die Reizeinflüsse, die zur Verarbeitung durch den Menschen wahrnehmend einbezogen werden mit Pfeilen gekennzeichnet. Das sind neben somatischen Reizen (wie z. B. Hunger, Schmerzen, Berührungsempfindungen) auch Gedächtnisreize (wie z. B. Angst, Kenntnisse, Erfahrungen), und Reize der Selbstkontrolle (wie z. B. Handlungsvollzüge, eigenes Aussehen, Bewertung der eigenen Person im Sozialkontext der Situation). Diese unterschiedlichen Reizgruppen werden verarbeitet und ein Reiz wird ausgewählt. Im Falle der Betrachtung von Technikstress entstehen dabei psychische Reaktionsmuster in Form psychischer Beanspruchung und physische Reaktionsmuster in Form von physischer Beanspruchung [6]. Der sichtbare äußere Handlungsvollzug wird von der Selbstkontrolle bewertet und wirkt als Arbeitshandlung auf die Technik ein. Die Reaktion der Technik ist dann wiederum als Reizereignis von außen aufgeführt (Abb. 1).

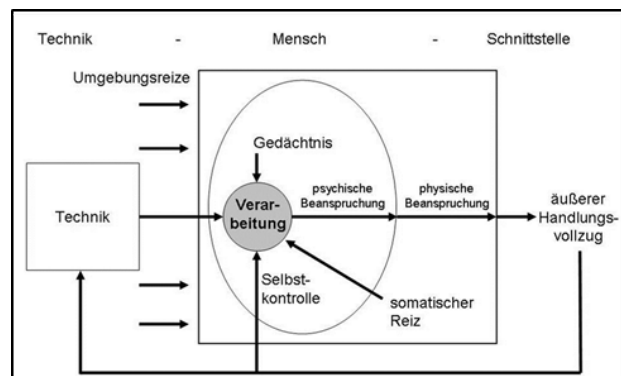


Abbildung 1: Stufe 1 – Technikstressmodell. Quelle: [6]

Die Stufe 2 des Technikstressmodells (Abb. 2) soll eine Teilbetrachtung des inneren Prozesses zur Erklärung von Technikstress darstellen. Hierbei werden besonders die Gedächtnisreize betrachtet, die mit der Kompetenzabfrage und der Kompetenzwahl im direkten Umgang mit der Technik von Bedeutung sind, aber auch die Reize, die mit der Einstellung und der Motivation zur Technik in Beziehung stehen. Aktuelle somatische Reize, Gedächtnisreize, Motivation und Einstellung haben

einen Einfluss auf die Entstehung von Technikstress. Sie führen in der Verarbeitung mit dem Reiz, der von der Technik selbst ausgeht zur Antizipation des Erfolgs oder Misserfolgs eines Handlungsziels [6]. Nach der Bewertung durch die Selbstkontrolle entsteht bei Erfolg oder Misserfolg eine Wirkung auf die Motivation und die Einstellung und eine Bestätigung oder Korrektur wird vorgenommen. Prozesse des Vergleichens, Bewertens und Entscheidens wirken sowohl auf die Kompetenzzwahl, als auch auf die Bestätigung oder Korrektur der Kompetenzprogramme (Abb. 2).

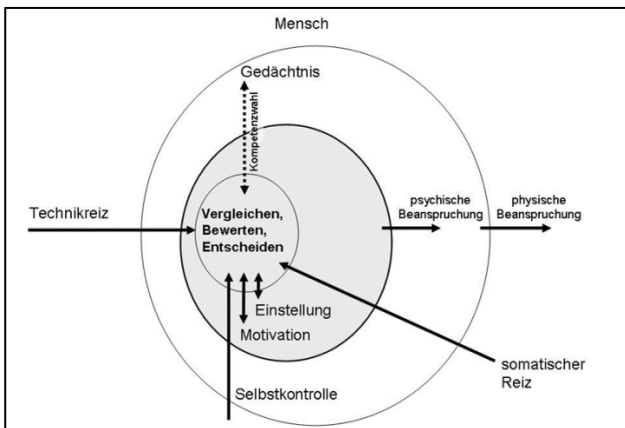


Abbildung 2: Stufe 2 – Technikstressmodell. Quelle: [6].

Die Stufe 3 des Technikstressmodells stellt den komplexen Prozess der Entstehung von Technikstress dar. Diese Darstellung beschreibt wieder die Technik-Mensch-Schnittstelle in einer Verbindung von Stufe 1 und Stufe 2. Zusätzlich werden positive und negative Vorwegnahmen der Zielerreichung und die Bewertung der Handlungserfolge oder -misserfolge in die modelhafte Darstellung aufgenommen. Die daraus entstehenden psychischen und physischen Beanspruchungen sind in dieser Stufe positiv wirkend als positive Effekte und negativ wirkend als negative Effekte benannt (Abb. 3).

In einer Arbeitssituation wirkt ein technisches Hilfsmittel direkt durch eine Arbeitsaufgabe oder indirekt durch die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit der Tätigkeit als Reiz (Technikreiz) auf den Menschen ein. Neben Umweltreizen, somatischen Reizen, Gedächtnisreizen, Motivation und Einstellung wird der Technikreiz mit den eigenen subjektiven Kompetenzen zur Erreichung des Handlungsziels verglichen, bewertet und sich für ein Kompetenzprogramm, welches Erfolg verspricht, entschieden (Abb. 3). Einfluss auf die Verarbeitung haben in starkem Maße Motivation und Einstellung. Werden eigene Kompetenzen als ausreichend bewertet und ein Erfolg des Handlungsziels in Aussicht gestellt, entstehen positive Gefühle. Wobei schon bei Angst oder Misserfolgsantizipation negative Gefühle entstehen. Ebenso kann eine positive Selbstkontrolle die Mobilisierung von Kräften hervorbringen und eine negative Bewertung der eigenen Handlung führt im schlimmsten Fall zu Demotivation, negativer Einstellungsbildung, verstärkter Angst, Vermeidungsverhalten und Aggressionen. Dies kann im weiteren Arbeitsverlauf zu Leistungsminderung,

negativen Gefühlen und körperlichen Beschwerden führen. Beim Versagen von Technik kann das Handlungsziel auch mit großen Anstrengungen nicht erreicht werden. Der Mensch erlebt ein Erschrecken, Herausforderung, Frustration, Wut, Aggression, Abhängigkeitserleben, Hilflosigkeit, Schuldgefühle, Unfähigkeit und er gerät unter Zeitdruck. Es entsteht oft zuerst eine positive Reaktion auf Herausforderung und dann negative Reaktionen bei Misserfolgserleben [6]. Diese Gefühle wirken in der Selbstkontrolle und in der Bewertung des Reizes, der direkt von der Technik ausgeht, auf die Motivation, die Einstellung und auf die Kompetenzprogramme zurück (Abb. 3).

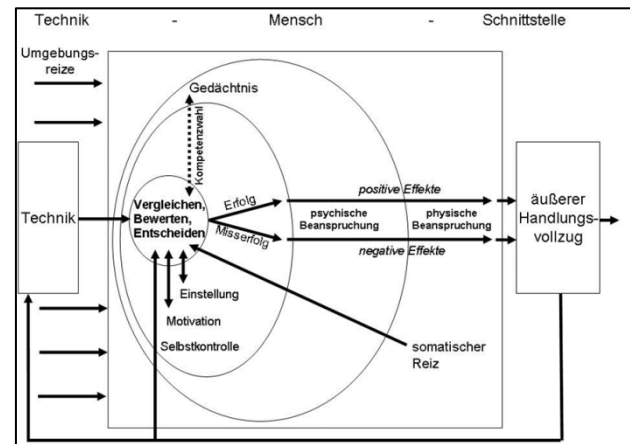


Abbildung 3: Stufe 3 – Technikstressmodell. Quelle: [6].

Dieses beschriebene Technikstressmodell stellt somit in 3 Stufen ein mögliches Erklärungs- und Lehrmodell zur Entstehung von Technikstress als positiv oder negativ auftretende oder erlebte Beanspruchung dar.

2.2. Mögliche Stressorenbereiche durch Techniknutzung

In der Arbeitswissenschaft werden Bewertungen von Arbeitssystemen nach Faktoren vorgenommen, die auf den Menschen einwirken, den Belastungen und den, sich für den Menschen daraus ergebenden Wirkungen, den Beanspruchungen. Diese Beanspruchung ist abhängig von personellen (z. B. Alter, Geschlecht) und individuellen Faktoren (z. B. Fähigkeiten, Gewohnheiten). Bewertungsebenen für die Analyse menschlicher Arbeit sind die Ausführbarkeit, Erträglichkeit, Zumutbarkeit und Zufriedenheit. Die Arbeitspsychologie stellt jedoch die Arbeitszufriedenheit in Frage, wenn bei Erreichung der Zumutbarkeit eine gleichzeitige Unabänderlichkeit von der jeweiligen Situation eintritt. In diesem Fall entsteht eine resignative Zufriedenheit. Das ist z. B. der Fall, wenn eine Tätigkeit keine Weiterentwicklung zulassen würde. Deshalb ist die Bewertung der Arbeitszufriedenheit nach Hacker von den erlebten und tatsächlichen Freiheitsgraden für die eigene Weiterentwicklung abhängig. Komplexe Technik ist für die Nutzer in der Gestaltung und vom Aufbau her vorgegeben. Programme und Handlungsvollzüge werden vom Hersteller erdacht und vom Nutzer werden diese meist nur noch nachvollzogen. Die Komplexität der technischen Hilfsmittel ist nicht

nachvollziehbar und macht oft ein aktives Eingreifen bei Versagensfällen unmöglich. Dadurch kann Unzufriedenheit mit der Technik entstehen und die Technik wird zum Stressor. Allgemein betrachtet sind Auslöser für Beanspruchungen mit dem Terminus Stressoren belegt, wobei hierbei noch keine Differenzierung stattfindet. Andere Quellen sprechen von Reizen, die Reaktionen nach sich ziehen und bezeichnen diese ebenfalls als Stressoren. Es gibt auch bei der begrifflichen Betrachtung von Stressoren inhaltliche Unterscheidungskriterien. Möglich wäre eine Betrachtung unter dem Aspekt der Herkunft. So kann zwischen äußeren und inneren Stressoren unterschieden werden. Weiterhin kann nach der Ursache, der Art, der Wirkung und nach der Stärke eine Unterteilung erfolgen. Die Stressoren in der Mensch-Technik-Schnittstelle können in Anlehnung an die psychologische Stresstheorie prinzipiell in zwei Klassen unterteilt werden: Stressoren, die auf der Wahrnehmungsebene wirken (psychisch/sensorisch) und Stressoren, die sich auf den Körper bzw. auf die Körperzellen auswirken (physisch/zellulär). Wie in oben genannter Definition enthalten, erfolgt die jeweilige Klassifizierung wiederum hinsichtlich exogener und endogener Stressoren. Diese Differenzierung erlebt die Zuordnung nach der Herkunft oder Ursache des Stresses.

Greif bezeichnet Stressoren auch als hypothetische Faktoren, die mit erhöhter Wahrscheinlichkeit „Stress“ auslösen. Zu diesen Faktoren gehören z. B.: Über- und Unterforderung physikalische Belastungen (Licht, Lärm, Klima), Konflikte oder alltägliche Ärgernisse in der Arbeit. Die Messbarkeit der resultierenden Beanspruchungsfolgen könne sowohl objektiv, also durch Beobachtungen von Außenstehenden oder subjektiv nur durch die Person selbst beschrieben werden.

Nach McGrath können sechs Klassen von Belastungen unterschieden werden, die die Qualität von Stressoren annehmen können.

1. Stressoren aus der Arbeitsaufgabe
 - Zu hohe qualitative und quantitative Anforderungen
 - Unvollständige partialisierte Aufgaben
 - Fehlende Eignung, mangelnde Berufserfahrung
 - Zeit- und Termindruck
 - Informationsüberlastung
 - Unklare Aufgabenübertragung, widersprüchliche Anweisungen
2. Stressoren aus der Arbeitsrolle
 - Verantwortung
 - Konkurrenzverhalten unter den Mitarbeitern
 - Fehlende Unterstützung und Hilfestellungen
 - Enttäuschung, fehlende Anerkennung
 - Konflikte mit Vorgesetzten
3. Stressoren aus der materiellen Umgebung
 - Umgebungseinflüsse: Lärm, mechanische Schwingungen, Klima, toxische Stoffe
 - Komplexe technische Systeme: Überforderung

des menschlichen Denk- und Urteilsvermögens oder Überschreitung der Informationsaufnahme- und Verarbeitungskapazität

4. Stressoren aus der sozialen Umgebung
 - Betriebsklima
 - Wechsel der Umgebung, der Mitarbeiter und des Aufgabenfeldes
 - Strukturelle Veränderungen im Unternehmen
 - Informationsmangel
5. Stressoren aus der Arbeitsplatzeinbindung
 - Isolation (Einzelplatzarbeit)
 - Dichte (Großraumbüro)
6. Stressoren aus dem Personen-System
 - Angst vor Aufgaben, Misserfolg, Tadel und Sanktionen
 - Ineffiziente Handlungsstile
 - Familiäre Konflikte

Unter den oben aufgeführten Stressorengruppen und der Zuordnung einzelner Stressoren findet sich auch die Einordnung der Technik als ein potentieller Stressor wieder, in dieser Einteilung beschrieben als Stressoren aus der materiellen Umgebung: komplexe technische Systeme, die als Beanspruchungsreaktion eine Überforderung des menschlichen Denk- und Urteilsvermögens oder Überschreitung der Informationsaufnahme- und Verarbeitungskapazität zur Folge haben. Zusätzlich findet sich Technik als potentieller Stressor in anderen Stressorengruppen wieder als Auslöser für Angst vor neuen Aufgaben, für Misserfolgsantizipation, für Isolationserleben, für Verantwortungsdruck, für Zeit- und Termindruck, für Frustration wegen fehlender Unterstützung und Hilfestellung, für Kompetenzmangelerleben, und anderes mehr [6].

Auf Grundlage des Wissens um diese Stressorenbereiche ist es nun die Aufgabe des Fachgebietes Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie der BTU im Rahmen des PAL-Projektes arbeitswissenschaftliche Unterstützung beim Implementieren technischer Lösungen zu geben, welche die Lernförderlichkeit, Softwareergonomie oder auch die Kompetenzentwicklung, und somit den arbeitenden Menschen, in den jeweiligen Unternehmen berücksichtigen.

3. Maßnahmen zur Vermeidung von Technikstress

Eine Folge veränderter Arbeitsformen mit stärker informatorisch geprägten Arbeitstätigkeiten ist einerseits die steigende Beanspruchung mentaler Fähigkeiten, wie z. B. Denken, Merken und Lernen sowie das Schlussfolgern. Vor diesem Hintergrund besteht eine elementare Aufgabe in arbeitswissenschaftlichen Projekten darin, die Optimierung von Arbeitssystemen unter Berücksichtigung der menschlichen Informationsverarbeitung voranzutreiben. Damit die Arbeitsaufgaben in jenen Arbeitssystemen, wie z. B. der Untersuchung von Wasserproben, ausgeführt werden können, müssen zunächst

Informationen zielgerichtet verarbeitet werden. Dahingehend sind die wesentlichen Zielgrößen die Effektivität, die Effizienz und die Zufriedenheit, ohne Gefährdung der Sicherheit und ohne den Menschen zu unter- oder zu überfordern [7]; [8]; [3]; [9]. Ein besonderer Fokus liegt daher ebenso auf der Gestaltung von Benutzeroberflächen und damit auf der Vermeidung von Technikstress.

Störende Einflüsse durch fehlerhafte oder nicht ergonomisch gestaltete Interaktionssysteme belasten das Individuum schließlich stark und haben einen direkten sowie indirekten Einfluss auf die Leistung der arbeitenden (bzw. lernenden) Person. Das bedeutet, dass sich durch eine höhere Nutzungsqualität, neben der grundsätzlichen Vermeidung von gesundheitlichen Beeinträchtigungen, auch eine geringere psychische Belastung resultiert [10]; [11]; [8]. Die diesbezüglich relevanten Normen geben Empfehlungen, welche für die Gestaltung und Bewertung jener Systeme grundlegend zu beachten und somit erforderlich sind. In diesem Zusammenhang sind z. B. folgende Fragestellungen zu berücksichtigen [9].

- Ist das genutzte System zur Erledigung bestimmter Aufgaben auch angemessen?
- Sind alle benötigten Informationen, z. B. mittels eindeutiger Anzeigen, vorhanden und offensichtlich?
- Sind Systemverhalten und -reaktionen angemessen und konsistent?
- Unterstützt das interaktive System die Entdeckung seiner Fähigkeiten und deren Verwendung, erlaubt es also das Ausprobieren und Lernen wenn es erforderlich wird?
- Wird dem Benutzer erlaubt, die Kontrolle über die Benutzungsschnittstelle zu behalten, einschließlich der Geschwindigkeit, Abfolge und Individualisierung der Interaktion?
- Stellt das System seine Funktionen und Informationen einladend dar und wird der Benutzer motiviert kontinuierlich mit dem System zu interagieren?

Grundlegende Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung müssen ebenfalls bei der Gestaltung eines Gesamtsystems mit KI-Unterstützung in Betracht gezogen werden: gut aus- und weitergebildete Mitarbeiter können mit ihren Kompetenzen und ihrer Expertise für einen weiten Bereich variabler Arbeitsanforderungen schnelle und brauchbare Lösungen finden [3], jedoch sind dem mit zunehmender Komplexität auch Grenzen gesetzt. KI und digitale Systeme bieten hier Unterstützung, indem sie z.B. Entscheidungsalternativen zur Verfügung stellen. So können die Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung, wie z.B. die Orientierung an relativ wenigen, gut im Gedächtnis verfügbaren Handlungswegen (Verfügbarkeitsheuristik; [12]) erweitert werden. Bei der Ausgestaltung der Unterstützungssysteme müssen jedoch die

menschlichen Wahrnehmungseigenschaften und -grenzen beachtet und einbezogen werden. Beispielsweise sollte eine zu große Belastung des Kurzzeitgedächtnisses vermieden werden, da dieses nur eine relativ geringe Kapazität aufweist und zentral für das Weiterverarbeiten von Information ist, was ebenfalls Kapazität beansprucht [3]. Wenn zu viele Informationseinheiten gleichzeitig behalten werden müssen, kann dies eine große Belastung darstellen. Hier können z.B. Verlaufs- oder Kurvendarstellungen eine gute Unterstützung darstellen, da keine Einzelwerte als Vergleichsbasis im Gedächtnis behalten werden müssen.

In diesem Zusammenhang steht eines der Partnerunternehmen im PAL-Projekt vor der Herausforderung, kleinteilige und hochspezialisierte Prüfvorgänge durch digitale Assistenzsysteme zu unterlegen bzw. die Weitergabe von Erfahrungswissen gezielt zu unterstützen. Für die in diesem Unternehmen beschäftigten Mitarbeiter bedeutet dies, mit zeitweilig, teilweisen Doppelstrukturen von sowohl analoger als auch digitaler Informationsaufnahme und -erfassung umzugehen und eine Vielzahl von Eingabevorgängen vorzunehmen. Relevante Ansatzpunkte für Digitalisierung und KI-Einsatz bestehen darin, diese analogen Strukturen, unter Berücksichtigung der zuvor dargelegten Fragestellungen, weiter zu entwickeln und diese schließlich in digitale Strukturen zu überführen. Hierbei werden automatisch zahlreiche Komponenten des bisherigen Arbeitssystems verändert. Demnach könnte möglicherweise die Anforderungsvielfalt sinken, so dass die eigene Arbeitstätigkeit als ein bloßes Abarbeiten von vorgegebenen Checklistenpunkten ohne eigenen Entscheidungsspielraum wahrgenommen wird. Dies könnte wiederum eine Erhöhung von Belastungsfaktoren nach sich ziehen [13]. Im PAL-Projekt wird durch arbeitswissenschaftliches Expertenwissen und den frühzeitigen Einbezug der in den Unternehmen Beschäftigten an einer zielführenden Lösung gearbeitet. Grundsätzlich gilt es hierbei, möglicherweise auftretende Neben- und Fernwirkungen einer Umgestaltungsmaßnahme zu berücksichtigen und wünschenswerte Tätigkeitsanforderungen möglichst zu erhalten, während objektiv sowie subjektiv belastende Anteile minimiert werden sollen.

Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen zur Technikstressvermeidung bilden hierbei eine wichtige Grundlage für die Arbeitssystemgestaltung. Demnach soll einerseits eine möglichst nutzergerechte Funktionsvielfalt gewährleistet sein [6]. Dies beinhaltet, dass die Technik dem Anwender möglichst ihren Einsatzzweck und ihre Hauptfunktionen übersichtlich deutlich macht und diesen nicht überfordert. Andererseits gilt „So viel wie nötig, nicht so viel wie möglich“ [6]. Demnach kann die Technik eine sinnvolle Entscheidungsunterstützung sein, wobei sie wertvolle Informationen übersichtlich bereitstellt, während die letztendliche Entscheidungsgewalt beim Bediener verbleibt.

Im Kontext einer ganzheitlichen Gestaltung von Arbeitstätigkeiten spielt auch die Kompetenzentwicklung bei den Beschäftigten eine entscheidende Rolle. Eine Belastungsminimierung erfordert ebenso, dass die Kompetenzen im Umgang mit dem Arbeitssystem weiterentwickelt werden und deren Möglichkeiten und Grenzen erkannt werden, um diese bestmöglich einsetzen zu können. Am Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie kann hierfür auf aktuell gewonnene Erfahrungen zurück gegriffen werden, wie z. B. bzgl. eines Projektes zur Kollaboration mittels eines digitalen Zwillings [14]. Der direkt wahrgenommene Nutzen und die entsprechend angepassten und weiterentwickelten Kompetenzen der Beschäftigten spielen demnach eine entscheidende Rolle, welche die Akzeptanz und den tatsächlichen Einsatz der neuen Technik positiv beeinflusst. Hierbei soll einbezogen werden, dass die eingeleiteten Maßnahmen durchaus für unterschiedliche Beschäftigtengruppen unterschiedliche Schwerpunkte haben können. In diesem Zusammenhang ist betriebliches Erfahrungswissen eher für jüngere Beschäftigtengruppen anzudenken, während der Schwerpunkt eines stressfreien Technikgangs bei älteren Beschäftigten anzusiedeln ist. Beschäftigte müssen während der Umgestaltung ihre Gewohnheiten im Umgang mit Technik und ihre Vorstellungen vom Aufbau und den Abläufen in des technischen System abändern. Letzteres wird auch als „mentales Modell“

bezeichnet [15]. Gedächtnispsychologisch gesehen müssen nun die Strukturen des vorhandenen mentalen Modells an die neue Situation angepasst werden, was üblicherweise einen langwierigen Lernprozess beinhaltet. Daraus kann wieder um eine Doppelbelastung resultieren, weil damit verknüpfte Handlungsmuster relativ überdauernd und damit schwer veränderbar sein können. Hier kann bei Schulungen, Kompetenzentwicklung sowie Handlungshilfen für den Anfang angesetzt werden. Größere Prozessveränderung, die auch meist tiefgreifende organisatorische Veränderungen mit sich ziehen, sollten deswegen grundsätzlich arbeitswissenschaftlich im Sinne des Change Managements begleitet werden [16]. Geschieht dies nicht, kann möglicherweise eine hohe Belastung und resultierende Beanspruchung für die betroffenen Beschäftigten auftreten und die Sicherheit der Abläufe gefährden.

Angaben zu Fördermittelgebern

Die Forschung im Rahmen des Verbundprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz – Kompetenzzentren für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg (PAL)“ an der BTU Cottbus-Senftenberg wird durch Zuwendungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen: 02L19C303) ermöglicht.

Literaturverzeichnis

- [1] MWAE (Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg). Braunkohle. Online verfügbar unter <https://mwae.brandenburg.de/de/braunkohle/bb1.c.478774.de> [Zugriff 21.12.2022]
- [2] Andelfinger, V., Hänisch, T. (2017). Industrie 4.0 – Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden: Springer-Gabler.
- [3] Schlick, C., Bruder, R., Luczak, H. (2018). Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer.
- [4] DIN EN ISO 10075-2:2000. Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (ISO 10075-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 10075-2:2000. Berlin: Beuth
- [5] Kockrow, R., Hoppe, A. (2016). Visualisierungsmitteldichte in Kraftwerksleitwarten – Gestaltungsempfehlungen als Ableitung aus Blickverlaufsstudien. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 70 (141), S. 142 – 150.
- [6] Hoppe, A. (2009). Technikstress – Theoretische Grundlagen, Praxisuntersuchungen und Handlungsregularien. Aachen: Shaker.
- [7] Falkenstein, Michael (2017): Die Förderung der fluiden Intelligenz bei Beschäftigten als Voraussetzung für Gesundheit und Beschäftigungsfähigkeit. In: Walter Jochmann, Ingo Böckenholt und Stefan Diestel (Hg.): HR-Exzellenz, Bd. 69. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 221–235.
- [8] Reiß, Norman (2021): Das Lidschlagverhalten als Indikator psychischer Belastung. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [9] DIN EN ISO 9241-110:2020-10. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Interaktionsprinzipien (ISO 9241-110:2020); Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2020. Berlin: Beuth
- [10] DGUV (2016): Softwareergonomie. DGUV Information 215-450. Hg. v. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Berlin.
- [11] DIN EN ISO 9241-1:2002-02. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 1: Allgemeine Einführung (ISO 9241-1:1997). Berlin: Beuth
- [12] Müsseler, J., Rieger, M. (2017). Allgemeine Psychologie. Berlin: Springer.
- [13] Bakker, A. B., Demerouti, E. (2007). The job demands-resources model: State of the art. In: Journal of Managerial Psychology, 22, S. 309–328.
- [14] Henke, A., Hoppe, A. (2021). Anforderungen an die Prozessrestrukturierung bei der Einführung digitaler Kollaboration. In: Hoppe, A.; Annette Hoppe (Hg.): Entgrenzte Welten. Band 5 der Reihe „Wissenschaft im Dialog – Kooperative Forschungsstelle Technikstress (KFT)“. Aachen: Shaker.
- [15] Schmidt, L., Luczak, H. (2006). Prozessführung und -überwachung in komplexen Mensch-Maschine-Systemen. In: Zimolong, B., Konrad, U. (Hrsg.) Ingenieurpsychologie. Enzyklopädie der Psychologie Bd. D3, Göttingen: Hogrefe, S. 807–838.
- [16] Rigotti, T., Otto, K., Köper, B. (2014). Herausforderung Restrukturierung - Bedeutung, Auswirkungen, Gestaltungsoptionen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Informieren - Übersetzen - Befähigen: Transferarbeit im kooperativen Forschungsprojekt PerspektiveArbeit Lausitz

Sylvia Franke-Jordan¹, Sophie Berger¹, Carolin Böhme², Katrin Meusinger³,
Claudia Graf-Pfohl⁴, Jörg Engelmann⁵, Friederike Wittenburg⁶

¹ Technische Universität Dresden, CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation

² ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. ³ Silicon Saxony e.V. ⁴ ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH ⁵ GVFB Gemeinnütziger Verein zur Förderung der beruflichen Bildung e. V. Elsterwerda ⁶ BSW Bildungswerk der sächsischen Wirtschaft gGmbH

Kurzfassung „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL)“ als Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg entwickelt Einführungsstrategien von datenbasierten Assistenzsystemen für Unternehmen in der Strukturwandelregion Lausitz. Der gemeinsame Anspruch des transdisziplinären Verbundes ist es, Arbeit in den beteiligten Unternehmen der Region nachhaltig, menschengerecht und wettbewerbsfähig zu gestalten. Wissens- und Technologietransfer haben dabei sowohl die Aufgabe, die unterschiedlichen Kompetenzen der beteiligten Forschungspartner, Unternehmen und Netzwerkpartner zu erschließen und weiterzuentwickeln als auch die Öffentlichkeit zu informieren und in den digitalen Transformationsprozess der Wirtschaft einzubinden. Das umfasst neben der Aufbereitung von Wissen für unterschiedliche Zielgruppen im Verbund und in der Öffentlichkeit auch die Organisation von Settings zum Austausch von Wissen. In diesem Artikel werden beispielhaft ausgewählte Transferformate und die bisher damit gesammelten Erfahrungen vorgestellt.

Transferarbeit dient der Überführung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse in unternehmensgerechte Anwendungsfälle. Im Projekt „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL)“ werden Wissen und Technologien für die Gestaltung neuer Arbeitsformen durch Künstliche Intelligenz (KI) thematisiert. Mit KI sind im Projekt speziell datenbasierte Assistenzsysteme für die Unterstützung menschlicher Arbeit gemeint, bei denen entweder klassisch algorithmenbasiert oder auch unter Verwendung des maschinellen Lernens, also mit KI-Technologien, betriebliche Daten genutzt werden. Anwendungsbeispiele dafür sind Entscheidungsunterstützungssysteme für Produktionsplanung oder Angebotserstellung, digitales Wissensmanagement, proaktive Instandhaltungsplanung anhand von Echtzeitdaten, digitale Qualitätskontrolle oder Energiemanagement anhand von KI-gestützten Vorhersagewerten zur Prozessoptimierung.

Die Transferarbeit im PAL-Projekt unterstützen Multiplikatoren, die als Netzwerkende und Fachexperten in natürlichen Wirkungsfeldern tätig sind. Besonders vor dem Hintergrund von KMU-Spezifika, wie beispielsweise den geringen unternehmensinternen Forschungskapazitäten, der inkonsistenten Datengrundlage und der unterschiedlichen Digitalisierungsgrade, ist die Rolle von Multiplikatoren als „Übersetzer“ von großer Bedeutung (Bortz und Döring, 2016). Transferarbeit soll eine Transferkultur schaffen, die sich konsequent an den Bedarfen der Transferpartner orientiert und eine höhere Innovationsfähigkeit der Unternehmen ermöglicht, die wiederum zu mehr Wachstum und steigender Produktivität sowie einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen kann. Neben der unternehmensseitigen Wirkung

können Multiplikatoren auch verschiedenste Bevölkerungsgruppen unterstützen und somit von außen auf die Beschäftigten der Unternehmen einwirken, insbesondere hinsichtlich einer Akzeptanz von Veränderungsprozessen und des Einsatzes neuer Technologien.

Dabei ist es wichtig, Synergien im Verbund zu nutzen, um die Reichweite und Sichtbarkeit zu erhöhen. Im Rahmen dieses Papers wird die Rolle von Multiplikatoren als Brückenschlag zwischen Wissenschaft und Wirtschaft näher betrachtet, insbesondere vor dem Hintergrund der regionalen Besonderheiten von KMU in der Lausitz. Ziel dieses Papers ist es, ein besseres Verständnis für die Rolle von Multiplikatoren im Transferprozess zu schaffen und damit einen Beitrag zur Verbesserung der Innovationsfähigkeit von Unternehmen und der Wandlungsfähigkeit der Gesellschaft zu leisten.

Modulare und flexible Planung für maßgeschneiderte Veranstaltungskonzepte

Die Durchführung von Veranstaltungen zum Wissenstransfer und zur Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen von Projekten erfordert eine sorgfältige Planung und Organisation, um eine erfolgreiche Umsetzung zu gewährleisten (Klement und Maurer, 2018). Dabei können modulare Veranstaltungskonzepte eine entscheidende Rolle spielen, um durchführende Personen zu entlasten und gleichzeitig eine hohe Qualität der Veranstaltungen zu gewährleisten.

Modulare Veranstaltungskonzepte ermöglichen eine flexible Gestaltung von Veranstaltungen, indem diese in einzelne Bausteine unterteilt werden, die unabhängig voneinander geplant und durchgeführt werden können. Diese Module können je nach Bedarf und Zielsetzung

der Veranstaltung kombiniert werden, um ein maßgeschneidertes Veranstaltungskonzept zu erstellen. Dabei kann auf bereits bestehende Module zurückgegriffen werden, was Zeit und Ressourcen spart (Klement und Maurer, 2018). Durch die Verwendung von modularen Veranstaltungskonzepten kann auch die Planungsphase effektiver gestaltet werden, da sich die durchführenden Personen auf die einzelnen Module konzentrieren können. Dadurch kann die Qualität der Veranstaltungen erhöht werden. Ein weiterer Vorteil von modularen Veranstaltungskonzepten ist die Möglichkeit der Anpassung an unterschiedliche Zielgruppen und Bedürfnisse (Hausberg und Korreck, 2020). Durch die Baukastenstruktur können einzelne Module gezielt ausgewählt und angepasst werden, um auf die spezifischen Anforderungen der Zielgruppe einzugehen. Dadurch können Veranstaltungen zielgerichteter gestaltet werden. Die Bedeutung von modularen Veranstaltungskonzepten im Rahmen von Wissenstransfer und Transferprojekten liegt vor allem darin, dass sie eine individuelle und bedarfsgerechte Wissensvermittlung ermöglichen. Dadurch können die Teilnehmenden ihr Wissen gezielt erweitern und anwenden. Darüber hinaus tragen modulare Konzepte dazu bei, dass sich das Gelernte langfristig im Gedächtnis der Teilnehmenden verankert (Alt und Zimmermann, 2019). Insgesamt können modulare Veranstaltungskonzepte dazu beitragen, die Belastung der durchführenden Personen zu reduzieren (Klatt, 2021), die Planung und Organisation effektiver zu gestalten und die Qualität der Veranstaltungen zu erhöhen (Hocke und Wehner, 2020). Dabei sollten jedoch die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen der Zielgruppen stets berücksichtigt werden, um eine bestmögliche Wirkung der Veranstaltungen zu erzielen.

Im Projekt PAL werden Konzepte für den Wissenstransfer von Forschungsergebnissen aus den einzelnen betrieblichen Schwerpunktprojekten in den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext entwickelt, die eine themenspezifische und zielgruppengerechte Aufbereitung der Inhalte in einer Baukastenstruktur vorsehen. Damit sollen zum einen Forschende entlastet werden, zum anderen soll damit die Verallgemeinerbarkeit und Verständlichkeit der Ergebnisse sichergestellt werden. Da im Rahmen des Projektes verschiedene Zielgruppen definiert sind, wird durch die Module sichergestellt, dass sowohl die gesellschaftlichen Bedarfe adressiert werden, als auch unternehmensspezifische Anwendungsfälle abgebildet werden können. Dies soll dabei unterstützen, dass die richtigen Ergebnisse an der richtigen Stelle zum richtigen Zeitpunkt ankommen und den regionalen Strukturwandel sinnvoll und effizient unterstützen sowie die Unternehmen zur Selbsthilfe befähigt werden, indem sie die gewonnenen Erkenntnisse selbst für ihre Anwendungsfälle umsetzen können.

Transfer innerhalb von betrieblichen Schwerpunktprojekten mit Multiplikatoren unterstützen

In einzelnen betrieblichen Schwerpunktprojekten arbeiten Unternehmen zusammen mit Arbeitsforschenden aus Hochschulen, um jeweils individuelle Lösungen für eine konkrete unternehmensinterne Anforderung zu entwickeln. Im Projekt PAL werden in diese Schwerpunktprojekte gezielt Multiplikatoren einbezogen, die im Prozess sowie als Schnittstelle innerhalb des Konsortiums und ergänzend in die Öffentlichkeit als Kommunikatoren agieren.

Innerhalb der Schwerpunktprojekte kann eine solche Unterstützung durch Multiplikatoren beispielsweise darin bestehen, ein Unternehmen oder Arbeitsforschende bei Fachfragen zu verschiedenen Aspekten mit Wissensträgern zu vernetzen, z.B. zur Klärung datenschutzrechtlicher Fragen, die bei Anwendungen von Technologien mit Künstlicher Intelligenz (KI) durch Beschäftigte auftreten können. So kann die Einbeziehung von Erfahrungswerten von Unternehmen, die solche Prozesse bereits durchlaufen haben, durch Netzwerke wie Silicon Saxony ermöglicht werden. Multiplikatoren können darüber hinaus auch unterstützen, wenn es darum geht, innerhalb der Belegschaft die Akzeptanz für das durchgeführte Projekt zu erhöhen.

Die Einführung von datenbasierten Assistenzsystemen oder KI-Anwendungen in Unternehmen steht oftmals vor der Herausforderung, dass die Beschäftigten solchen Projekten gegenüber skeptisch oder sogar kritisch eingestellt sind. Neben der Sorge, technologiebedingt den eigenen Arbeitsplatz zu verlieren, spielt in vielen Fällen auch eine Technikangst eine Rolle – insbesondere bei älteren Beschäftigten, die Angst davor haben, den entstehenden Anforderungen nicht gerecht zu werden (Rammer, 2021).

Es empfiehlt sich deshalb dringend, die direkt von dem Vorhaben betroffenen Beschäftigten von Beginn an in die Konzeption und Umsetzung des Projektes einzubeziehen und sie nicht nur „mitzunehmen“ im Sinne von „informieren“, sondern sie tatsächlich an der Umsetzung des Projektes zu beteiligen und ihr Know-how bei der konkreten Ausarbeitung einzubeziehen. Ein erster Auftakt hierfür kann ein von Multiplikatoren moderierter KI-Akzeptanz-Workshop sein, in dem zum einen die juristischen Rahmenbedingungen (zum Beispiel relevante Aspekte der DSGVO) und zum anderen die Erwartungshaltungen der Geschäftsführung an das Projekt sowie eine Beschreibung des Vorhabens mit den involvierten Beschäftigten diskutiert werden. Idealerweise ist dieser Workshop niederschwellig gestaltet, zum Beispiel indem erst einmal die positiven Aspekte von KI-Anwendungen und Beispiele für eine Nutzung von KI-Lösungen im Alltag miteinander diskutiert werden (vgl. Ganz et al., 2021).

Ein solcher KI-Workshop sollte dann im nächsten Schritt auch mit weiteren Beschäftigten des Unternehmens durchgeführt werden. So lassen sich frühzeitig Unsicherheiten und dadurch entstehende Unruhe in der Belegschaft, die vom Projekt erfährt, aber keine genaueren Informationen darüber hat, vermeiden. Die Hauptbotschaft solch eines Workshops, zu der auch die Unternehmensleitung sich klar positionieren muss, sollte lauten: „Wir gestalten diesen Prozess gemeinsam!“.

Hilfreich ist es auch, wenn das Unternehmen sich in diesem Zusammenhang zu einem Leitbild für die Anwendung von KI bereit erklärt. Im Projekt PAL wurde bereits zum Projektbeginn gemeinsam ein Leitbild definiert, das zur Orientierung dienen kann. Darüber hinaus haben Unternehmen die individuelle Möglichkeit, ein eigenes Leitbild zu erarbeiten oder sich zu einem bestehenden Leitbild zu bekennen. Hierfür kommt beispielsweise das „Human Friendly Automation Value Manifesto“ in Frage (Human Friendly Automation Value Manifesto). Solch ein Leitbild kann das Unternehmen sowohl nach innen als auch nach außen sichtbar kommunizieren und Beschäftigten sowie potenziellen zukünftigen Beschäftigten dadurch ein vertrauensvolles Miteinander und Sicherheit im Umgang mit den neuen Technologien garantieren.

Interdisziplinäre Teams gut unterstützen

Diese Beteiligungsorientierung wird auch im Projekt PAL selbst gelebt, indem Mitarbeitende aus verschiedenen Fachdisziplinen dabei unterstützt werden, ihre Perspektiven und Kompetenzen für die betriebliche KI-Lösung zu fokussieren. Je nach Anwendungsfall und Unternehmen finden sich die Mitarbeitenden aus Wissenschaft und Betriebspraxis in teilautonomen Arbeitsgruppen, sogenannten Labteams, zusammen. Hierbei unterstützt die ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH (ATB) durch die Bereitstellung von Werkzeugen aus dem agilen Projektmanagement, z.B. mit teamspezifischen Schulungen und individuellem Coaching (vgl. Neumer et al., 2021; Stumpf et al., 2022). Hierzu gehört eine vorbereitende Broschüre mit Grundlagen agiler, virtueller Projektarbeit mit Hinweisen zu Rollen und Aufgaben im Team sowie Vorlagen und virtuellen Tools für den sofortigen Einsatz. Aufbauend hierauf wurde die Neugründung von Teams durch eine gemeinsame Auftaktveranstaltung moderiert. Im Zentrum dieser standen hierbei das persönliche Kennenlernen der Teammitglieder, die Festlegung von Zielen und Arbeitsweisen im Team sowie grundlegende Kommunikationserwartungen, sodass bereits nach dieser konstituierenden Sitzung erste Schritte der gemeinsamen Zusammenarbeit festgelegt werden konnten. Beispielsweise half der Einsatz einer Project-Canvas-Vorlage auf einem Online-Whiteboard, die Bedarfe und Erwartungen von Zielgruppen der jeweiligen KI-Lösung in den Blick zu nehmen, um das Wirken des Teams daran zu fokussieren (vgl. Müller-Seitz & Weiss, 2021; Reindl et al., 2022). Insbesondere der bei Teamgründungen meist vernachlässigte Austausch über Arbeitsgewohnheiten

war sehr zielführend, weil auch ruhige Mitarbeitende und Vorerfahrungen im Team integriert werden konnten (vgl. Mander et al., 2021). Insbesondere den Koordinierenden der Teams, die Richtung und Arbeitsweise der Zusammenarbeit im Blick behalten müssen (auch in der Zusammenarbeit mit Geschäftsführenden, Führungskräften und Werkenden der Praxisunternehmen), helfen die unterstützenden Werkzeuge bei

- der virtuellen kollaborativen Aufgabenübersicht,
- gut vorbereiteten und verlässlich endenden Meetings,
- der Priorisierung und Fokussierung von Teilschritten

(vgl. Rumpf, 2018; Zirkler & Werkmann-Karcher, 2020; Zeuge et al., 2020; Roy, 2012; Graf-Pfohl, 2022).

Da sich die Arbeitsweise durch die enge Verzahnung mit den Mitarbeitenden der Lausitzer Unternehmen weiterentwickelt, unterstützt die ATB regelmäßige Austauschrunden, in denen Good Practice ausgetauscht und Lösungen für Herausforderungen entwickelt werden. Gerade mit Blick auf den langen Projekthorizont und die räumlich weit voneinander entfernt arbeitenden Teams bieten diese Austauschrunden kontinuierliches Vernetzungs- und Standardisierungspotenzial. Denn insbesondere autonom agierende Arbeitsgruppen müssen sich angesichts der Offenheit für veränderte Wünsche und Anforderungen in der KI-Entwicklung darauf verständigen, was im Sinne des Kompetenzzentrums der Arbeitsforschung - über die Vorgaben der einzelnen Lehrstühle hinaus - sinnvoll und leistbar ist, um die Lausitzer Unternehmen in der Gestaltung des Strukturwandels unterstützen zu können (vgl. Mordi, 2021).

Fach Austausch vor Ort für Unternehmen im “PAL-Unternehmensworkshop Brandenburg”

Der Gemeinnützige Verein zur Förderung der beruflichen Bildung e. V. Elsterwerda (GVFB) wirkt in PAL an der Realisierung von Transferaktivitäten mit Schwerpunkt Brandenburg mit: Er befördert den Zugang zu Unternehmen, Organisationen und Institutionen in der Strukturwandelregion, organisiert und führt Veranstaltungen durch. Zudem werden die spezifischen Bedarfslagen der Unternehmen sowie die strukturellen Bedingungen in Brandenburg repräsentativ ermittelt und in das Vorhaben eingesteuert. Außerdem unterstützt der GVFB die Bearbeitung der betrieblichen Schwerpunktprojekte in den kleinen Unternehmen in Brandenburg und steht hierbei mit acht Unternehmen der Elektro-, Metall- und Automotive-Industrie der Region Lausitz als Multiplikator in direktem Kontakt.

Die Hochschule Mittweida (HSMW), die Technische Universität Dresden (TU Dresden), PAL-Partnerunternehmen und GVFB sind somit gemeinsam an der Entwick-

lung von KI-Einsatzszenarien für menschengerecht gestaltete Arbeit und Arbeitssysteme beteiligt. Mit ihren dabei gesammelten Einsatzerfahrungen und Anwendungen sind sie Impulsgeber für weitere Unternehmen.

Nach einer ersten Analyse der Bedarfslage für die Partnerunternehmen wurde der „PAL-Unternehmensworkshop Brandenburg“ ins Leben gerufen. Es handelt sich dabei um eine halbjährlich stattfindende Präsenzveranstaltung unter Federführung des GVFB mit wechselnden thematischen Schwerpunkten. Im Rahmen dieses Formats wird den acht Unternehmen der Elektro-, Metall- und Automotive-Industrie ein Podium zum Fachaustausch ermöglicht, in das Input aus Forschung und Wissenschaft mit einfließt und wo besprochen wird, was für sie als Wirtschaftsunternehmen – vor dem Hintergrund einzelner KI-Implementationsstrategien – wirklich von Relevanz ist. Der Präsenz-Charakter der Veranstaltung erweist sich bei der Durchführung einzelner Workshop-Einheiten und bei der umgehenden Bearbeitung vertraulicher bzw. sensibler Informationen von großem Vorteil.

Neben dieser Veranstaltung führen HSMW, TU Dresden und der GVFB regelmäßige Vor-Ort-Termine (VOT) bei den acht Partnerunternehmen durch. Dadurch können einzelne Prozesse, Arbeitspakete und Analysen in betrieblichen PAL-Schwerpunktprojekten vorangetrieben werden.

Durch den "PAL-Unternehmensworkshop Brandenburg" und die Vor-Ort-Termine wird die Entwicklung von Lösungen zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Partnerunternehmen kontinuierlich vorangetrieben. Denn die primäre Herausforderung stellt die Absicherung des Fachkräftebedarfs mit allen begleitenden personellen, strukturellen und logistischen Faktoren dar, die der digitale Wandel mit sich bringt.

PAL.live - ein Online-Transferformat für regionale und überregionale Unternehmen

Um Lausitzer Unternehmen und die Fachöffentlichkeit zu Themen der Arbeitsgestaltung bei der Einführung von neuen digitalen Assistenzsystemen zu informieren und gleichzeitig den Raum zum gegenseitigen Austausch zu bieten, wurde vom Bildungswerk der Sächsischen Wirtschaft gGmbH (bsw) das interaktive Format PAL.live entwickelt. Das Konzept dafür entstand in einem kooperativen Entwicklungsprozess (Co-Creation) der PAL-Netzwerkpartner.

In regelmäßig stattfindenden Online-Veranstaltungen, die einen Zeitumfang von ca. 60 Minuten haben, kommen Expert*innen aus den beteiligten Hochschulen und den PAL-Partnerunternehmen in einem jeweils 15-minütigen Inputvortrag zu Wort und schildern die Vorhaben von PAL in der Lausitz aus Hochschul- und Unternehmenssicht. Anschließend tauschen sich die Expert*innen mit den Teilnehmenden der Veranstaltung für ca. 30 Minuten zu den Themen aus und beantworten ihre Fragen.

Aktuell befindet sich PAL.live in der Konzeptionsphase. Die ersten Veranstaltungen sind für das erste Halbjahr 2023 geplant.

Durch die verschiedenen Veranstaltungsangebote ist es den Partnerunternehmen in PAL möglich, die Anforderungen des digitalen Wandels umfassend im Blick zu behalten – gemeinsam mit der Fachexpertise von mehreren Hochschulen, Bildungsdienstleistern und weiteren Multiplikatoren. Die Zusammenarbeit mit Forschungsexperten der IT-Branche und der Arbeitswissenschaft bzw. Arbeitspsychologie ermöglicht den beteiligten Unternehmen zudem einen unkomplizierten Blick auf Augenhöhe, um aktuelles wissenschaftliches Know-how übertragen zu bekommen und nutzbringend für die Entwicklung in den Betrieben einzusetzen.

Auch die Wissenschaftler profitieren von der Praxisnähe, denn die Zusammenarbeit mit den PAL-Unternehmen schafft hierbei auch eine Perspektive für regionale, branchenspezifische und themenspezifische Bedarfe und Anforderungen von Unternehmen. Die entwickelten individuellen technischen Lösungen werden ausgerichtet auf stabile Mitarbeitende, die den sich verändernden Anforderungen gewachsen sind.

Somit wird in PAL eine partizipative Forschung betrieben. Es sensibilisiert die Unternehmen für Themen zu KI nach dem Prinzip „jeder kann von jedem lernen“.

Wissenschaft für alle: Kommunikation und Transfer für die breite Öffentlichkeit im PAL-Projekt

Künstliche Intelligenz (KI) und Arbeitsforschung – das sind die zwei zentralen Themen des PAL-Projektes, die auch umfassenden Erklärungsbedarf in der Öffentlichkeit haben.

Das Thema KI nimmt in der Wahrnehmung der Öffentlichkeit inzwischen einen großen Raum ein, jedoch bestehen gleichzeitig viele Missverständnisse und Trugschlüsse in der öffentlichen Diskussion, die zum Teil durch wissentlich oder unwissentlich verkürzte Darstellungen in den Medien erzeugt werden (Otte 2021 S. 10 ff.). Die Arbeitsforschung ist bisher fast ausschließlich ein akademisches Wissensgebiet mit Ausstrahlung in die Bereiche der Wirtschaft, die sich mit Personalbeschaffung, Arbeitsplatzgestaltung oder dem Design von Arbeitsmaschinen beschäftigen, aber mit wenig Bekanntheit in der Öffentlichkeit.

Im PAL-Projekt sind die Öffentlichkeitsarbeit und der zielgruppenspezifische Transfer der Forschungsergebnisse deshalb eine besondere Herausforderung. In der Transferstrategie des Projektes spielt das Online-Format PAL-Projekt-Website www.pal-lausitz.de, die strikt auf die Bedürfnisse der Nutzer-Zielgruppe ausgerichtet wird, eine zentrale Rolle. Hier werden für die Öffentlichkeit und für Akteure in kleinen und mittelständischen Unternehmen aufbereitete Forschungsinhalte, Praxisberichte und Informations- und Vernetzungsangebote veröffentlicht. Ein alle zwei Monate erscheinender Newsletter, ein Youtube-Kanal mit Erklärfilmen zu KI und

Arbeitsforschung und ein LinkedIn-Profil ergänzen das Online-Informationsangebot und laden zum Dialog ein. Strategische Schwerpunkte sind hier neben den häufig auftauchenden Digitalisierungsthemen in der Arbeitswelt das Bekanntmachen der Arbeitsforschung und der praktischen Anwendungsbeispiele von KI-Technologien in der Arbeitswelt.

Eine besondere Beitragsreihe auf der Website stellt die Kolumne „Zahl des Monats“ dar. In kurzen Texten reflektieren studentische Mitarbeitende des PAL-Projektes anhand von aktuellen Zahlen aus Statistiken oder wissenschaftlichen Arbeiten, was Künstliche Intelligenz für Menschen in der Arbeitswelt und in der Gesellschaft bedeutet und wohin die Entwicklungstrends weisen.

Das PAL-Projekt wendet sich auch speziell der Zielgruppe der Schülerinnen und Schüler, Auszubildenden und Studierenden zu. Im Transferangebot des CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation an der Technischen Universität Dresden „Schülerprojektwoche Künstliche Intelligenz (KI) in der Arbeitswelt – was gibt es schon, was kommt noch und was machen wir damit?“ erhalten Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 7 und 8 Einblicke in die fachlichen Inhalte zu KI in der Arbeitswelt. Betreut durch und im Austausch mit Forschenden und Studierenden reflektieren sie darüber, was diese Technologie mit Menschen macht, was der Mensch mit der Technologie machen kann und finden eigene Positionen durch selbständige explorative und kritische Auseinandersetzung.

Im Sensibilisierungsformat „Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften“ werden am Stand des Projektes PAL Familien, Studieninteressierte und die Wissenschaftscommunity angesprochen. Im Dialog mit Forschenden und

durch Infomaterial, wie z. B. eine digitale interaktive ImageMap, können Interessierte Fragen diskutieren und Einblicke in das Thema der datenbasierten Assistenzsysteme in der Arbeitswelt erhalten. Für Kinder gibt es Angebote zum Knobeln und Basteln, um spielerisch Zugang zum Thema KI in der Arbeitswelt zu finden.

Die Transfer- und Kommunikationsformate für die Öffentlichkeit werden im Projekt erprobt, anhand der Rückmeldungen der Nutzenden validiert und stetig weiterentwickelt. Transfer-Fachleute bereiten die Inhalte der Projektarbeit dann jeweils an die Zielgruppe angepasst auf, so dass auf neu entstehende Informationsbedarfe reagiert werden kann.

Transferarbeit ganzheitlich und bedarfsorientiert

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Unternehmen nicht allein durch die Implementation von datenbasierten Assistenzsystemen (bis hin zu KI) in der Lage sind, Strukturwandel aktiv zu gestalten. Vielmehr benötigen komplexe digitale Lösungen im Betriebsalltag eine organisatorische und kommunikative Begleitung, um nachhaltig nutzbar gemacht zu werden. Auch die Öffentlichkeit in der Strukturwandelregion und darüber hinaus benötigt Informationen zu Möglichkeiten der technischen und strategischen Gestaltung des digitalen Transformationsprozesses, um Synergien für ähnliche Vorhaben ableiten zu können oder den politischen Diskurs in der Zivilgesellschaft mitgestalten zu können. Die Netzwerkenden und Transferbeauftragten im Projekt PAL stellen hierfür Formate bereit, die bedarfsgerecht im Forschungs- und Betriebsalltag zum Einsatz gebracht werden können, um zu informieren, Inhalte zu übersetzen und zu befähigen. Das Projekt PerspektiveArbeit Lausitz fungiert damit als Transformationsunterstützer für regionale Unternehmen.

Literaturverzeichnis

- [1] Alt, R., & Zimmermann, H.-D. (2019). Eventmanagement. Veranstaltungen professionell zum Erfolg führen. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20671-2>
- [2] Bortz, J., Döring, N. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- [3] Ganz, W., Kremer, D., Hoppe, M., Tombeil, A.-S., Dukino, C., Zaiser, H., & Zanker, C. (2021). Arbeits- und Prozessgestaltung für KI-Anwendungen. Fraunhofer Verlag.
- [4] Giering, O. (2022). Künstliche Intelligenz und Arbeit: Betrachtungen zwischen Prognose und betrieblicher Realität. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 76(1), 50–64. <https://doi.org/10.1007/s41449-021-00289-0>
- [5] Graf-Pfohl, C. (2022): Agilität als zukunftssicheres Merkmal digitaler Führung; Herausgeber: Lanza, G.; Nieken, P.; Nyhuis, P.; Trübswetter, A.: Digitale Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen. Praxisbezogene Methoden und Anwendungsbeispiele, S. 66-81. Garbsen: TEWISS-Technik und Wissen.
- [6] Hausberg, J. P., & Korreck, S. (2020). Innovationsmanagement. Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung. Stuttgart: Schäffer-Poeschel. <https://doi.org/10.1007/978-3-7910-4704-4>
- [7] Hocke, P., & Wehner, T. (2020). Transfer von Wissen in der Veranstaltungsbranche. In T. Wehner & C. Stoltenberg (Eds.), Handbuch Wissenstransfer (pp. 427-441). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29105-4_26
- [8] Klatt, R. (2021). "Eventmanagement." In M. Schwaiger & M. Schreckenberger (Eds.), Handbuch Dienstleistungsmanagement (pp. 637-651). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21925-6_27
- [9] Klement, K., & Maurer, M. (2018). Eventmanagement. Grundlagen und Trends. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-19416-4>
- [10] Mander, R., Hellert, U. & Antoni, C.H. Selbstführungsstrategien zur Bewältigung von Flexibilitätsanforderungen digitaler Arbeit mit hohem Zeit- Orts- und Handlungsspielraum – eine qualitative Studie. Gr Interakt Org 52, 163–171 (2021).
- [11] Mordi, A. (2021). Agile Software Tools in the Field: The Need for a Tool Reflection Process. In: Pfeiffer, S., Nicklich, M., Sauer, S. (eds) The Agile Imperative . Dynamics of Virtual Work. Palgrave Macmillan, Cham.

- [12] Müller-Seitz, G., Weiss, W. (2021). Design Thinking as an Agile Panacea? Towards a Symbiotic Understanding of Design Thinking and Organizational Culture. In: Pfeiffer, S., Nicklich, M., Sauer, S. (Hrsg.) *The Agile Imperative. Dynamics of Virtual Work*. Palgrave Macmillan, Cham.
- [13] Neumer, J., Nicklich, M., Tihlarik, A., Wille, C., Pfeiffer, S. (2021). Alles agil, alles gut?. In: Bauer, W., Mütze-Niewöhner, S., Stowasser, S., Zanker, C., Müller, N. (Hrsg.) *Arbeit in der digitalisierten Welt*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- [14] Otte, Ralf (2021). *Maschinenbewusstsein*, Campus Frankfurt / New York, 60486 Frankfurt/Main, ISBN: 9783593448978
- Rammer, Dr. Christian (2021). *Herausforderungen beim Einsatz von künstlicher Intelligenz. Ergebnisse einer Befragung von jungen und mittelständischen Unternehmen in Deutschland*. für: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Stand: April 2021
- [15] Reindl, C., Lanwehr, R. & Kopinski, T. *Das hybride Büro: Gestaltungsansätze für New Work-Arbeitsumgebungen anhand eines Fallbeispiels*. *Gr Interakt Org* (2022).
- [16] Roy, S. R. (2012). Digital mastery: The skills needed for effective virtual leadership. *International Journal of E-Collaboration*, 8(3), 56–66.
- [17] Rumpf, J. (2018). Führung durch Mausclick? Herausforderungen für Führungskräfte in einer zunehmend digitalisierten Arbeitswelt mit virtuellen Teams. In C. von Au (Hrsg.), *Führen in der vernetzten virtuellen und realen Welt* (S. 51–68). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [18] Stumpf, S., Delißen, F., Bente, S., Koeppe, G., Klug, L., & Thevaraja, P. (2022). Agiles Projektmanagement: Eine empirische Anforderungsanalyse zu den Scrum-Rollen „Product Owner“ und „Scrum Master“. *Wirtschaftspsychologie*, 1, 3–13.
- [19] Zeuge, Anna & Oschinsky, Frederike & Weigel, Andreas & Schlechtinger, Michael & Niehaves, Björn. (2020). *Leading Virtual Teams -A Literature Review*. Conference Paper: *New Future of Work Symposium, Project: aSTAR - Competence transfer in a VR/AR-based environment for work design*. Online: https://www.researchgate.net/profile/Andreas-Weigel/publication/343473371_Leading_Virtual_Teams_-A_Literature_Review/links/5f2bcb6392851cd302dfc180/Leading-Virtual-Teams-A-Literature-Review.pdf (Abruf: 30.09.2022)
- [20] Zirkler, M. & Werkmann-Karcher, B. (2020). *Psychologie der Agilität: Lernwege für Individuen und Teams*, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 67–71. [1]

Entwicklung eines flexiblen Automationsbaukastens zur Bauteilhandhabung an Werkzeugmaschinen

Matthias Hertel¹, Torsten Hildebrand², Leif Goldhahn¹

¹ Hochschule Mittweida, InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft, Professur Produktionsinformatik, Mittweida, Deutschland

² ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e. V., Chemnitz, Deutschland

Kurzfassung:

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden durch den demografischen Wandel und dem damit verbundenen Fachkräftemangel vor neue Herausforderungen gestellt. Um die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, bedarf es flexibler Automationslösungen in der Produktion, die kostengünstig und intuitiv beherrschbar sind. Dies wirkt personellen Engpässen bei der Werkstückbeschickung von Werkzeugmaschinen entgegen. Im ZIM-geförderten FuE-Kooperationsprojekt „AuRo-Toolbox“ (16KN091730) wird eine digital konfigurierbare und anschließend vom Anwender selbst zu installierende Roboterautomation entwickelt, die Pick & Place Aufgaben sicher und effizient umsetzen kann. Dafür werden Standardmodule entworfen, die im Plug & Play - Prinzip mit anwendungsspezifischen Zusatzmodulen erweitert werden können. Eine Besonderheit ist die Entwicklung einer neuartigen Kommunikationsschnittstelle zwischen Roboter und Werkzeugmaschine, welche die Modernisierung älterer Bestandsmaschinen einspart und somit einen CE-konformen Weiterbetrieb dieser Anlagen mit bereits bestehender Zertifizierung ermöglicht.

1. Einleitung

Produzierende Unternehmen sind auf der Suche nach Lösungen, um einfache und monotone Arbeiten wie die Werkzeugmaschinenbeschickung, die zudem häufig mit einem verminderten personellen Auslastungsgrad einhergehen, zu automatisieren und somit dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Derartige Tätigkeiten erfordern aber auch ein hohes Maß an Flexibilität, um Aufträge mit geringer Stückzahl und hoher Variantenvielfalt an verschiedenen Werkzeugmaschinentypen abzuwickeln, was die Umsetzung von Automatisierungslösungen vor große Herausforderungen stellt [1,2].

Die notwendigen Investitionen für die Automatisierung umfassen nicht nur die technischen Komponenten wie Roboter, Greifer, Unterbau, Sicherheitseinrichtungen usw., sondern auch die Dienstleistungen für das Engineering von der Planung bis hin zur Inbetriebnahme beim Kunden. Diese Dienstleistungen sind zumeist mit Wartezeiten und hohen Kosten für den Kunden verbunden, die wiederum die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Investition infrage stellen können. Trotz Bemühungen von Robotikdienstleistern existieren derzeit kaum Standardlösungen bei Handlingsaufgaben mit Robotern an bereits bestehenden Werkzeugmaschinen [3].

Eine neuartige Methode zur flexiblen Automation von Werkzeugmaschinen wird in [4] vorgestellt. Ein fahrbares und erweiterbares Robotermodul wird per Dockingstation (Bahnhof) mechanisch, elektrisch und pneumatisch mit der Werkzeugmaschine verbunden und kann anschließend sofort für Beschickungsaufgaben eingesetzt werden. Das FuE-Kooperationsprojekt „AuRo-Toolbox“ (16KN091730) verfolgt einen ähnlichen Ansatz zur modularisierten Automation der Bauteilhandhabung,

jedoch mit dem Ziel einer Ferninbetriebnahme durch den Kunden selbst. Über eine digitale Plattform kann sich der Anwender seine individuelle Lösung aus den standardisierten Komponenten des Automationsbaukastens individuell zusammenstellen, die Komponenten selbst aufbauen und in Betrieb nehmen. Dieses Konzept bietet besonders KMU-Endanwendern Chancen zur schnellen und günstigen Automation von Beladeprozessen an Werkzeugmaschinen in Verbindung mit einer zunehmenden Digitalisierung im Betrieb.

2. Entwicklungsziele

Im Projekt soll ein Automationsbaukasten für Pick&Place – Aufgaben an Werkzeugmaschinen (WZM) entwickelt werden, der auf dem „IKEA-Prinzip“ basiert. Eine derartige Adaption im Automationssektor gewährleistet die größtmögliche Autonomie und Flexibilität für das anwendende Unternehmen.

Als Plattform für die geplante Dienstleistung ist die Entwicklung einer durchgehend digitalen Prozesskette von der Konzeption der technischen Lösung beim Hersteller (1.Phase) bis hin zur Inbetriebnahme, Training und Service (2.Phase) beim Kunden notwendig (siehe Abbildung 1).

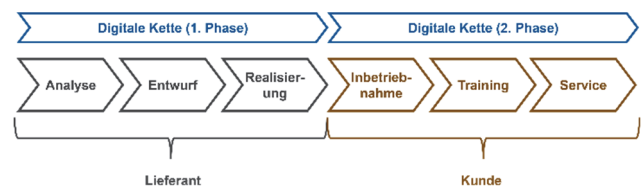


Abbildung 1: Digitale Prozesskette Automationsbaukasten

Das ermöglicht die Verwendung eines digitalen Zwillings des vom Kunden digital konfigurierten Produktes bereits

in der Angebotsphase. Dies wird beispielsweise mithilfe eines Algorithmen-geführten Bestellvorgangs in einem nutzerfreundlich gestalteten Webshop mit integriertem Modul-Konfigurator realisiert. Die Auswahl des Roboters als zentrales Kernmodul erfolgt nach den Parametern Kinematik, Reichweite und Handlinggewicht. Dazu wird ein digitales Lastenheft entwickelt, das durch intuitive Benutzerführung sämtliche relevante Daten vom Kunden aufnimmt und strukturiert zur Generierung eines Lösungsvorschlags an den datenbankbasierten Konfigurator übergibt. Für den Aufbau einer dafür vorgesehenen Datenbank wurde ein Konzept zur Integration des Verwaltungsschalenprinzips vorgestellt, das die Zuordnung digitaler Informationen (Datenblätter, Dokumentationen usw.) zu den konfigurierten Komponenten ermöglicht.

Ein weiteres Projektziel ist die Schaffung neuartiger, universeller Schnittstellen unter Einhaltung der CE-Konformität und Beibehaltung der Gewährleistung durch den WZM-Hersteller. Das heißt, es dürfen keine tiefgreifenden Umrüstungen an der Werkzeugmaschine vorgenommen werden, die im vorliegenden Stand der Technik zur technischen Kommunikation mit dem Roboter benötigt werden.

Die Funktionsfähigkeit des modularen Automationsbaustens wird mithilfe eines Demonstrators für ein Automationssystem nachgewiesen werden, das vollständig autark und mobil einsetzbar ist.

3. Konzeption und Umsetzung

Im Projekt werden die Entwicklungsziele folgendermaßen realisiert. Den Kern des Automationssystems bildet ein lastenheftabhängig definierter Roboter mit Unterbau. Die Fläche des Unterbaus entspricht den Abmessungen einer Europalette mit 1200 mm x 800 mm. Die Höhe der Tischplatte wird zwischen 860 mm und 1060 mm betragen und ermöglicht somit das ergonomische Handhaben von beispielsweise Kleinladungsträgern für den Werker in Anlehnung an [5]. Die Roboterbasis bzw. das Grundgestell des Roboters wird auf die Arbeitsplatte montiert. Eine standardisierte Lösung zur Montage beliebiger Robotertypen auf die Arbeitsplatte befindet sich derzeit noch in der Entwicklung. Die Steuerung des Roboters wird zusammen mit einem Kompressor für autarke Druckluftversorgung und Bodenscannern in den Unterbau integriert. Das ermöglicht einen kompakten Aufbau des Kernmoduls und einen flexiblen Einsatz an unterschiedlichen Standorten beim Anwender.

Die Programmierung der Robotersteuerung stellt eine besondere Herausforderung für den Anwender dar. Aufgrund unterschiedlicher Programmiersprachen bei den verschiedenen Roboterherstellern bedingt dies umfangreiche Programmierkenntnisse beim Anwender, um kundenspezifische Programme individuell erstellen bzw. modifizieren zu können. Im Projekt wird zunächst eine grafisch aufbereitete Nutzerschnittstelle (HMI)

entwickelt, die z. B. Positionskoordinaten der Werkstückübergabe an parametrisierte Programmmodule übergibt und somit den Programmieraufwand für den Anwender erheblich verringert. Eine Weiterentwicklung der Nutzersteuerung ist eine spätere Integration von sogenannter „no-code“-Software, die dem Anwender eine vollständige und herstellerübergreifende Programmierung von Robotern per „drag & drop“-Verfahren erlaubt. Durch die vergleichsweise geringen Anforderungen an die Programmierkenntnisse des Anwenders durch Nutzung einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI), eröffnen sich neue Möglichkeiten zur sicheren Bedienung des Automationssystems für den Endanwender. Die Vermeidung von Hochsprachen-Programmierung ermöglicht durch eine „Demokratisierung der Robotik“ einen einfacheren Einstieg in die Robotik und kann zudem die Programmierzeit verkürzen [6].

Die Auswahl eines Greifers als mechanische Schnittstelle zwischen Roboter und Werkstück erfolgt als Modulbaustein auf Basis der im Lastenheft definierten Werkstückgeometrie robotertypabhängig. Der ausgewählte Greifer muss die Werkstückzuführung zur WZM und die Abführung des in der WZM gefertigten Werkstückes (WS) sicherstellen. Mithilfe von „vision guided robotics“ kann durch Verwendung eines optionalen Kamerasystems die ungeordnete WS-Zuführung durch einen „Griff in die Kiste“ realisiert werden.

Die Abbildung 2 zeigt die digitalen Bausteine der geplanten Toolbox. Ausgehend vom Basismodul Roboter mit Unterbau, den Modulen zur systematischen/ geordneten WS-Zu- und -Abführung mit der Option der chaotischen/ ungeordneten WS-Zuführung als „vision guided robotics“-Modul werden „pick & place“-Aufgaben umgesetzt.

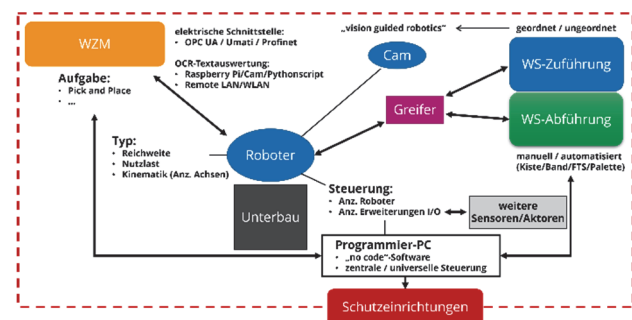


Abbildung 2: Bausteine der AuRo-Toolbox

Eine besondere Herausforderung stellt dabei die kommunikative Anbindung der Anlage an Bestandsmaschinen dar. Fehlende elektrische Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen Roboter- und WZM-Steuerung (z.B. OPC UA, Profinet usw.) erfordern im Stand der Technik eine Aufrüstung der WZM-Steuerung auf PLC-Ebene. Das verursacht zusätzliche Kosten für den Kunden durch die Beschaffung der dafür erforderlichen Komponenten und des für die Aufrüstung erforderlichen, hochqualifizierten Servicepersonals.

Eine Lösung für das Problem der Schnittstellenaufrüstung ist die Auswertung des optisch erkennbaren Werkzeugmaschinenzustandes.

In [7] wird ein Automationssystem angeboten, das die Farbsignale von Statuslampen an der WZM mithilfe einer smarten Kamera auswertet und somit die erforderlichen Basisinformationen für die Ablaufsteuerung des Roboters zur Verfügung stellt.

Im Projekt AuRo-Toolbox wird nun eine schnittstellenfreie Kommunikationslösung zwischen Roboter- und WZM-Steuerung entwickelt. Dabei wird ein Raspberry Pi 4 Minicomputer mit integriertem Kameramodul (V2, Sony IMX219 Chip) vor dem Steuerungsbildschirm der WZM platziert. Die Kamera erfasst somit den gesamten Steuerungsbildschirm. Durch Anwendung der OCR-Texterkennung (Optical Character Recognition) werden Zustandsmeldungen der WZM in Echtzeit mit einem Pythonprogramm ausgewertet. Im vollständig erkannten Text wird anschließend nach vorgegeben Zeichenketten (Strings) gesucht, die den aktuellen Maschinenzustand eindeutig beschreiben. Entspricht eine Zeichenkette im erkannten Text einer Zeichenkette im Vorgabetext, wird über die GPIO-Schnittstelle (General Purpose Input Output) des Raspberry PI ein dafür zugewiesenes Relais geschaltet. Dieses Relais wird mit einem Eingang der Robotersteuerung verbunden, um bspw. ein 24 V Schaltsignal über das Relais weiterzuleiten. Dieses Eingangssignal dient dann im Roboterprogramm zur Erkennung eines eindeutigen Maschinenzustandes und kann dort zur Quittierung eines bedingten Programm-Halts verwendet werden. Die Zuweisung der Relais bzw. Schaltsignale entspricht folgenden Zeichenketten:

- Relais 1: „Verdeck entriegelt“
- Relais 2: „Verdeck verriegelt“
- Relais 3: „Futter offen“
- Relais 4: „Futter gespannt“
- Relais 5: „Halt“ und „Stop“
- Relais 6: „MDA“ oder „Jog“ oder „Reset“.

Die Schaltsignale der Relais 5 und 6 dienen der Zustandsidentifikation der WZM für verschiedene Betriebszustände (Manuell, Semi-Automatik, Automatik) und ermöglichen damit eine Prüfung sämtlicher erkannten Zeichenketten auf Plausibilität. Die Abbildung 3 zeigt den Versuchsaufbau zur Texterkennung an einem WZM-Bildschirminhalt.

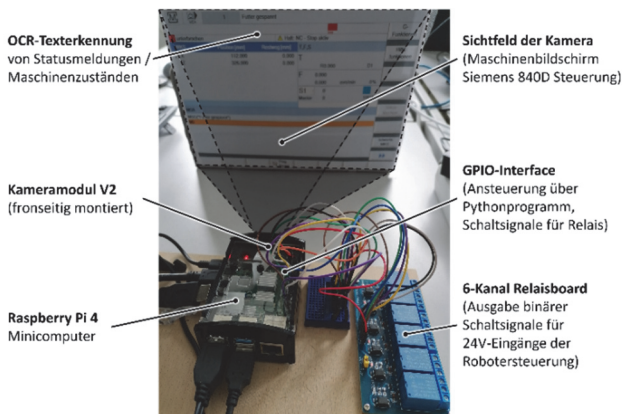


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Texterkennung von Statusmeldungen einer Siemens 840D-Steuerung

Die Erzeugung der Statusmeldungen am WZM-Bildschirm erfolgt entweder über das NC-Programm durch temporäre Mitteilungen nach der Quittierung von maschinenspezifischen M-Befehlen für das Futter spannen/entspannen bzw. Verdeck verriegeln/entriegeln oder direkt über die PLC durch dauerhafte Anzeige des aktuellen Spannmittel- und Verdeckzustandes. Sofern diese Zustände herstellereitig bereits über die PLC dem Maschinenbediener angezeigt werden, erfordert eine nachträgliche Implementation Expertenwissen, über das der Maschinenbediener bzw. Technologie im Normalfall nicht verfügt. Jedoch können Modifikationen im NC-Programm kundenseitig vorgenommen werden, um derartige Meldungen dem Programmablauf hinzuzufügen.

Als Demonstratoren für die geplante Umsetzung der Automationslösung kommen eine Drehmaschine Niles-Simmons N10 und eine Lasergravurmaschine der Firma Sitec Industrietechnologie GmbH zum Einsatz. Als Demonstrationsbauteil wurde ein rotationssymmetrischer Flaschenöffner nach [8] adaptiert. Das Rohteil aus nichtrostendem Stahl 1.4305, mit den Abmessungen $\varnothing 30 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$ wird auf der Drehmaschine beim ICM e.V. in zwei Aufspannungen gedreht. Der Greifer des Roboters wird als Kombigreifer ausgeführt, der das Rohteil und zwei verschiedene Durchmesser des Fertigteils greifen kann. Somit können mit einem Greifer sämtliche Handlingsaufgaben realisiert werden.



Abbildung 4: Drehmaschine Niles-Simmons N10 bei ICM

Das manuelle Verdeck der N10 (siehe Abbildung 4) muss vom Roboter geöffnet und geschlossen werden. Das geschlossene Verdeck wird mittels eines Euchner-Sicherheitsschalters verriegelt. Die Freigabe zum Öffnen des Verdecks durch den Roboter kann dadurch erst nach Anzeige der WZM-Statusmeldung „Verdeck entriegelt“ an die Robotersteuerung übergeben werden. Bei vollständig geöffneten Verdeck positioniert der Roboter das aus dem Kommissionierbereich entnommene Rohteil im Futter der WZM oder entnimmt das gedrehte Teil der Aufspannung A (siehe Abbildung 5), positioniert anschließend das WS für die Aufspannung B oder entnimmt das vollständig gefertigte WS und führt es wieder dem Kommissionierbereich zu. Das Spannen und Entspannen des WS im Futter kann nicht durch den Roboter erfolgen, da das WS während des Spannens/Entspannens in horizontaler Lage gehalten werden muss. Das Spannen und Entspannen erfolgt durch pneumatische

oder mechanische Aktoren, die an den Fußsternern der WZM montiert werden. Diese Aktoren werden mit den Ausgängen der Robotersteuerung verbunden und durch das Roboterprogramm angesteuert. Die Aktoren betätigen den jeweiligen Fußstern bis die entsprechenden Meldungen „Futter offen“ oder „Futter gespannt“ auf dem Steuerungsbildschirm der WZM erscheinen und an die Eingänge der Robotersteuerung übermittelt werden. Anschließend wird der jeweilige Aktor in seine Grundstellung zurückgefahren, der Greifer kann geöffnet und das Verdeck durch den Roboter geschlossen werden.

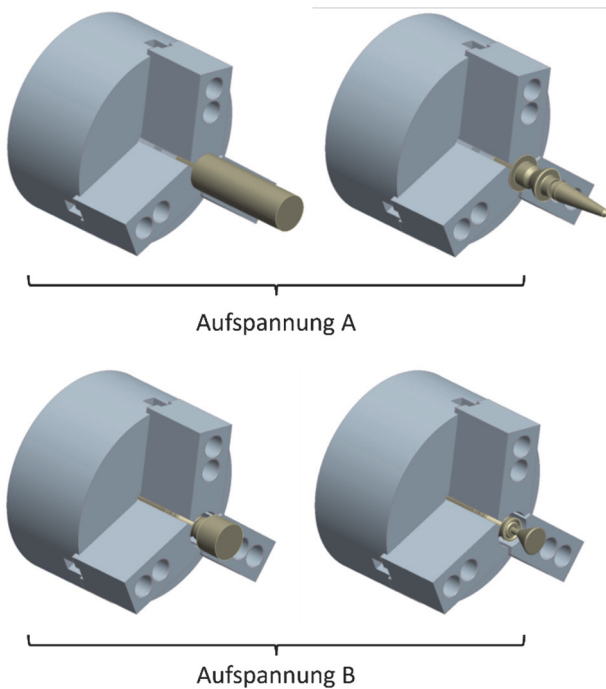


Abbildung 5: Fertigungsablauf des Drehwerkstücks

Eine weitere Aktion, die durch den Roboter nach Verriegelung des Verdecks ausgeführt wird, ist der Programmstart der WZM durch Tastendruck der Taste „Cycle Start“ am Steuerungspult. Um Beschädigungen am Steuerungspult der WZM zu vermeiden, wird ein zusätzliches Tastelement am Roboterarm angebracht, mit dem der Tastendruck beschädigungsfrei ausgeführt werden kann.

Der Automationsdemonstrator wird anschließend auch für die Lasergravurmaschine bei der Firma Sitec zum Einsatz kommen. Im Automationsablauf entfällt der Spann- und Entspannvorgang, da das WS nur eingelegt werden muss. Somit entfallen auch optionale Aktoren zur Bedienung von Fußsternern. Die Positionierung des Automationsdemonstrators bedingt eine geometrische Analyse, ob der Greifer sämtliche Positionen zum Beladen/Entladen/Starttaste an der WZM und den Kommissionierbereich erreichen kann, ohne die Zugänglichkeit zum Arbeitsraum der WZM und zum Steuerungspult für den Maschinenbediener einzuschränken. Eine derartige Analyse soll über das digitale Lastenheft erfolgen und befindet sich derzeit noch in der Entwicklung. Eine kostengünstige Lösung zur wiederholgenauen Positionierung der roboterbasierten Automation vor der WZM

befindet sich ebenfalls in der Entwicklung. Daran schließt sich die Erarbeitung eines kostengünstigen Sicherheitsstandards an, der Verletzungsrisiken durch den Roboter ausschließt. Da ein Zaun als Sperrvorrichtung die Flexibilität des geplanten Automationssystems erheblich einschränkt, wird die Integration von Bodenscannern im Robotermodul bevorzugt, die den Zutritt in den Gefahrenbereich des Roboters sensorisch überwachen. Tritt ein Mensch in den Gefahrenbereich des Roboters ein, wird die Geschwindigkeit des Roboters bis zum Stillstand in der Robotersteuerung herabgeregelt. Das ermöglicht eine hohe Flexibilität und Kompaktheit des Systems, um die Akzeptanz eines derartigen Automationssystems beim Anwender weiter zu steigern.

4. Ergebnisse

Zur Realisierung eines digitalen Konfigurators wurden die technischen Parameter untersucht, die zur Erstellung des digitalen Lastenhefts notwendig sind. Eine Teilapplikation als Demonstrationsbaustein für den webbasierten Konfigurator wurde zur Filterung von Robotern verschiedener Hersteller auf Basis einer eigens dafür erstellten Datenbank entwickelt. Durch Vorgabe der Kinematik (Anzahl Achsen, Reichweite) und des Systemgewichts für Greifer und WS werden dem Anwender passende Robotermodelle vorgeschlagen und die Verkaufspreise angezeigt. Das ermöglicht die Integration des Konfigurators in einen intuitiv bedienbaren Webshop, in dem sich der Kunde gewünschte Automationskomponenten in Modulbauweise selbst zusammenstellen kann.

Die OCR-Texterkennung wurde auf dem Raspberry Pi am Bildschirminhalt einer Siemens840D-Steuerung getestet und die Schaltsignale der Relais für die Robotersteuerung korrekt und manipulationssicher ausgegeben. Technische Risiken bestehen bei Manipulationen im Sichtbereich der Kamera und bei Störungen in der Signalübertragung vom Raspberry Pi zur Robotersteuerung. Um Manipulationen im Sichtbereich der Kamera zu vermeiden, wird der Bildschirminhalt der WZM-Steuerung in einer weiteren Entwicklungsstufe als Konfigurationsoption per Remotezugriff über ein Netzwerk ausgewertet. Das bedingt jedoch eine Netzwerkverbindung zur WZM, über die ältere Bestandsmaschinen nicht unbedingt verfügen.

5. Ausblick

Im Projekt arbeiten derzeit die Projektpartner SITEC Industrietechnologie GmbH, System-Automation Zimmer GmbH, ICS Industriedienstleistungen GmbH, ICM - Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V. und die Hochschule Mittweida, Professur Produktionsinformatik an der Umsetzung des Funktionsdemonstrators. Im Anschluss an diese Arbeiten sind neuartige digitale Anleitungen zu entwickeln, die eine Inbetriebnahme und den Einsatz der Automatisierungslösung durch den Anwender selbst ermöglichen, technische Risiken transparent darstellen und beherrschbar machen. Perspektivisch gilt

es, das sogenannte IKEA-Prinzip, für die Anwendung im Sondermaschinenbau weiter zu qualifizieren. Quantitativ muss der bestehende Baukasten um viele funktionelle Bausteine erweitert werden, damit weitere Anwendungen, die über das Bestücken von Maschinen hinaus gehen, konfiguriert werden können. Die weit größere Herausforderung liegt in der qualitativen Umsetzung des Ansatzes. Eine individuelle Automationslösung aus einem Baukasten, der eine Vielzahl von Herstellern umfasst, online und mit KI-Unterstützung zu konfigurieren, bietet ein hohes Marktpotenzial. Wenn in die Konfigurationsentscheidung Parameter wie Kompatibilität, Lieferzeit und Endkundenpreis einfließen und sich die Bausteine zu einem digitalen Zwilling fügen lassen, der selbstständig detaillierte Aufbau-, Inbetriebnahme- und Servicekonzepte für die Integration beim Kunden ableitet, dann ist der Maschinenbau in der Zukunft angekommen.

Literaturverzeichnis

- [1] Heidecker Dag (2022): Mit Automation volles Potenzial von Werkzeugmaschinen heben, VDW (Hrsg.), [online] <https://vdw.de/mit-automation-volles-potenzial-von-werkzeugmaschinen-heben/> [24.04.2023].
- [2] Statista (2023) Umfrage zu den größten Risiken im Mittelstand 2022, Statista Research Department, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152891/umfrage/auswirkungen-der-wirtschaftsrisiko-auf-die-unternehmen/> [24.04.2023].
- [3] Fastems Systems GmbH (2021): Automatisierung bereits bestehender Werkzeugmaschinen - Wege zur Weiterentwicklung, Robotik und Produktion 6, S.62.
- [4] FMB Maschinenbaugesellschaft mbH & Co. KG (2023): Mehr als Be- und Entladen: Modularer Baukasten für Roboterzelle - Maschinen flexibel automatisieren mit FMBs, <https://automationspraxis.industrie.de/news/maschinen-flexibel-automatisieren-mit-fmbs-fmbase/> [25.04.2023]
- [5] DIN EN ISO 14738 (2022): Sicherheit von Maschinen – Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitsplätzen für Industrie und Dienstleistungen, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag Berlin.
- [6] Völker, Jonas (2023): Cobots und No Code: Demokratisierung der Robotik, atp!info Vulkan-Verlag Essen, <https://atpinfo.de/produkte-und-loesungen/cobots-und-no-code-demokratisierung-der-robotik/> [04.05.2023]
- [7] Industrie-Partner GmbH (2019): Robo Operator®, Selbstständige, mobile und flexible Roboterzelle als Automatisierungslösung für CNC-Werkzeugmaschinen und Montageautomaten, Pressemitteilung von Industrie-Partner IP EquipmentRental GmbH Coswig, <https://www.ip-equipmentrental.de/de/mietequipment/robo-operator.php>, [04.05.2023]
- [8] Demonstratorbauteil: Multifunktionaler Flaschenöffner und -schließer, Siemens Branchenlösungen, <https://www.siemens.com/de/de/branchen/maschinenbau/werkzeugmaschinen/cnc4you/werkstuecke/flaschenoeffner.html> [20.02.2023]

Danksagung / Angaben zu Fördermittelgebern:

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt:

Matthias Hertel, Hochschule Mittweida

hertel@hs-mittweida.de

Dr.-Ing. Torsten Hildebrand, ICM e.V.

T.Hildebrand@icm-chemnitz.de

