

Entwicklung hybrider Arbeitssysteme

Leif Goldhahn

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

Kurzfassung

Hybride Arbeitssysteme kombinieren idealerweise die Stärken von Menschen und Technik. Sie ermöglichen attraktive, nachhaltige Arbeitsgestaltung und präzise, wettbewerbsfähige Fertigungs- und Logistikprozesse. Der Beitrag zeigt deren systematischen Entwurf unter Nutzung klassischer Mittel sowie digitaler Techniken wie Virtual und Augmented Reality. Die Anwendungsbeispiele weisen auf die intensive Verschränkung der Gestaltungselemente Arbeitstätigkeit, Fertigungsverfahren, Betriebsmittel, Ablauf und Interaktion hin. In interdisziplinärer Zusammenarbeit entstehen sie derzeit im Rahmen des Forschungs- und Transfervverbundes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ und des ZIM-Netzwerk-Verbundvorhabens „AuRo-Toolbox – Automations-Baukasten für flexibel einsetzbare Bauteilhandhabung zur digitalen Inbetriebnahme und digitalem Training“.

1. Grundlagen und Motivation

Hybride Arbeitssysteme ermöglichen die automatisierte Ausführung schwerer, zeitaufwendiger, hochgenauer oder hochfrequenter Fertigungsaufgaben. Die Menschen im System bringen demgegenüber flexible, kreative Kompetenzen ein, die insbesondere für vorbereitende Aufgaben (Rüsten), häufige Wechsel und Änderungen oder bei empfindlichen, flexiblen Bauteilen Vorteile bieten.

Arbeitssysteme lassen sich nach REFA mit acht Elementen beschreiben (Abbildung 1). Für die Gestaltung hybrider Arbeitssysteme und zugehöriger Fertigungsprozesse können Datenanalysen, Algorithmen und Visualisierungen entscheidende Beiträge liefern. Diese Kombination spielt in den praktischen Teilprojekten des Forschungs- und Transfervverbundes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ eine herausragende Rolle [1].

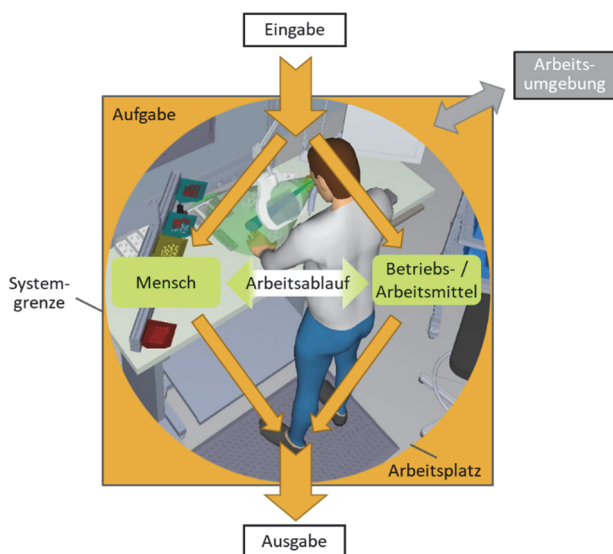


Abbildung 1: Arbeitssystem nach REFA, vgl. [2, S. 68 ff.]

Die ingenieurmäßige Entwicklung solcher Fertigungssysteme fokussiert häufig zu stark auf das Ausführen der erforderlichen Operationen. Trotz des Mottos „Alles wird automatisiert.“ bleiben wesentliche Handlungen unberücksichtigt. Klassisch betrifft das etwa das Inbetriebnehmen, das Rüsten (Abbildung 2), Wartung, Inspektion und Instandsetzung. Erst recht im Sinne der arbeitspsychologisch vollständigen Tätigkeit mit den stark verknüpften Teiltätigkeiten des Planens, Organisierens, Ausführens und Kontrollierens müssen hybride Arbeitssysteme weit umfassender geplant und bewertet werden. Die in Abbildung 2 (Virtual Reality- Ansicht) gezeigte unzulässige Körperhaltung ließ sich durch eine geänderte Maschinenaufstellung beseitigen. Das Beispiel zeigt das Potential frühzeitiger, systematischer Planung, die verschiedene Teiltätigkeiten einbezieht.

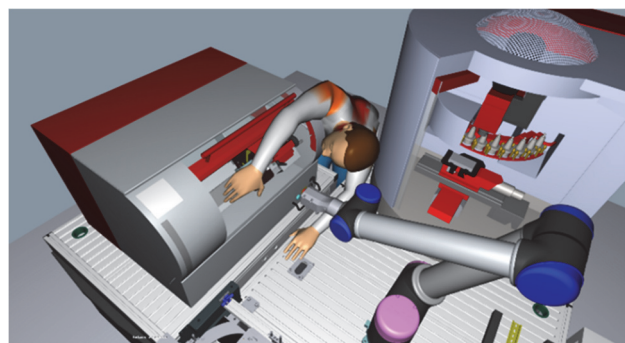


Abbildung 2: Beispiel für die notwendige Berücksichtigung von Rüsttätigkeiten für die Planung automatisierter und hybrider Systeme

Aktuelle Arbeiten am Institut InnArbeit, Unternehmens- und Institutspartnern beschäftigen sich mit vielfältigen Fertigungsverfahren und Tätigkeiten wie Entgraten, Schweißen, Montieren, Handhaben, Transportieren, Aufbauen, Einbauen, Einrichten, Überwachen, Prüfen, Melden, Inspizieren, Instandsetzen und Dokumentieren.

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.

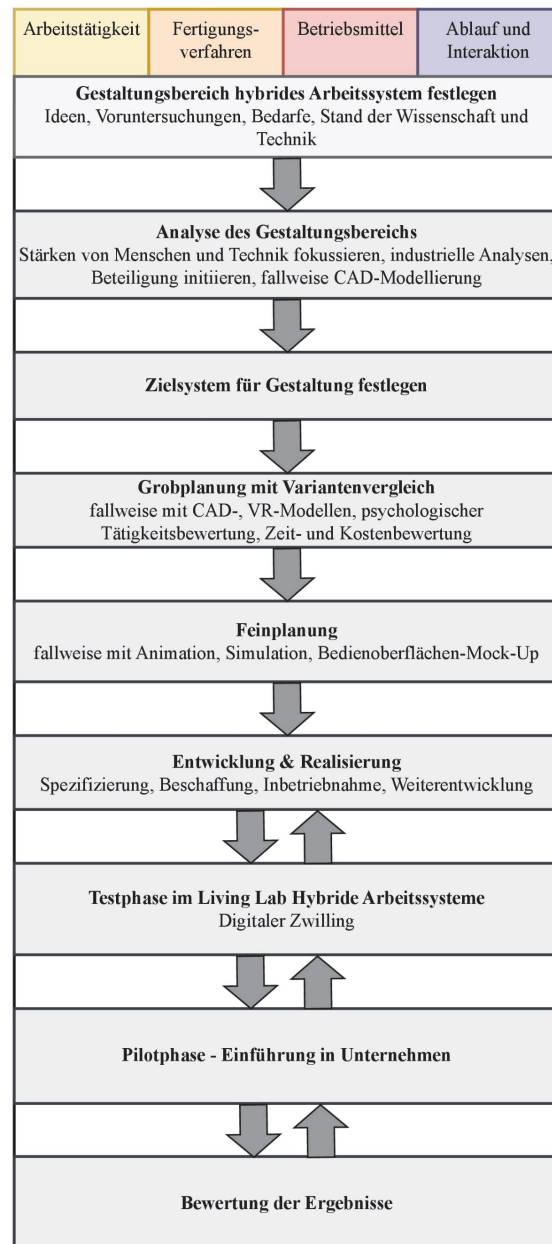


Abbildung 3: Systematik zur grundlegenden Neuentwicklung hybrider Arbeitssysteme an der Schnittstelle Hochschule - Unternehmen

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.

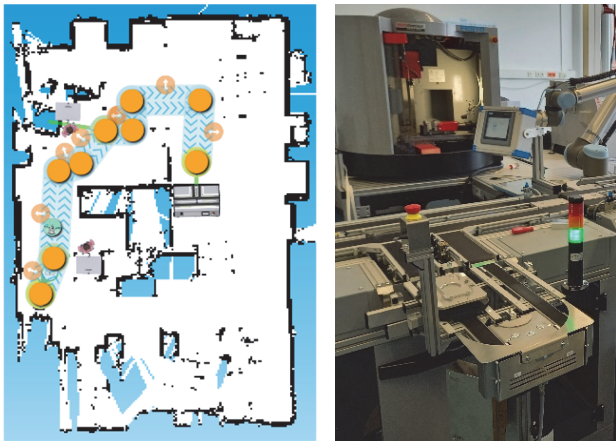


Abbildung 4: Layout Trainingsfabrik 4.0 mit Stationen und Wegen für Robotino (li.), Robotino an Station Weiche (re.)

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.

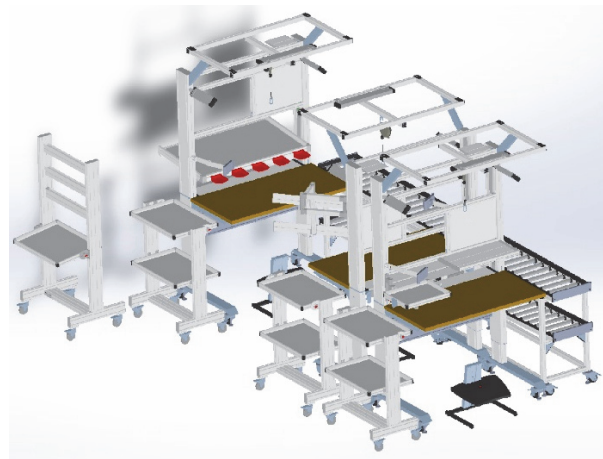


Abbildung 5: Spezifizierte Montagestation, Bereitstellequipment und Rollenbahn als CAD-Modell

Mobile Robotik für Bauteilhandling

Ein Fahrerloses Transportsystem (FTS), das sich autonom seinen Weg sucht. Ein Roboter ohne Schutzumhauung, 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, Miedzyzdroje, 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