

Konzept für ein Assistenzsystem für arbeitsplatznahes, reziprokes Lernen in hochautomatisierten Produktionsumgebungen

Walter MAYRHOFER, Fazel ANSARI, Wilfried SIHN, Sebastian SCHLUND

*Institut für Managementwissenschaften, Technische Universität Wien
Theresianumgasse 27, A-1040 Wien*

Kurzfassung: Autonome Produktionsumgebungen führen tendenziell zu weniger Interaktion mit zunehmend selbstgesteuerten Prozessen und bieten weniger Gelegenheit für menschliches Lernen. Das vorgestellte Konzept für ein Assistenzsystem zum arbeitsplatznahen, reziproken Lernen zielt auf die gleichzeitige Verbesserung der Fähigkeiten von autonomen Systemen und Menschen, die kollaborativ mit diesen Systemen arbeiten, ab. Es schafft ein Rahmenwerk für die Entwicklung eines neuartigen Lernassistenzsystems und illustriert dieses durch zwei industrielle Anwendungsfälle, einerseits einer Mensch-Roboter-Interaktion in cyber-physischen Montagesystemen und andererseits der Anwendung in der Instandhaltung 4.0.

Schlüsselwörter: Lernassistenzsystem, Mensch-Maschine-Interaktion, Hybrides Arbeitssystem, Reziprokes Lernen, Smart Factory

1. Lernen in hochautomatisierten Produktionsumgebungen

In vielen Bereichen haben heute Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen manuelle, repetitive Arbeiten übernommen, welche zuvor meist von MitarbeiterInnen mit niedriger bis mittlerer Qualifikation durchgeführt wurden. Durch den Einsatz flexibler und mobiler Robotik und Entscheidungsunterstützungssysteme, die verstärkt maschinelles Lernen verwenden, werden in zunehmenden Maße auch Nicht-Routine-Tätigkeiten und Entscheidungsaufgaben von Robotern und Algorithmen übernommen; eine Entwicklung, die häufig mit dem Begriff Industrie 4.0 bezeichnet wird (Schlund et al. 2018a). Insgesamt führt der zunehmende Einsatz autonomer Anlagen und Systeme zu weniger Interaktionsmöglichkeiten mit zunehmend selbstständig gesteuerten Prozessen und bietet weniger Gelegenheit für menschliches Lernen. Im Ergebnis dieser Entwicklung droht ein Verlust des Erfahrungs- und Anwendungswissens der MitarbeiterInnen in Bezug auf Prozesse und Systeme (Pfeiffer 2007; Khobreh 2016) – eine der bereits vor 35 Jahren beschriebenen „Ironien der Automatisierung“ (Bainbridge 1983).

Trotz verblüffender Erfolge, die Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz vorzuweisen haben (Larrañaga et al. 2018), ist in Situationen, in welchen induktives Denken oder die Kombination und Interpretation schwacher Signale im Vordergrund stehen, der Mensch der Maschine noch immer überlegen (Fitts 1951).

Kompetenzentwicklung, Mitarbeiterqualifizierung und Lernen werden deshalb als wesentlicher Erfolgsgarant zukünftiger Produktionsarbeit gesehen (Bauer et al. 2016).

Aktuelle Ansätze im Bereich Maschinelles Lernen fokussieren auf unilaterales Lernen von Menschen bzw. Maschinen untereinander (Ansari et al. 2018c&d; Koenig

& Matarić 2017; Ramirez-Amaro et al. 2017; Yang et al. 2015). Um die Potenziale der Automatisierung und Digitalisierung entsprechend nutzen zu können, ist es wichtig, die menschlichen Kompetenzen und Fertigkeiten entsprechend weiterzuentwickeln und weiterhin für Lernmöglichkeiten im Arbeitsprozess zu sorgen.

2. Reziprokes Lernen in smarten Fabriken

Die intelligente Vernetzung der Produktion auf Basis von Digitalisierung und Automatisierung (Industrie 4.0) bietet vielfältige Chancen und Risiken für Unternehmen und Mitarbeiter (Schlund et al. 2018b; Bauer et al. 2015). Das Konzept des reziproken Lernens bietet die Chance für eine dynamische Lernbeziehung zwischen Mensch und Maschine (Ansari et al. 2018d). Zentrales Ziel ist die Verknüpfung von menschlichen und maschinellen Lernfähigkeiten zur Realisierung „kollektiver Intelligenz“ (Lévy 1994; Glenn, 2013) menschlicher und maschineller Bestandteile eines Produktionssystems. Der vorgestellte Ansatz zielt auf die Realisierung eines innovativen Systems zum arbeitsplatznahen, reziproken Lernen ab, um gleichzeitig die Fähigkeiten von autonomen Systeme (partiell, abhängig und vollautonom; siehe (Ansari et al. 2018a)) und den Menschen, die kollaborativ mit diesen Systemen arbeiten, zu verbessern.

Unter reziprokem (bzw. gegenseitigem) Lernen wird ein „*bidirektionaler Prozess des Austauschs verstanden, der gegenseitige Abhängigkeiten und Handlungen innerhalb von Mensch-Maschine-Interaktionen im Rahmen der Ausführung (geteilter) Aufgaben gezielt involviert und dadurch die existierenden Fertigkeiten und Fähigkeiten der handelnden Akteure verbessert und neue schafft [...]*“ (nach Ansari et al. 2018c&d).

Reziprokes Lernen ist ein umfassender und innovativer Ansatz zur verbesserten Wissensgenerierung und Wissensretention in der Anwendung zunehmend komplexer cyber-physischer Produktionssysteme, um in mehreren iterativen Zyklen einen hohen „Wissensreifegrad“ zu erreichen. Es baut auf dem Verständnis einer komplementären und dynamischen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine auf.

Die Gestaltung der Automatisierung von Arbeitstätigkeiten folgt heute meist einem von drei vorherrschenden Paradigmen der Arbeitsteilung. Im *Leftover*-Ansatz werden sämtliche Tätigkeiten automatisiert, die technisch und finanziell darstellbar sind; alle sonstigen Tätigkeiten verbleiben beim Menschen. Im *kompensatorischen* Ansatz erfolgt die Aufteilung entsprechend der Passung zu menschlichen bzw. maschinellen Fähigkeiten. Diese Zuordnung orientiert sich an Durchschnittsfähigkeits-Tabellen und verbleibt meist statisch. Im Rahmen *komplementärer* Ansätze der Arbeitsteilung wird versucht, spezifische Stärken von Mensch und Maschine gezielt einzusetzen und dahingehend Funktionen und Arbeitsinhalte aufzuteilen. Nur der letztgenannte komplementäre Ansatz der Arbeitsteilung bietet Möglichkeiten für arbeitsplatznahes Lernen. Jedoch sind dabei offene Forschungsfragen einer fortwährenden dynamischen Anpassung menschlicher und maschineller Fertigkeiten festzustellen.

Das *Shared Task*-Konzept (Michalos et al. 2018) operationalisiert komplementäre Arbeitsteilung und definiert ein Bündel an Arbeitstätigkeiten (bzw. Funktionen), welches bereits im Applikationsdesign festgelegt wird und sowohl vom Menschen als auch von der Maschine ausgeführt werden kann. Diese Tätigkeits-Bündel gehen über die traditionelle Aufteilung in menschliche und maschinelle Tätigkeiten hinaus und lassen eine Zuordnung von *Shared Tasks* sowohl zum Menschen als auch zur Maschine zu.

Die Entwicklung kollaborativer Roboter, sogenannter „Cobots“ erlaubt die flexible Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine, welche sich auch situativ in Bezug auf die vom jeweiligen Akteur zu übernehmenden Arbeitsumfängen verändern kann.

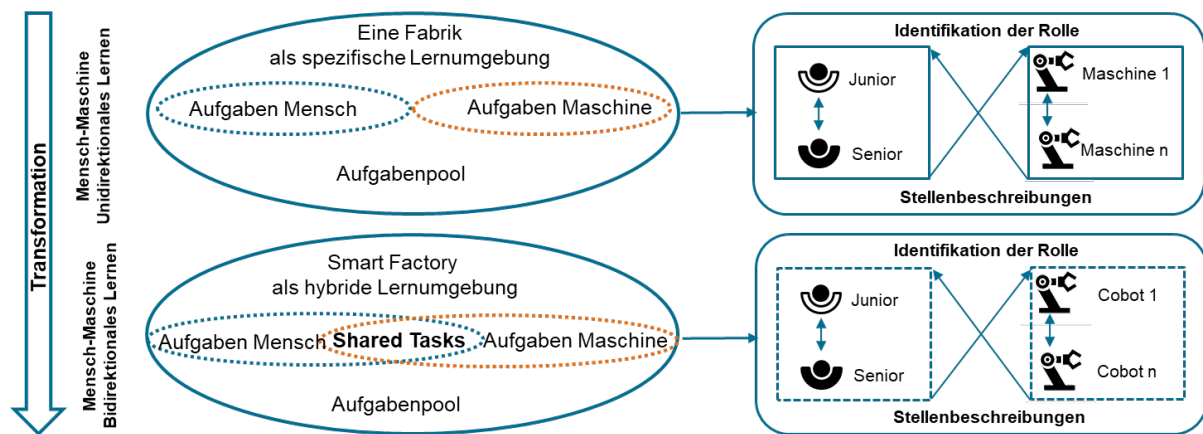


Abbildung 1: Geteilte Aufgaben zwischen Mensch und Maschine als Ansatz für reziprokes Lernen

Wie in Abbildung 1 dargestellt, lassen sich drei Aufgabenklassen unterscheiden (Ansari et al. 2018d): i) Aufgaben welche dem Menschen, ii) Aufgaben die (intelligenten) Maschinen, und iii) geteilte Aufgaben die sowohl an Mensch als auch intelligenten Maschinen, wie Cobots oder Assistenz Systemen übertragen werden können. Grundsätzlich illustriert der Shared-Task Ansatz das reziproke Lernen zwischen Mensch und Maschine, während aber auch reziprokes Lernen zwischen Mensch und Maschine und Maschine abgebildet werden kann (Ansari et al. 2018d). Der Shared-Task Ansatz ist in Abbildung 1 anhand des Anwendungsfalls eines kollaborativen Roboters illustriert, lässt sich aber auch auf die generelle Zusammenarbeit zwischen Mensch und automatisierten Systemen extrapolieren. Im Weiteren soll auf die Aufgabenarten in Produktionssystemen fokussiert werden.

3. Rahmenkonzept für reziprokes Lernen

Ausgehend vom vorgestellten Shared-Task Ansatz wurde ein Rahmenkonzept entwickelt, an dem arbeitsplatznahes, reziprokes Lernen in hochautomatisierten Produktionsumgebungen entwickelt und erprobt wird (siehe Abbildung 2). Folgende Zielstellungen stehen dabei im Mittelpunkt:

- die Kooperation zwischen Mensch und Maschine zu optimieren (Kurzfristziel)
- die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine in cyber-physischen Systemen effizienter zu gestalten (Mittelfristziel)
- neue und kreative Ideen für innovative Arbeitsformen zu identifizieren (Langfristziel)

Als Erprobungsbereich steht die Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien zur Verfügung. Erprobt wird das Konzept anhand der beiden Anwendungsfälle cyber-physische Montagesysteme und Instandhaltung 4.0. Durch den Einsatz cyber-physischer Montagesysteme, welche kollaborative Roboter und digitale Assistenzsysteme verwenden, wird eine neue Arbeitsteilung zwischen automatisierten Systemen und Menschen ermöglicht, wobei ein höherer Anteil an Shared-Tasks erwartet wird.

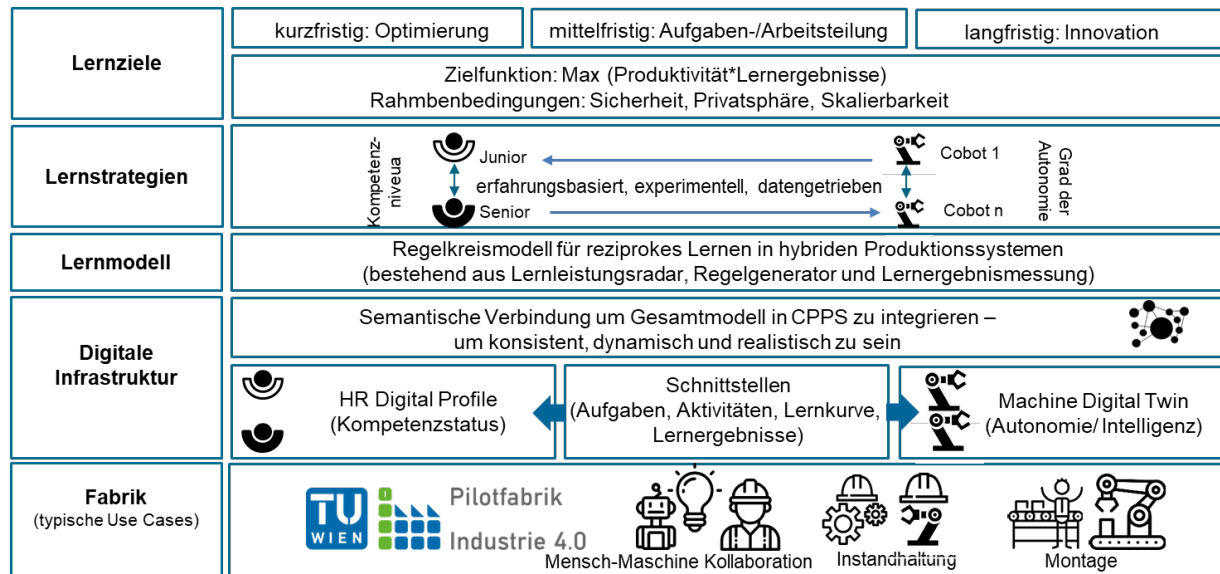


Abbildung 2: Rahmenkonzept für ein Assistenzsystem für arbeitsplatznahes, reziprokes Lernen in hochautomatisierten Produktionsumgebungen

Abbildung 3 erläutert den zu erwartenden Veränderungspfade des ersten Anwendungsfalls der cyber-physischen Montagesysteme. Dahingehend werden Roboter verstärkt qualitätskritische manuelle Routineaufgaben von Personen mit niedriger bis mittlerer Qualifikation übernehmen, während Menschen sich auf komplexe und sensible manuelle Routineaufgaben und manuelle Nicht-Routineaufgaben oder kognitive Routineaufgaben wie Dokumentation und Qualitätskontrolle konzentrieren.

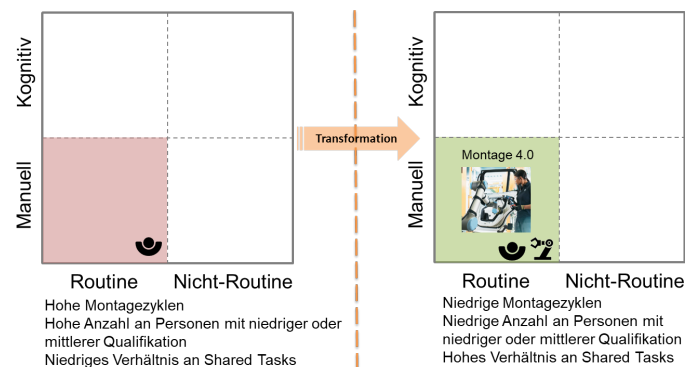


Abbildung 3: Veränderungspfad cyber-physische Montagesysteme

Bei gemeinsamen Aufgaben ergibt sich ein Fokus auf die Aufgabenteilung beim Umgang mit Störungen (Bauer et al. 2014) zwischen MontagemitarbeiterInnen (Junior oder Senior) und kollaborativen Robotern (Cobots). Dabei ergeben sich mehrere Fragen aus den Lernstrategien, Zielsetzungen und Maßnahmen für die Modellierung und Messung der Auswirkungen in vier Situationen reziproken Lernens:

- 1) Junior MontagemitarbeiterIn lernt von Senior MontagemitarbeiterIn wie man mit einer Störung umgeht (Mensch lernt von Mensch)
- 2) Junior MontagemitarbeiterIn lernt von Cobot wie man mit einer Störung umgeht (Mensch lernt von Cobot)
- 3) Senior MontagemitarbeiterIn lehrt Cobot wie man mit einer Störung umgeht (Cobot lernt von Mensch)
- 4) Cobot lehrt Cobot wie man mit einer Störung umgeht (Cobot lernt von Cobot)

Zur Messung der Lernauswirkungen obiger Situationen werden nicht nur kompetenzbasierte Lernansätze für menschliches Lernen, sondern auch wissensbasierte und „erklärbare“ Algorithmen der künstlichen Intelligenz benötigt.

Für Instandhaltungsaufgaben in intelligenten Fabriken, wird der Anteil an kognitiven Nicht-Routineaufgaben zu Lasten der kognitiven Routineaufgaben steigen. Dies ist im Paradigmenwechsel hin zu prädiktiven und prospektiven Instandhaltungsstrategien begründet, welche große Mengen an Sensordaten verarbeiten um Empfehlungen für Instandhaltungsmaßnahmen abzuleiten. Maschinelles Lernen und Algorithmen der künstlichen Intelligenz, wie „Case-Based Reasoning“ und „Deep Learning“ beinhalten einen großen Teil der Routineaufgaben. Da Routineaufgaben tendenziell weniger Bedeutung für die Arbeit von InstandhaltungsmitarbeiterInnen bekommen, erhöht sich die Menge und Bedeutung der Nicht-Routineaufgaben.

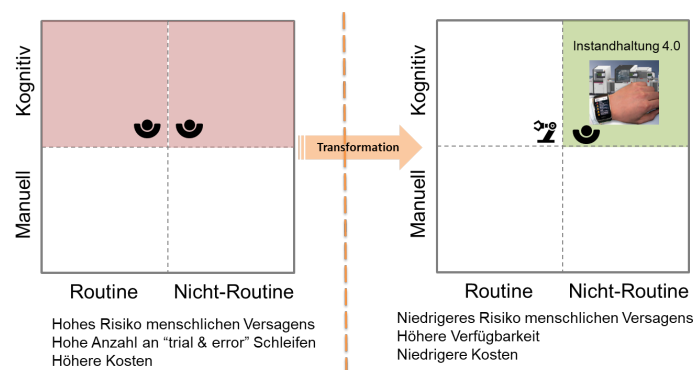


Abbildung 4: Veränderungspfad Instandhaltung 4.0

Die Herausforderungen für das Lernen stellen sich wie folgt dar:

- Kontinuierliches Training und Qualifikation des Personals, bezüglich der Reife, des Erfahrungsniveaus und der spezifischen Unzulänglichkeiten der Unterstützung durch das maschinelle Lernen
- Bewusstseins-schaffung für zu erwartende menschlichen Eingriffe und Reaktionen (Initialisierung und Verifikation) sowie Schnittstellen für hybride Aktionen
- Transfer von Erfahrungswissen in lesbare Algorithmen für maschinelles Lernen

4. Diskussion

Die Zielsetzung des arbeitsplatznahen, reziproken Lernens in hochautomatisierten Produktionsumgebungen adressiert ein Schlüsselproblem bei der Implementierung von Industrie 4.0. Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz wird das arbeitsplatznahe Lernen durch neue Muster der Arbeitsteilung und Zuweisung von Aufgaben für Mensch und intelligente Maschinen entwickeln. Dabei darf nicht vergessen werden, dass dem erwarteten Mehrwert in der Anwendung (Lernmöglichkeiten, höhere Flexibilität und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems) zusätzlicher Aufwand in der Planung und Vorbereitung der Shared-Tasks gegenübersteht. Dahingehend wurden die beiden hier vorgestellten Anwendungsfälle gewählt, da sie die beiden Extremfälle hinsichtlich der Einteilung in physische-kognitive Unterstützung und Routine-Nicht-Routine aufgaben darstellen und hohes Potenzial einer erfolgreichen Umsetzung erkennen lassen. Insbesondere ergeben sich aus dem Shared-Task Ansatz und dem reziproken Lernen neue Anforderungen an zukünftige Arbeitskräfte (Chala et al.2018).

5. Literatur

- Ansari F, Khobreh M, Seidenberg U, Sihn W (2018a) A Problem-Solving Ontology for Human-Centered Cyber Physical Production Systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Elsevier, Vol. 22C: 91-106.
- Ansari F, Hold P, Sihn W (2018b) Human-Centered Cyber Physical Production System: How Does Industry 4.0 Impact on Decision-Making Tasks?. 2018 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference, 27 June-1 July, IL, USA.
- Ansari F, Erol S, Sihn W (2018c) Rethinking Human-Machine Learning in Industry 4.0: How does the Paradigm Shift Treat the Role of Human Learning?. *Procedia Manufacturing*, Vol. 23C, 117-122.
- Ansari F, Hold P, Mayrhofer W, Schlund S, Sihn W (2018d) AUTODIDACT: Introducing the Concept of Mutual Learning into a Smart Factory Industry 4.0. *Proceedings of 15th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2018)*, October 21-23, Budapest, Hungary
- Bainbridge L (1983) Ironies of automation. *Automatica*, Vol. 19, 775-780.
- Bauer W, Schlund S (2015) Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen: Planung und Engineering. in: *Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*, Hirsch-Kreinsen H (Hrsg.) Edition Sigma, Nomos-Verlag, 1. Auflage, Baden-Baden, ISBN 978-3-8487-2225-9, 53-69.
- Bauer W, Herkommer O, Schlund S, Nitsche J (2016) Dank verbesserter Transparenz und Informationsbereitstellung - Beste Chancen für Digitale Transformation. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Jahrg. 111, Nr.9, 573-575.
- Bauer W, Schlund S, Ganschar O, Pokorni B (2014) Concept of a failures management assistance system for the reaction on unforeseeable events during the ramp-up. 8th International Conference on Digital Enterprise Technology (DET 2014), March 25th – March 28th 2014, Stuttgart, *Procedia CIRP 25*, Amsterdam, Elsevier, 420-425.
- Chala S, Ansari F, Fathi M, Tijdens K (2018) Semantic Matching of Job Seeker to Vacancy: A Bidirectional Approach. *International Journal of Manpower*, Emerald Group Publishing Limited, Vol. 39 Issue: 8, 1047-1063.
- Fitts P M (Ed.) (1951) *Human engineering for an effective air-navigation and traffic-control system*. Washington, DC: National Research Council
- Glenn J C (2013) Collective Intelligence and an Application by the Millennium Project. *World Futures Review*, Vol: 5 Issue 3, 235-243.
- Koenig N, Matarić M J (2017) Robot Life-long Task Learning from Human Demonstrations: a Bayesian Approach. *Autonomous Robots*, Vol. 41(5), 2017, 1173-1188.
- Khobreh M, Ansari F, Fathi M, Vas R, Mol S T, Berkers H A, Varga K (2016) An Ontology-based Approach for the Semantic Representation of Job Knowledge, *IEEE Transaction on Emerging Topics in Computing*, Vol. 4, Issue: 3, 462-473.
- Larrañaga P, Atienza D, Diaz-Rozo J, Ogbechie A, Carlos Esteban Puerto-Santana C E, Bielza C (2018) *Industrial Applications of Machine Learning* 1st Edition, CRC Press.
- Lévy P (1994) *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*. La De'couverte, Paris.
- Michalos G, Spiliotopoulos J, Makris S, Chryssolouris G (2018) A method for planning human robot shared tasks. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*.
- Pfeiffer S (2007) *Montage und Erfahrung: Warum ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen*. ISBN 978-3-86618-196-0.
- Ramirez-Amaro K, Beetz M, Cheng G (2017) Transferring Skills to Humanoid Robots by Extracting Semantic Representations from Observations of Human Activities. *Artificial Intelligence*, Vol. 247, 2017, 95-118.
- Schlund S, & Baaij F (2018a) Describing the Technological Scope of Industry 4.0-a Review of Survey Publications. *LogForum*, 14(3).
- Schlund S, Mayrhofer W, Rupprecht P (2018b) Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 72:276-286.
- Yang Y, Li Y, Fermüller C, Aloimonos Y (2015) Robot Learning Manipulation Action Plans by "Watching" Unconstrained Videos from the World Wide Web. In *Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 3686-3693.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de