

## **Belastung und Beanspruchungen durch die Mensch-Roboter-Kollaboration an industriellen Arbeitsplätzen: ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand**

Verena STEIDEL, Christian Ralph GUTZLER

*Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt  
Otto-Bernd-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

**Kurzfassung:** Zur Analyse der Faktoren eines Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes, die die Belastung / Beanspruchung in einem industriellen Umfeld beeinflussen wurde eine strukturierte Literaturrecherche in den Datenbanken IEEE Explore, Scopus und World of Science durchgeführt. In dieser wurden über 35 empirische Studien identifiziert, die die einzelnen Eigenschaften des Arbeitsplatzes auf die Belastungen / Beanspruchungen des Menschen in einem industriellen Umfeld darstellen. Dabei lag innerhalb der untersuchten Studien der Fokus klar auf der mentalen Beanspruchung. Abschließend lässt sich sagen, dass in den analysierten Studien sowohl der Einsatz von Robotern für die physische Belastungsreduktion untersucht wird, als auch die Auswirkungen auf die mentale Beanspruchung, die zeigt, dass die Arbeit mit dem Roboter eine mentale Belastung darstellen kann. Jedoch liegt noch keine integrierte Bewertung von beiden -relevanten- Belastungen vor.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Roboter- Kooperation; Belastungsbewertung  
Beanspruchungsbewertung

### **1. Problemstellung**

In den letzten Jahren wurden verschiedene Roboter auf den Markt gebracht, die im nahen Umfeld des Menschen sicher und koexistent arbeiten können. Dabei ist das Ziel, die Vorteile des Menschen und des Roboters zugleich in einer Kooperation ausnutzen zu können (Rinkenauer et al., 2017).

Eine Hauptmotivation ist die Nutzung der Flexibilität des Menschen und der Wiederholgenauigkeit und Ermüdungsfreiheit des Roboters für kleine Serien (Matthias et al., 2017). Einige Autoren betonen des Weiteren die ergonomische Verbesserung und Reduzierung von physischen Lasten als Motivation für die Einführung von kooperierenden Robotern (Cherubini et al., 2016; Kinugawa et al., 2016; Pearce et al., 2018).

An Mensch-Roboter-Arbeitsplätzen sollte nach der Sicherstellung der Schädigungslosigkeit und Ausführbarkeit, die durch die vielfältige Forschungsarbeit (Haddadin et al., 2012; Robla-Gomez et al., 2017) erreichbar scheint, insbesondere auch die Beeinträchtigungsfreiheit und die persönliche Entwicklung betrachtet werden. Dazu müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden, zu denen teilweise bereits Literaturüberblicke existieren. Diese Faktoren sind zum Beispiel Vertrauen (Hancock et al., 2011), Wohlbefinden (Nelles et al., 2019) und Rollenaufteilung (Jarrassé et al., 2013).

Insbesondere ist aber auch bei einem Einsatz als Assistenzsystem zu berücksichtigen, wie sich die Beanspruchung und Belastung für den Menschen ändert. In die-

sem Beitrag soll explizit der Stand der Forschung zur Änderung der Belastung und Beanspruchung in einer strukturierten Literaturrecherche näher betrachtet werden.

## **2. Methodik**

### *2.1 Durchführung der Literaturrecherche*

Es wurden Studien ab dem Veröffentlichungsjahr 2000 erfasst/recherchiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass es sich um die Veröffentlichung von empirische Studien handelt, die mit einem Produktionsbezug Beeinträchtigungen beim Einsatz von Mensch –Roboter- Koexistenz, -Kooperation und -Kollaboration behandeln.

Die Suche wurde in Englisch und Deutsch ausgeführt. Als Datenbanken wurden *IEEEExplore*, *Scopus*, *Sciencedirekt* und *Web of Science* abgedeckt.

Die Entwicklung des Suchstrings orientiert sich in drei Stufen: die ersten beiden Stufen grenzen das Anwendungsfeld auf Mensch-Roboter-Arbeitsplätze im industriellen Kontext ein. Die dritte Stufe deckt die Belastungsbewertung ab. Hierbei wurde sowohl Generelle Begriffe wie Ergonomie, Belastung und Beanspruchung und User Experience verwendet, als auch explizit Bewertungsmethoden wie z. B. Elektromyografie. Die so generierten Studien wurden zunächst auf ihren Bezug zum oben genannten Themengebiet geprüft und anhand der obengenannten Kriterien evaluiert.

### *2.2 Strukturierung der Ergebnisse*

Die Ergebnisse wurden nach Methodik der Studie, Jahr der Veröffentlichung sowie Studieninhalt strukturiert um Vergleiche zu ermöglichen. Insbesondere lag der Fokus auf den in Bezug auf die Belastung und Beanspruchung untersuchten Variablen.

Zum einen wurde nach mentaler und physischer Belastungen und Beanspruchung unterschieden, zum anderen wurden die Variablen des soziotechnischen Systems in Anlehnung an Hancock et al. (2011) und Onnasch et al. (2016), in menschbezogene, roboterbezogene und teamorganisatorische, Aufgabenbezogene- und Umgebungsvariablen unterschieden.

Unter menschbezogenen Variablen werden die Variablen mit Bezug auf die Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft des Menschen, wie z.B. Zufriedenheit, Situation Awareness und Akzeptanz zusammengefasst.

In Anlehnung an Hancock (2011) die roboterbezogenen Variablen hinsichtlich von leistungsbezogenen und attributbezogenen Kriterien strukturiert.

Teamorganisatorische Variablen betrachten zum einen die Teamorganisation und die Interaktionsklassifikation (Onnasch et al., 2016). Bei der Interaktionsform wird untergliedert in eine koexistente, kooperative, oder kollaborative Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter, die Rollenverteilung und die Art der Kommunikation.

Unter Aufgabenallokation finden sich Studien, die die Beanspruchung des Menschen in die Aufgabenteilung integriert haben. Schließlich werden noch Arbeitsplatzbezogene und Umgebungsvariablen aufgenommen.

## **3. Ergebnisse**

Im Folgenden werden zunächst die quantitativen und anschließend die qualitativen Ergebnisse dargestellt.

### 3.1 *Quantitative Auswertung*

137 Quellen wurden in die nähere Auswahl einbezogen. Letztendlich wurden 29 relevante Artikel identifiziert.

Es ist ein klarer Anstieg an Publikationen in den vergangenen Jahren zu erkennen: 24% der relevanten Studien sind vor 2010, 27 % der relevanten Studien sind zwischen 2010 und 2015 und 48% der relevanten Studien sind nach 2015 veröffentlicht.

Dabei ist ein Großteil der Studien im Labor, an Demonstratoren oder in Virtual Reality Simulationen durchgeführt worden. Vornehmlich wurden koexistente und kooperierende Anwendungen betrachtet. Zu kollaborierenden Robotern in der realen Produktion wurde bis jetzt wenig veröffentlicht.

### 3.2 *Roboterbezogene Variablen*

In Bezug auf die mentale Beanspruchung sind vor allem die Sicherheit und das Verhalten des Roboters untersucht worden. Dabei wurden als Methoden vornehmlich subjektive Einschätzung anhand von Fragebögen und psychophysiologische Untersuchungen z. B. die Messung des Hautleitwerts verwendet. Als unabhängige Variablen wurden die Auswirkung der Bewegung (Bewegungsbahn, Abstand, Annäherungswinkel und Geschwindigkeit) des Roboters auf die mentale Beanspruchung an koexistenten Versuchsaufbauten (Fujita, Kato, & Tamio, 2010) und kooperativen Arbeitsplätzen (Arai et al., 2010; Bortot, et al., 2013; Fujita et al., 2010; Hanajima et al., 2006; Hashimoto et al., 2005; Sadrfaridpour et al., 2016; Zanchettin et al., 2013) untersucht.

Nur wenige nehmen eine systematische Bewertung der physischen Belastung am Arbeitsplatz vor. Eichler et al (2018) stellen ein Konzept vor, in dem sie sowohl mittels Screening Methoden, als auch Bewegungsanalyse und einer Analyse der physischen Beanspruchung einen Montagearbeitsplatz mit kollaborativen Roboter positiv bewerten. Michalos et al. (2014) evaluieren eine Montagezelle in einer Simulationsumgebung nach der Reduzierung des von Mitarbeiter Gewicht und der Zyklusdauer.

### 3.3 *Aufgabenallokation*

Im Planungsprozess werden sowohl die physische als auch die mentale Belastung vermehrt berücksichtigt. Faber (2016) präsentiert eine prozessorientierte Methodik für eine ergonomische und optimale Ablaufplanung an kooperierenden Arbeitsplätzen (Faber et al., 2016). Ein ähnlicher Ansatz wird auch von Schröter et al. (2016) verfolgt, die die MTM Prozessbausteine hinsichtlich der Belastung und Automatisierbarkeit bewerten. Auch Tan et al. (2010) präsentieren einen Ansatz für die Integration des Niosh-Verfahrens in die Planung und Aufgabenallokation an einem kooperierenden Montagearbeitsplatz.

Zudem wird innerhalb einer Aufgabe die Adaptivität des Roboters untersucht. Dabei geht es zum einen um eine Anpassung des Roboters an den Arbeitsfortschritt zur Optimierung von Körperhaltung und Lastenhandhabung (Bannat et al., 2009; Busch & Deuse, 2014; Cherubini et al., 2016). Zum anderen wird die muskuläre Beanspruchung teilweise als Kenngröße für die Adaption des Roboters an die Ermüdung des Menschen verwendet (Peternel, Kim, Babic, & Ajoudani, 2017).

## 4. Fazit

Trotz des Eingangs erwähnten hohen Interesses an Robotern als Assistenzsystem in der Produktion gibt es bisher wenige Studien, die die Belastungen an Roboter Arbeitsplätzen nach der Einführung evaluieren. Eine Integration von Belastungen und Beanspruchungen in die Planung ist häufiger.

Bestehende Forschung zeigt, dass sowohl die physische als auch die mentale Belastung Relevanz an den Arbeitsplätzen mit kooperativen Robotern hat und diese nicht rein als Maschine betrachten (Smarr, 2014).

Dabei geben die Untersuchungen der Beanspruchung Hinweise darauf, dass die kooperativen und koexistenten Roboter in nahem Umfeld eine mentale Belastung darstellen können. Es ist noch wenig untersucht, welche Auswirkungen eine höhere Autonomie und Interaktion und damit z.B. eine veränderte Rollenverteilung auf die mentale Beanspruchung haben könnten. Die physischen Beanspruchungen können sich vor allem durch geänderte Körperhaltungen und Lastenhandhabung auswirken.

Hierbei fehlt eine integrierte Bewertung der Eigenschaften des Arbeitssystems hinsichtlich beider Belastungsarten um eine menschengerechte Gestaltung von Roboter Arbeitsplätzen zu ermöglichen. Die Erkenntnisse aus einer solchen Bewertung können zudem wertvoll für die Gestaltung von Aufgaben am Mensch-Roboter-Arbeitsplatz sein.

Dabei ist allerdings neben der Belastung durch die Koexistenz des Roboters auch vor allem die Belastung durch die Interaktion, die vom Menschen zu erledigenden Aufgaben und die generelle Gestaltung des Arbeitsplatzes zu berücksichtigen.

Zusätzlich spielen insbesondere bei der Kollaboration von Mensch und Roboter vermehrt auch die in diesem Review ausgeklammerten Faktoren Sicherheit, Akzeptanz und Vertrauen eine Rolle.

## 5. Literatur

- Arai, T., Kato, R., & Fujita, M. (2010). Assessment of operator stress induced by robot collaboration in assembly. *CIRP Annals*, 59, 5–8. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.043>
- Bannat, A., Gast, J., Rehrl, T., Rösel, W., Rigoll, G., & Wallhoff, F. (2009). A Multimodal Human-Robot-Interaction Scenario: Working Together with an Industrial Robot. In J. A. Jacko (Ed.), *Lecture notes in computer science: Vol. 5611, Human-computer interaction: Novel interaction methods and techniques ; 13th international conference, HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19 - 24, 2009 ; proceedings, part II* (pp. 303–311). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-02577-8\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02577-8_33)
- Bortot, D., Born, M., & Bengler, K. (2013). Directly or on detours? How should industrial robots approximate humans? In H. Kuzuoka (Ed.), *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI): 3 - 6 March 2013, Tokyo, Japan ; [including workshop papers]* (pp. 89–90). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/HRI.2013.6483515>
- Busch, F., & Deuse, J. (2014). rorarob - Schweißaufgabenassistenz für Rohr- und Rahmenkonstruktionen durch ein Robotersystem - Teilvorhaben: Ergonomische, arbeitsorganisatorische und sicherheitstechnische Gestaltung der Fertigungs- und Anlagenkonzepte.
- Cherubini, A., Passama, R., Crosnier, A., Lasnier, A., & Fraise, P. (2016). Collaborative manufacturing with physical human-robot interaction. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 40, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.007>
- Eichler, P., Winkler, L., & Bdiwi, M. (2018). Methodik zur Evaluierung des Ergonomie Potentials bei Kooperation von Mensch und Roboter. In R. Weidner & A. Karafillidis (Eds.), *Technische Unterstützungssysteme, die Menschen wirklich brauchen*. Deutschland.
- Faber, M., Kuz, S., Mertens, A., & Schlick, C. M. (2016). Model-Based Evaluation of Cooperative Assembly Processes in Human-Robot Collaboration. In C. Schlick & S. Trzcieliński (Eds.), *Advances in Intelligent Systems and Computing. Advances in Ergonomics of Manufacturing: Manag-*

- ing the Enterprise of the Future (Vol. 490, pp. 101–112). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7_10)
- Fujita, M., Kato, R., & Tamio, A. (2010). Assessment of operators' mental strain induced by hand-over motion of industrial robot manipulator. In IEEE RO-MAN, 2010: 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication ; 13 - 15 Sept. 2010, Viareggio, Italy (pp. 361–366). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2010.5598689>
- Hacker, W., & Sachse, P. (2014). Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten (3., vollst. überarb. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Haddadin, S., Haddadin, S., Khoury, A., Rokahr, T., Parusel, S., Burgkart, R., Albu-Schäffer, A. (2012). On making robots understand safety: Embedding injury knowledge into control. The International Journal of Robotics Research, 31, 1578–1602. <https://doi.org/10.1177/0278364912462256>
- Hanajima, N., Ohta, Y., Sakurai, Y., Hikita, H., & Yamashita, M. (2006). Further Experiments to Investigate the Influence of Robot Motions on Human Impressions. In The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2006: RO-MAN 2006 ; 6 - 8 Sept. 2006, University of Hertfordshire, Hatfield, United Kingdom ; proceedings (pp. 733–740). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2006.314488>
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., Visser, E. J. de, & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. Human Factors, 53, 517–527. <https://doi.org/10.1177/0018720811417254>
- Hashimoto, H., Takeda, D., Matsunaga, T., Saito, M., Ishii, C., & Niitsuma, M. (2005). Psychological Evaluation for Appearance of Swinging Robot - via SD and Biosignal method approach -. In Proceedings, the International Conference on Systems, Man and Cybernetics: Waikoloa Hilton Village, Waikoloa, Hawaii, USA, October 10-12, 2005 (pp. 740–745). Piscataway, N.J: Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2005.1571235>
- Jarrassé, N., Sanguineti, V., & Burdet, E. (2013). Slaves no longer: review on role assignment for human-robot joint motor action. Adaptive Behavior, 22, 70–82. <https://doi.org/10.1177/1059712313481044>
- Kinugawa, J., Kanazawa, A., & Kosuge, K. (2016). B-PaDY: robot co-worker in a bumper assembly line, 3, 209. <https://doi.org/10.1186/s40648-016-0064-0>
- Matthias, B., Ding, H., & Miegel, V. (2013). Die Zukunft der Mensch-Roboter Kollaboration in der industriellen Montage.
- Michalos, G., Makris, S., Spiliotopoulos, J., Misios, I., Tsarouchi, P., & Chryssolouris, G. (2014). ROBO-PARTNER: Seamless Human-Robot Cooperation for Intelligent, Flexible and Safe Operations in the Assembly Factories of the Future. Procedia CIRP, 23, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.079>
- Müller, S. L., Schröder, S., Jeschke, S., & Richert, A. (2017). Design of a Robotic Workmate: Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management: Ergonomics and Design. In V. G. Duffy (Ed.), LNCS sublibrary. SL 3, Information systems and applications, incl. Internet/Web, and HCI: Vol. 10286, Digital human modeling: Applications in health, safety, ergonomics, and risk management : health and safety : 8th International Conference, DHM 2017, Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017, Proceedings (pp. 447–456). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58463-8\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58463-8_37)
- Nelles, J., Kwee-Meier, S. T., & Mertens, A. (2019). Evaluation Metrics Regarding Human Well-Being and System Performance in Human-Robot Interaction – A Literature Review. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander, & Y. Fujita (Eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing: volume 825. Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018) (Vol. 825, pp. 124–135). Cham, Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5_14)
- Onnasch, L., Maier, X., & Jürgensohn, Thomas. (2016). Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle.
- Pearce, M., Mutlu, B., Shah, J., & Radwin, R. (2018). Optimizing Makespan and Ergonomics in Integrating Collaborative Robots Into Manufacturing Processes. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2789820>
- Peternel, L., Kim, W., Babic, J., & Ajoudani, A. (2017). Towards ergonomic control of human-robot co-manipulation and handover. In 2017 IEEE-RAS 17th International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids): Birmingham, UK, November 15-17, 2017 (pp. 55–60). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/HUMANOIDS.2017.8239537>
- Rinkenauer, G., Böckenkamp, A., & Weichert, F. (2017). Man-Robot Collaboration in the Context of Industry 4.0: Approach-Avoidance Tendencies as an Indicator for the Affective Quality of Interaction? In C. M. Schlick, S. Duckwitz, F. Flemisch, M. Frenz, S. Kuz, A. Mertens, & S. Mütze-

- Niewöhner (Eds.), *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes* (pp. 335–348). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53305-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53305-5_24)
- Robla-Gomez, S., Becerra, V. M., Llata, J. R., Gonzalez-Sarabia, E., Torre-Ferrero, C., & Perez-Oria, J. (2017). Working Together: A Review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments. *IEEE Access*, 5, 26754–26773. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2773127>
- Sadrifaridpour, B., Saeidi, H., & Wang, Y. (2016). An integrated framework for human-robot collaborative assembly in hybrid manufacturing cells. In *2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE): 21-25 Aug. 2016* (pp. 462–467). [Piscataway, New Jersey]: [IEEE]. <https://doi.org/10.1109/COASE.2016.7743441>
- Schlick, C. M., Bruder, R., & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Smarr, C.-A. (2014). *Applying a qualitative framework of acceptance of personal robots* (Dissertation). Georgia Institute of Technology.
- Schröter, D., Kuhlmann, P., Finsterbusch, T., Kuhrke, B., & Verl, A. (2016). Introducing Process Building Blocks for Designing Human Robot Interaction Work Systems and Calculating Accurate Cycle Times. *Procedia CIRP*, 44, 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.038>
- Zanchettin, A. M., Bascetta, L., & Rocco, P. (2013). Acceptability of robotic manipulators in shared working environments through human-like redundancy resolution. *Applied Ergonomics*, 44, 982–989. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.028>



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](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)