

03.23

In Kooperation mit:



74. Jahrgang
März 2023
ISSN 2199-7330
1424

sicher ist sicher

www.SISdigital.de



Verlag GmbH & Co. KG, Berlin, 2023 (http://www.sisdigital.de) - 15.03.2023 12:32



DGUV UNTERWEISUNGEN SACHKUNDIGENAUSBILDUNG

www.petzl-training.com

Petzl Technical Institute
training.deutschland@petzl.com

Arbeitsschutz auf Baustellen
der WM-Stadien 2022 108
Fachkräftesicherung durch
Gleichstellung 115

Sicherheit von Kollaborierenden
Robotern 122
Die Verbindung von Arbeits- und
Umweltschutz 128





JAN ZIMMERMANN

Sicherheit von Kollaborierenden Robotern richtig bewerten – Zum Stand der Forschung

Welche Formen der Zusammenarbeit werden bei der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) unterschieden und wie lassen sich Gefahren richtig einschätzen? Dieser Beitrag zeigt auf, wie Grenzwerte und Biomechanische Korridore dabei helfen, sichere Cobots in Applikationen zu installieren und welche Tools dabei unterstützen können. Dabei wird nicht nur auf grundlegende Definitionen eingegangen, sondern auch auf Forschungsprojekte der Unfallversicherungsträger zur Sicherheit der Beschäftigten in den Betrieben.

Mensch und Roboter arbeiten immer häufiger räumlich nah zusammen. So lassen sich die Fähigkeiten des Menschen und der Technik ideal kombinieren und die Ergonomie am Arbeitsplatz wird verbessert. Wiederkehrende, anstrengende Tätigkeiten in ungünstiger Körperhaltung können so reduziert und Arbeitsprozesse an den Menschen angepasst werden. Die Aspekte der Mensch-Roboter-Kollaboration sind sehr vielfältig. In Zeiten des demografischen Wandels und des damit einhergehenden Fachkräftemangels

bieten Cobots auch kleinen und mittelständischen Unternehmen Möglichkeiten, effizienter und flexibler bei der Maschinenbeschickung oder Kommissionierung zu arbeiten und die Ressourcen der Mitarbeitenden auf komplexere Aufgaben zu fokussieren. Neben sozialen und ethischen Aspekten wie der Verteilungsgerechtigkeit, der Gefahr der Instrumentalisierung (Decker, 2015) oder Fragen der Akzeptanz der Integration von kollaborierenden Robotern in den Arbeitsprozess (Meissner, 2018; Klues, 2018) und der Verbesse-

rungen der Ergonomie an Arbeitsplätzen (Mühlemeyer, 2019) ist der Aspekt der Sicherheit der Beschäftigten am wichtigsten. Man kann auch vom „Hygienefaktor Sicherheit“ sprechen. Bereits 2015 wurde im DGUV Forum über grundlegende Aspekte und Aktivitäten der Unfallversicherungsträger im Zusammenhang mit kollaborierenden Robotern berichtet (DGUV Forum 3/2015). Im Folgenden wird aufgezeigt, was seitdem geschehen ist und welche neueren Forschungsaktivitäten stattgefunden haben.

Formen der Zusammenarbeit

Bei der Betrachtung der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter werden überwiegend mindestens die folgenden drei Formen unterschieden (vgl. Behrens, 2015):

- ▶ Die *Koexistenz*, bei der Mensch und Roboter sich keinen gemeinsamen Arbeitsbereich teilen und z.B. eine Absicherung durch einen trennenden Schutzzaun erfolgt, wie es in weiten Teilen von Industrieanlagen seit Jahrzehnten umgesetzt wird. Die Roboterzelle kann nur geöffnet werden, wenn sich der Industrieroboter in einem „sicherheitsbewerteten überwachten Halt“ bzw. „überwachtem Stillstand“ befindet.
- ▶ Die (*sequentielle oder parallele*) *Kooperation* von Mensch und Roboter, bei der der Mensch phasenweise räumlich und zeitlich mit dem Roboter interagiert. Dies ist beispielweise beim Palettieren häufig der Fall. Hier kann eine „Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung“ zur Absicherung der Beschäftigten verwendet werden. Dabei erkennt ein Laserscanner oder eine Lichtschranke, wenn sich Personen in den Gefahrenbereich begeben, woraufhin der Roboter seine Geschwindigkeit reduziert bzw. stoppt.
- ▶ Bei der *Kollaboration* arbeiten Roboter und Mensch direkt und zeitgleich im selben Arbeitsraum. Wenn der Roboter nicht über eine Handführung bedient wird, kann es vereinzelt zu ungewollten Kollisionen zwischen Mensch und Roboter kommen. Da keine trennenden Schutzvorrichtungen mehr vorhanden sind, muss der Roboter über eine „Leistungs- und Kraftbegrenzung“ so eingestellt werden, dass die potenziellen Körperbelastungen auf ein akzeptables Niveau abgesenkt werden.

Wie exemplarisch genannt, sind je nach Form der Zusammenarbeit verschiedene Sicherheitsfunktionen zur Absicherung der Anlagen erforderlich. Diese müssen dabei stets in sicherer Technik ausgeführt werden. DIN EN ISO 10218-2 beschreibt allgemeine Sicherheitsanforderungen von Industrierobotern. Eine sichere Steuerung wird in jedem Fall vorausgesetzt. Sie überwacht die Be-

wegung des Roboters und die Sensorik und sorgt nötigenfalls für den Übergang in einen sicheren Zustand. Dieser ist meist ein sofortiger Bewegungsstopp des Roboters. Für den kollaborativen Roboterbetrieb mussten neben der Bewältigung technischer Herausforderungen Grenzwerte ermittelt werden, die eine Minimierung des Verletzungsrisikos von Beschäftigten an kollaborierenden Robotern gewährleisten. Darüber hinaus musste eine Messmethodik entwickelt werden, mit welcher die Einhaltung dieser Grenzwerte überprüft werden kann.

Mechanische Gefährdungen

Bei leistungs- und kraftbegrenzten kollaborierenden Robotern, häufig auch Cobots genannt, muss wie bei anderen Maschinen eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden. In dieser wird unter anderem identifiziert, welche Körperstellen bei einer Kollision potenziell einer mechanischen Gefährdung ausgesetzt sind. Typischerweise treten häufig Stöße am Arm auf oder es kommt zu einem Quetschen bzw. Klemmen der Hand. Dabei ist ein erster Aspekt die Klassifizierung der Oberflächenform der Kontaktfläche (vgl. Elkmann, 2019; Behrens, 2019):

- ▶ *Flächiger Kontakt*, auch als stumpfer Kontakt (engl.: blunt) bezeichnet: Die Kraft wird dabei gleichmäßig auf die Kontaktfläche verteilt.
- ▶ *Kantiger Kontakt*, auch als halbscharfer Kontakt (engl.: semi-sharp) bezeichnet: Innerhalb der Kontaktfläche kann es zu einer lokalen Spannungsüberhöhung (Druckspitze) kommen.

Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Kraft auf die Kontaktfläche setzen sich die zulässigen Grenzwerte aus einer maximalen Kraft und einem maximal zulässigen Spitzendruck zusammen. Ein generelles Verbot gilt für spitze, scharfe und schneidenden Konturen, da aufgrund dieser Oberflächenformen die Oberhaut des Menschen bereits bei Berührung mit geringen Kräften durchdrungen werden kann.

Einen zweiten Aspekt neben der Kontur der Kontaktfläche stellt die Klassifizierung nach der Art der zeitlichen Belastung dar:

- ▶ *Dynamischer Stoß*: Ein sich in einem kurzen Zeitabschnitt aufgrund von wirkenden Kräften stark ändernder Bewegungszustand, der in den ersten Zehntelsekunden eines Kontaktes zwischen Mensch und Maschine auftritt.
- ▶ *Quasi-statischer Zustand*: Ein sich zeitlich nicht oder nur langsam ändernder Zustand, der nach dem Stoß auftritt und durch eine anhaltende Klemmung gekennzeichnet ist.

Neben der klemmenden Gefährdung ist ein Anstoßen von Körperteilen im freien Raum möglich, bei dem das kontaktierte Körperteil in Wirklich-

DER AUTOR



Jan Zimmermann

Bereichsleiter „Grundlagen, Methoden und Softwarelösungen“, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

jan.zimmermann@dguv.de

tion der Kontaktkraft ausweichen kann. Dieses meist als transienter oder freier Stoß bezeichnete Ereignis muss durch einen Sicherheitsfaktor limitiert werden, um Verletzungen zu verhindern. Der Sicherheitsfaktor kann auch Trägheitseigenschaften und Bewegungsverhalten der betreffenden Körperbereiche berücksichtigen. Bei einer vorhersehbaren Fehlanwendung muss immer davon ausgegangen werden, dass es zu einem fixierten dynamischen Stoß (engl.: crushing) kommen kann, was in der Risikobeurteilung berücksichtigt werden muss.

Ermittlung empirischer Grenzwerte

Um die auftretenden Belastungen im Rahmen einer konkreten Gefährdungsbeurteilung quantitativ beurteilen zu können, hat das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) im Auftrag der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) eine Messmethodik entwickelt und getestet (Huelke, 2012; Huelke, 2015; Zimmermann, 2021; Zimmermann, 2022). Ein dabei ebenfalls entwickeltes Messgerät wird heute lizenziert durch eine deutsche Firma vertrieben und flächendeckend in der Messpraxis verwendet. Ein Standardisierungsvorhaben wurde mit der öffentlich verfügbare Spezifikation ISO PAS 5672 gestartet, in der eine international einheitliche Umsetzung der Testmethodik angestrebt wird. Die Anwendung wird durch nationale Informationsschriften und Arbeitshilfen der Berufsgenossenschaften unterstützt (DGUV-INFO 080; BG-ETEM, 2018).

Zudem waren aus der Literatur erste vorläufige Grenzwerte abgeleitet und ein Forschungsprojekt zusammen mit der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz durchgeführt worden (Melia, 2014; FP317; Melia,

2019). Die vorläufigen Grenzwerte wurden in die Technische Spezifikation TS 15066 eingebracht.

Um die vorläufigen Grenzwerte zu überprüfen und zu validieren, wurde eine Forschungsmethodik entwickelt, mit der empirische Grenzwerte für den dynamischen Stoß ermittelt werden können. Die Forschungsförderung der DGUV ermöglichte zwischen 2015 und 2019 dazu die Durchführung von zwei zusätzlichen Forschungsprojekten:

- ▶ „Anschlussuntersuchungen zur BGHM-Studie „Kollaborierende Roboter: Ermittlung von Schmerzeintrittsschwellen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle““ (FP 411)
- ▶ „Mensch-Roboter-Kollaboration – Partielle Ergänzungsuntersuchungen zur Eignung für Übernahme in das DGUV-Schriftenwerk sowie Normung“ (FP 430)

In Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) wurden dabei dynamische Kraft- und Druckgrenzwerte sowohl für kantige als auch für flächige Belastungen ermittelt. In den verschiedenen Versuchsgruppen der Studien wurden insgesamt über 100 Probanden auf ihr Schmerzempfinden an 28 verschiedenen Körperstellen untersucht. Alle Studien wurden erst nach Freigabe durch eine Ethik-Kommission und unter medizinischer Aufsicht der Otto-von-Guericke-Universitätsklinik in Magdeburg durchgeführt.

Bestimmung Biomechanischer Korridore

Im Rahmen des IFA-Projektes 5160 „Entwicklung und Evaluation eines messtechnischen Konzeptes für kollaborierende Roboter“ wurden die wissenschaftlichen Ergebnisse in den Stand der Technik überführt. Hierzu musste eine weitere Auswertung des gewonnenen Datenmaterials nach Steifigkeitsparametern erfolgen. Dies setzen IFA und IFF in einer Studie zu Biomechanischen Korridoren um (IFA-Report 2/2022; Abb. 1). Ein Biomechanischer Korridor zeigt für die untersuchte Körperstelle auf, wie sich der Zusammenhang von Kraft und Deformation im Probandenkollektiv verteilt und ermöglicht, für jeden Grenzwert eine zugehörige Steifigkeit zu ermitteln. Die Kraft- Deformationsdaten stammen aus Untersuchungen mit einem F-Q10 Stößel (ca. 14 mm × 14 mm mit einem Kantenradius von 2 mm), der zur Bestimmung der Druckgrenzwerte für den kantigen Kontakt verwendet wurde. Die Grafik zeigt einen Biomechanischen Korridor am Unterarmmuskel für den kantigen Kontakt. Der Kandidat (vgl. Abbildung) gibt die Linie an, die repräsentativ verwendet wird.

Die Kraftgrenzwerte wurden mit einem elastischen Stößel (FZ30: Zylinderkopf mit einem Durchmesser von 30 mm) ermittelt, so dass noch eine Skalierung für den stumpfen Kontakt not-

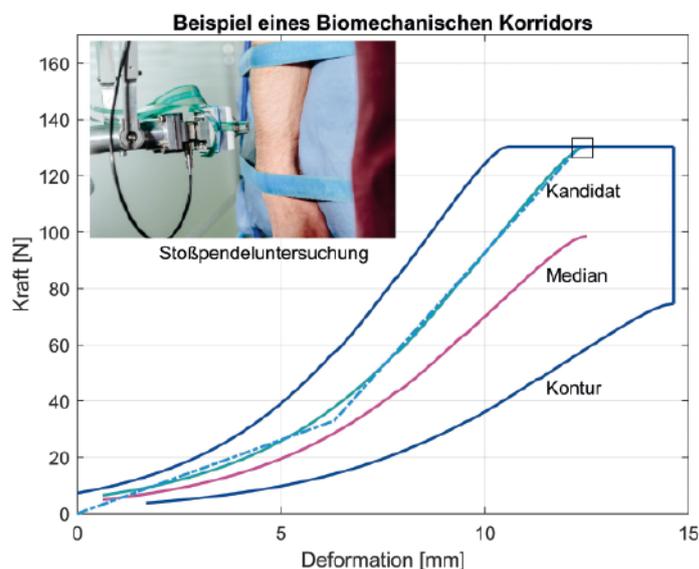


Abb. 1: Darstellung der Kompressionphase eines Biomechanischen Korridors © IFA & Fraunhofer IFF

wendig war. Beispielsweise ergab sich aus den Messungen am Unterarmmuskel für das 75. Perzentil des Schmerzeintrittes bei stumpfem Kontakt eine Kraft von 170 N bei einer Steifigkeit von 21 N/mm.

Auf Basis der biomechanischen Korridore können in der Praxis zu den einzuhaltenden Grenzwerten die passenden Messmittel für die jeweilige Körperstelle bestimmt werden.

Umsetzung in der betrieblichen Praxis

Die verschiedenen Körperstellen wurden zu fünf Clustern aus ähnlichen Steifigkeiten zusammengefasst, denen jeweils eine Messgeräte-Steifigkeit zugeordnet wurde. Grundsätzlich gilt, je mehr Cluster verwendet werden, desto geringer werden die potenziellen Fehler. In der betrieblichen Praxis stehen bei der Gefährdungsermittlung häufig jedoch nur wenige Messgeräte mit verschiedenen Steifigkeiten zur Verfügung.

Um beiden Anforderungen –Genauigkeit und Pragmatismus – bei der realen Gefährdungsbeurteilung gerecht zu werden, stellt das IFA eine Praxishilfe bereit, die mit einem analytischen Ansatz eine optimierte Umrechnung ermöglicht, so dass sich die Risiken in der Praxis einfacher und schneller beurteilen lassen (IFA, 2022). Ein Anwendungsleitfaden ermöglicht den Einstieg in die Umrechnungshilfe. Der Endanwender erhält somit eine praxisnahe Unterstützung für die Ermittlung und Beurteilung von Gefährdungen durch mechanische Belastungen (Abb. 2).

Exemplarische Messungen an verschiedenen Robotermodellen ergaben, dass bei leichten Modellen und stumpfem Kontakt im Hand- und Arm-Bereich Geschwindigkeiten bis etwa 400 mm/s erreicht werden können. Bei größeren effektiven Massen oder kantigen Konturen nehmen die zulässigen Geschwindigkeiten jedoch ab.

Die Anwendung der ermittelten Steifigkeiten ist für die korrekte Bewertung von geregelten Systemen wie einem Cobot essenziell. Um ein Fehlverhalten der Regelung auszuschließen,

sollten immer verschiedene Kombinationen von Steifigkeiten berücksichtigt werden. Im Rahmen der Normungsarbeit sollen hier einheitliche Regelungen getroffen und eine weitere Vereinfachung für die Messpraxis erreicht werden, damit der Hygiene-Faktor Sicherheit durch die Betreiber einfach und valide eingehalten und geprüft werden kann. Mit den Ergebnissen der durchgeführten Studien und dank der aktiven Normungsarbeit ist es möglich, Cobots sicher zu betreiben.

Digitale Gefahrenprävention

Um den Unternehmen bereits frühzeitig eine Beurteilung ihrer Applikationen zu ermöglichen, haben BGHM und IFF ein kostenfreies digitales Tool, den Cobot-Planer (www.cobotplanner.de), entwickelt. „Über die intuitive Benutzeroberfläche des Cobot-Planers beschreiben Nutzerinnen und Nutzer in nur drei Schritten ihre Robotersysteme und die bestehenden Kollisionsgefahren. Anschließend simuliert der Cobot-Planer die Gefahrensituationen und ermittelt aus den Ergebnissen die maximal zulässigen Geschwindigkeiten, bei denen der Roboter die Grenzwerte noch einhält“, beschreibt Dr. Roland Behrens (IFF) die Funktionsweise der Web-Anwendung (Pressemeldung BGHM v. 10.03.2021). Weil die Abschätzung der sicheren Geschwindigkeit bereits in der Planungsphase erfolgt, kann bei Inbetriebnahme des kollaborierenden Roboters eine schnelle Validierung mit einem Messgerät erfolgen, ohne dass viele iterative Korrekturen notwendig sind.

COVR-Toolkit

Auch das von der Europäischen Union geförderte Projekt COVR beschäftigte sich mit Fragestellungen rund um die konkrete Umsetzung von Sicherheitsanforderungen in verschiedenen Applikationen. COVR steht für „being safe around collaborative and versatile robots in shared spaces“. Unternehmen konnten Zuschüsse erhalten, um gezielt Verbesserungen unter verschiedenen Sicherheitsaspekten zu erarbeiten.

Energiebasierte Grenzwertumrechnungstabelle Version 0.3b Beta		IFA Institut für Arbeitswissenschaft der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung		Ersatzfläche: {0.85} 0.85 [cm²]		Messgerät: 150 75 40 25 10 [N/mm]										
IFG-2022-05-03-IZ/MC informativ		Detektionsschwelle: 50 [N]		Flächenpressung: 0 1-ja		Auflage: SH70A 130 130 130 130 130 [N/mm]										
Hinweise auf Blatt: Legende&Dropdown&Erklärung		Faktor: 1.2				Ersatzsteifigkeit: 69.6 47.6 30.6 21.0 9.3 [N/mm]										
Körperbereich	Körperstelle	Kontaktgeometrie			Kontaktparameter			Ersatzsteifigkeiten								
		c1 [N/mm]	c2 [N/mm]	d t [mm]	F ₁ [N]	F ₂ [N]	d, c2 [mm]	F ₂ [N]	150 N/mm + 7 mm	75 N/mm + 7 mm SH70A	40 N/mm + 7 mm SH70A	25 N/mm + 7 mm SH70A	10 N/mm + 7 mm SH70A	Erhöht		
(C) Obere Extremität (12) Deltamuskel	Stumpf	2.9	10.8	8.7	25	130	9.7	866				175	120	[N]	✓	
(C) Obere Extremität (13) Oberarmknochen	Stumpf	7.6	23.7	3.9	30	160	5.5	580				180	150	110	[N]	✓
(C) Obere Extremität (14) Speichenknochen	Stumpf	15.2	27.2	3.1	47	190	5.3	696				200	170	120	[N]	✓
(C) Obere Extremität (15) Unterarmmuskel	Stumpf	6.4	20.9	6.6	42	170	6.1	787				205	170	120	[N]	✓
(C) Obere Extremität (16) Ellenbogengrube	Stumpf	5.2	18.0	8.6	45	150	5.8	764				160	115	[N]	✓	
(D) Hand & Finger (17)/(18) Zeigefingerkuppe	Stumpf	23.4	66.5	3.3	78	410	5.0	1348	430	355	285			[N]	✓	
(D) Hand & Finger (19)/(20) Zeigefingergelenk	Stumpf	39.1	89.2	2.2	88	400	3.5	952	360	300	245			[N]	✓	
(D) Hand & Finger (21) Daumenballen	Stumpf	10.7	29.5	7.3	78	260	6.1	1328	345	275	230			[N]	✓	
(D) Hand & Finger (22)/(23) Handinnenfläche	Stumpf	15.5	52.0	6.4	99	360	5.0	1468	365	295				[N]	✓	
(D) Hand & Finger (24)/(25) Handrücken	Stumpf	28.2	48.0	2.5	69	250	3.8	687	250	205	170			[N]	✓	

Abb. 2: IFA-Praxishilfe für die Risikobeurteilung bei Arbeitsplätzen mit Cobots: Umrechnung biomechanischer Grenzwerte (© IFA)

Das gesammelte Wissen und eine Anzahl von Case Stories (Fallbeispiele) wurden dabei in einem Toolkit zusammengetragen, das unter www.safearoundrobots.com frei abgerufen werden kann. Neben Standards und einer Literaturliste enthält das Toolkit auch eine Sammlung von Protokollen, die bei der Validierung von Applikationen helfen können. ■

Weitere Informationen bietet das Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA) online auf den Fachinformationssseiten „Kollaborierende Roboter“ Unterseite „Medizinisch/Biomechanische Anforderungen“ und unter: www.dguv.de (Webcode: d130119) an.

LITERATUR

- Behrens R., Saenz J., Vogel C., Elkmann N (2015) *Upcoming Technologies and Fundamentals for Safeguarding All Forms of Human-robot Collaboration*. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2015)*
- Behrens, Roland. (2019). *Biomechanische Grenzwerte für die sichere Mensch-Roboter-Kollaboration*. Springer doi: 10.1007/978-3-658-26996-8.
- DGUV Forum 3/2015, Fachzeitschrift für Prävention, Rehabilitation und Entschädigung: Huelke, M.: *Arbeitsplätze der Industrie 4.0 Kollaborierende Roboter*, (S.10-13)
- Elkmann N., Behrens R., Hägele M., Schneider U., Oberer-Treitz S. (2019) *Biologisierte Robotik und Biomechatronik*. In: Neugebauer R. (eds) *Biologische Transformation*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58243-5_11
- FP 0317 2014: *Kollaborierende Roboter – Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle* (www.dguv.de/ifa/forschung/projektverzeichnis/ff-fp0317.jsp)
- Huelke, M.: *Kollaborierende Roboter – Zum Stand von Forschung, Normung und Validierung*. 97. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium, 14. Januar 2014, Wuppertal – Vortrag. In: *Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2013-2014, Forschungsbericht Nr. 30 (Band 10)*, S. 49–64. Hrsg.: Pieper, R.; Lang, K.-H. Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie (ASER), Wuppertal 2015
- Huelke, M.; Ottersbach, H.-J.: *How to approve Collaborating Robots – The IFA force pressure measurement system*. 7. International Conference on Safety of Industrial Automated Systems – SIAS 2012, 11.-12. Oktober 2012, Montreal/Kanada – Vortrag. Hrsg.: IRSST – Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montreal/Kanada 2012
- IFA-Report 02/2022: Behrens, R., Zimmermann, J.: *Bestimmung biomechanischer Korridore zur Bewertung von mechanischen Gefährdungen und Ableitung von Steifigkeitsparametern für zukünftige Messmittel*, Berlin 2022
- Klues J., Meißner A., Stowasser S., Trübswetter A., Weber M. (2018) *Kollaborierende Roboter in der Produktion in ifaa Betriebspraxis & arbeitsforschung 233/2018*, S.24-27
- Meissner A., Trübswetter A. (2018) *Mensch-Roboter-Kollaboration in der Produktion – Kritische Würdigung etablierter Technikakzeptanzmodelle und neue Erkenntnisse in der Akzeptanzforschung* In: Weidner, R; Athanasios K (Hrsg.), *Dritte Transdisziplinäre Konferenz. Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Hamburg 2018. DOI: 10.2196/13362
- Melia, M.; Geissler, B.; König, J.; Ottersbach, H.J.; Umbreit, M.; Letzel, S.; Muttray, A.: *Pressure pain thresholds: Subject factors and the meaning of peak pressures*. *European Journal of Pain* 2019 Jan;23(1):167–182. doi: 10.1002/ejp.1298

Melia, M.; Schmidt, M.; Geissler, B.; König, J.; Krahn, U.; Ottersbach, H.-J.; Letzel, S.; Muttray, A.: *Measuring mechanical pain: The refinement and standardization of pressure pain threshold measurements Behav Res (2015) 47:216–227 DOI 10.3758/s13428-014-0453-3*

Michael Decker (2015), *Robotik (Kap 36) in Handbuch Bioethik*, Dieter Sturma und Bert Heinrichs (Hrsg.), Verlag J.B. Metzler Stuttgart Weimar

Mühlemeyer, C., Serafin, P., Klussmann, A., Gebhardt, H., & Lang, K. H. (2019). *Analyse, Bewertung und Gestaltung von Cobot-Arbeitssystemen mit dem ganzheitlichen Instrument des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS)*. In *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft Kongress 2019*. GfA-Press.

Pressemeldung BGHM 10.03.2021: *Planungshilfe für sichere Mensch-Roboter-Kollaboration*

Zimmermann, J., Clermont, M.: *Comparison and homogenization of safety measurements for collaborative robots*, 10th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems, Japan 06.-07.07.2021 (online)

Zimmermann, J.; Huelke, M.; Clermont, M. *Experimental Comparison of Biofidel Measuring Devices Used for the Validation of Collaborative Robotics Applications*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 13657. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013657>

NORMEN & ARBEITSHILFEN

BG-ETEM Berufsgenossenschaft ETEM (Hg.) (2018): *Messspezifikation für Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborierenden Robotersystemen*.

Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN, 2019): *Anforderungen für den sicheren Betrieb von Cobot-Applikationen*

DGUV-INFO 080: *DGUV-Information aus dem Fachbereich Holz und Metall FB HM-080: Kollaborierende Robotersysteme – Planung von Anlagen mit der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung“ (08/2017)*

DIN EN ISO 10218-2 *Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Robotersysteme und Integration*, 2012-03, Beuth-Verlag, Berlin

IFA: *Praxishilfe für die Risikobeurteilung bei Arbeitsplätzen mit Cobots: Umrechnung biomechanischer Grenzwerte, Version 0.4.beta 11_11_2022*: www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-maschinenschutz/risikobeurteilung-von-cobots-arbeitsplaetzen-umrechnungshilfe/index.jsp (abgerufen am 12.12.2022)

ISO PAS 5672 *Collaborative robotic devices -- Test methods for measuring forces and pressures in quasi-static and transient contacts with humans (in Arbeit)*

ISO/TS 15066:2016-02. *Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter*. Ausgabedatum 2016-02. Beuth-Verlag, Berlin

QUELLE CHECKLISTE

Checkliste *Kollaborierende Roboter (BGN) zu finden unter: <https://bgn-branchenwissen.de/praxishilfen-von-a-z/maschinen-anlagensicherheit/industrie40>* (abgerufen 12.01.2023)

Titelbild: Für die sichere Zusammenarbeit von Mensch und Maschine: IFA-Wissenschaftler analysiert die Kraftmessung an einem Roboterarm. (© Volker Lannert)

Checkliste
Kollaborierende Roboter (Cobots)

Anlagenbezeichnung: _____

Standort: _____

Funktion: _____

Anforderung	Ja	Nein	Bemerkung
Wurde eine Gefährdungsbeurteilung der Cobot-Applikation durchgeführt und wurden die daraus ermittelten Maßnahmen umgesetzt?			
Die Kräfte und Drücke, die bei Kontakt mit dem Bediener auftreten können, sind bekannt. Diese wurden anhand von Messungen an kritischen Punkten ermittelt und in einem Messprotokoll dokumentiert.			
Das Gesamtschutzkonzept der Cobot-Applikation schließt bei bestimmungsgemäßer und vorhersehbarer Verwendung den Kontakt mit dem Kopf und Kehlkopf von Personen aus. Alternativ sind Geschwindigkeiten und bewegte Massen so begrenzt, dass die Grenzwerte eingehalten werden.			
Die bewegten oder zu verarbeitenden Produkte wurden bei der Gefährdungsbeurteilung mitberücksichtigt. Insbesondere, wenn diese aus unnachgiebigem Material bestehen oder durch ihre Form (z.B. spitz-zulaufende Kanten) das Risiko erhöhen. Außerdem wurde die Gefährdung durch Herabfallen oder Herausschleudern von Produkten vermieden.			
Sind Kräfte oder Drücke zu hoch oder kann ein Kontakt mit dem Kopf nicht ausgeschlossen werden: Wurde der Arbeitsbereich des Roboters z. B. durch berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen wie Laserscanner gesichert? Die Abstände dieser Schutzeinrichtungen wurden so bemessen, dass die Roboterbewegung rechtzeitig so verlangsamt wird, dass beim Kontakt zwischen Bediener und dem Roboter die sicheren Werte für Kraft und Druck eingehalten sind? Hinweis: Der Wiederanlauf kann automatisch erfolgen, sobald die Schutzeinrichtung ein freies Schutzfeld detektiert und sich keine Personen mehr im Gefahrenbereich aufhalten können.			
Der Greifer des Roboters ist nach außen hin mit Rundungen großer Radien ausgeführt. Greiferkraft und -druck müssen ebenfalls die sicheren Werte einhalten. Andernfalls darf bei Aufenthalt von Personen im Gefahrenbereich keine Greiferbewegung erfolgen.			
Der Greifer ist so gestaltet, dass bei der Aufnahme des Produkts keine Schergefährdungen für die Hände des Bedieners entstehen. Andernfalls darf bei Aufenthalt von Personen im Gefahrenbereich keine Greiferbewegung erfolgen.			
Schutzeinrichtungen können nicht auf einfache Weise umgangen werden können (Beispiel: Schutzwirkung einer Schalmatte wird durch darüber platzierte Palette außer Kraft gesetzt) und die Schutzmaßnahmen sind für alle Betriebssituationen wirksam.			
Der Teil der Steuerung des Cobots, der Sicherheitsfunktionen (z. B. sichere Begrenzung der Geschwindigkeit und Kraft, sichere Wiederanlaufssperre, etc.) übernimmt, ist durch eine zugelassene Prüfstelle zertifiziert.			
Eine gut sichtbare Markierung auf dem Boden, die den maximalen Bewegungsbereich des Cobots anzeigt, ist vorhanden. Bei der Unterweisung der Beschäftigten werden die Kennzeichnungen erklärt.			
Es ist ein Not-Halt Bediengerät mit Quittiertaster vorhanden.			
Bei Not-Halt (durch Betätigen eines Not-Halt-Befehlsgeräts) stoppt der Cobot sofort. Der Wiederanlauf darf erst nach manueller Quittierung erfolgen.			
Nachträgliche Veränderungen an sicherheitsrelevanten Einstellungen im Programm durch den Benutzer sind mittels geeigneter Maßnahmen (z. B. Passwort) verhindert.			
Die technische Dokumentation des Cobots beinhaltet die Prüfsumme des Sicherheitsprogramms (z.B. auf dem Übergabeprotokoll), um nachzuvollziehen, ob Änderungen an der Konfiguration stattgefunden haben. Die aktuelle Prüfsumme ist auslesbar.			
Fernwartung an Bewegungsabläufen und Sicherheitseinstellungen des Cobots ist verhindert. Alternativ gibt es festgelegte Prozesse, die eine Überprüfung der neuen Einstellungen vor Ort sicherstellen, bevor der Roboter wieder in Betrieb genommen wird.			
Falls es sich um eine ortsveränderliche Cobot-Applikation handelt, ist nur die geprüfte Gesamtapplikation ortsveränderlich. Die Betriebsanweisung enthält Hinweise zur Aufstellung und zu notwendigen Sicherheitsabständen zu feststehenden Elementen.			
Werden regelmäßig Unterweisungen durchgeführt?			

Erfasst durch _____

am _____