

Kollaborierende Robotersysteme

Planung von Anlagen mit der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung“

Entwurf 11/2015

FB HM-080

Kollaborierende Robotersysteme können in der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung (Power and Force Limiting)“ ohne traditionelle Schutzvorrichtungen wie Zäune und Lichtvoränge zum Einsatz kommen. Bezüglich der Anforderungen von Normen, Vorschriften und Verordnungen sowie der Nutzung von Forschungsergebnissen besteht ein Bedarf an praktischen Handlungsanleitungen für Hersteller, Systemintegratoren, Betreiber, Unfallversicherungsträger und Zertifizierungsstellen.



Bild 1: Hinweisschild Kollaborierendes Robotersystem

1 Rechtsvorschriften und Normen

Kollaborierende Robotersysteme fallen unter den Geltungsbereich der EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG [1]. Sie müssen zum Bereitstellen auf dem Markt mit einer EG-Konformitätserklärung und einem CE-Zeichen ausgestattet sein. Die harmonisierten Europäischen Normen EN ISO 10218-1 [2] und EN ISO 10218-2 [3] lösen die sogenannte Vermutungswirkung aus. Bei Anwendung dieser Normen darf davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen der EG-Maschinenrichtlinie eingehalten wurden.

Die Anforderungen speziell zu kollaborierenden Robotersystemen sind in EN ISO 10218-1 und EN ISO 10218-2 aufgrund dieser sehr neuen Technologie noch nicht vollständig.

Gleiches gilt für die DGUV-Information 209-074 „Industrieroboter“ [4].

Inhaltsverzeichnis

- 1 Rechtsvorschriften und Normen
- 2 Risikobeurteilung
- 3 Leistungs- und Kraftbegrenzung (Power and Force Limiting / PFL)
- 4 Anforderungen an die Roboter
- 5 Robotersystem (Applikation)
- 6 Bestimmung der biomechanischen Belastungen (Kraft und Druck)
- 7 Dokumentation und Kennzeichnung der Ausrüstung
- 8 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Im Rahmen der Technischen Spezifikation ISO TS 15066 [5] werden die Anforderungen derzeit weiterentwickelt. Insbesondere fließen in diese Technische Spezifikation auch Forschungsergebnisse ein. Nach Fertigstellung von ISO TS 15066 ist mit deren Inhalten eine Überarbeitung der Normen EN ISO 10218-1 und EN ISO 10218-2 geplant.

Während dieser Phase und darüber hinaus sollen mithilfe dieser Fachinformation Hersteller, Systemintegratoren und Zertifizierer bei Entwicklung, Bau, Zertifizierung und Bewertung von sicheren kollaborierenden Robotersystemen unterstützt werden.

2 Risikobeurteilung

Die Risikobeurteilung ist ein nach Maschinenrichtlinie erforderliches Dokument. Sie muss spätestens zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens beim Maschinenhersteller bzw. Integrator verfügbar sein. Risikobeurteilungen für kollaborierende Robotersysteme unterscheiden sich in der Vorgehensweise grundsätzlich nicht von solchen für andere Maschinen oder Roboteranlagen. Beispiele für Risikobeurteilungen befinden sich in [4].

Risikobeurteilungen für kollaborierende Robotersysteme sollten insbesondere die unmittelbare Nähe von Mensch und Robotersystem berücksichtigen und entsprechende Schutzmaßnahmen ableiten. Eine ausführliche Zusammenstellung von möglichen Gefährdungen, die an kollabo-

rierenden Robotersystemen zu berücksichtigen sind, befindet sich in [3] und [5]. Die im Rahmen der Risikobeurteilung abzuleitenden Schutzmaßnahmen können traditionelle Schutzmaßnahmen sein (z.B. Lichtvorhänge, Laserscanner) oder auch neuartige Schutzmaßnahmen (z.B. Kraftbegrenzungen, Begrenzungen des Bewegungsbereiches) oder eine Kombination von beidem. Die grundlegenden Anforderungen dazu sind in EN ISO 10218-1 und 10218-2 sowie ISO TS 15066 festgelegt und sollen im Folgenden erläutert werden.

3 Leistungs- und Kraftbegrenzung (Power and Force Limiting / PFL)

Von den nach ISO TS 15066 bekannten Kollaborationsarten

- Handführung
- Sicherheitsgerichteter Stopp
- Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung
- Leistungs- und Kraftbegrenzung

wird im Rahmen dieser DGUV-Information nur die Leistungs- und Kraftbegrenzung betrachtet (Power and Force Limiting). Diese Funktion erlaubt einen sogenannten schutzzaunlosen Betrieb. Die Robotersysteme sind dabei so gestaltet, dass bei einem Kontakt z. B. zwischen Roboterwerkzeug, Teilen des Roboters oder des Werkstücks und Person biomechanische Grenzwerte nicht überschritten werden (Kraft, Druck). Die Kraft- oder Druckwirkung hängt u.a. von folgenden Schutzmaßnahmen ab:

- Aktive technische Schutzmaßnahmen im Robotersystem, z. B. taktile Schutzeinrichtungen, Drehmomentsensoren, Kraftsensoren, Geschwindigkeits- und Bereichsgrenzen (siehe auch Bild 4).
- Passive Schutzmaßnahmen, z.B. federnde Greifer, Polsterung, Formgebung des Roboters, des Werkzeugs, des Werkstücks und aller sonstigen am Arbeitsprozess beteiligten Vorrichtungen.

4 Anforderungen an die Roboter

Die zum Einsatz vorgesehenen Roboter sollten insbesondere hinsichtlich der in der Anwendung benötigten Sicherheitsfunktionen gestaltet bzw. ausgewählt werden. Stehen keine geeigneten Sicherheitsfunktionen zur Verfügung sind diese nachzurüsten. Ggf. ist ein alternatives Robotermodell auszuwählen.

Neben den in EN ISO 10218-1 festgelegten obligatorischen Sicherheitsfunktionen wie z.B. Not-Halt müssen Industrieroboter für Mensch-Roboter-Kollaboration in der Funktion Leistungs- und Kraftbegrenzung in der Regel über die folgenden Sicherheitsfunktionen verfügen:

- a) Sichere Überwachung / Begrenzung des Drehmoments bzw. der Kraft

Unter Berücksichtigung der Kantengeometrie der am Arbeitsprozess beteiligten Oberflächen des Robotersystems resultiert aus der roboterseitigen Überwachung der Kraft bzw. des Drehmoments auch die Überwachung des Drucks an den Kontaktflächen.

- b) Sichere Überwachung der Geschwindigkeit

Um sicherzustellen, dass z.B. bei Kraft- und/oder Drehmomentüberwachungen eine Stoppreaktion innerhalb der vorgesehenen Reaktionszeit erfolgen kann ist in der Regel eine sichere Überwachung der Geschwindigkeit erforderlich.

- c) Sichere Überwachung der Position

Um Arbeitsbereiche entsprechend der den Körperregionen zugeordneten Belastungsgrenzen definieren und abgrenzen zu können (z. B. Ausschluss von Hals und Kopf), ist in der Regel eine sicher überwachte Position (Bewegungsbereich) erforderlich. Je nach Gefährdungsexposition muss zusätzlich zur Überwachung am Werkzeug auch eine Überwachung einzelner Achsen erfolgen.

- d) Betriebsartenwahl und Zustimmschalter

Ein abschließbarer Betriebsartenwahlschalter sowie Zustimmschalter zählen nach EN ISO 10218-1 zu den obligatorischen Sicherheitsfunktionen von Industrierobotern. Bei kollaborierenden Robotersystemen kann nach ISO TS 15066 auf einen Zustimmschalter verzichtet werden, wenn durch Sicherheitslimits (z. B. Geschwindigkeit, Kraft, Bewegungsbereich) sämtliche Tätigkeiten wie Wartung, Instandhaltung, Reparatur, Einrichten, Programmieren genauso sicher ausgeführt werden können wie unter Verwendung eines Zustimmschalters. Die Sicherheitslimits dürfen nicht abwählbar oder so veränderbar sein, dass eine gefährliche Situation entsteht. Da die Sicherheitslimits - abgesehen von Robotersystemen mit inhärent sicherer Konstruktion (Kleinstroboter) - in der Regel parametrierbar sind, ist ein Verzicht auf Betriebsartenwahlschalter und Zustimmschalter in der Regel nicht möglich. Bei Erstbetriebnahme oder auch späterer Veränderung beim Betreiber (z. B. neues Teileprogramm) müssen Sicherheitslimits verändert werden. Dies muss unter Verwendung eines Zustimmschalters erfolgen.

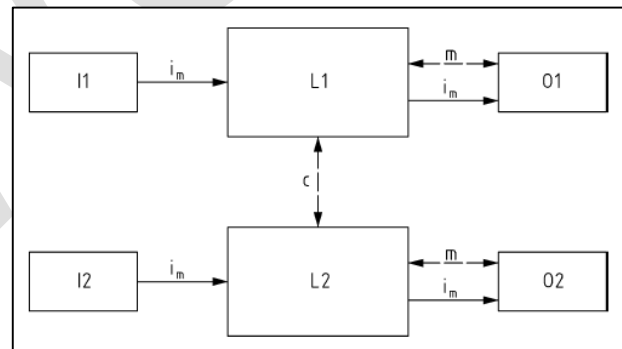


Bild 2: Steuerungsarchitektur nach EN ISO 13849-1 Kategorie 3

Die Sicherheitsfunktionen müssen EN ISO 13849-1 [6] Kategorie 3/PLd entsprechen. Darüber hinaus sollten alle Teile des Roboters (Roboterarme, Werkzeugaufnahme) gerundete Kanten haben. Polsterung vergrößert die Flächen und wirkt sich ebenfalls positiv aus. Um Kontaktkräfte aufgrund von Massenträgheit gering zu halten, sollten auch die Traglasten gering sein.

5 Robotersystem (Applikation)

Das Robotersystem umfasst neben dem Roboter auch die Roboterwerkzeuge, die Werkstücke, Fördertechnik sowie alle beteiligten Vorrichtungen und Schutzeinrichtungen.

Große, kantige und schwere Werkstücke sind nach heutigem Stand der Technik für diese Art der Kollaboration nicht geeignet. Die Massenträgheit schwerer Werkstücke führt in der Regel zur Überschreitung der Kraft- bzw. Druckgrenzen (siehe Anhang A).

Des Weiteren sind die für den Kollaborationsbetrieb vorgesehenen Roboterbewegungen (Bahnen) ausschlaggebend. In der Regel sind mithilfe der Funktion Sichere Begrenzung

des Bewegungsbereiches die Verfahrenswege des Roboters zu begrenzen, um z. B. sensible Körperteile wie Kopf und Hals im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung vom Arbeitsbereich auszuschließen zu können. Falls weiterhin Risiken bestehen, müssen diese Bereiche z. B. durch zusätzliche trennende (auch transparente) Schutzeinrichtungen vom Zugang ausgeschlossen sowie mit ergänzenden Anweisungen an die Benutzer versehen werden (siehe auch Abschnitt 7).

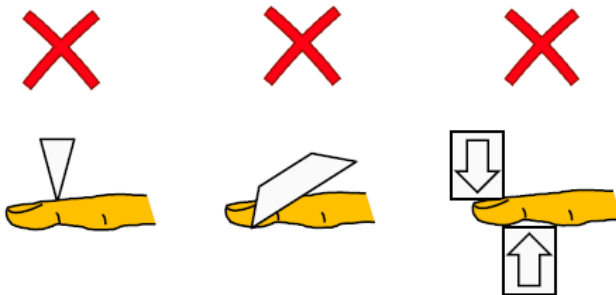


Bild 3: Vermeidung von Spitzen, scharfen Kanten und Scherkanten

Für die Auswahl der bei Kontakt anzunehmenden Roboterbewegungen (Bahnen) mit korrespondierenden Körperregionen sollten typischerweise folgende vorhersehbare Situationen angenommen werden:

- Manuelles Eingreifen in den Werkzeugbereich
- Beobachten des Arbeitsprozesses, z.B. durch Hineinbeugen oder Herüberbeugen
- Auffinden und Eingreifen bei Störungen
- Anstoßen der Roboterarme an den Körper
- Anstoßen des Werkzeugs und des Werkstücks an den Körper

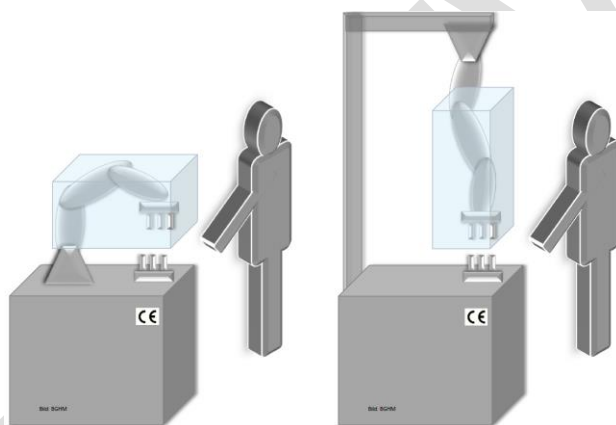


Bild 4: Ausschluss von Kopf und Hals vom Arbeitsbereich mittels sicherer Bereichsgrenzen

Im Weiteren gelten für das Robotersystem die Sicherheitsanforderungen nach EN ISO 10218-2. Insbesondere ist darauf zu achten, dass Not-Halt Einrichtungen leicht erreichbar und in ausreichender Anzahl vorgesehen werden. Resultierend aus dem möglichen direkten Kontakt zwischen Person und Robotersystem ist auch eine jederzeit verfügbare Möglichkeit des selbständigen Befreiens sicherzustellen.

6 Bestimmung der biomechanischen Belastungen (Kraft und Druck)

Soweit keine Erfahrungen über eintretende Kontaktkräfte und Drücke vorliegen (z. B. Simulationstools), sind Kräfte und Drücke für die ausgewählten Kontaktszenarien nach

Tabelle A.2 zu messen. Unter der Voraussetzung einer durchdachten Applikationsgestaltung und Bahnplanung können sich die Messungen für ein typisches Robotersystem in der Kollaborationsart Leistungs- und Kraftbegrenzung auf wenige ausgewählte Kontaktszenarien reduzieren. Die Grenzwerte setzen sich zusammen aus einem Grenzwert für den Druck und einem Grenzwert für die Kraft (siehe Anhang A). Ein Kontakt beinhaltet in der Regel einen transienten und einen quasistatischen Belastungseffekt (Bild 7). In Tabelle A.2 sind Grenzwerte für beide Wirkungen aufgeführt.



Bild 5: Vorbereitung der Kraft- und Druckmessung am Werkzeug eines kollaborierenden Robotersystems

Der Grenzwert für den Druck berücksichtigt den Einfluss der Geometrie aller am Arbeitsprozess beteiligten Maschinenteile (Kanten, Ecken, Spitzen). Dabei gilt: Je kleiner die Flächen, d. h. je scharfkantiger z. B. Werkzeuge, desto höher der Druck. Die Grenzwerte in ISO TS 15066 entstammen den neuesten Forschungen zur Bestimmung von Schmerzeintrittsschwellen [7].

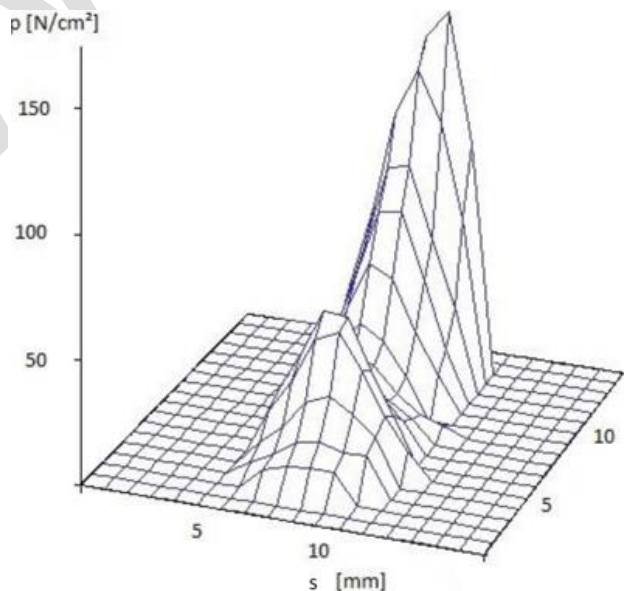


Bild 6: Druckverteilung an einer kantigen Kontur (Beispiel).

Neben dem Druck ist ein Grenzwert für die Kraft erforderlich. Dies ist z. B. für großflächige oder gepolsterte Teile des Robotersystems besonders relevant. Bei einem Kontakt mit Körperteilen ist der gemessene Druck dann minimal bzw. unbedeutend. In diesem Fall muss die Kraft begrenzt werden, sodass trotz weichem Auftreffen auf den Körper keine zu hohen Belastungen auf tiefer liegendes Körpergewebe erfolgen. Es darf auch nicht zum Umstoßen des Bedieners kommen.

Daher müssen immer beide Werte Kraft und Druck berücksichtigt werden. Sobald einer der Grenzwerte Kraft oder Druck überschritten wird, gilt der Test als nicht bestanden. In der Regel müssen dann die am Roboter eingestellten Sicherheitslimits für die Kraft in Verbindung mit der sicher überwachten Geschwindigkeit reduziert werden. Falls danach z. B. die Druckwerte weiterhin überschritten werden, muss die Konstruktion geändert werden, z. B. durch größere Flächen, Polsterung, federnd gelagerte Greifer etc. .

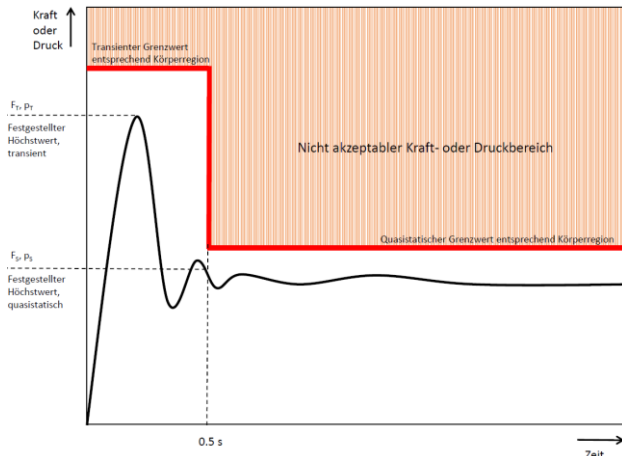


Bild 7: Kraft- bzw. Druckverlauf während eines Kontakts (Beispiel) nach ISO TS 15066

Nicht als Sicherheitsfunktion ausgewiesene Begrenzungen von Kraft, Geschwindigkeit u. dgl. dürfen im Rahmen der Messung nicht berücksichtigt werden. Das Robotersystem muss eine Möglichkeit anbieten solche Funktionen für Programmier- und Messzwecke auszuschalten bzw. es müssen Worst-Case-Annahmen getroffen werden (größtmögliche Kraft, Geschwindigkeit, Reichweite etc.).

Für die zur Messung ausgewählten Körperregionen können die in Tabelle 1 angegebenen Federkonstanten angewendet werden.

Körperregion	Federkonst. K1 [N/mm]	Federkonst. K2 [N/mm]
Schädel und Stirn	120	150
Gesicht	100	75
Nacken	90	50
Rücken und Schultern	80	35
Brust	75	25
Bauch	35	10
Becken	110	25
Oberarm und Ellenbogen	70	30
Unterarm und Handgelenk	85	40
Hand und Finger	125	75
Oberschenkel und Knie	95	50
Unterschenkel	100	60

Tabelle 1: Federkonstanten für Körperregionen [8]

Nach praktischen Erfahrungen zeigte sich, dass die Kraftmessergebnisse beim Austausch der diversen Federn wenig voneinander abweichen. Vorausgesetzt des Ausschlusses von Kopf und Hals vom Arbeitsbereich des Robotersystems kann es daher im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung sowie vorhersehbaren Fehl-anwendung ausreichend sein, nur die ungünstigste (härteste) Feder von 75 N/mm zu verwenden.

Für die Messung der biomechanischen Grenzwerte sollte ein Messsystem entsprechend Bild 8 zur Anwendung kommen. Das Messgerät ist während der Messung zu fixieren.

Das Messsystem muss es ermöglichen entweder gleichzeitig oder in aufeinanderfolgenden Messungen sowohl den zeitlichen Verlauf der Kräfteinwirkung als auch des Drucks für die jeweilige Kontaktsituation zu messen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die zeitlichen Verläufe von Kraft und Druck im Verhältnis miteinander korrespondieren. Somit kann es ausreichend, nur den zeitlichen Verlauf der Kraft aufzuzeichnen und das Druckmaximum mittels Druckmessfolie zu bestimmen sowie den Klemmdruck zuzuordnen.

Die aus dem Kontakt heraus resultierenden Kraftmesssignale sind in der Regel im Bereich weniger als 100 Hz zu erwarten. Die Messfrequenz sollte daher 1 - 10 kHz betragen. Es ist eine geeignete Filterung zu verwenden. Neben der Kraft- und Druckeinwirkung sollten auch eventuelle Reaktionen der Antriebsregler im Messsignal abgelesen werden können.

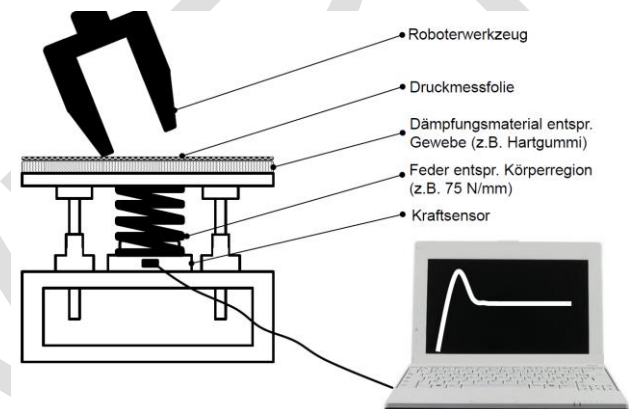


Bild 8: Beispiel eines Messsystems für Kraft und Druck

Für die Zukunft wäre es wünschenswert, dass Simulationstools der Roboterhersteller schrittweise einen Verzicht auf Messungen ermöglichen. Derzeit sind derartige Simulationstools noch nicht verfügbar.

7 Dokumentation und Kennzeichnung der Ausrüstung

Kollaborierende Robotersysteme fallen in den Geltungsbereich der EG-Maschinenrichtlinie. Nach den gesetzlichen Bestimmungen sind mindestens die in Tabelle 2 genannten technischen Unterlagen bereitzustellen bzw. Kennzeichnungen vorzusehen.

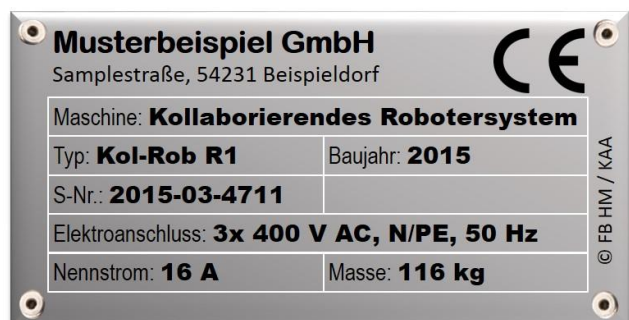


Bild 9: Beispiel Typenschild mit CE-Zeichen

Speziell für kollaborierende Robotersysteme müssen weitere Unterlagen bereitgestellt werden. So sind z. B. nach ISO TS 15066, Abschnitt 7 die biomechanischen Grenzwerte (Kraft, Druck) für die jeweilig anzunehmende

Kontaktsituation anzugeben. Diese Information ist mit dem Produkt an den Kunden auszuliefern.

Technische Unterlagen bzw. Kennzeichnung	Darf beim Hersteller (System-integrator) verbleiben	Mit dem Produkt auszuliefern bzw. am Produkt zu kennzeichnen
EG-Konformitätserklärung für das Robotersystem		X
Betriebsanleitung für das Robotersystem		X
Technische Dokumentation nach Richtlinie 2006/42/EG Anhang VII	X	
Risikobeurteilung	X	
Typenschild mit Name und Anschrift des Systemintegrators (Typenschild des Roboterherstellers nicht ausreichend)		X
CE-Zeichen		X
Maschinenbezeichnung, z. B. „Kollaborierendes Robotersystem“		X
Baujahr		X
Serien- oder Typbezeichnung		X
Spezielle Zusatzinformationen nach ISO TS 15066 Abschnitt 7, z. B. biomechanische Grenzwerte (Kraft, Druck) für jeweilige Kontaktsituation		X

Tabelle 2: Gesetzliche und normative Mindestkennzeichnungen bzw. -unterlagen

Im Rahmen der Betriebsanleitung sind auch jene Schutzmaßnahmen zusammenzufassen, welche als Anweisungen an die Benutzer durch den Betreiber umzusetzen sind. Dabei spielt eine besondere Rolle, dass Anweisungen auch zumutbar und vom Bedienpersonal verstanden und angewendet werden können. Anhaltspunkte sind:

- Ausreichende Beleuchtung des Arbeitsbereiches, insbesondere von möglichen Kontaktbereichen
- Standsicherheit am Arbeitsplatz, z. B. rutschfester Fußboden, geeignete Stehhilfen
- Einfache Prozeduren für das Anhalten und Wiedereingangssetzen des Robotersystems
- Vermeidung von Aufmerksamkeitseinschränkungen, z. B. Vermeidung von Störungen durch benachbarte Arbeitsplätze durch Lärm
- Einsatz von Bedienern mit ausreichender Qualifikation und Erfahrung
- Vermeidung von Anwesenheit Dritter im Kollaborationsbereich, z. B. Hinzutreten nur unter Aufsicht
- Gestaltung der Arbeitsprozesse und Schutzmaßnahmen im Hinblick auf Vermeidung von Fehlhandlungen der Bediener, z. B. überschaubare Bahnplanung, ergonomische Arbeitsplatzgestaltung
- Zusammengefasste Verhaltensanweisungen dauerhaft und gut sichtbar an der Anlage (Betriebsanweisung)

8 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese DGUV-Information (ehemals Fachbereichs-Informationsblatt) beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV zusammengeführten Erfahrungswissen sowie Erkenntnissen aus dem Unfallgeschehen.

Derzeit existieren erst sehr wenige praktische Handlungsanleitungen [8, 9]. Ziel dieser Fachinformation ist die Unterstützung von Herstellern, Systemintegratoren und Zertifizierern bei Entwicklung, Bau, Zertifizierung und Bewertung von sicheren kollaborierenden Robotersystemen nach den Anforderungen von EG-Richtlinien und harmonisierten Normen.

Im Rahmen dieser DGUV-Information werden nur Industrierobotersysteme der Kollaborationsart Leistungs- und Kraftbegrenzung (Power and Force Limiting) behandelt. Industrierobotersysteme anderer Kollaborationsarten sowie Haushaltsroboter, Serviceroboter, Medizinroboter und dergleichen werden nicht behandelt.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese DGUV-Information unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt.

Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, die in Frage kommenden Vorschriften- und Normentexte einzusehen.

Diese DGUV-Information befindet sich in der Entwurfsfassung. Kommentare sind bis 29. Februar 2016, unter Verwendung der Kennung „FB-HM-080, Entwurf 11/2015“ oder des Titels, erbeten an den Herausgeber.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich u. a. zusammen aus Vertretern der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, Herstellern und Betreibern.

Diese DGUV-Information ist eine Erstveröffentlichung. Weitere DGUV-Informationen bzw. Informationsblätter vom Fachbereich Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [12].

Zu den Zielen der DGUV-Information siehe DGUV-Information FB HM-001 „Ziele der DGUV-Information herausgegeben vom Fachbereich Holz und Metall“.

Literatur:

- [1] RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) - Amtsblatt der Europäischen Union L 157/24
- [2] DIN EN ISO 10218-1 Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter, 2012-01, Beuth-Verlag, Berlin
- [3] DIN EN ISO 10218-2 Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration, 2012-03, Beuth-Verlag, Berlin
- [4] DGUV-Information 209-074 "Industrieroboter". Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV). Ausgabe Januar 2015.
- [5] CD ISO TS 15066 Robots and robotic devices - Collaborative robots
- [6] DIN EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze, 2008-12, Beuth-Verlag
- [7] Wissenschaftlicher Schlussbericht zum Vorhaben FP-0317: „Kollaborierende Roboter – Ermittlung der Schmerzempfindlichkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle“. Universitätsmedizin - Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin Obere Zahlbacher Straße 67. 55131 Mainz
- [8] BG/IFA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern. U 001/2009 Oktober 2009
- [9] VDMA-Positionspapier „Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration“. VDMA Robotik und Automation 2014.
- [10] Yamada, Suita, Ikeda, Sugimoto, Miura, Nakamura: Evaluation of Pain tolerance based on a biomechanical method for Human-Robot Coexistence. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. 1997. Page 2814-1819
- [11] D. Mewes, F. Mauser: Safeguarding Crushing Points by limitation of Forces. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (Jose), Vol. 9, No. 2, 177-191
- [12] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall Publikationen oder www.bghm.de Webcode: <626>

Bildnachweis:

Die in dieser DGUV-Information des FB HM gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Bild 1 - 9: FB HM, SG MAF

Herausgeber:

Fachbereich Holz und Metall der DGUV
Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation
c/o Berufsgenossenschaft Holz und Metall
Postfach 37 80
55027 Mainz

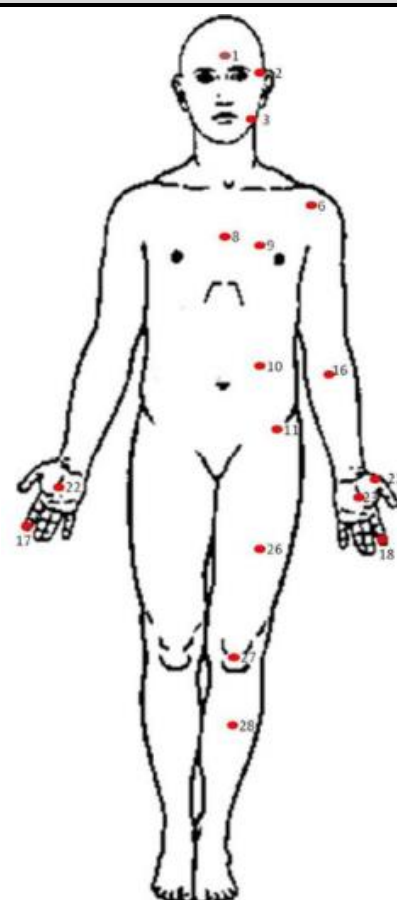
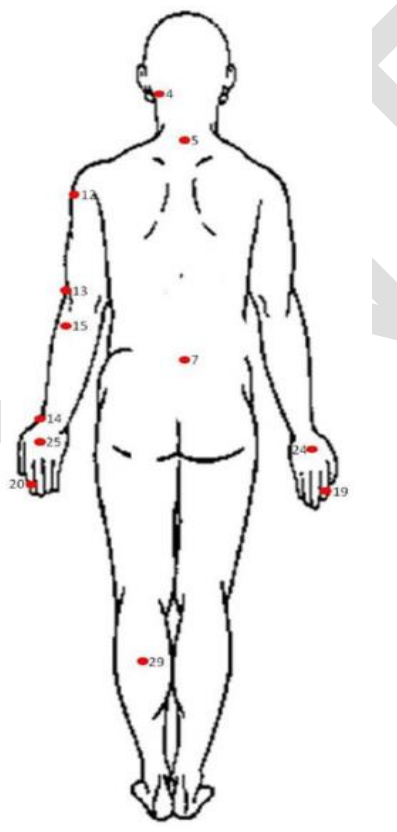
Körpervorderseite	Spezifische Lokalisation	Körperregion		
	1	Stirnmitte	Schädel/Stirn	
	2	Schläfe	Schädel/Stirn	
	3	Kaumuskel	Gesicht	
	6	Schultergelenk	Rücken/Schultern	
	8	Brustbein	Brust	
	9	Brustmuskel	Brust	
	10	Bauchmuskel	Bauch	
	11	Beckenknochen	Becken	
	16	Armnerve	Oberarm/Ellenbogen	
	17	Zeigefingerbeere d	Hand/Finger	
	18	Zeigefingerbeere nd	Hand/Finger	
	21	Daumenballen	Hand/Finger	
	22	Handinnenfläche d	Hand/Finger	
	23	Handinnenfläche nd	Hand/Finger	
	26	Oberschenkelmuskel	Oberschenkel/Knie	
	27	Kniescheibe	Oberschenkel/Knie	
	28	Schienbein	Unterschenkel	
		d	Dominante Körperseite	
		nd	Nicht dominante Körperseite	
	Körperrückseite	Spezifische Lokalisation	Körperregion	
		4	Halsmuskel	Hals (Seiten/Nacken)
		5	Dornfortsatz 7. Halswirbel	Hals (Seiten/Nacken)
		7	Dornfortsatz 5. Lendenwirbel	Rücken/Schultern
		12	Deltamuskel	Oberarm/Ellenbogen
		13	Oberarmknochen	Oberarm/Ellenbogen
		14	Speichenknochen	Unterarm/Handgelenk
		15	Unterarmmuskel	Unterarm/Handgelenk
		19	Zeigefingerendgelenk nd	Hand/Finger
20		Zeigefingerendgelenk d	Hand/Finger	
24		Handrücken d	Hand/Finger	
25		Handrücken nd	Hand/Finger	
29	Wadenmuskel	Unterschenkel		
	d	Dominante Körperseite		
	nd	Nicht dominante Körperseite		

Tabelle A.1: Körpermodell

Körperlokalisierung		Quasi statischer Kontakt		Transienter Kontakt	
Spezifische Lokalisation	Körperregion	Spitzendruck p_s [N/cm ²] (Anmerkung 1)	Kraft F_s [N] (Anmerkung 2)	Spitzendruck P_T Faktor (Anmerkung 3)	Kraft F_T Faktor (Anmerkung 3)
1	Stirnmitte	Schädel und Stirn	130	Kein	Kein
2	Schläfe		110		
3	Kaumuskel	Gesicht	110	2	2
4	Halsmuskel	Nacken	140		
5	Dornfortsatz 7. Halswirbel		210		
6	Schultergelenk	Rücken und Schultern	160		
7	Dornfortsatz 5. Lendenwirbel		210		
8	Brustbein	Brust	120		
9	Brustmuskel		170		
10	Bauchmuskel	Bauch	140		
11	Beckenknochen	Becken	110		
12	Deltamuskel	Oberarm und Ellenbogen	210		
13	Oberarmknochen		190		
14	Speichenknochen	Unterarm und Handgelenk	220		
15	Unterarmmuskel		190		
16	Armnerve		180		
17	Zeigefingerbeere d		180		
18	Zeigefingerbeere nd	Hand und Finger	300		
19	Zeigefingerendgelenk d		270		
20	Zeigefingerendgelenk nd		280		
21	Daumenballen		220		
22	Handinnenfläche d		200		
23	Handinnenfläche nd		260		
24	Handrücken d		260		
25	Handrücken nd		200		
26	Oberschenkelmuskel	Oberschenkel und Knie	190		
27	Kniescheibe		250		
28	Schienbein	Unterschenkel	220		
29	Wadenmuskel		210		

Tabelle A.2 — Biomechanische Grenzwerte

Anmerkung 1:

Die für den Spitzendruck angegebenen Werte wurden im Rahmen einer Studie durch eine unabhängige Institution ermittelt [7]. Es wurden 100 Probanden aus der Industrie sowie aus der Öffentlichkeit experimentell untersucht. Bei den angegebenen Grenzwerten handelt es sich um Schmerztrittsgrenzen, d.h. die Wahrnehmungsschwelle bei welcher ein empfundenes Druckgefühl in einen beginnenden Schmerz übergeht. Die angegebenen Spitzendrücke entsprechen dem in der Studie ermittelten dritten Quartil. Bei der Studie wurden speziell für diesen Zweck hergestellte Apparate benutzt. Die Studie wurde durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) beauftragt mit beratender Einbeziehung von ISO TC 184 SC 2 WG 3 sowie DIN NAM 60-30-02-AA.

Anmerkung 2:

Die für die Kraft angegebenen Werte wurden im Rahmen einer für diesen Zweck vom Institut für Arbeitsschutz durchgeführten Literaturstudie ermittelt [8]. Es wurden 180 Literaturquellen ausgewertet. Die angegebenen Grenzwerte beziehen sich auf Verletzungseintrittsgrenzen unterhalb AIS 1. Die Grenzwerte gelten nach bisheriger Erfahrung als hinreichend konservativ. Weitere Forschungen zur Spezifizierung der Kraftgrenzwerte sind in Vorbereitung.

Anmerkung 3:

Die Grenzwerte für transienten Kontakt sind als Faktor zu verwenden (Multiplikation der Werte für quasi statischen Kontakt). Sie entstammen den Literaturquellen [10, 11]. Nach Literaturangaben werden Faktoren von mindestens zwei ausgewiesen, jedoch in der Regel größer als zwei. Die angegebenen Grenzwerte gelten als hinreichend konservativ. Weitere Forschungen zur Spezifizierung von transienten biomechanischen Grenzwerten sind in Vorbereitung.

Anmerkung 4

Die biomechanischen Grenzwerte nach Tabelle A.2 wurden in ISO TS 15066 übernommen.