

# Kollaborierende Robotersysteme

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

Ausgabe 08/2017

FB HM-080

Kollaborierende Robotersysteme können in der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung (Power and Force Limiting)“ ohne traditionelle Schutzeinrichtungen wie Zäune und Lichtvorhänge 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 Anwendung der harmonisierten Europäischen Normen EN ISO 10218-1 [2] und EN ISO 10218-2 [3] lösen die sogenannte Vermutungswirkung aus. Dadurch kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen der EG-Maschinenrichtlinie eingehalten wurden.

Das kollaborierende Robotersystem umfasst dabei den oder die kollaborierenden Roboter, Werkzeuge, Werkstücke und Vorrichtungen, die zusammen eine Maschine nach EG-Maschinenrichtlinie bilden. Ein einzelner Roboter gilt als unvollständige Maschine. Unvollständige Maschinen sind anstelle einer EG-Konformitätserklärung mit einer Einbauerklärung zu versehen.

### 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 Gefährdungsbeurteilung und wiederkehrende Prüfungen
  - 9 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen
- Anhang: Biomechanische Grenzwerte**

Die Anforderungen speziell zu kollaborierenden Robotersystemen sind in EN ISO 10218-1 und EN ISO 10218-2 aufgrund dieser sehr neuen Technologie noch nicht umfassend beschrieben. Gleiches gilt für die DGUV-Information 209-074 „Industrieroboter“ [4].

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 der 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 Verfahren. Die Dokumentation der Risikobeurteilung muss spätestens zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens beim Maschinenhersteller bzw. Integrator verfü-

bar 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 müssen insbesondere auch die unmittelbare Nähe von Mensch und Robotersystem berücksichtigen und entsprechende Schutzmaßnahmen ableiten. Eine ausführliche Zusammenstellung von möglichen Gefährdungen, die an kollaborierenden Robotersystemen zu berücksichtigen sind, befindet sich in [3] und [5]. Kontaktsituationen zwischen Mensch und Robotersystem sind auf ein Minimum zu begrenzen.

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 ermöglicht einen sogenannten schutzzaunlosen Betrieb. Die Robotersysteme sind dabei so gestaltet, dass bei einem Kontakt z. B. zwischen Personen und Roboterwerkzeug, Teilen des Roboters oder des Werkstücks biomechanische Grenzwerte nicht überschritten werden (Kraft, Druck).

Die Kraft- oder Druckeinwirkung hängt u. a. von folgenden Schutzmaßnahmen ab:

- Aktive technische Schutzmaßnahmen im Robotersystem, z. B. taktile Schutzeinrichtungen, Drehmomentensensoren, 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.

Für diese Kollaborationsart konzipierte Roboter werden z. T. auch als Leichtbauroboter bezeichnet. Allein aus der Bezeichnung lassen sich jedoch noch keine Sicherheitsmerkmale ableiten.

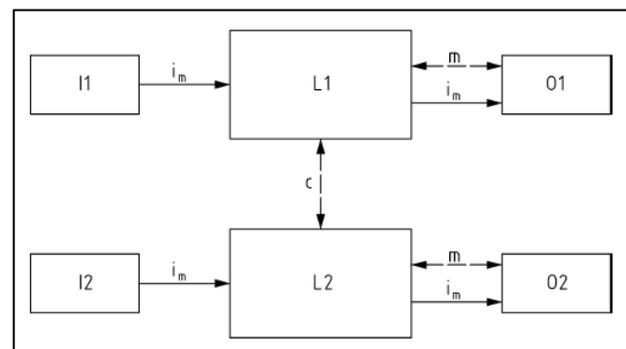
### 4 Anforderungen an die Roboter

Die zum Einsatz vorgesehenen Roboter sollten insbesondere hinsichtlich der in der Anwendung benötigten Sicherheitsfunktionen gestaltet bzw. ausgewählt werden. Stehen z. B. keine geeigneten steuerungstechnischen 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:

- 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.
- Sichere Überwachung der Geschwindigkeit**  
Um sicherzustellen, dass z. B. bei Kraft- und/oder Drehmomentüberwachungen eine Stoppreaktion unter Berücksichtigung der systembedingten Reaktionszeit erfolgen kann ist in der Regel eine sichere Überwachung der Geschwindigkeit erforderlich.
- 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 (sichere Raumgrenzen) erforderlich. Je nach Gefährdungsexposition muss zusätzlich zur Überwachung am Werkzeug auch eine Überwachung einzelner Achsen erfolgen.

- Betriebsartenwahl und Zustimmungschalter**  
Ein abschließbarer Betriebsartenwahlschalter oder gleichwertige Zugangssicherungen (z. B. Zugangscode) sowie Zustimmungschalter zählen nach EN ISO 10218-1 zu den obligatorischen Sicherheitsfunktionen von Industrierobotern. Bei kollaborierenden Robotersystemen kann nach ISO TS 15066 auf einen Zustimmungschalter 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 Zustimmungschalters. 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 Zustimmungschalter in der Regel nicht möglich. Bei Erstinbetriebnahme oder auch späterer Veränderung beim Betreiber (z. B. neues Teilprogramm) müssen Sicherheitslimits verändert werden. Dies muss unter Verwendung eines Zustimmungschalters 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 die Kanten aller Teile des Roboters (Roboterarme, Werkzeugaufnahme) gerundet sein. 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.

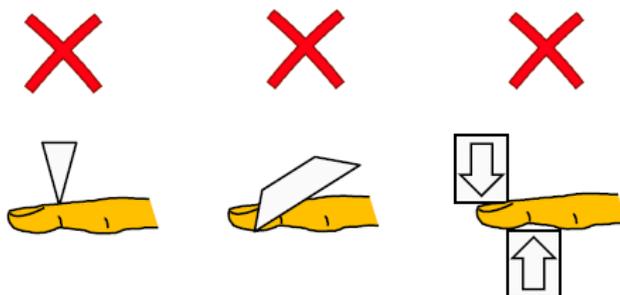
Große, kantige und schwere Werkstücke sind nach heutigem Stand der Technik für diese Art der Kollaboration nicht geeignet. Die Massenträgheit schwerer Werkstücke führt in der Regel zur Überschreitung der Kraft- bzw. Druckgrenzen (siehe Anhang A).

Wegen der Nähe zum Menschen sind auch die für den Kollaborationsbetrieb vorgesehenen Roboterbewegungen (Bahnen) ausschlaggebend. In der Regel sind mithilfe der Anlagenkonzeption und der Funktion Sichere Begrenzung des Bewegungsbereiches (sichere Raumgrenzen) die Verfahrwege des Roboters einschließlich Werkzeug und Werkstück zu begrenzen, um z. B. sensible Körperteile wie Kopf und Hals im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung vom Arbeitsbereich auszuschließen (Bild 4).

Grundsätzlich ist auch im Rahmen der vorhersehbaren Fehlanwendung ein Kontakt mit dem Kopf durch das Anlagenkonzept auszuschließen. Wenn das nicht vollständig gewährleistet werden kann, sind diese Kontaktsituationen auf ein Minimum zu reduzieren. Für diese Kontaktsituationen sind Messungen der biomechanischen Grenzwerte durchzuführen. Jedoch dürfen sensible Bereiche am Kopf oder Hals (z. B. Augen oder Kehlkopf) unter keinen Umständen zur Kontaktstelle werden. Dies kann erreicht werden durch gestalterische Maßnahmen z. B.

- Flächige Konturen
- Polsterung
- defensive Bahnplanung
- Kantige Konturen während der Fahrt vom Bediener abwenden
- Einschränkung der Roboterbewegungsräume (TCP und Gelenke)
- Verlagerung großer Relativbewegungen möglichst weit weg von sensiblen Körperbereichen (Bei Tischapplikationen z. B. nach unten)

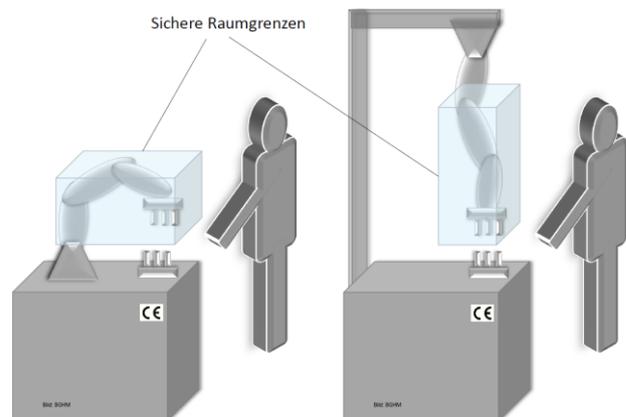
Falls weiterhin Risiken bestehen, müssen diese Bereiche z. B. durch zusätzliche trennende (auch transparente) Schutzeinrichtungen vom Zugang ausgeschlossen sowie mit ergänzenden Anweisungen an die Benutzer versehen werden (siehe auch Abschnitt 7).



**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 Arbeitsbereich, bewusst und unbewusst, z. B. reflexartig
- Beobachten des Arbeitsprozesses, z. B. durch Hineinbeugen oder Herüberbeugen
- Auffinden und Eingreifen bei Störungen
- Aufheben herabfallender Teile
- Anstoßen der Roboterarme an den Körper
- Anstoßen des Werkzeugs und des Werkstücks an den Körper



**Bild 4:** Beispiele zur Begrenzung des Roboterarbeitsbereichs mittels sicherer Raumgrenzen

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 aus Klemmsituationen sicherzustellen, z. B. eine Schalteinrichtung zum Lösen der mechanischen Haltebremsen. Kontaktsituationen können durch eine Klemmsituation eintreten, z. B. bei einem reflexartigen Eingreifen in den Werkzeugbereich. Kontaktsituationen zwischen Mensch und Robotersysteme sind grundsätzlich auf ein Minimum zu begrenzen. Dies gilt für Kontakt durch Anstoßen und auch für eventuelle Klemmsituationen. Außerdem sollten Klemmsituationen - wenn nicht vollständig vermeidbar - nur im Bereich der oberen Extremitäten auftreten können.

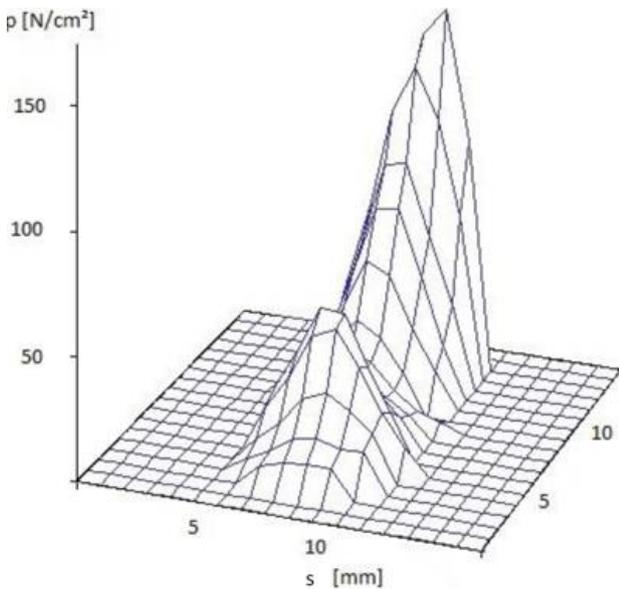
### 6 Bestimmung der biomechanischen Belastungen (Kraft und Druck)

Soweit keine Erfahrungen über eintretende Kontaktkräfte und Drücke vorliegen (z. B. Simulationstools), sind Kräfte und Drücke für die nach Risikobeurteilung ausgewählten Kontaktszenarien nach Tabelle A.2 zu messen (s. Anhang A). 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.

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 nach Tabelle A.2 bzw. ISO TS 15066 entstammen den neuesten Forschungen zur Bestimmung von Schmerztrittschwellen.

Neben dem Druck muss auch immer die Kraft berücksichtigt werden. 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.



**Bild 5:** Druckverteilung an einer kantigen Kontur (Beispiel).

Sobald einer der Grenzwerte Kraft oder Druck überschritten wird, sind die Anforderungen als nicht erfüllt zu bewerten. 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 sind, muss die Konstruktion geändert werden, z. B. durch größere Flächen, Polsterung, federnd gelagerte Greifer etc. .

Nicht als Sicherheitsfunktion ausgewiesene Begrenzungen von Kraft, Geschwindigkeit und dergleichen 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 Dämpfungsmaterialien und Federkonstanten angewendet werden.

Nach praktischen Erfahrungen zeigte sich, dass die Kraftmessergebnisse beim Austausch der diversen Federn wenig voneinander abweichen. Unter der Voraussetzung des Ausschlusses von Kopf und Hals vom Arbeitsbereich des Robotersystems kann es daher im Rahmen der bestimmungsgemäßen Verwendung sowie vorhersehbaren Fehlanwendung ausreichend sein, nur die ungünstigste (härteste) Feder von 75 N/mm zu verwenden. Sollte es im Rahmen der vorhersehbaren Fehlanwendung erforderlich sein, auch einen Kontakt z. B. im Bereich der Stirn zu beurteilen, ist eine Feder von 150 N/mm zu verwenden.

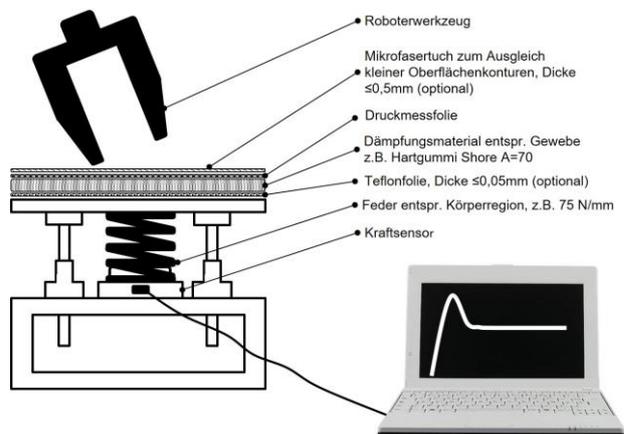
Körperregion	Dämpfungs material K1 [Shore A]	Dicke [mm]	Feder K2 [N/mm]
Schädel und Stirn	70	7	150
Gesicht			75
Hand und Finger	30	14	75
Nacken			50
Unterarm und Handgelenk			40
Brust			25
Becken	10	21	25
Unterschenkel			60
Oberschenkel und Knie			50
Rücken und Schultern	10	21	35
Oberarm und Ellenbogen			30
Bauch	10	21	10

**Tabelle 1:** Dämpfungsmaterial und Federkonstanten für Messanordnung nach Bild 7

Für die Messung der biomechanischen Grenzwerte sollte ein Messsystem entsprechend Bild 6 zur Anwendung kommen. Das Messgerät ist während der Messung zu fixieren.

Das Messsystem muss es ermöglichen entweder gleichzeitig oder in aufeinanderfolgenden Messungen sowohl die Kraft als auch den Druck für die jeweilige Kontaktsituation zu messen. Kraft und Druck können mit einer Messanordnung nach Bild 6 gemessen werden.

Die aus dem Kontakt heraus resultierenden Messsignale – auch von sehr schnellen Kontaktsituationen – enthalten in der Regel Frequenzanteile bis etwa 100 Hz. Die Messfrequenz muss daher mindestens 1 kHz betragen. Die Messsignale sind mit einem Butterworth-Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 100 Hz (bei 3dB) und einer Steilheit von 24 dB/Oktave zu filtern.

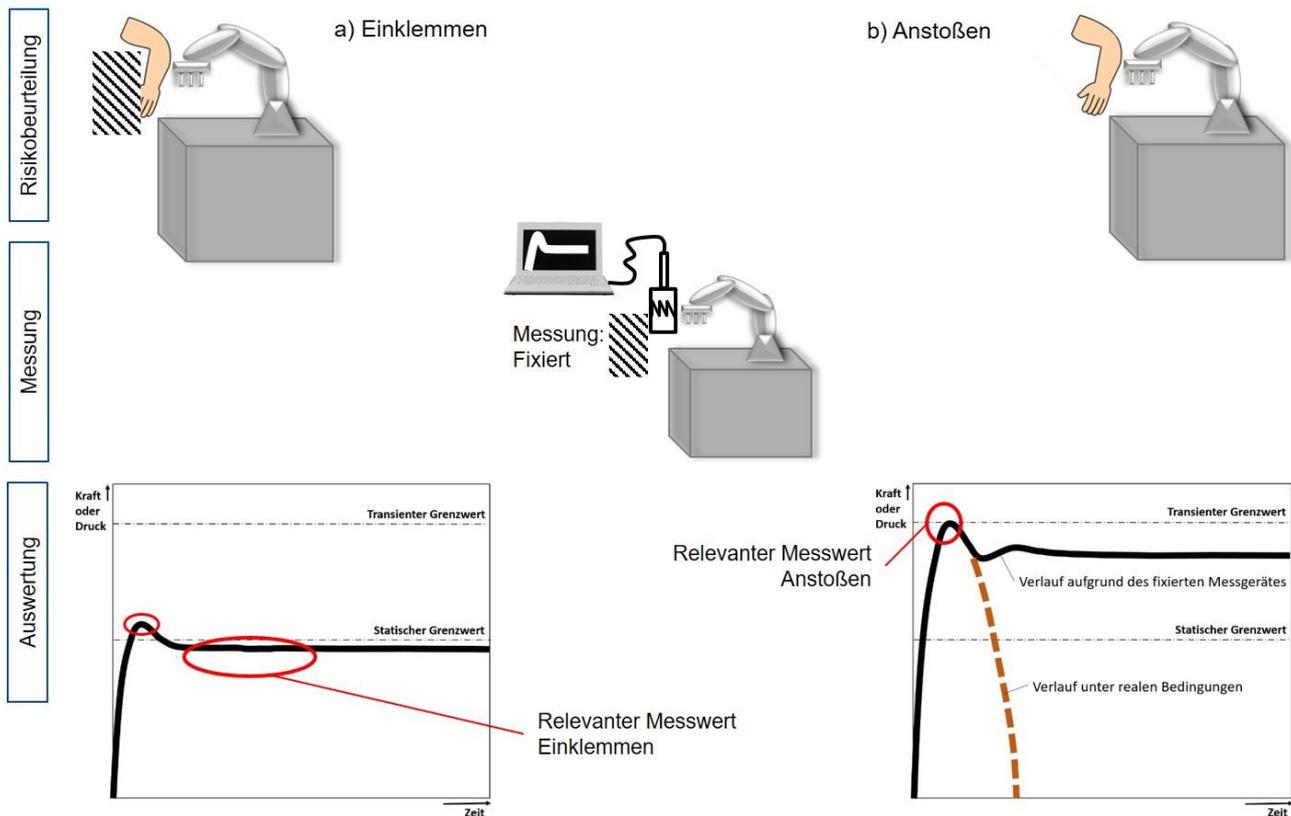


**Bild 6:** Beispiel eines Messsystems für Kraft und Druck

In der überwiegenden Zahl der Fälle sind Klemmsituationen für die Körperregionen Hände und Unterarme ausschlaggebend für die konstruktive Gestaltung der Anlage, der Werkzeuge und Werkstücke sowie für die sicherheitstechnische Parametrierung (Tabelle 1 quasistatischer Kontakt). Durch die Kanten der Werkzeuge und Werkstücke ist davon meistens der Klemmdruck die ausschlaggebende Größe.

In einigen Fällen kann es jedoch erforderlich sein, auch dynamische Werte zu messen. Z. B. wenn die Risiko- beurteilung ergibt, dass auch das Anstoßen von Teilen des Robotersystems an den Körper im freien Raum möglich ist

Um dabei reproduzierbare Messergebnisse zu erzielen, ist das Messgerät auch für diesen Fall zu fixieren. Ein Beispiel



**Bild 7:** Messung des Drucks bzw. der Kraft für Einklemmsituationen und Anstoßen

zur Messanordnung zeigt Bild 7, wobei zwei Kontaktsituationen unterschieden werden:

- a) Einklemmen z. B. im Bereich einer Vorrichtung  
Bewertet werden hier die dauerhaft auftretenden Klemmkräfte und Drücke. Je nach Klemmsituation können zusätzliche Spitzen auftreten (siehe. Bild 7 unten links). Diese dürfen die Grenzwerte für kurzzeitige Einwirkungen nicht überschreiten (siehe Tabelle A.2).
- a) Anstoßen im freien Raum  
Bewertet wird hier das gemessene Kraft- bzw. Druckmaximum. Mit dauerhaft auftretenden Klemmkraften und -drücken ist wegen der Ausweichsituation in der Regel nicht zu rechnen.

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.

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 Robotersystem an den Kunden auszuliefern.

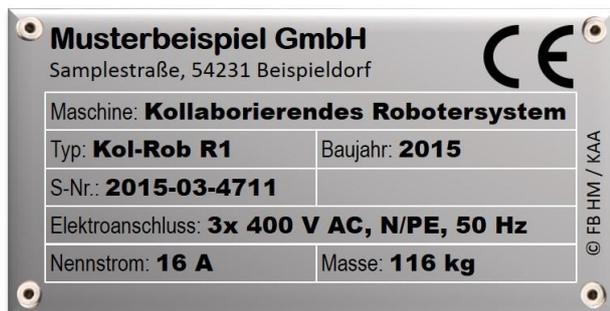
Technische Unterlagen bzw. Kennzeichnung	Darf beim Hersteller (System-integrator) verbleiben	Mit dem Robotersystem auszuliefern bzw. am Robotersystem zu kennzeichnen
EG-Konformitätserklärung für das Robotersystem		X
Betriebsanleitung für das Robotersystem		X
Technische Dokumentation nach Richtlinie 2006/42/EG Anhang VII	X	
Risikobeurteilung	X	
Typenschild mit Name und Anschrift des Systemintegrators (Typenschild des Roboterherstellers nicht ausreichend, Beispiel siehe Bild 8)		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:** Mit auszuliefernde Mindestkennzeichnungen bzw. -unterlagen

Im Rahmen der Betriebsanleitung sind auch jene Schutzmaßnahmen aufzuführen, welche als Informationen oder 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, Wiedereingangssetzen und Freifahren des Robotersystems z. B. in Notsituationen
- 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
- Regelmäßige und anlassbezogene Überprüfungen, z. B. Nachmessung der biomechanischen Grenzwerte nach Umbau oder Programmänderung
- Zusammengefasste Verhaltensanweisungen dauerhaft und gut sichtbar an der Anlage (Betriebsanweisung)
- Hinweise auf Maßnahmen zur Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz im Zusammenhang mit möglichen Kontaktsituationen und dem Gesundheitszustand der Bedienpersonen.



**Bild 8:** Beispiel Typenschild mit CE-Zeichen

## 8 Gefährdungsbeurteilung und wiederkehrende Prüfungen

Nach Betriebssicherheitsverordnung [8] sind für Arbeitsplätze an kollaborierenden Robotersystemen Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen und Schutzmaßnahmen festzulegen. Die Gefährdungsbeurteilungen sind zu dokumentieren. Besondere Gefährdungen, welche sich von denen sonstiger Maschinenarbeitsplätzen unterscheiden sind z. B.

- Einklemmtsein oder fehlende Möglichkeit zum selbständigen Befreien
- Hinzutreten Dritter
- Psychische Gefährdung

Nach Betriebssicherheitsverordnung sind des weiteren regelmäßige Prüfungen des kollaborierenden Robotersystems durchzuführen. Die Prüfungen sollten mindestens Sicht- und Funktionsprüfungen umfassen und im jährlichen Abstand stattfinden. Im Laufe des Betriebes des kollaborierenden Robotersystems können sich die biomechanischen Belastungswerte ändern, z. B. durch

- Geänderte Applikation z.B. durch Umbau
- Verschleiß der Gelenke und Bremsen
- Besondere Ereignisse (Unfälle, Crash, Reparaturen)
- Programmänderung
- Teileänderung

Überprüfungen der biomechanischen Belastungswerte sind in die Maßnahmen einzuschließen. Im Fall von Verschleiß oder Reparatur können je nach Robotersystem auch interne Systemtests oder Referenzmessungen der biomechanischen Belastungswerte ausreichend sein.

## 9 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

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

Derzeit existieren erst sehr wenige praktische Handlungsanleitungen [9, 10]. Ziel dieser Fachinformation ist die Unterstützung von Herstellern und Betreibern, 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 Haushaltroboter, Serviceroboter, Medizinroboter, Miniaturroboter und dergleichen werden nicht behandelt.

Eine weitere DGUV-Information zur Risikobeurteilung an kollaborierenden Robotersystemen ist geplant.

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.

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

Diese DGUV-Information ersetzt die gleichnamige Fassung, herausgegeben als Entwurf 04/2017. Weitere DGUV-Informationen bzw. Informationsblätter des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [11].

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 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] ISO/TS 15066:2016-02. Roboter und Robotikgeräte - Kollaborierende Roboter. Ausgabedatum: 2016-02. Beuth-Verlag, Berlin
- [6] DIN EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze, 2016-06, 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] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juli 2015 (BGBl. I S. 1187) geändert.
- [9] BG/IFA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie - Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern. U 001/2009 Oktober 2009
- [10] VDMA-Positionspapier „Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration“. VDMA Robotik und Automation 2014.
- [11] Internet: [www.dguv.de/fb-holzundmetall](http://www.dguv.de/fb-holzundmetall) Publikationen oder [www.bghm.de](http://www.bghm.de) Webcode: <626>
- [12] 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
- [13] 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

**Bildnachweis:**

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

Bild 1 - 8: FB HM, SG MAF

**Herausgeber:**

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

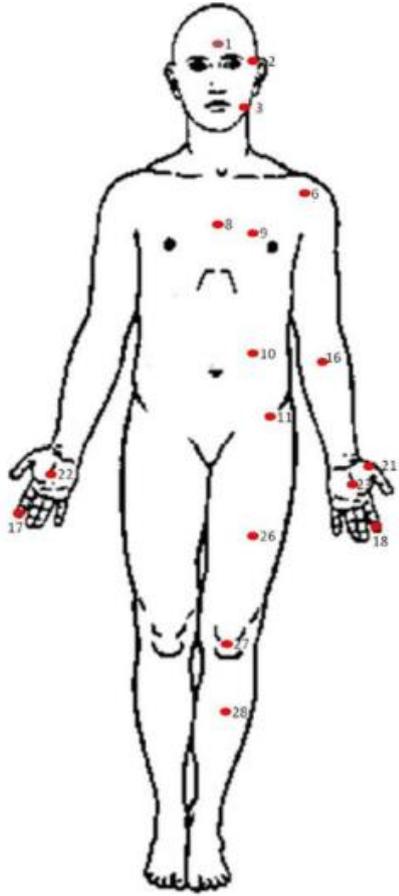
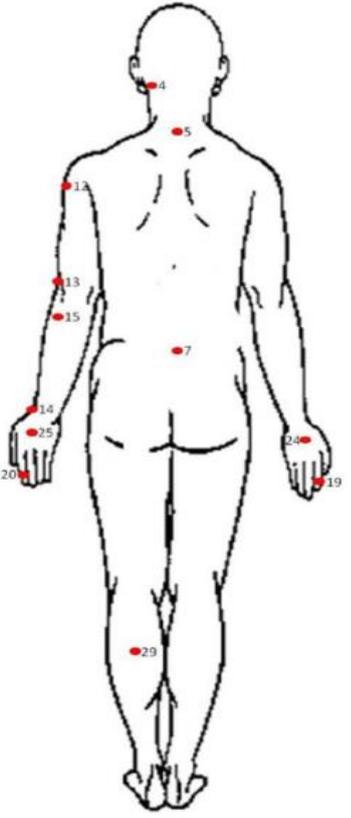
Körpervorderseite	Spezifische Lokalisation	Körperregion	
	1	Stirnmitte	Schädel/Stirn
	2	Schläfe	Schädel/Stirn
	3	Kaumuskel	Gesicht
	6	Schultergelenk	Rücken/Schultern
	8	Brustbein	Brust
	9	Brustmuskel	Brust
	10	Bauchmuskel	Bauch
	11	Beckenknochen	Becken
	16	Armnerve	Oberarm/Ellenbogen
	17	Zeigefingerbeere 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 d	Hand/Finger
	20	Zeigefingerendgelenk nd	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 (Klemmen)		Transienter Kontakt (Freier Stoß)	
Spezifische Lokalisation	Körperregion	Spitzendruck $p_s$ [N/cm <sup>2</sup> ] (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		130		
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	140		
13	Oberarmknochen		180		
14	Speichenknochen	Unterarm und Handgelenk	190		
15	Unterarmmuskel		220		
16	Armnerve		160		
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		

Kritische Zone

**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 [12, 13]. 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.