

Kurzfassung

Arbeitsschutz bei Kollaborierenden Robotern - Dr. Michael Huelke (IFA)

Heutige Industrieroboter sind hoch produktiv, aber starr und kapitalintensiv, während durch den Menschen gesteuerte Produktionssysteme wandlungsfähig, aber eben nicht so produktiv sind. Dieses Manko möchte die Industrie in Zukunft durch die kollaborierenden Roboter beseitigen. Diese sollen mit Menschen zusammen arbeiten und auch vorübergehend Menschen ersetzen, ohne dass deswegen die Arbeitsplätze umgebaut werden müssen. In der sogenannten Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) werden menschliche Fähigkeiten und Fertigkeiten mit den präzisen Funktionen des kräftigen Roboters kombiniert. Die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten muss dabei durch eine geeignete Gestaltung des Arbeitsplatzes und des Roboters gewährleistet sein. Dabei lassen sich jedoch Kollisionen zwischen Mensch und Roboter nicht völlig ausschließen – denn bei kollaborierenden Robotern sind keine trennenden Schutzeinrichtungen (Schutzzaun) mehr vorhanden.

In den frühen 2000er Jahren gab es noch keine Sicherheitsanforderungen für kollaborierende Roboter. Das IFA hat mit dem Sachgebiet Maschinen, Anlagen, Fertigungsautomation und -gestaltung im Fachbereich Holz und Metall der DGUV Empfehlungen entwickelt, die Grenzwerte für belastende Kräfte und Drücke auf den Menschen angeben. Inakzeptable Körperbeanspruchungen lassen sich damit vermeiden. Das mit sicherer Technik ausgestattete Robotersystem kann die akzeptablen Kräfte und Drücke im Betrieb zuverlässig einhalten. Diese Empfehlungen sind inzwischen in die ISO-Normen für Industrieroboter eingearbeitet (EN ISO 10218; ISO/TS 15066). Der dort definierte „Kollaborierende Roboter“ schließt neben dem Roboter auch das Werkzeug, das am Roboterarm befestigt wird sowie die damit bewegten Gegenstände ein.

Was ist ein Kollaborierender Roboter?

Kollaborierende Roboter sind typischerweise kleine leichte Roboter, die in einem festgelegten Kollaborationsraum aufgebaut werden. Für die sichere MRK muss eine von vier Methoden mit flankierenden Sicherheitsfunktionen ausgewählt werden: 1) Der sicherheitsbewertete, überwachte Halt, 2) die Handführung, 3) die Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sowie 4) die Leistungs- und Kraftbegrenzung. Die beiden letzteren Methoden sind in Bezug auf Sicherheitstechnik und Arbeitsschutz besonders interessant und teilweise Neuland.

Bei der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung ist eine gleichzeitige Bewegung des Menschen und des Roboters im Kollaborationsraum möglich – aber keine enge Zusammenarbeit. Das Risiko ist dadurch reduziert, dass permanent ein Sicherheitsabstand zwischen Mensch und dem autonom arbeitenden Roboter realisiert wird. Dieser Abstand darf je nach Geschwindigkeit des Roboters auch variieren. Der Roboter kann bei Annäherung des Menschen stoppen oder dem Menschen ausweichen. Die Positionen aller Personen im Kollaborationsraum müssen also sicher erfasst werden, z.B. durch berührungslos wirkende Sensoren wie Kameras, Ultraschallsysteme oder Radar.

Bei der Leistungs- und Kraftbegrenzung arbeiten Mensch und der autonome Roboter gleichzeitig zusammen – so eng, dass es auch zu Berührungen kommen kann. Das Risiko ist dadurch reduziert, dass die bei einer Kollision einwirkende Kraft und der Druck auf der Kollisionsfläche beim Roboter sicher begrenzt sind.

Wie bei anderen Maschinen müssen die Gefährdungen innerhalb der Grenzen des Robotersystems identifiziert und die Risiken bewertet werden. Die Kollaborationsaufgabe muss genau beschrieben werden. In der Regel treten mechanische Gefährdungen wie Stoßen, Quetschen, Klemmen, Scheren auf. Roboter besitzen besondere Eigenschaften: Sie führen Bewegungen mit hoher Energie und über einen großen Arbeitsraum aus. Es ist, ähnlich wie beim Menschen, schwierig, im Voraus zu bestimmen, wann eine Bewegung eingeleitet und welchem Weg sie folgen wird. Die Bewegungen können je nach betrieblicher Anforderung variieren.

Anforderungen an kollaborierende Roboter

Ein wichtiger Baustein einer MRK sind sichere Steuerungen. Sie können alle Bewegungen des Roboters gezielt überwachen. Eine zu hohe Geschwindigkeit, eine unerlaubte Position oder eine Kollision führen zum sofortigen Stillsetzen. Über sichere Sensoren, wie z.B. Ultraschallsensoren, erkennt die Robotersteuerung, wo sich Menschen oder Objekte befinden. Der Roboter kommt ihnen nicht zu nahe bzw. weicht ihnen aus. Im IFA werden an einem Industrieroboter neue Technologien erprobt und bewertet. Erste Industrieprodukte werden auf der Grundlage der damit gewonnenen Erfahrungen geprüft und zertifiziert.

Die Roboternormen fordern auch die Gestaltung der MRK nach ergonomischen Prinzipien. Diese Prinzipien sollen auch helfen, Kollisionen zwischen Mensch und Roboter sowie zu hohe Belastungen des Menschen zu vermeiden. Wie soll also der Roboterarbeitsplatz gestaltet sein? Welche Distanzen zum Menschen, Geschwindigkeiten und Fahrwege sind angemessen? Im Virtual Reality Labor SUTAVE am IFA wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Gestaltungsmerkmale von kollaborierenden Robotern auf den Menschen untersucht. Die Ergebnisse dienen dazu, die ergonomischen Anforderungen zu konkretisieren. Schließlich sind auch arbeitsorganisatorische und arbeitsmedizinische Anforderungen einzuhalten, damit in der MRK geeignete und eingewiesene Personen tätig sind.

Biomechanische Anforderungen

Trotz technischer Schutzmaßnahmen kann es bei der MRK zum direkten Kontakt zwischen Roboter und Mensch kommen. Eine vergleichbare Situation findet man bei mobilen Servicerobotern, die in steigender Zahl in der Arbeitswelt und in öffentlichen oder privaten Umgebungen in der Nähe von Personen eingesetzt werden. Ausgangspunkt der biomechanischen Anforderungen ist, dass mechanische Belastungen an unterschiedlichen Körperteilen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen. Bei Kollisionen zwischen dem Roboter und einer Person kommt es zu elastisch-plastischen Verformungen bestimmter Körperbereiche, während die kollidierende Roboterstruktur kaum verformt wird. Dabei entsteht am Körper eine sich dynamisch ändernde, dreidimensionale Kollisionsfläche. Über die Kollisionsfläche werden partielle dynamische Kräfte und Drücke übertragen. Sie bestimmen gemeinsam das Beanspruchungspotenzial. Daher werden in den Normen

Grenzwerte für die Beanspruchungskriterien „Kraft“ (als Klemm-/Quetschkraft oder Stoßkraft) und „Druck/Flächenpressung“ festgelegt. Zur Standardisierung der biomechanischen Anforderungen finden seit 2010 einige sehr aufwändige empirische Untersuchungen mit Probanden statt – mit Beteiligung des IFA bzw. der DGUV.

Wie kann die Einhaltung der Grenzwerte validiert werden?

Die heutige Praxis ist, dass die Einhaltung von Grenzwerten am konkreten Roboterarbeitsplatz überprüft werden muss. Alle als kritisch identifizierten Kollisionsvorgänge müssen gemessen und anhand der Grenzwerte bewertet werden. Hier stellt sich die Frage: Welche biomechanisch-physikalischen Merkmale hat eine Person, wenn sie im Kollaborationsraum einem Kollisionsrisiko ausgesetzt ist? Im Wesentlichen sind dies: Körpersteifigkeit, Trägheit der Körpermassen und Eigenbewegung des betroffenen Körperteils. Für die Validierung müssen diese Merkmale durch ein biofideles, also mechanisch menschenähnliches Messgerät angemessen simuliert werden - denn es können keine Testpersonen zur Validierung eingesetzt werden.

Für die betriebliche Praxis hat das IFA ein Kraft-Druck-Messgerät (KDMG-KOLROBOT) entwickelt. Es berücksichtigt die wesentlichen biomechanischen Körpereigenschaften. Die in der Kollisionsfläche auftretenden Gesamtkräfte und lokale Druckmaxima werden gemessen, visualisiert und dokumentiert. Das komplette Messsystem wird inzwischen durch ein Industrieunternehmen in Lizenz gefertigt und vertrieben. Das KDMG-KOLROBOT wurde in verschiedenen Entwicklungsstufen bereits seit einigen Jahren für Messungen an kollaborierenden Robotern genutzt. Dabei hat sich gezeigt, dass die biomechanischen Anforderungen (Kraft- und Druckgrenzwerte) an verschiedenen Applikationen der MRK eingehalten werden können. Die Prüf- und Zertifizierungsstelle Maschinen und Fertigungsautomation im DGUV Test hat bereits mehrere Roboterapplikationen zertifiziert.

Fazit

Derzeit entstehen in der Produktion neue Arbeitsformen mit kollaborierenden Robotern – die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) – bei denen Menschen ohne trennende Schutzeinrichtungen eng mit einem Roboter zusammenarbeiten. Bei einer der Kollaborationsmethoden kann es zu seltenen Kollisionen kommen, die sicher zu begrenzen sind. Als Belastungsgrößen haben sich die eingeprägte Kraft und die Druckverteilung mit lokalen Druckspitzen in der Kollisionsfläche etabliert. Die relevante Normung für Kollaborierende Industrieroboter ist abgeschlossen und es liegt eine DGUV-Information FB HM-080 vor. Die biomechanischen Anforderungen können nur für eine konkrete Applikation geprüft werden (Roboter mit Werkzeug, Werkstück und Umgebung). Bei der Prüfung werden u.a. die gemessenen Kräfte und Drücke mit den Grenzwerten verglichen und am Roboter eingestellt. Für die Bewertung der Kollisionen wurden im IFA geeignete Messgeräte entwickelt, die durch einen Lizenznehmer seit 2016 gefertigt und geliefert werden können.