

# Sichere Zusammenarbeit von Mensch und Industrieroboter

Bisherige Arbeitsschutzvorschriften erlauben keine ständige Zusammenarbeit von Personen und Robotern. Ziel sind deshalb Roboter, von denen auch ohne Schutzzaun keine Gefahren ausgehen, sowie die Ermittlung biomechanischer Grenzwerte für den Arbeitsschutz.

MICHAEL HUELKE, MATTHIAS UMBREIT UND HANS JÜRGEN OTTERSBUCH

Der Begriff kollaborierende Roboter ist häufig zu hören, wenn es um neuartige Arbeitsplätze geht – mit gemeinsamen Arbeitsbereichen für Menschen und Roboter. Das Ziel ist, dass Menschen und Roboter ihre besonderen Fähigkeiten kombinieren: der Mensch mit seinen erstaunlichen Fähigkeiten für das Unpräzise und der Roboter mit seinen Vorzügen in Kraft, Ausdauer und Geschwindigkeit. Beispiele: Ein Roboter hebt und positioniert ein schweres

Werkstück, während eine Person leichte Eisenhaken anschweißt. Roboter übernehmen positionsgenau wiederkehrende Zuführ- und Entnahmeaufgaben und Menschen weniger bestimmbare Positionierungs- und Montagetätigkeiten.

Die bisher bekannte Roboterwelt vermag nur das zu automatisieren, was vollständig ohne menschliches Zutun auskommt. Insbesondere Montageaufgaben lassen sich bisher oft nicht automatisieren, weil einzelne Tätig-

keiten nicht ohne die motorischen Fähigkeiten des Menschen auskommen. Auf diese Fähigkeiten möchte man aber auch zukünftig nicht verzichten. Wäre da nur nicht der Schutzzaun. Die bisherigen Arbeitsschutzvorschriften erlauben keinen Zugang von Personen in die Nähe von Robotern mit ihren unberechenbaren Bewegungen. Das Ziel sind deshalb Roboter, von deren Bewegungen auch ohne trennende Schutzeinrichtungen keine direkten Gefahren ausgehen.

## Sichere Steuerungen überwachen alle Bewegungen der Roboter

Ein ganz wesentlicher Baustein eines Arbeitsplatzes mit sicheren Robotern sind sogenannte sichere Steuerungen. Sie können alle Bewegungen der Roboter gezielt überwachen. Eine zu hohe Geschwindigkeit oder eine unerlaubte Position führt zum sofortigen Stillsetzen. Voraussetzung: Über sichere Sensoren, beispielsweise Kameras oder taktile Sensoren, erkennt die Robotersteuerung, wo der Mensch sich bewegt. Der Roboter kommt ihm nicht zu nahe oder weicht ihm aus. So können Arbeitsplätze geschaffen werden, in denen Roboter den Menschen assistieren. Trotz dieser erforderlichen technischen Schutzmaßnahmen kann es dabei

Dr. Michael Huelke ist Leiter des Referats „Neue Technologien, Mensch und Technik“ des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in Sankt Augustin; Dr. Matthias Umbreit ist Leiter des Fachausschusses Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung; Hans Jürgen Ottersbuch ist Sachgebietsleiter „Mechanische Körperbelastungen“ am IFA. Weitere Informationen: Michael Huelke, 53757 Sankt Augustin, Tel. (0 22 41) 2 31-02, info@dguv.de



Bei der Montage des Armaturenbretts in den Pkw arbeiten Mensch und Roboter zusammen.

Bild: Daimler

aber zu direktem Kontakt zwischen Roboter und Person kommen. Anders als bei trennenden Schutzeinrichtungen bleibt ein geringes restliches Kollisionsrisiko bestehen. Dieses Problem und die Frage nach einer vertretbaren Verletzungsschwere im seltenen Fall einer Kollision eröffnen ein neues Forschungsfeld für den Arbeitsschutz. 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.

**Überarbeitete Norm definiert Anwendungsgebiete**

Für den Bereich der Industrieroboter werden in der überarbeiteten Norm EN ISO 10218, Teil 1 und 2, die sicherheitstechnischen Anforderungen für das Anwendungsgebiet „kollaborierende Roboter (Collaborative Robots)“ definiert. Betroffen sind Arbeitstätigkeiten mit dem nahen oder direkten Kontakt zwischen dem kollaborierenden Roboter und arbeitenden Personen. Der kollaborierende Roboter schließt neben dem Roboter selbst den Endeffektor – das Werkzeug, das am Roboterarm adaptiert wird und mit dem der Roboter Tätigkeiten durchführt – sowie die damit bewegten Gegenstände ein. Für eine seriöse Bewertung der Arbeitssicherheit kommt man auch um die Beurteilung der Umgebung nicht herum. Schließlich soll der kollaborierende Roboter eine Arbeitsaufgabe mit der Umgebung ausführen. Dadurch ergeben sich zwangsläufig auch Kollisionsmöglichkeiten, die ebenso wie am Roboter einschließlich Werkzeug berücksichtigt werden müssen. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Risikobeurteilung des Roboterherstellers den vorgesehenen betrieblichen Arbeitsplatz mit einschließen muss. Grundlage dieser Risikobewertung ist neben der Maschinenrichtlinie die EN ISO 10218, Teil 1 und 2.

Derzeit sind in diesen Normen jedoch noch keine ausreichenden sicherheitstechnischen Anforderungen für eine Bewertung dieser Verletzungsrisiken vorhanden. Also gilt es, den Arbeitsschutz für diese Arbeitsplätze zu regeln, um Roboterherstellern und -betreibern eine Planungssicherheit zu geben. Auf Initiative des Fachausschusses Maschinenbau, Fertigungssysteme und Stahlbau (FA MFS) erarbeitete das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in einem Entwicklungsprojekt technologische, medizinisch-biomechanische, ergonomische und arbeitsorganisatorische Anforderungen an derartige

**Grenzwerte für Klemm-/Quetschkraft (KQK), Stoßkraft (STK), Druck/Flächenpressung (DFP) und Klemmkraft (KK) für bestimmte Körperbereiche (KB).**

Hauptbereiche des Körpermodells	KB	Einzelkörperbereiche	Grenzwerte			KK N/mm
			KQK N	STK N	DFP N/cm²	
Hauptbereich 1: Kopf mit Hals	1.1	Schädel/Stirn	130	175	30	150
	1.2	Gesicht	65	90	20	75
	1.3	Hals (Seiten/Nacken)	145	190	50	50
	1.4	Hals (vorne/Kehlkopf)	35	35	10	10
Hauptbereich 2: Rumpf	2.1	Rücken/Schultern	210	250	70	35
	2.2	Brust	140	210	45	25
	2.3	Bauch	110	160	35	10
	2.4	Becken	180	250	75	25
	2.5	Gesäß	210	250	80	15
Hauptbereich 3: obere Extremitäten	3.1	Oberarm/ Ellenbogengelenk	150	190	50	30
	3.2	Unterarm/Handgelenk	160	220	50	40
	3.3	Hand/Finger	135	180	60	75
Hauptbereich 4: untere Extremitäten	4.1	Oberschenkel/Knie	220	250	80	50
	4.2	Unterschenkel	140	170	45	60
	4.3	Füße/Zehen/Gelenk	125	160	45	75

Quelle: IFA

Arbeitsplätze. Sie ergänzen und präzisieren die Normanforderungen und wurden in BG/BGIA-Empfehlungen zusammengefasst. Das online verfügbare Dokument ([www.dguv.de](http://www.dguv.de), Webcode d89188) bietet umfangreiche Hilfen für die Anwendung der sicherheitstechnischen Anforderungen im Rahmen von Risikobewertungen in der betrieblichen Praxis. Ein Expertenteam, an dem sich Roboterhersteller und Anwender beteiligten, begleitete die Erarbeitung der Inhalte.

Mit den Empfehlungen können Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern so eingerichtet werden, dass die durch Kollision unter Umständen auftretenden mechanischen Einwirkungen auf die Personen ein tolerables Maß nicht überschreiten. Diese Arbeitsplätze können so gestaltet werden, dass der erforderliche Arbeitsschutz für die beteiligten Personen gewährleistet ist. Den Herstellern helfen die Empfehlungen beim Design verletzungsarmer Roboteroberflächen und beim Festlegen sicherer Geschwindigkeiten für die Annäherung an eine kollisionsgefährdete Person (Bild 1).

Die in diesen BG/BGIA-Empfehlungen enthaltenen Kollisionen sind als unerwünschte Ereignisse zu bewerten, auch wenn

diese keine Arbeitsunterbrechung/keinen Arbeitsausfall der beteiligten Personen zur Folge haben müssen. Diese Kollisionen sind keinesfalls erlaubte und möglicherweise häufig auftretende betriebliche Ereignisse innerhalb von Arbeitstätigkeiten. Willentliche und im Sinne einer Arbeitsaufgabe notwendige Kontakte zwischen einer Person und einem technischen Arbeitsmittel sind aber nicht gemeint. Eine Kollision kann jedoch eine Unterbrechung oder sogar zeitweise Beendigung der Arbeitstätigkeit mit unter Umständen weiteren fachlichen Behandlungen der betroffenen Person und eine Neubewertung des Arbeitsplatzes zur Folge haben.

**Auswirkung möglicher Kollisionen müssen sehr gering sein**

Weil ein bestimmungsgemäß durchgeführter kollaborierender Arbeitsprozess Kollisionsrisiken zwischen einem Roboter und Personen einschließt, besteht die Aufgabe darin, die Beanspruchungseffekte durch Kollision so zu begrenzen, dass nur geringe, tolerable Verletzungsschweren auftreten können. Zur Verletzungsschwere war man sich einig: Die Toleranzgrenze kann nur extrem niedrig sein. Nicht zuletzt sind die verursachenden

**Bild 1: Roboter mit weichen, für den Menschen verletzungsarmen Oberflächen.**



Bild: MIRK-Systeme

Zusammenstöße eben keine erlaubten Ereignisse. Bei einer Kollision entsteht am Körper eine dreidimensionale Kontaktfläche, deren Form und Größe sich im Laufe des Kollisionsprozesses dynamisch ändert, genauso wie die an dieser Fläche übertragenen Kräfte und Drücke. Das Ausmaß und die Nachhaltigkeit der Verformung bestimmen das Verletzungspotenzial.

Als tolerable Schwere einer Verletzung gelten danach ausschließlich solche Beanspruchungen der Haut und der darunter liegenden Gewebe, bei denen es nicht zu tieferem Durchdringen der Haut und des Gewebes mit blutenden Wunden kommen kann. Frakturen oder anderweitige Schäden des Muskel-Skelett-Systems müssen ausgeschlossen sein.

**Grenzwerte für Verletzungskriterien wurden für alle Bereiche festgelegt**

Die Schwere einer Verletzung kann durch Grenzwerte zusammenhängender Verletzungskriterien abgebildet werden. Für alle Bereiche eines einfachen Körpermodells (Tabelle) wurden Grenzwerte für die Verletzungskriterien „Stoßkraft“, „Klemm-/Quetschkraft“ und „Druck/Flächenpres-

sung“ festgelegt. Das IFA hat dazu Verletzungsdaten aufgrund äußerer mechanischer Belastungen aus Literatur und Datenbanken recherchiert. Daraus wurden orientierende Grenzwerte für die maximal erlaubten Verletzungsschweren nach Körpermodell ermittelt und durch verschiedene Kontrollversuche im Labor punktuell überprüft.

Neben diesen neuen, medizinisch-biomechanischen Gestaltungshinweisen hat das IFA weitere Anforderungen für Kollaborationsarbeitsplätze zusammengetragen; sie betreffen die Technik und Sicherheitstechnik, die Ergonomie und die Arbeitsorganisation. Dort geht es beispielsweise darum, den Arbeitsraum an einem Kollaborationsarbeitsplatz so zu gestalten, dass sich der Mensch uneingeschränkt bewegen kann. Wichtig ist auch, dass der menschliche Kollege für die Teamarbeit mit dem Roboter je nach Arbeitsplatz gesund genug ist, will heißen entsprechend beanspruchbar. Diese Eignung muss der Arbeitgeber im Rahmen seiner Fürsorgepflicht regelmäßig kontrollieren.

Die Einhaltung der zulässigen Kräfte und Drücke/Flächenpressungen für die betroffenen Körpereinzelnbereiche muss nach Einrichtung eines Arbeitsplatzes an relevanten Punkten der Kollisionsflächen des Roboters überprüft werden. In den Empfehlungen werden dazu Messprinzipien beschrieben, die in geeigneten Messgeräten zum Erfassen von Werten der Verletzungskriterien technisch ausgeführt sein müssen. Ergänzend dazu wird eine Verfahrensweise für die messtechnische Ermittlung von Anforderungswerten beschrieben.

Weiterhin bieten diese Empfehlungen ein Anwendungsbeispiel aus der Praxis, ein Formblatt zur Festlegung der im Einzelfall

anzuwendenden Grenzwerte der relevanten Verletzungskriterien, orientierende Werte zur Gestaltung von Kollisionsflächen kollaborierender Roboter und eine Checkliste für die Anwendung der BG/BGIA-Empfehlungen im Rahmen einer Risikobeurteilung in der betrieblichen Praxis.

**Festgelegte Grenzwerte werden experimentell überprüft**

Die vom IFA empfohlenen biomechanischen Grenzwerte sind das Herzstück der neuen BG/BGIA-Empfehlungen. Sie stammen im Wesentlichen aus der wissenschaftlichen Literatur und bislang hat es nur punktuelle Kontrollversuche im Labor gegeben, um die Daten experimentell zu überprüfen. Das wird sich nun ändern: Das IFA hat eine Laboreinrichtung entwickelt (Bild 2), mit der sich das Schmerzempfinden und bestimmte Schmerzschwellen des Menschen bei mechanischer Stoßbelastung messen lassen, und zwar durch Untersuchungen an Probanden in Zusammenarbeit mit der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Diese Messungen werden dazu verwendet, die festgelegten Grenzwerte zu überprüfen. Unter welchen Bedingungen und wann die Versuchsreihe starten kann, muss allerdings zunächst eine eigens angerufene Ethikkommission entscheiden. Doch die Chancen stehen gut, dass schon bald diese medizinische Projektphase starten kann.

Für die Messung von Stoß- oder Klemm-/Quetschkräften können verschiedene auf dem Markt verfügbare Messgeräte mit technischen Modifikationen eingesetzt werden. Zur Erfassung des maximalen Partialdrucks auf einer Kollisionsfläche existieren zwar verschiedene Messmöglichkeiten, jedoch zurzeit noch keine standardisierten Messgeräte, die den erforderlichen Wirkprinzipien ausreichend genügen. Derzeit werden am IFA weitere biofidele Messgeräte für die synchrone Erfassung der Verletzungskriterien bei praxisnahem Körperverhalten einer Person unter bestimmten Kollisionsbedingungen entwickelt.

Wie geht es bei den Normen weiter? Im aktuellsten Entwurf, der FDIS ISO 10218 – 2, steht schon im Abschnitt der Anforderungen, dass die konkretisierenden Anforderungen für die kollaborierenden Roboter durch eine zukünftige „Technical Specification ISO/TS 15066 – Robots and robotic devices – Safety requirements – Industrial collaborative workspace“ beschrieben werden. Und in dieses Papier wurden alle wesentlichen Anforderungen der BG/BGIA-Empfehlungen eingebracht.



**Bild 2: Laboreinrichtung des IFA zur Messung von Schmerzschwellen am Menschen.**



Bild: IFA