

B Arbeitshilfe B.14.1.1

Zentrale Aspekte der Robotik Sicherheitsstandards

EU Richtlinien

Durch die Europäische Union wurden die nationalen Vorschriften für die Industrie durch europaweit geltende Vorschriften ersetzt. Die Veränderungen betreffen die sicherheitsgerechte Gestaltung von Maschinen und Anlagen, sowie die Arbeit in Industriebetrieben. Der Überführungsprozess der europäischen Vorschriften in das nationale Recht der Mitgliedsstaaten der EU wird als Harmonisierung bezeichnet und bildet eine der Grundvoraussetzungen für den freien Warenverkehr innerhalb der EU. Alle Produkte, die in der EU im Umlauf sind, müssen die Vorschriften unabhängig vom Herstellungsort erfüllen. Sowohl für die Hersteller als auch für die Betreiber von Industrierobotern gelten deshalb verschiedene Pflichten, die in den folgenden zwei Abschnitten aufgelistet werden [1].

Herstellerpflichten

Unter Artikel 114 des Vertrags von Lissabon werden grundlegende Sicherheitsanforderungen für Produkte festgelegt. Erfüllt ein Produkt die folgenden Richtlinien, erhält es das CE-Kennzeichen (siehe Abbildung 1):

- Produktsicherheitsrichtlinie 2001/95/EG
- Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
- Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG
- EMV-Richtlinie 2004/108/EG

Bei der Harmonisierung besteht hier kein nationaler Spielraum. Die Entsprechungen im deutschen Rechtssystem sind nach der oben genannten Reihenfolge:

- Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)
- 9. Verordnung zum ProdSG
- 1. Verordnung zum ProdSG
- EMV-Gesetz (EMVG)



Abbildung 1 - Logo des CE-Kennzeichens [2]

Nach der Maschinenrichtlinie sind Roboter als unvollständige Maschinen zu verstehen, da sie für sich genommen keine bestimmte Funktion erfüllen. Die Funktion wird erst durch die in Arbeitshilfe B 11.1.2 „Roboter Arbeitsräume“ beschriebenen Roboteranwendungen oder durch eine Verkettung mit anderen Maschinen gegeben. Schutzmaßnahmen müssen daher geeignet für die jeweilige Roboteranwendung getroffen werden, bei einer Verkettung von vollständigen und unvollständigen Maschinen muss die Sicherheit sowohl von einzelnen Einheiten als auch der Gesamtheit gewährleistet sein [1].

Betreiberpflichten

Unter Artikel 153 des Vertrags von Lissabon fallen Richtlinien zum grundlegenden Arbeits- und Gesundheitsschutz:

- Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG
- Benutzung von Arbeitsmitteln 2009/104/EG
- Vibrations-Richtlinie 2002/44/EG und Lärm-Richtlinie 2003/10/EG
- Benutzung von PSA 89/656/EG

Die Betreiberpflichten sind hier als Mindestanforderungen zu verstehen, im nationalem Recht können höhere Sicherheitsstandards definiert werden. Die Entsprechungen im deutschen Rechtssystem sind nach der oben genannten Reihenfolge:

- Arbeitsschutzgesetz ArbSchG
- Betriebssicherheitsverordnung BetrSichV
- LärmVibrationsArbSchV
- PSA-Benutzungsverordnung PSA-BV

Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen an Roboteranlagen können zum einen Maßnahmen sein, die während der Konstruktion berücksichtigt werden, zum anderen können den Benutzer betreffende Maßnahmen ergriffen werden, wie beispielsweise die Vorschrift von Verhaltensregeln oder das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung. Die Maßnahmen, die während der Konstruktion getroffen werden, haben Vorrang vor allen anderen Maßnahmen und können in 3 Stufen eingeteilt werden [1]:

1. Unmittelbare Sicherheitstechnik - Die Gefährdungen sind konstruktiv zu beseitigen oder das Risiko zu minimieren.
2. Mittlere Sicherheitstechnik - Falls Gefährdungen durch konstruktive Maßnahmen nicht beseitigt werden können, sind Schutzeinrichtungen notwendig (siehe nächster Abschnitt).
3. Hinweisende Sicherheitstechnik - Falls sowohl die konstruktiven Maßnahmen als auch Schutzeinrichtungen keine vollständige Beseitigung der Gefährdungen ermöglichen, werden hinweisende Maßnahmen hinzugezogen. Der Benutzer wird beispielsweise über die Betriebsanleitung, Warneinrichtungen oder Restrisiken informiert oder gewarnt.

Schutzeinrichtungen

Eine Möglichkeit, sichere Roboter Arbeitszellen einzurichten, sind feststehende, trennende Schutzeinrichtungen. Feststehend bedeutet dabei, dass eine unlösbare Verbindung mit der Maschine oder der Umgebung besteht oder diese Verbindung nur mit einem Werkzeug zu lösen ist. So kann zum Schutz von Personen der Bewegungsraum von Robotern durch eine geeignete Umzäunung oder mechanische Anschläge eingeschränkt werden. Aber auch außerhalb einer Umzäunung

können Gefahren entstehen, beispielsweise durch fehlerhafte Bewegungen des Roboters. Bei der Risikobeurteilung einer Roboter Arbeitszelle müssen daher die Bereiche besonders betrachtet werden, in denen sich Personen aufhalten (können) [1]. Bewegliche, trennende Schutzeinrichtungen werden eingesetzt wenn Roboter Arbeitszellen für bestimmte Tätigkeiten durch Personen betreten werden (beispielsweise durch Schutztüren oder Rolltore). Beim Betreten der Arbeitszelle müssen gefährliche Bewegungen des Roboters automatisch gestoppt werden. Die Schutzeinrichtungen dürfen nicht einfach umgangen oder manipuliert werden können [1].

Für betretbare Roboter Arbeitszellen können ebenfalls berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) verwendet werden. Das sind beispielsweise Lichtschranken, Lichtvorhänge, Laserscanner oder Kamerasysteme. Wird die Arbeitszelle wieder verlassen, kann ein Quittierschalter außerhalb verwendet werden, um eine Lichtschranke wieder zurückzusetzen. Dies ist jedoch nur zulässig, solange der Gefahrenbereich ausreichend einsehbar ist. Bei großen, weiträumigen Anlagen müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden [1].

In Abbildung 2 auf Seite 2 ist der eingeschränkte Arbeitsraum eines Roboters in einer Roboter Arbeitszelle dargestellt. In Abbildung 3 auf Seite 2 sind mögliche Risikobereiche dieser Arbeitszelle hervorgehoben, in denen Kollisionen mit Objekten (gelb) oder Personen (orange) auftreten können.

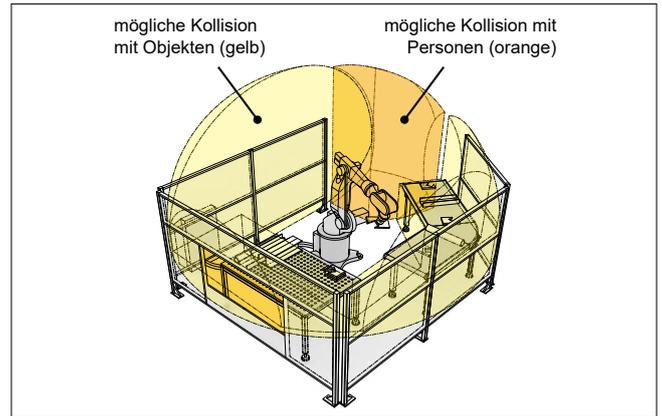


Abbildung 3 - Risikobereiche einer Roboter Arbeitszelle

Schutzeinrichtungen in der Norm

Die Normen der DIN EN ISO 12100 thematisieren die Sicherheit von Maschinen, spezielle Anforderungen an Industrieroboter sind in der DIN EN ISO 10218-1 [3] für einzelne Roboter und in der DIN EN ISO 10218-2 [4] für Robotersysteme festgelegt. Sicherheitsabstände für das Eingreifen von Personen in den robotischen Prozess sind in der ISO 13875 [5] definiert. Im Folgenden wird ein Überblick über die Anforderungen an einzelne Roboter Arbeitszellen gegeben.

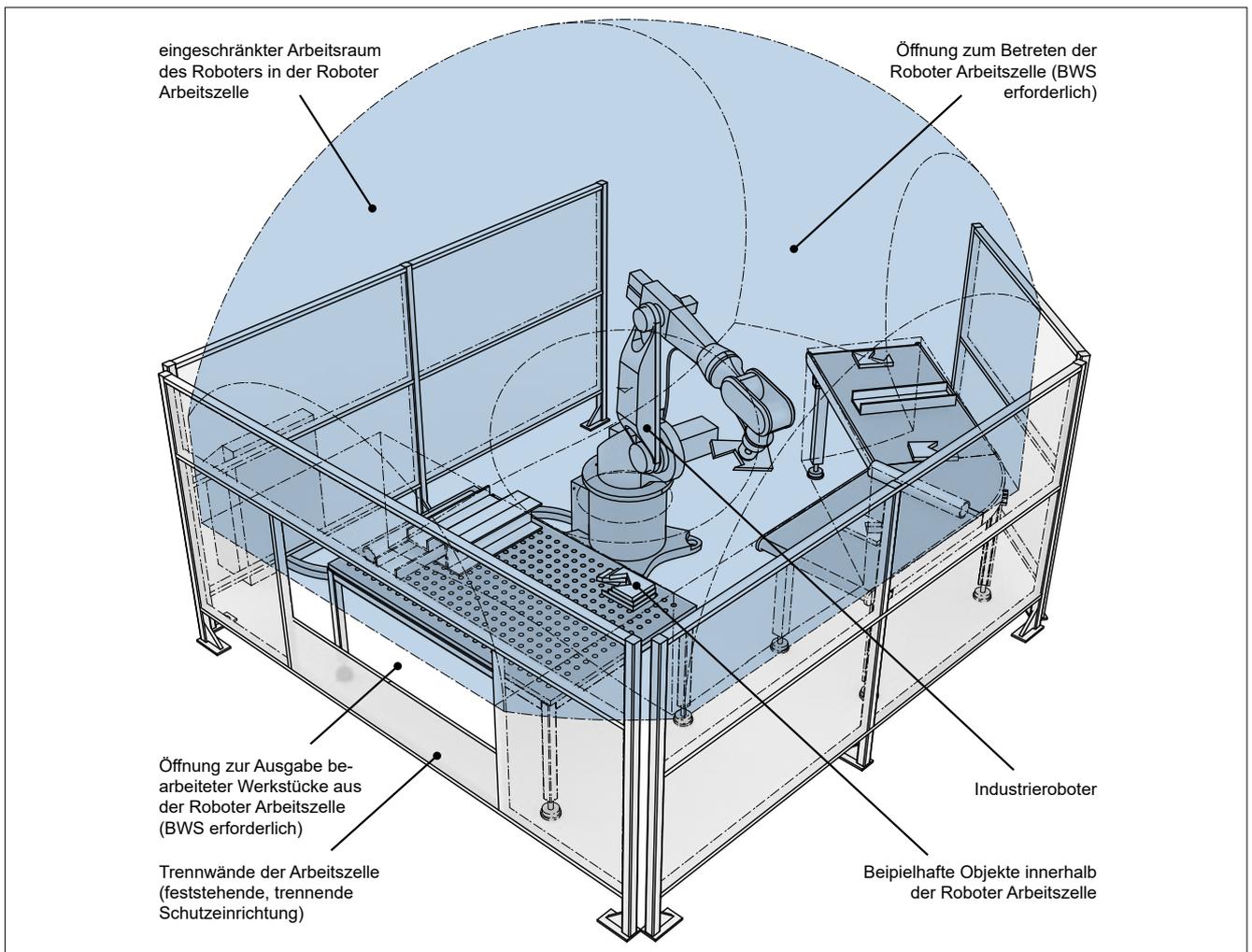


Abbildung 2 - Arbeitsraum einer Roboter-Arbeitszelle

Allgemeine Anforderungen - Gefährdungen aus Kraftübertragungskomponenten, wie beispielsweise Motorwellen oder Getriebe, müssen verhindert werden. Sind die Komponenten ungeschützt, müssen sie mit fest stehenden oder beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen versehen sein. Des Weiteren dürfen Energieausfälle oder Energieschwankungen nicht zu Gefährdungen führen. Gefährdungen, die durch Fehlfunktionen von Bauteilen verursacht werden, müssen minimiert werden. Von gefährlichen Energiequellen müssen Roboter getrennt werden. Die gespeicherte, gefährdende Energie, die beispielsweise in Kondensatoren oder Batterien vorhanden sein kann, muss auf kontrollierte Weise freigesetzt werden. Auswirkungen von elektromagnetischen Störungen, Funkfrequenzstörungen und elektrostatischen Entladungen müssen verhindert sein. Anforderungen an Stellteile sind der Schutz gegen unbeabsichtigte Betätigung, eine Zustandsanzeige, die Kennzeichnung der Funktionen sowie das Bedienen ausschließlich von einer Bedienstation aus (single point of control). Roboter müssen über Stoppfunktionen, eine Sicherheitshalt-Funktion sowie eine unabhängige Not-Halt Funktion verfügen. Die sicherheitsbezogene Leistungsfähigkeit des Steuerungssystems wird beschrieben durch das Performance Level (PL) nach ISO 13849-1 [6] und das Safety Integrity Level (SIL) nach IEC 62061-1 [7].

Steuerung der Geschwindigkeit - Die Geschwindigkeit des Roboters, insbesondere des Handgelenk-Mittelpunktes und des Werkzeugarbeitspunktes (TCP) muss einstellbar sein (vgl. Arbeitshilfe B.11.1.2 „Roboter Arbeitsräume“). Man unterscheidet dabei zwischen dem, Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit (<250mm/s), der sicherheitsbewerteten reduzierten Geschwindigkeit, sowie der sicherheitsbewerteten überwachten Geschwindigkeit, wobei beim Auftreten eines Fehlers oder dem Überschreiten eines Grenzwertes ein Sicherheitshalt ausgelöst werden muss.

Betriebsarten - Es wird zwischen mehreren Betriebsarten unterschieden, die durch einen Schalter auswählbar sind. Im automatischen Betrieb führt der Roboter das Anwenderprogramm aus, wobei die Schutzmaßnahmen funktionsfähig sein müssen. In der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit (T1) wird das Eingreifen von Personen ermöglicht. Diese Betriebsart findet insbesondere beim Programmieren des Roboters, während der Programmverifizierung sowie für Instandhaltungsarbeiten Verwendung. Die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit von >250mm/s (T2) wird ausschließlich zur Programmverifizierung angewendet.

Handbediengeräte - Handbediengeräte bieten die Möglichkeit, den Roboter aus dem geschützten Bereich aus zu steuern. Die Geschwindigkeit der Roboterbewegung muss hierbei reduziert sein. Es muss eine dreistufige Zustimmungseinrichtung vorhanden sein, die beispielsweise in den Handgriff des Handbediengeräts integriert sein kann. Ebenso ist es notwendig, dass das Handbediengerät über eine Not-Halt Funktion verfügt. Der Automatikbetrieb darf nicht ausschließlich durch das Handbediengerät aktiviert werden. Für den Fall von kabellosen oder abnehmbaren Programmierhandgeräten müssen visuelle Anzeigen signalisieren, ob das Gerät aktiv ist. Beim Kommunikationsverlust muss ein Sicherheitshalt ausgelöst werden.

Steuerung simultaner Bewegung - Mit einem Handbediengerät können mehrere Robotersteuerungen verbunden sein, sodass die Roboter unabhängig voneinander oder gleichzeitig bewegt werden können. Zu den konstruktiven Sicherheitsanforderungen an Robotersysteme mit simultanen Bewegungen gehört, dass sich die Roboter in der gleichen Betriebsart befinden. Die Roboter müssen ausgewählt werden, um bewegt werden zu können. Zudem muss eine Anzeige vorhanden sein. Zur Fehlerbeseitigung oder in Testphasen können Roboter in einen „servo-abgeschalteten“ Zustand überführt werden, sodass die abgeschalteten Roboter nicht in der simultanen Bewegung enthalten sind.

Anforderungen an den kollaborierenden Betrieb - Für den kollaborierenden Betrieb (Zusammenarbeit mit Personen) müssen erweiterte Anforderungen erfüllt werden. Roboter müssen in diesem Fall mit einer visuellen Anzeige ausgestattet sein, die den kollaborierenden Betrieb anzeigt. Sobald sich eine Person im Kollaborationsraum befindet, muss die Bewegung des Roboters anhalten. Der Automatikbetrieb kann nach dem Verlassen des Kollaborationsraumes wieder aufgenommen werden. Als Alternative ist es möglich, dass der Roboter zunächst seine Geschwindigkeit verringert, bevor der Stillstand erreicht wird. Eine mögliche Handführung muss sich am Endeffektor befinden und mit einem Not-Halt und einer Zustimmungseinrichtung ausgerüstet sein. Eine Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung muss sicherstellen, dass eine festgelegte Geschwindigkeit sowie ein festgelegter Abstand zur Bedienperson eingehalten wird. Das Erkennen eines Ausfalls muss zu einem Sicherheitshalt führen. Für Roboter werden Leistungs- und Kraftbegrenzungen durch inhärente Konstruktion oder Steuerung vorgesehen. Sobald ein Grenzwert überschritten wird, muss ein Sicherheitshalt ausgelöst werden. Zu Berücksichtigen ist hierbei, dass ein Roboter lediglich eine Komponente im kollaborierenden Robotersystem ist und für den sicheren kollaborierenden Betrieb eine Risikobeurteilung durchgeführt werden muss.

Schutz bei Singularitäten - Bei Singularitäten besteht die Gefahr, dass sehr langsame Bewegungen des Endeffektors sehr hohe Gelenkgeschwindigkeiten verursachen können (vgl. Arbeitshilfe B.11.1.2 „Roboter Arbeitsräume“). Um dies zu vermeiden muss entweder die Bewegung des Roboters gestoppt werden und eine Warnung erfolgen, bevor der Roboter eine Singularität erreicht, oder es wird ein akustisches oder visuelles Warnsignal ausgelöst und zeitgleich die Singularität bei einer Geschwindigkeitsbegrenzung für jedes Glied weiter durchlaufen. Nur für den Fall einer möglichen Steuerung der Singularität ohne gefährdende Bewegungen, sind keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.

Literatur

- [1] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Information 209-074, Industrieroboter, 2015.
- [2] https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en (aufgerufen 27.10.2021)
- [3] Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011)
- [4] Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 2: Robotersysteme und Integration (ISO 10218-2:2011)
- [5] Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen (ISO 13857:2008)
- [6] Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze (ISO 13849-1:2015)
- [7] Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme (IEC 62061:2005 + A1:2012)