

SICK AG WHITEPAPER

SAFE ROBOTICS – DIE SICHERHEIT IN KOLLABORATIVEN
ROBOTERSYSTEMEN

2018-06

AUTOREN

Fanny Platbrood

Product Manager Industrial Safety Systems, Marketing & Sales
bei der SICK AG in Waldkirch/Deutschland

Otto Görnemann

Manager Machine Safety & Regulations
bei der SICK AG in Waldkirch/Deutschland

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung.....	3
Mensch-Maschine-Interaktion und Sicherheit	3
Definitionen – Terminologie	3
Normen für Roboteranwendungen	3
Koexistenz	4
Kooperation	4
Kollaboration	5
Normen und Anforderungen an sichere kollaborative Roboteranwendungen.....	5
Grundlegende Anforderungen	5
Kollaborative Betriebsarten nach ISO 10218-2 und ISO/TS 15066	6
Risikobeurteilung	7
Risikominderung	7
Fazit.....	7

Einleitung

In den vergangenen Jahren haben industrielle Automationsanwendungen in den Bereichen Antriebssysteme und Objekterkennung große Fortschritte gemacht und so den Weg in ein neues Zeitalter der Interaktion zwischen Mensch und Maschine geöffnet.

Was die funktionale Sicherheit und die damit verbundenen Normen wie IEC 61508, IEC 62061 und ISO 13849-1/-2 angeht [1, 2, 3, 4], erlauben neu entwickelte Roboter mit optimierten Funktionen mittlerweile eine enge Zusammenarbeit mit dem Menschen im selben Arbeitsraum. Wenn im Industriebereich die Fähigkeiten von Menschen mit denen von Robotern kombiniert werden, führt dies zu Fertigungslösungen, die sich u. a. durch höhere Qualität, geringere Kosten, bessere Ergonomie und schnellere Arbeitszyklen auszeichnen (Stichwort Industrie 4.0).

Ausgehend vom derzeitigen Stand der internationalen Normen, die sich mit der Sicherheit von Industrierobotern (ISO 10218-1/-2) [5, 6] und speziell von Robotern für den Kollaborationsbetrieb beschäftigen (ISO/TS 15066) [7], werden in diesem Whitepaper die Richtlinien erläutert, die in diesen Normen enthalten sind und für die Entwicklung sicherer kollaborativer Roboterapplikationen gelten. Darüber hinaus zeigt das Whitepaper die Grenzen der aktuellen Technologien auf und gibt einen Ausblick auf Anforderungen und anstehende Entwicklungen.

Mensch-Maschine-Interaktion und Sicherheit

In der industriellen Fertigung wächst der Bedarf an flexiblen, autonom arbeitenden Maschinen, die sich schnell und effizient an geänderte Produktionsbedingungen anpassen lassen.

Um Personen vor den Gefahren zu schützen, die sich aus der Geschwindigkeit, Beweglichkeit und Kraft von Robotern ergeben, führen Roboter ihre Arbeiten üblicherweise hinter einem Schutzzaun aus. Wenn jedoch eine enge Interaktion zwischen Mensch und Maschine gewünscht ist, kann diese effektive Standardmethode zur physischen Trennung der Gefahrenquelle von der gefährdeten Person nicht eingesetzt werden. Aus diesem Grund müssen alternative Maßnahmen zur Risikominderung angewandt werden.

Definitionen – Terminologie

Die Interaktion von Menschen mit aktiven Robotern und roboterähnlichen Geräten lässt sich anhand von zwei Interaktionsparametern charakterisieren: Raum und Zeit. Gibt es weder einen gemeinsamen Raum noch eine gemeinsame Zeit, in der Mensch und aktiver Roboter agieren, stellen die Roboterbewegungen kein Risiko dar, und die Situation gilt als „nicht interaktiv“. Situationen, in denen Mensch und Roboter sich zwar einen gemeinsamen Raum teilen, jedoch zu unterschiedlichen Zeiten, werden als „kooperativ“ bezeichnet. Für Situationen, in denen Mensch und Roboter zu bestimmten Zeiten im selben Raum arbeiten, wurde der Begriff „kollaborativ“ festgelegt.

Anwendung	Unterschiedlicher Arbeitsraum	Gemeinsamer Arbeitsraum
Sequenzielle Bearbeitung	(keine Interaktion)	Kooperation
Gleichzeitige Bearbeitung	Koexistenz	Kollaboration

Normen für Roboteranwendungen

Region	Risikobeurteilung	Roboter	Robotersysteme und Integration	Kollaborative Roboter
China	GB/T 15706-2012	GB 11291.1-2011	GB 11291.2-2013	GB 11291.2:2013
Südkorea		KS B ISO 10218-1	KS B ISO 10218-2	
Japan	JIS B9700	JIS B8433-1	JIS B8433-2	JIS TS B0033
USA	ANSI/ISO 12100, ANSI B11.0	ANSI/RIA R15.06 (Teil 1)	ANSI/RIA R15.06 (Teil 2)	RIA TR R15.606
Europa	EN ISO 12100	EN ISO 10218-1	EN ISO 10218-2	ISO/TS 15066
Taiwan		CNS 14490-1 B8013-1	CNS 14490-2 B8013-2	
Kanada	CSA Z432, CAN/CSA-Z1002	CAN/CSA-Z434 (Teil 1)	CAN/CSA-Z434 (Teil 2)	
Brasilien	ABNT NBR ISO 12100	ABNT NBR ISO 10218-1/2	ABNT NBR ISO 10218-1/2	

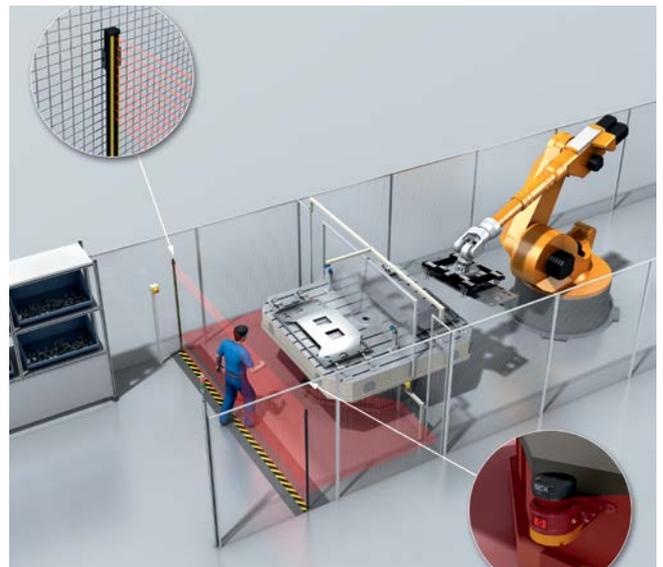
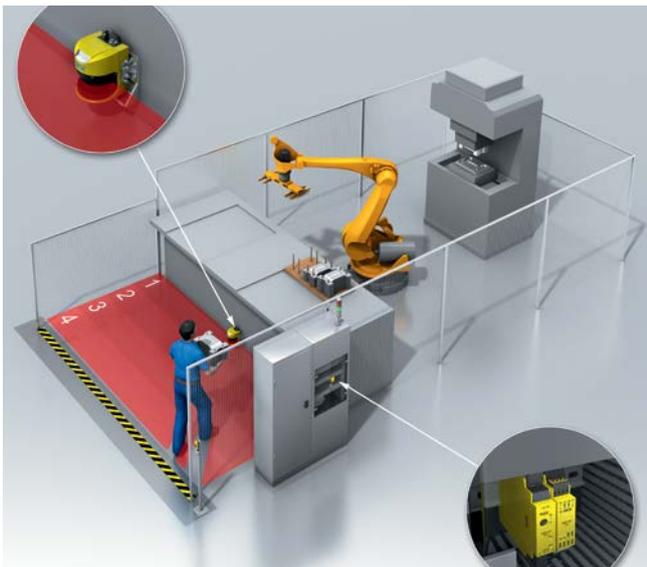
Koexistenz

Auch in Industrieroboteranwendungen, in die während des Produktionsprozesses keine Person eingreifen muss, ist es erforderlich, dass ein Bediener den Arbeitsraum des Roboters z. B. für Wartungsarbeiten betritt. In solchen Anwendungen müssen der Arbeitsraum umzäunt und die Zugangstüren verriegelt sein. Die Verriegelung muss sicherstellen, dass gefährliche Roboterfunktionen ausgeschaltet werden, wenn ein Bediener den Gefahrenbereich betritt. Dieser Zustand muss erhalten bleiben, solange sich eine Person in diesem Gefahrenbereich aufhält oder die Zugangstüren geöffnet sind.



Kooperation

Weit verbreitete Anwendungen für Industrieroboter sind Arbeitsvorgänge, bei denen ein Bediener die Roboterzelle be- und entlädt. In solchen kooperativen Anwendungsszenarien führen Bediener und Roboter die im gemeinsamen Arbeitsbereich erforderlichen Arbeitsschritte zu unterschiedlichen Zeiten durch. Auch hier sind technische Schutzmaßnahmen erforderlich. Abhängig von der Gestaltung des Be- und Entladesystems bietet sich der Einsatz optoelektronischer Schutzeinrichtungen wie Sicherheits-Lichtvorhänge und Sicherheits-Laserscanner an.



Kollaboration

Bei bestimmten Anwendungen ist es dagegen erforderlich, dass Mensch und aktiver Roboter gleichzeitig in einem gemeinsamen Arbeitsraum interagieren. In diesen sogenannten kollaborativen Szenarien müssen Kraft, Geschwindigkeit und Bewegungsbahnen des Roboters beschränkt werden. Zur Risikominderung können – sofern vorhanden – inhärente Schutzmaßnahmen genutzt werden oder durch die Anwendung zusätzlicher Maßnahmen wie Begrenzung des Drehmoments durch die Leistungsfähigkeit der Antriebe oder sicherheitsbezogene Teile der Systemsteuerung. Kraft, Geschwindigkeit und Bewegungsbahnen müssen außerdem in Abhängigkeit vom tatsächlichen Risikograd überwacht und gesteuert werden. Dieser Risikograd ist auch abhängig vom Abstand zwischen Mensch und Roboter. Für diese Aufgabe sind zuverlässige Sensoren erforderlich, die Personen detektieren bzw. deren Geschwindigkeit und Abstand zum Gefahrenbereich ermitteln. Im Wesentlichen müssen diese Sensoren die zukünftigen Herausforderungen meistern, die mit der Entwicklung von Kollaborationstechnologien einhergehen.



Normen und Anforderungen an sichere kollaborative Roboteranwendungen

Das in Teil 2 von ISO 10218 beschriebene Robotersystem besteht aus einem Industrieroboter, seinem Endeffektor sowie beliebigen Maschinenteilen, Anlagen, Geräten, externen Hilfsachsen und Sensoren, die den Roboter bei der Ausführung seiner Aufgaben unterstützen.

Grundlegende Anforderungen

An das Design kollaborativer Anwendungen werden einige grundlegende Anforderungen gestellt.

- Der Kollaborationsraum muss Folgendes erfüllen:
 1. Er muss so ausgelegt sein, dass der Bediener die Aufgabenstellungen problemlos und sicher ausführen kann, ohne dass von Zusatzausrüstungen oder anderen Maschinen im Arbeitsbereich weitere Gefahren ausgehen.
 2. Es dürfen keine Risiken durch Schnitt-, Quetsch- oder Stichverletzungen bestehen und auch keine andere Risiken wie heiße Oberflächen, Teile unter Spannung, die nicht durch eine Verringerung der Geschwindigkeit, Kraft oder Leistung des Robotersystems gemindert werden können. Dies gilt selbstverständlich auch für die jeweiligen Haltevorrichtungen (Werkzeuge) und Werkstücke.
- Der Arbeitsraum des Roboters muss einen Mindestabstand zu angrenzenden begehbaren Bereichen vorsehen, in denen die Gefahr des Quetschens oder Einklemmens besteht. Ist dies nicht möglich, müssen zusätzliche Schutzeinrichtungen verwendet werden.
- Wann immer möglich, ist eine sichere Achsbegrenzung vorzusehen, um die Anzahl der freien Bewegungen des Roboters im Raum einzuschränken und damit das Verletzungsrisiko für Personen zu reduzieren.

Kollaborative Betriebsarten nach ISO 10218-2 und ISO/TS 15066

Die technische Spezifikation ISO/TS 15066 nennt vier kollaborative Betriebsarten, die je nach Anforderung der jeweiligen Anwendung und dem Design des Robotersystems entweder einzeln oder kombiniert angewandt werden können:



- Überwachter Sicherheitshalt

Der Roboter wird während der Interaktion mit dem Bediener im Kollaborationsraum angehalten. Dieser Zustand wird überwacht, wobei der Antrieb weiterhin eingeschaltet bleiben kann.



- Handführung

Die Sicherheit der Mensch-Roboter-Kollaboration wird dadurch gewährleistet, dass der Roboter bei sicher reduzierter Geschwindigkeit bewusst von Hand geführt wird.



- Kraft- und Leistungsbegrenzung – der Weg in Richtung Kollaboration

Der physische Kontakt zwischen dem Robotersystem (einschließlich des Werkstücks) und einer Person (Bediener) kann entweder beabsichtigt oder unbeabsichtigt erfolgen. Die erforderliche Sicherheit wird erreicht durch die Begrenzung der Leistung und Kraft auf Werte, bei denen keine Verletzungen oder Gefährdungen zu erwarten sind. Für die leistungs- und kraftbegrenzte Kollaboration sind Roboter erforderlich, die speziell für diese Betriebsart entwickelt wurden. Die technische Spezifikation ISO/TS 15066 beinhaltet Höchstwerte (biomechanische Belastungsgrenzen), die bei der Kollision des Roboters mit Körperteilen nicht überschritten werden sollen.



- Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachung – die Zukunft:

Geschwindigkeit und Bewegungsbahnen (Trajektorie) des Roboters werden überwacht und in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und Position des Bedieners im abgesicherten Raum angepasst.

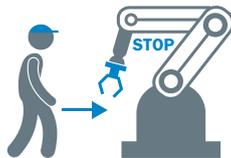
Bei kollaborativen Applikationen müssen je nach Anwendung eine oder mehrere der hier aufgeführten Methoden ausgewählt werden, um die Sicherheit aller Personen, die potenziellen Gefahren ausgesetzt sind, zu gewährleisten.

Die aktuellen Anforderungen an den Betrieb kollaborativer Robotersysteme beinhalten den Einsatz eines geeigneten sicherheitsbezogenen Steuerungssystems, das die Anforderungen des PL d nach ISO 13849-1 erfüllt.

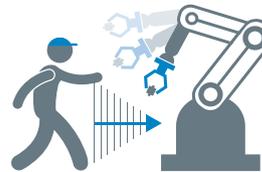
Validierungsaufwand bei kollaborativen Betriebsarten



Handführung



Überwachter
Sicherheitshalt



Abstands- und Geschwin-
digkeitsüberwachung



Kraft- und Leistungs-
begrenzung

Je enger die Interaktion zwischen Mensch und Roboter wird, desto höher wird der Validierungsaufwand für die Maßnahmen zur Risikominderung.

Risikobeurteilung

Der heutige Markt bietet eine große Vielzahl an Robotermodellen, von Standard-Industrierobotern bis hin zu Robotern, die speziell für den Kollaborationsbetrieb entwickelt wurden (kollaborierende Roboter, auch „Cobot“ genannt). Wenn Roboter in Systeme integriert werden (mit Endeffektoren etc.), muss eine Risikobeurteilung des gesamten Robotersystems (Gesamtmaschine) durchgeführt werden. Die daraus abzuleitenden Risikominderungsmaßnahmen sollen dann einen sicheren Kollaborationsbetrieb gewährleisten. Das ist auch notwendig, wenn der jeweilige Roboter bereits über konstruktive Maßnahmen zur Risikominderung verfügt.

Risikominderung

Zu den inhärenten Schutzmaßnahmen, die bei kollaborierenden Robotern typischerweise zum Einsatz kommen, zählen u. a. folgende:

- Begrenzung der maximal zulässigen Kräfte bzw. Drehmomente, z. B. durch die Dimensionierung des Antriebs
- Entsprechende Gestaltung der Roboteroberflächen, um die Druckeinwirkung oder die übertragenen Kollisionskräfte zu reduzieren (z. B. abgerundete Roboterflächen, energieabsorbierende Polsterung)

Die Effektivität solcher inhärenter Schutzmaßnahmen kann allerdings durch das Design des Roboterwerkzeugs, der Haltevorrichtung, des Werkstücks oder anderer Maschinen innerhalb des kollaborativen Arbeitsbereiches wesentlich beeinträchtigt werden.

Weitere Schutzmaßnahmen können dafür angewendet werden:

- Begrenzung der Leistung (Drehmoment), Kraft oder Geschwindigkeit durch sicherheitsbezogene Teile des Steuerungssystems
- Anwendung von druckempfindlichen Schutzeinrichtungen (PSPE) oder berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (ESPE) zum Anhalten oder Umkehren von Roboterbewegungen

Fazit

In Zukunft werden Mensch und Roboter bei Automatisierungsanwendungen, bei denen große Flexibilität gefordert ist, noch enger zusammenarbeiten (z. B. in der Kleinserienfertigung mit hoher Variabilität). An die Stelle manueller Montagevorgänge tritt die Mensch-Roboter-Kollaboration, in der sich die Fähigkeiten von Mensch und Maschine in optimaler Weise ergänzen. In der Folge kann die Ergonomie von Arbeitsplätzen, an denen eine hohe Produktivität gewünscht ist, verbessert werden. Die für die Sicherheit erforderliche Begrenzung der Geschwindigkeit und der Kraft muss mit der gewünschten Produktivität in Einklang gebracht werden.

Die Gestaltungsleitsätze in ISO/TS 15066 ergänzen die Anforderungen, die bereits in ISO 10218-1/-2 formuliert wurden, und schaffen eine Grundlage für das Design von kollaborativen Roboteranwendungen.

Die aktuell am Markt befindlichen Produkte und Geräte können die Anforderungen, die heute an eine sichere und ungehinderte Mensch-Roboter-Kollaboration gestellt werden, nicht vollständig erfüllen. Die Entwicklung neuer Sensor- und Robotertechnologien sowie intelligenter Steuerungssysteme ist die Voraussetzung für künftige kollaborative Roboteranwendungen.

Keine Anwendung, die mit Mensch-Roboter-Kollaboration heute gelöst wird, gleicht der anderen. Eine spezifische Risikobeurteilung ist unumgänglich, auch wenn die eingesetzten Roboter speziell für die Interaktion mit dem Menschen entwickelt wurden. Die Tatsache, dass der Roboterhersteller Maßnahmen zur inhärent sicheren Konstruktion in sein Produkt integriert, entbindet den Systemintegrator nicht von seiner Verpflichtung als Maschinenhersteller, die potenziellen Risiken zu bewerten und zu reduzieren. Systemhersteller und Integratoren von Robotersystemen müssen die vom Roboterhersteller vorgenommenen konstruktiven Schutzmaßnahmen sorgfältig prüfen, die verbleibenden Gefährdungen und Risiken berücksichtigen und das Robotersystem entsprechend dieser Risikobeurteilung gestalten. Als Ergebnis der Risikobeurteilung sind erfahrungsgemäß zusätzliche Maßnahmen zu Risikominderung (z. B. Sicherheits-Lichtvorhänge oder Sicherheits-Laserscanner usw.) durch den Systemhersteller zu implementieren, um eine rundum sichere kollaborative Anwendung zu erreichen.

REFERENZEN

- [1] IEC 61508-x:2010 – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – 7 Teile. International Electrotechnical Commission. IEC Central Office – P.O. Box 131 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland.
- [2] IEC 62061:2015 – Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme. International Electrotechnical Commission. IEC Central Office – P.O. Box 131 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [3] ISO 13849-1:2015 – Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [4] ISO 13849-2:2003 – Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [5] ISO 10218-1:2011 – Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [6] ISO 10218-2:2011 – Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Robotersysteme und -integration. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland
- [7] ISO/TS 15066:2015 – Robots and robotic devices – Collaborative robots. ISO International Organization for Standardization. P.O. Box 56 – CH-1211 Geneva 20 – Switzerland

→ www.sick.com/safe-robotics