



Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

PILZ
THE SPIRIT OF SAFETY

White paper

Stand: März 2018

Haftungsausschluss

Wir haben unser white paper sehr sorgfältig zusammengestellt. Es enthält Informationen über unser Unternehmen sowie über unsere Produkte. Alle Angaben haben wir nach dem heutigen Stand der Technik und bestem Wissen und Gewissen gemacht. Dennoch können wir für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben, sofern uns nicht der Vorwurf grober Fahrlässigkeit trifft, keine Haftung übernehmen, da sich trotz aller Sorgfalt Fehler nicht vollständig vermeiden lassen. Insbesondere haben die Angaben nicht die rechtliche Qualität von Zusicherungen oder zugesicherten Eigenschaften. Für Hinweise auf Unstimmigkeiten sind wir dankbar.

Urheberrecht

Alle Rechte an dieser Publikation sind der Pilz GmbH & Co. KG vorbehalten. Technische Änderungen behalten wir uns vor. Kopien für den innerbetrieblichen Bedarf des Benutzers dürfen angefertigt werden. Die verwendeten Produkt-, Waren- und Technologiebezeichnungen sind Warenzeichen der jeweiligen Firmen.

Pilz GmbH & Co. KG
Felix-Wankel-Straße 2
73760 Ostfildern
Deutschland

© 2018 by Pilz GmbH & Co. KG, Ostfildern,
1. Auflage

Auf einen Blick

Jahrelang gingen Mensch und Roboter aus Gründen der Sicherheit räumlich getrennte Wege. Heute sind Produktivitätssteigerungen sowie der demografische Wandel mit zunehmend älteren Erwerbstätigen Antrieb, um das Potenzial von Mensch-Roboter-Kollaborationen (MRK) zu heben. Wenn sich jedoch Mensch und Roboter einen Arbeitsraum teilen, dann spielt das Thema Sicherheit eine zentrale Rolle. Die Anforderungen an die Sicherheitstechnik hängen stets von der jeweiligen Applikation ab. Erst in der Gesamtbetrachtung von Normen, Roboter, Werkzeug und Werkstück sowie dazugehörigen Maschinen wie etwa Fördertechnik entstehen sichere Roboterzellen. Das bedeutet in der Praxis, dass jede Applikation eine eigene sicherheitstechnische Betrachtung erfordert.

Das vorliegende Whitepaper stellt Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Umsetzung einer sicheren Mensch-Roboter-Kollaboration im industriellen Umfeld vor.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| 1. Faszination Roboter | 5 |
| 1.1. Der Roboter im 20. Jahrhundert | 5 |
| 1.2. Roboter im industriellen Umfeld | 5 |
| 1.3. Unterschied Service-Roboter und Industrie-Roboter | 6 |
| 1.4. Der Markt für Industrie-Roboter | 6 |
| 2. Von der Kooperation zur Kollaboration..... | 7 |
| 2.1. Normenlage..... | 7 |
| 2.2. Neue Anforderungen an die Sicherheit..... | 7 |
| 3. Sensorik-Baukasten für sichere Roboter | 9 |
| 3.1. Sensoren für den sicheren Zugang zu Roboterzellen | 9 |
| 3.2. Kamerabasierte Sicherheit für MRK | 11 |
| 3.3. Weiterentwicklungen in der Sensorik..... | 11 |
| 4. Schritt für Schritt zur sicheren Roboterapplikation | 12 |
| 4.1. Am Anfang steht die Risikobeurteilung | 12 |
| 4.2. Die zentrale Rolle der Validierung | 13 |
| 4.3. Berühren ohne zu verletzen | 14 |
| 4.4. Messung von Kraft und Druck gemäß ISO/TS 15066 | 14 |
| 5. Zusammenfassung..... | 15 |

1. Faszination Roboter

Kaum eine Maschine beflügelt die Fantasie des Menschen so sehr wie Roboter. Sie gelten als Perfektionierung von Maschinen aufgrund ihrer größeren Freiheitsgrade mit Blick auf die Vielfalt und den Umfang ihrer Aktivitäten. Letztlich drücken Roboter das Streben des Menschen nach Maschinen aus, die am Leben des Menschen teilhaben und ihn in jeder Situation assistieren.

1.1. Der Roboter im 20. Jahrhundert

Der Begriff „Roboter“ selbst entstand im 20. Jahrhundert. Er stammt vom tschechischen Begriff „Robota“ ab, der dort für „Zwangsdienst“ oder „Fronarbeit“ steht. Der tschechische Schriftsteller Karel Čapek veröffentlichte 1921 ein Drama über ein Unternehmen, das künstliche Menschen herstellt. Darin wurde der Begriff Roboter erstmals im Zusammenhang mit Maschinen verwendet.

Damit wurde auch eine zunehmend kritische Auseinandersetzung mit autonom handelnden Maschinen angestoßen. Zentrale Frage hierbei: Wie kann bei einem engen Miteinander von Mensch und Maschine die Sicherheit von Mensch und Maschine sicher gestellt werden? Der russisch-amerikanische Wissenschaftler und Science-Fiction-Schriftsteller Isaac Asimov beschrieb 1942 in einer Kurzgeschichte Roboter-Gesetze als „Grundregeln des Roboterdienstes“. Diese lauten:

1. Ein Roboter darf keinen Menschen verletzen,
2. Ein Roboter muss gehorchen,
3. Ein Roboter muss eigene Existenz schützen (außer wenn dies in Widerspruch zu Gesetz 1 oder 2 steht).

1.2. Roboter im industriellen Umfeld

Industrieroboter sind eine Erfindung aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. In den 50er Jahren läutete der Amerikaner George Devol mit seinem Patententwurf für „eine programmierte Übergabe von Artikeln“ diese Ära ein. 1961 kam mit dem Unimate erstmals ein Roboter bei General Motors zum Einsatz.

Um den Schutz des Werkers zu gewährleisten, setzte man auf eine strikte Trennung von Mensch und Maschine. Der Roboter sollte die menschliche Arbeitskraft ersetzen und blieb für die Erledigung seiner Aufgaben eingehaust in einer Zelle. Getrennte Arbeitsräume und keine unmittelbare Interaktion zwischen Mensch und Maschine: Diese Prinzipien blieben für über 50 Jahren unverändert. Den Vorstellungen, dass Mensch und Roboter eng zusammenarbeiten, erfüllten diese Roboterapplikationen nicht.

Heute werden Roboter vielfältig eingesetzt. Sie kommen nicht nur im industriellen Umfeld, sondern spielen auch in den Bereichen Forschung und Medizin eine immer wichtigere Rolle. Für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete lassen sich verschiedene Roboterarten differenzieren. Im industriellen Umfeld ist der Industrie-Roboter von Bedeutung, um Menschen und Maschinen bei ihrer Arbeit zu unterstützen.

1.3. Unterschied Service-Roboter und Industrie-Roboter.

Service-Roboter und Industrie-Roboter unterscheiden sich in mehreren Aspekten.

Die ISO 8373 definiert Industrie-Roboter als automatisch gesteuerter, frei programmierbarer Mehrzweck-Manipulator, der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist und zur Verwendung in der Automatisierungstechnik entweder an einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein kann. Der Industrieroboter umfasst nach ISO 8373 den Manipulator (Roboterarm), einschließlich Antriebe; den Controller, einschließlich Bediengerät und jegliche Kommunikationsschnittstelle (Hardware und Software).

Zu unterscheiden sind im industriellen Bereich außerdem Robotersystem, Roboterzelle und Roboterlinie:

Das System umfasst den Industrieroboter, Endeffektor sowie alle Maschinen, Ausrüstungen, Geräte, externen Hilfsachsen oder Sensoren, die den Roboter unterstützen, seine Aufgabe zu erfüllen. Eine Roboterzelle besteht aus einem oder mehreren Robotersystemen plus der dazugehörigen Maschinen und Ausrüstung sowie dem dazugehörigen Schutzbereich und der Schutzmaßnahmen. Eine industrielle Roboterlinie schließlich besteht aus mehreren Roboterzellen inklusive der dazugehörigen Maschinen und Ausrüstung sowie dem dazugehörigen Schutzbereich und der Schutzmaßnahmen.

Service-Roboter dagegen sind Roboter, die nützliche Aufgaben für Menschen oder Geräte ausführen, nicht berücksichtigt sind Automatisierungsanwendungen im industriellen Umfeld. Wie der Name schon sagt, erfüllt der Service-Roboter Dienstleistungen für den Menschen. Dazu zählen beispielsweise Haushaltsroboter oder persönliche Mobilitätshelfer für den privaten Bereich oder Lieferroboter in Büros und Krankenhäusern oder Feuerlöschroboter.

1.4. Der Markt für Industrie-Roboter

Der Markt für Industrie-Roboter verzeichnet stetig einen Anstieg: Im Jahr 2015 erreichte er einen Rekordanstieg um 12% weltweit, davon 16% in Asien, 10% in Europa und 15% in Nordamerika. Im Jahr 2018 werden an die 2,3 Millionen Roboteranlagen eingesetzt werden. Dahingegen stufen Experten den Markt für Service-Roboter derzeit noch als geringer ein: Im Jahr 2015 waren nur 5% der weltweit verkauften Roboter Service-Roboter. Aber auch dieser Trend wird sich Experten zufolge verändern: Die erwartete Wachstumsrate in den Jahren 2016 bis 2022 beträgt 60%, das bedeutet einen Anstieg auf 3,3 Milliarden US Dollar.

2. Von der Kooperation zur Kollaboration

Mit einer neuen Art von Robotern, den sogenannten Cobots, soll eine engere Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine möglich werden. Der Name Cobot stammt aus der Verbindung der Worte „Collaboration“ und „Robot“ und beschreibt Roboter, die für die direkte Interaktion mit einem Menschen konzipiert wurden. Bei der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) teilen sich Mensch und Roboter einen Arbeitsraum. So werden die Stärken bzw. Vorteile der Maschine wie Zuverlässigkeit, Ausdauer und Wiederholgenauigkeit mit den Stärken des Menschen, also Geschicklichkeit, Flexibilität und Entscheidungsvermögen kombiniert. Bei solchen Mensch-Roboter-Kollaborationen überschneiden sich die Arbeitsräume von Mensch und Roboter räumlich und zeitlich. Typische Einsatzgebiete sind „Pick and Place“-Applikationen, das Handling zwischen verschiedenen Produktionsschritten oder „Follow-the-Line“-Anwendungen, bei denen der Roboter eine vorgeschriebene Bewegungsbahn exakt ausführen muss (z.B. beim Nachfahren einer Kontur oder bei Klebearbeiten).

2.1. Normenlage

Roboter sind unvollständige Maschinen im Sinne der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Für detaillierte Sicherheitsanforderungen stehen die beiden Normen ISO 10218 „Safety of Industrial Robots“ Teil 1: „Robots“ und Teil 2: „Robot systems and integration“ zur Verfügung. Diese Normen gelten nicht für Roboter außerhalb des industriellen Bereichs.

Die deutschen Fassungen beider Teile sind als DIN EN ISO 10218-1/-2 veröffentlicht und als harmonisierte C-Normen unter der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG gelistet. Diese internationalen Normen wurden unter Berücksichtigung der von Industrierobotern und Industrierobotersystemen ausgehenden besonderen Gefährdungen erarbeitet. In Teil 2 „Robotersysteme und Integration“ finden sich auch Angaben zum kollaborierenden Betrieb. Bei der Planung einer MRK-Applikation ist die Auswahl des Roboters für den Systemintegrator ein wesentlicher Punkt. In der EN ISO 10218-1 sind auch sichere Antriebsfunktionen enthalten. Dazu zählen nach EN61800-5-2 (Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl - Teil 5-2: Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit) zum Beispiel: Sicherer Betriebshalt (SOS), Sichere begrenzte Geschwindigkeit (SLS), Sicherer Geschwindigkeitsbereich (SSR) und Sicher begrenztes Moment (SLT)- Die Anforderungen an "sicherheitsbezogene Teile der Steuerung" (Elektrik, Hydraulik, Pneumatik und Software) sind in der EN ISO10218-2 Robotersysteme und Integration im Kapitel 5.2 klar festgelegt. Die sicherheitsbezogenen Teile der Steuerung müssen so entworfen werden, dass diese PLd in Kategorie 3 (ISO 13849-1:2006) oder SIL2 mit Ein-Fehlertoleranz und einem MTTFd von mindestens 20 Jahren (IEC 62061:2005) entsprechen.

2.2. Neue Anforderungen an die Sicherheit

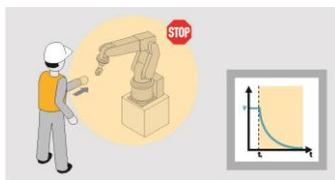
MRK-Applikationen stellen an die Sicherheit neue Anforderungen. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen „klassischen“, umhausten Roboterapplikationen und MRK ist, dass Kollisionen zwischen Maschine und Mensch ein reales Szenario sein können. Sie dürfen jedoch zu keinen Verletzungen führen. Voraussetzungen für ein verletzungsfreies Miteinander sind zum einen zuverlässigere Steuerungen und intelligente, dynamische Sensoren

am Roboter selbst. Der Roboter fühlt also, wenn oder bevor es zu einer Kollision kommt. Zum anderen müssen durch normative Grundlagen verlässliche Sicherheits-Standards gesetzt sein.

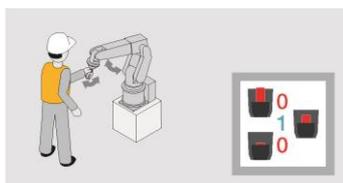
In der Praxis erwiesen sich die bestehenden Normen aber als nicht ausreichend, um eine tatsächliche Kollaboration von Mensch und Maschine, bei der sich die jeweiligen Arbeitsräume zeitlich und räumlich überschneiden können, sicher umzusetzen. Hier klaffte eine normative Lücke, die erst im Frühjahr 2016 durch die Veröffentlichung der Technischen Spezifikation ISO/TS 15066 „Robots and Robotic Devices - Collaborative industrial robots“ geschlossen werden konnte. In dem Dokument sind nun zum einen vier Kollaborationsarten als Schutzprinzipien genauer beschrieben. Zum anderen existieren nun detaillierte Angaben zu Schmerzschwellen für verschiedene Körperregionen. Wie alle TS ist auch diese Spezifikation ein internationaler Standard, der national umgesetzt wird.

MRK erfordern Schutzmaßnahmen, damit während des kollaborierenden Betriebs die Sicherheit des Menschen jederzeit sichergestellt ist. Dafür sind in der ISO/TS15066 vier Kollaborationsarten als Schutzprinzipien genauer beschrieben. Eine sichere MRK erfordert zum einen Robotersysteme, die speziell für die jeweilige Kollaborationsart konzipiert sind. Die Risikominderung kann unter Anwendung der unten beschriebenen Kollaborationsarten umgesetzt werden:

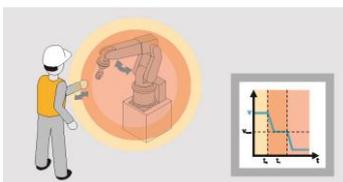
- Sicherheitsbewerteter überwachter Halt (Methode 1): Der Mensch hat nur Zugang zum stillstehenden Roboter. Eine Kollision ist damit ausgeschlossen.



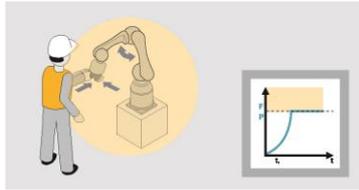
- Handführung (Methode 2): Der Mensch hat nur Zugang zum stillstehenden Roboter, der Mensch führt den Roboter manuell. Eine Kollision ist damit ausgeschlossen.



- Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (Methode 3): Der Mensch hat während des Betriebs Zugang zum Kollaborationsraum, seine Sicherheit wird durch den Abstand zum Roboter gewährleistet: Ist der Abstand zu gering, wird ein Sicherheitshalt ausgelöst. Eine Kollision ist damit ausgeschlossen.



- Leistungs- und Kraftbegrenzung (Methode 4): Hier hat der Mensch ebenfalls Zugang zum Kollaborationsraum, während der Roboter sich bewegt. Ein Kontakt zwischen Mensch und Roboter (beabsichtigt oder nicht) ist möglich!



Bei der Umsetzung einer sicheren Mensch-Roboter-Kollaboration kann der Systemintegrator eine oder eine Kombination aus diesen „Kollaborationsarten“ für seine Applikation auswählen. In der Praxis zeigt sich, dass sich mit der ISO/TS15066 Mensch-Roboter-Kollaborationen oft durch eine Kombination von „Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung“ und einer „Leistungs- und Kraftbegrenzung“ effizient umsetzen lassen. Wenn jedoch Kollisionen ein mögliches Szenario sein können, dann muss dennoch sichergestellt sein, dass die Berührung nicht zu einer Verletzung führt.

Die Technische Spezifikation macht zudem erstmals in ihrem Anhang A detaillierte Angaben zu Schmerzschwellen für verschiedene Körperregionen. Diese Werte bilden die Basis, um die eine schutzzaunlose Applikation, die der Methode 4 folgt, umsetzen zu können.

Als Mitglied in diesem Internationalen Normengremium hat Pilz mit Roboterherstellern, Integratoren, Prüfstellen (notified bodies, wie BG) und anderen Automatisierungsunternehmen aktiv an der Ausgestaltung dieser wegweisenden Technischen Spezifikation für die Mensch-Maschine-Kollaboration im industriellen Umfeld mitgearbeitet.

Allerdings gibt es durchaus Roboter-Applikation, die auch weiterhin nicht ohne einen Schutzzaun auskommen werden. Gründe sind zum Beispiel sehr spitze oder scharfkantige Werkzeuge oder Werkstücke oder wenn hohe Kräfteinwirkungen und Geschwindigkeiten für den Prozess benötigt werden.

3. Sensorik-Baukasten für sichere Roboter

Bei der technischen Umsetzung von Roboterapplikationen kommt der sicheren Sensorik eine Schlüsselrolle zu: Um allen Anwendungen in Punkto Sicherheit gerecht zu werden, ist ein Baukasten an Sensoren notwendig.

3.1. Sensoren für den sicheren Zugang zu Roboterzellen

Wenn sich Mensch und Roboter einen gemeinsamen Arbeitsraum teilen, dann wird versucht, die Sicherheit der Applikation durch Sicherheitskomponenten und -funktionen im oder am Roboter unterstützend zu realisieren. Beispielsweise werden sichere Bewegungsfunktionen im

Roboter mit Nahfeldsensoren, mit integrierter Momentenüberwachung im Roboter oder mit einer den Roboter umhüllenden taktilen Sensorik kombiniert. Während taktile Sensoren eine Berührung registrieren, können kapazitive, also berührungslos wirkende, Sensoren erkennen bevor es zur Kollision kommt. Die Bewegungen bei dieser Art von Roboterapplikation sind dabei im Allgemeinen deutlich langsamer als in vollautomatisierten Anwendungen.

Wenn das Eingreifen des Menschen in den Produktionsprozess prinzipiell nicht notwendig oder unerwünscht ist, werden Maschinen und Anlagen mit mechanischen räumlich trennenden Schutzeinrichtungen umgeben. Für solche Roboterzellen gilt, dass sie in der Regel nur für Service-Zwecke betreten werden muss. Für diesen Zugang sind Schutztüren geeignet, die ihrerseits jedoch mit Schutztürsensoren abgesichert werden müssen: Wird eine Schutztür geöffnet, erkennt der Sensor dies und erzeugt ein Abschaltsignal für die sichere Maschinensteuerung.

Je nach Anforderung, Einbausituation und applikativen Randbedingungen kommen verschiedene Betätigungsprinzipien und Bauarten zum Einsatz: Berührungslos sichere magnetische Sensoren stellen bei verdecktem Einbau eine sehr wirtschaftliche Lösung dar, während sichere RFID-basierte Sensoren, z.B. der Sicherheitsschalter PSENcode, eine maximale Freiheit bei der Montage ermöglichen und höchsten Manipulationsschutz gewährleisten.

Wenn Schutzeinrichtungen zum Beispiel bei engen Platzverhältnissen nah an einer gefährlichen Bewegung platziert werden müssen, besteht die Gefahr des gefährlichen Nachlaufs. Hier ist die Verwendung einer sicheren Zuhaltung unbedingt notwendig. Mechanische Zuhaltungen mit Federkraftverriegelung wie beispielsweise PSENmech oder integrierte sichere Schutztürsysteme wie PSENsgate, PSENmlock und PSENSlock übernehmen diese Aufgaben. Zu all diesen technischen Sensorprinzipien gibt es eine Vielzahl von Gerätevarianten, so dass beinahe alle denkbaren Überwachungsszenarien realisiert werden können.

In Bereichen des Roboter-unterstützten Automobilrohbaus kommen beispielsweise codierte Sicherheitsschalter PSENcode von Pilz zum Einsatz, die mit nur einem Sensor bis zu drei Positionen überwachen können. Einsatzgebiete sind hier die Schnittstellen zwischen Mensch und Roboter, wo auch manuelle Eingriffe notwendig sind, etwa zur Beschickung und Entnahme von Blechteilen der mit Schutzgittern umhausten Roboterzellen.

Bei Roboterapplikationen, bei denen beispielsweise eine menschliche Kontrolle, ein Einlegen von Teilen oder eine Nacharbeit erforderlich ist, werden ebenfalls oft berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen wie Sicherheitslichtvorhänge als Zutrittsschutz eingesetzt. Zusätzlich kann es erforderlich sein, einen Hintertretschutz in Form von waagrecht installierten Sicherheitslichtvorhängen oder einem Sicherheitslaserscanner anzubringen, in manchen Fällen sind auch Sicherheitsschaltmatten die bevorzugte Wahl, wenn zum Beispiel die optischen Systeme aufgrund von prozessualen Randbedingungen wie z.B. Staub, Rauch, Nebel, Dampf Verfügbarkeitsprobleme haben.

3.2. Kamerabasierte Sicherheit für MRK

Bei Mensch-Roboter-Kollaborationen mit Robotern größerer Traglast stoßen wie erwähnt klassische, auf trennenden Schutzeinrichtungen basierende Sicherheitskonzepte an ihre Grenzen – es sind andere gefordert. Bei diesen ist eine deutlich abgestufte Betrachtung von Ereignissen notwendig. So muss beispielsweise unterschieden werden, ob sich ein Mensch im potentiellen Aktionsraum einer Gefahr bringenden Bewegung aufhält (Warnraum) oder bereits eine Zone mit erhöhter Sicherheitsanforderung betreten hat (Schutzraum). Idealerweise müssen sich diese Räume dynamisch anpassen lassen und beispielsweise den sicher überwachten Bewegungen der Maschine oder eines Roboters nachgeführt werden. So können in diesem Umfeld Mensch-Roboter-Kollaborationen realisiert werden, bei denen statische Schutzeinrichtungen an ihre Grenzen stoßen.

Neue kamerabasierte Verfahren sind in der Lage, Schutzfelder und -räume mehrdimensional sicher zu überwachen, wie es zum Beispiel das 3D-Kamerasystem SafetyEYE für die sichere Raumüberwachung leistet. Solche Sensorsysteme eröffnen durch ihr 3D-Funktionsprinzip neue Möglichkeiten in der Applikationsgestaltung. Zudem lassen sich Schutzraum-Anordnungen bei jedem Prozessschritt erneut anpassen.

Weiterentwicklungen in diesem Bereich sind bedingt durch die Anforderungen der kommenden Applikationen: eine Kombination eines sicheren Roboters mit einem sicheren 3D-Kamerasystem mit einer intensiveren Kommunikation kann verschiedene, strikt voneinander getrennte Prozessschritte miteinander verschmelzen und optimieren. Der sichere Roboter kennt seine sichere Position, seine sichere Geschwindigkeit und seine sichere Bewegungsrichtung, das sichere Kamerasystem kennt die Position von Objekten (Menschen) im Umfeld des Aktionsradius des Roboters. Statt starrem Abschalten kann das Gesamtsystem deutlich flexibler reagieren, unnötige Stillstandzeiten vermeiden und so die Produktivität der Anlage erhöhen. Bei einer Schutzraumverletzung muss der Roboter dann nicht gleich hart gestoppt werden. Oder anders formuliert: Befindet sich kein Mensch im Aktionsradius des Roboters wird dank SafetyEYE die Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters und damit die Produktivität des Prozesses erhöht.

3.3. Weiterentwicklungen in der Sensorik

Der Sensorik wird weiterhin eine Schlüsselrolle bei der Absicherung von Roboterapplikationen zukommen. Mit umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten arbeitet Pilz an der Gestaltung der Zukunft mit.

Auf Basis eines von Pilz entwickelten, taktilen Gewebes steht für Sicherheits- und Steuerungsaufgaben in der Robotik eine Trittmatte zur Verfügung. Diese taktile Sensorik basiert auf einer vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF entwickelten Technologie. Die sensitive Schicht befindet sich im Inneren. Dadurch ist es möglich, eine Ortsauflösung in der Matte selber zu integrieren. Diese taktile Sensorik unterstützt bei Visualisierung und Ortsbestimmung von Personen und ist ein vielversprechender Weg zu mehr Dynamik bei MRK. Das System lässt sich dahingehend weiter entwickeln, dass Bewegungsrichtungen von Objekten bzw. Menschen dank Ortsauflösung angezeigt werden können.

Die Trittmatte detektiert die Position und Bewegungsrichtung des Menschen und übermittelt die Daten an die Robotersteuerung, um ungewollte Kollisionen zwischen Mensch und Maschine zu verhindern. Zusätzlich wird die Position des Menschen als Heatmap auf einem Monitor angezeigt.

Zum anderen präsentierte Pilz auf Messen bereits zwei eigenentwickelte, kompakte Stereokameras. Sie sind Ergebnisse aus den Forschungsprojekten Konkamis und Inero3D in denen Pilz als Projekt-Partner aktiv ist. Mit den Kameras ist eine Hinderniserkennung in Echtzeit möglich, um Kollisionen zwischen Mensch und Roboter zu vermeiden. Für die Steuerung hat Pilz Softwarebausteine für eine dynamische Hinderniserkennung entwickelt, die auf Basis des Robot-Operating-System (ROS) arbeiten.

Die Kameras sind am Bedienpult mit Blick auf die Roboterapplikation montiert. Die Datenübertragung erfolgt über einen ROS-Knoten an die Robotersteuerung zur Bahnplanung. Roboter können so flexibel Werkstücke transportieren und sowohl statischen als auch beweglichen Hindernissen ausweichen.

Damit zeigt Pilz, dass die bislang aus dem Forschungsumfeld bekannte Programmierumgebung auch in industriellen Anwendungen zum Einsatz kommen kann.

4. Schritt für Schritt zur sicheren Roboterapplikation

4.1. Am Anfang steht die Risikobeurteilung

Zu beachten ist, dass der Roboter gemäß der Maschinenrichtlinie an sich nur eine unvollständige Maschine darstellt; erst durch Greifer bzw. das für die jeweilige Applikation notwendige Werkzeug erhält der Roboter einen bestimmten Zweck und muss als vollständige Maschine betrachtet werden. Der Integrator oder Anwender wird damit zum Hersteller der Maschine und ist für die CE-Kennzeichnung inklusive sicherheitstechnischer Überprüfung verantwortlich.

Entsprechende Leitsätze zur Risikobeurteilung und -minderung sind in der EN ISO 12100 Sicherheit von Maschinen definiert. Maßgebend zur Risikobeurteilung ist der iterative Prozess. Dieser gliedert sich in die Schritte Risikoanalyse und Risikobewertung. Zu den Inhalten der Risikobeurteilung zählen die Ermittlung der geltenden harmonisierten Normen und Vorschriften, die Bestimmung der Grenzen der Maschine, die Ermittlung sämtlicher Gefahren innerhalb jeder Lebensphase der Maschine, die eigentliche Risikoeinschätzung und -beurteilung sowie die empfohlene Herangehensweise zur Reduzierung des Risikos. Wichtig ist, dass für die Risikobeurteilung jede Gefahrenstelle einzeln und ohne Schutzmaßnahmen betrachtet wird!

Die Herausforderung bei schutzzaunlosen Roboterapplikationen besteht darin, dass sich die Grenzen der beiden Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine auflösen. Zusätzlich zu den Gefahren, die vom Roboter ausgehen, müssen die Bewegungen des Menschen berücksichtigt

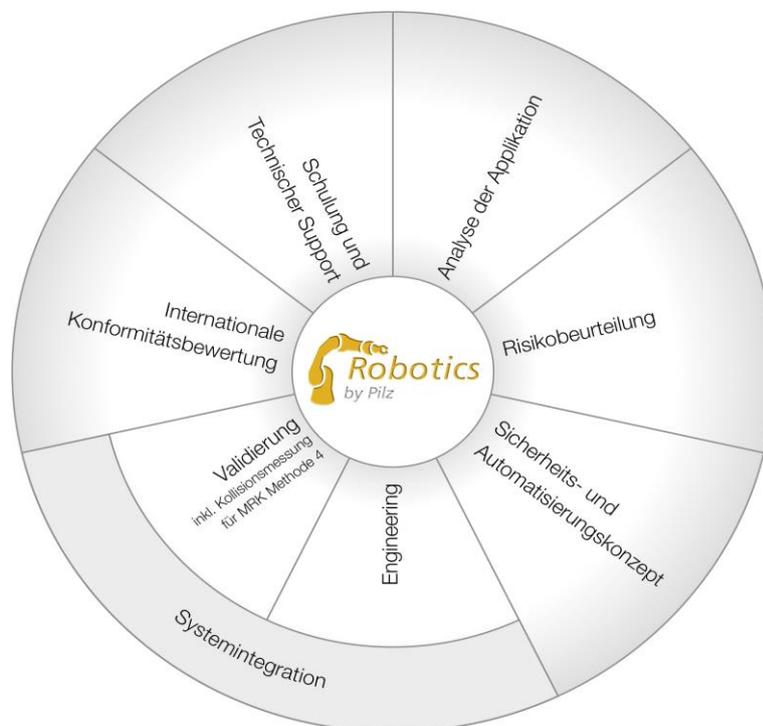
werden. Diese sind jedoch nicht immer kalkulierbar in Hinsicht auf Geschwindigkeit, Reflexe oder plötzlichen Zutritt zusätzlicher Personen.

4.2. Die zentrale Rolle der Validierung

Auf Basis der Risikobeurteilung entsteht maßgeschneidert das Sicherheitskonzept sowie die Systemintegration. In der anschließenden Validierung werden die vorangegangenen Schritte nochmals reflektiert. Im Gegensatz zur Risikobeurteilung wird bei der Validierung jede Gefahrenstelle mit Schutzmaßnahmen betrachtet! Die Roboterapplikation muss hierfür in einem auslieferungsfertigen Zustand sein.

Für die Validierung sind gemäß der Norm unterschiedliche Methoden anzuwenden, darunter optische Kontrollen, praktische Tests und Messungen. Die Validierung umfasst unter anderem die Verifizierung des geforderten Performance Levels PLr, eine Fehlersimulation (2-kanalige Auslösung, Querschuss, etc.), eine Nachlaufwegmessung, wenn die MRK-Applikation mittels Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung abgesichert werden soll, die Prüfung der Checkliste der EN ISO 10218-2 Anhang G sowie eine Kollisionsmessung im Falle einer Leistungs- und Kraftbegrenzung. Insgesamt muss der Systemintegrator über 200 Punkte validieren.

Als Lösungsanbieter unterstützt Pilz bei der Umsetzung relevanter Normen und Richtlinien. Gemeinsam mit dem Kunden erarbeiten die Experten von Pilz eine weltweit optimale Sicherheitsstrategie für Roboteranwendungen entlang der Lebensphasen des Robotersystems bis hin zur CE-Kennzeichnung. Das Schulungsangebot mit aktuellen und praxisnahen Inhalten rundet das Angebot ab.



4.3. Berühren ohne zu verletzen

Kollisionen können auf verschiedene Arten abgemildert werden: Durch konstruktive Maßnahmen wie Abrunden der Kanten und Ecken, Polsterungen oder möglichst große Kontaktflächen, um die Kraft auf der Fläche zu verteilen. Oder aber durch technische Schutzmaßnahmen (z.B. die Reduzierung der Dynamik der Roboterbewegungen sowie Anpassungen der Roboterbahn, um Kollisionen mit besonders sensiblen Körperregionen zu vermeiden). Auch Schulungen der Mitarbeiter können helfen, das Verletzungsrisiko zu verringern.

Letztlich muss aber zwingend durch ein Messverfahren ermittelt werden, ob die möglichen Kollisionen sicherheitstechnisch unbedenklich sind. Im Anhang A der Technischen Spezifikation ISO/TS 15066 wird ein Körpermodell mit 29 spezifischen, in zwölf Körperregionen eingeteilte Körperbereiche aufgeführt. Das Körperzonenmodell macht zu jedem Körperteil (z.B. am Kopf, an der Hand, am Arm oder am Bein) eine Angabe zu den jeweiligen Belastungsgrenzwerten mit Blick auf Kraft und Druck. Die Körperregion mit den niedrigsten zulässigen Kollisionswerten ist das Gesicht. Hier darf maximal eine Kraft von 65 N und ein Druck von 110 N/cm² einwirken. Bleibt die Anwendung während einer Begegnung zwischen Mensch und Roboter innerhalb dieser Grenzen, so ist sie normenkonform.

4.4. Messung von Kraft und Druck gemäß ISO/TS 15066

Für diese Art von Messungen gilt wie für alle anderen Messmethoden, dass sie verständlich und nachvollziehbar sowie reproduzierbar sein müssen. Für diese spezielle Kraft- und Druckmessung hat Pilz daher das MRK Kollisionsmess-Set entwickelt.



Das mit Federn und entsprechender Sensorik ausgestattete System misst die auf den menschlichen Körper einwirkenden Kräfte exakt und vergleicht sie mit den Grenzwerten gemäß ISO/TS 15066. Das Messgerät wird dafür an den bei der Risikobeurteilung ermittelten Positionen installiert, zwischen Roboterarm und einem steifen, unnachgiebigen Untergrund. Damit wird ein quasi statischer Kontakt, z.B. das Einquetschen des Werkers zwischen Roboter und Anlage, simuliert. Über eine Software wird die Messung gestartet und die Daten anschließend verarbeitet sowie dokumentiert. Wenn die Grenzwerte überschritten werden, muss die Dynamik des Roboters reduziert oder zusätzliche Sicherheits-Maßnahmen wie z.B. Lichtgitter oder eine trennende Schutzeinrichtung installiert werden.

Das Set beinhaltet neben Messgerät, Folien, Scanner sowie Kompressionselementen auch verschiedene Federn, mit denen die verschiedenen Körperbereiche simuliert werden können. Pilz bietet das Set auf Mietbasis an, indem auch Schulung, Wartung, Kalibrierung und regelmäßig Updates enthalten sind.

5. Zusammenfassung

Den einen sicheren Roboter oder die eine sichere Sensorik, die alle möglichen Fälle aus den Anwendungen hinsichtlich der Sicherheit abdeckt, gibt es zumindest bislang nicht. Die Anforderungen an die Sicherheitstechnik hängen stets von der jeweiligen Applikation ab. Erst in der Gesamtbetrachtung von Roboter, Werkzeug und Werkstück sowie dazugehörigen Maschinen wie etwa Fördertechnik entstehen sichere Roboterzellen. Das bedeutet in der Praxis, dass jede Applikation eine eigene, eingehende sicherheitstechnische Betrachtung erfordert. Letztlich ist die sichere MRK-Applikation also das Ergebnis des Zusammenspiels normativer Rahmenbedingungen, einer darauf aufbauenden komplexen Risikobeurteilung, der Auswahl eines Roboters mit den entsprechenden Sicherheitsfunktionen, der Auswahl der passenden, zusätzlichen Sicherheitskomponenten und schließlich der Validierung.