

# WhitePaper

**Sicherheit in der  
Mensch-Roboter-Kollaboration**  
Risikobeurteilung und -minimierung

© FANUC Österreich GmbH

# Mensch-Roboter- Kollaboration

*Risikobeurteilung  
und  
-minimierung*

*Zweite Ausgabe*

*Wien, am 15.05.2017*

Fotos  
© FANUC, KUKA, Fotolia, Shutterstock, JOANNEUM RESEARCH

Impressum  
© TÜV AUSTRIA HOLDING AG, Fraunhofer Austria Research,  
JOANNEUM RESEARCH



# Mensch-Roboter- Kollaboration

*Risikobeurteilung  
und  
-minimierung*

*Zweite Ausgabe*

*Wien, am 15.05.2017*

TÜV AUSTRIA  
HOLDING AG  
TÜV AUSTRIA-Platz 1  
A-2345 Brunn am Gebirge

*DI Alexandra Markis  
DI Harald Montenegro, MSc  
Ing. Michael Neuhold  
Ing. Andreas Oberweger  
DI Christoph Schwald*

FRAUNHOFER AUSTRIA  
RESEARCH GMBH  
Theresianumgasse 27  
A-1040 Wien

*Prof. Dr.-Ing. Wilfried Sihn  
Fabian Ranz, MSc  
DI Thomas Edtmayr  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Philipp Hold  
DI Gerhard Reisinger*

JOANNEUM RESEARCH  
FORSCHUNGSGESELLSCHAFT MBH  
ROBOTICS – INSTITUT FÜR  
ROBOTIK UND MECHATRONIK  
Lakeside B08a  
A-9020 Klagenfurt am Wörthersee

*Univ.-Doz. DI Dr. Michael Hofbauer  
DI Dr. Mathias Brandstötter  
Andreas Schlotzbauer, MSc*



# Mensch-Roboter-Kollaboration

## *Inhalt*

Abstract .....	9
1. MRK Use Cases .....	10
1.1 Endmontage – TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 .....	10
1.2 Fahrzeugendmontage – Magna Steyr Fahrzeugtechnik .....	11
2. Risikobeurteilung .....	13
2.1 Festlegung der Grenzen der Maschine .....	13
2.2 Identifizierung der Gefährdungen .....	14
2.3 Risikoeinschätzung und -bewertung .....	15
2.4 Risikominderung .....	16
3. Maßnahmen zur Risikominderung .....	17
3.1 Grundlagen der biomechanischen Grenzwerte .....	17
3.2 Messverfahren und -hilfsmittel .....	18
3.3 Programmierung für Mensch-Roboter-Kollaboration .....	21
3.4 Konstruktive und organisatorische Sicherheitsmaßnahmen .....	21
4. Wirtschaftlichkeit von MRK-Systemen .....	24
5. Ausblick .....	25
Quellen .....	26



## Abstract

Das Thema **Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)** manifestiert sich zunehmend als ein Kernelement der Zukunftsvision Industrie 4.0, nicht nur in der Wissenschaft, sondern zunehmend auch in der Industrie: Neue, zur direkten Zusammenarbeit mit Menschen geeignete Roboter kommen in kurzen Abständen auf den Markt und in immer mehr Prozessen wurden bereits Mensch-Roboter-Kollaborationen implementiert und sind erfolgreich in Betrieb.

In der ersten gemeinsamen Publikation von TÜV AUSTRIA und Fraunhofer Austria wurden die grundlegenden, normativen Anforderungen an die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter dargelegt, welche in die Entwicklung eines integrierten Safety & Security-Konzepts für die Mensch-Roboter-Kollaboration einfließen und zu berücksichtigen sind. In dieser **zweiten Ausgabe der White Paper-Reihe** wird nun die praktische Seite der funktionalen Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration näher beleuchtet.

Nach Umsetzung eines MRK-Demonstrators in der Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien und der Entwicklung einer MRK-Anwendung zusammen mit dem Unternehmen Magna Steyr Fahrzeugtechnik wird in der vorliegenden Ausgabe ein Einblick in die notwendigen Schritte zur Umsetzung einer Mensch-Roboter-Kollaboration in Bezug auf die Gewährleistung der funktionalen Sicherheit gegeben. Darüber hinaus wird ein Überblick über die wichtigsten technischen Hilfsmittel in der Beurteilung von Applikationen geliefert. Es wird deutlich, dass, neben technischen Mechanismen und aufwändigen Messverfahren, auch einfache konstruktive und organisatorische Maßnahmen zur Minderung der Gefährdungen in der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter beitragen können. Einen entscheidenden Beitrag leistet dabei das **Institut ROBOTICS der JOANNEUM RESEARCH** im Rahmen einer assoziierten Projektpartnerschaft.

Das übergeordnete Rahmenwerk zur Erzielung dieser Gefährdungsminderung ist die **Risikobeurteilung**, welche klaren Vorgaben folgt, die durch die EN ISO 12100 normiert sind. Im vorliegenden White Paper wird die Durchführung der Risikobeurteilung punktuell für die MRK-Anwendung in ihrem Ablauf dargelegt. Dies soll ein grundsätzliches Verständnis für Logik und Inhalte der strukturierten Risikobeurteilung liefern und damit einem der wesentlichen Umsetzungshindernisse der Mensch-Roboter-Kollaboration aus Sicht der Industrie, nämlich der Unsicherheit bei ihrer Durchführung, entgegenwirken. Gleichzeitig soll aber nicht über das notwendige, fundierte Erfahrungswissen bei der Identifizierung, Quantifizierung und Reduzierung von Risiken hinweggetäuscht werden, über welches Institutionen und Unternehmen verfügen, die die Durchführung von Risikobeurteilungen tagtäglich im Auftrag der Industrie unterstützen.

Um die steigende praktische Relevanz der Thematik weiter zu verdeutlichen werden einleitend **zwei beispielhafte Applikationen von Mensch-Roboter-Kollaboration** dargestellt – eine aus dem akademischen, sowie eine aus dem industriellen Umfeld Österreichs. Ein beispielhaftes Vorgehen für eine **erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von MRK-Anwendungen** bei Einführungsprojekten rundet diese Ausgabe der Publikationsreihe ab.



# 1. MRK Applikationen

## 1.1 Use Case 1: Endmontage – TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0



Abb. 1: Aufbau Use Case 1: Endmontage – TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0

<b>Kerninfos</b>	<i>Roboter:</i> Universal Robot UR5 CB3	<i>Reifegrad:</i> Demonstrator
	<i>Art der Zusammenarbeit:</i> Kooperation	<i>Prozessbereich:</i> Montage
<b>Anwendung</b>	Der sensitive Roboter entnimmt Karosserieteile eines Modell-LKWs aus einem angelieferten Kleinladungsträger und platziert diese in den Montagevorrichtungen am Arbeitsplatz. Der Mitarbeiter fügt die platzierten Teile durch Schraubverbindung zusammen. Durch die Verwendung von zwei Montagevorrichtungen am Arbeitsplatz können Mensch und Roboter parallel gleichzeitig am Arbeitsplatz agieren und rotieren wechselweise zwischen den beiden Vorrichtungen. Der Roboter übernimmt außerdem das Umsetzen des Werkstücks von der ersten in die zweite Montagevorrichtung. Der Modell-LKW wurde als Produkt gewählt, da er die Komplexität einer industriellen Aufgabenstellung widerspiegelt. Zukünftig ist geplant die MRK-Zelle in die Fertigung eines 3D Druckers zu integrieren.	
<b>Ziele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Verbesserung der Ergonomie (kraftgeregeltes Aufnehmen des Werkstücks aus der ersten Montagevorrichtung)</li> <li>▶ Erhöhung der Arbeitssystemproduktivität durch parallelen Einsatz von Mensch und Roboter</li> </ul>	
<b>Produktdaten</b>	<i>Produkt</i> Modell-LKW (3 Varianten)	<i>Abmessungen</i> ca. 250x100x100 mm
		<i>Bauteile</i> ca. 20 Stück
		<i>Gewicht</i> ca. 250g

### Sicherheitskonzept

<b>Roboter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kraft- und Leistungsreduzierung</li> <li>▶ Geschwindigkeitsanpassung</li> </ul>
<b>Umgebung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kennzeichnung durch Hinweisschilder und Säulenampeln</li> <li>▶ Einhaltung von Mindestabständen zwischen Roboter und Arbeitsplatzaufbau</li> <li>▶ Vermeidung von scharfen Kanten und Ecken</li> </ul>
<b>Werkzeug</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Abdeckkappen für Greiferkinematik und Flächenvergrößerung an Greiferspitzen</li> <li>▶ Absicherung der Werkzeugschnittstelle am Flansch durch Schutzring</li> <li>▶ Leitungsführung vom Werkzeug durch Tunnelsystem</li> </ul>
<b>Programm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Vermeidung von Scherstellen durch vertikale Pfadauslegung</li> <li>▶ Überwachung der Greifkraft zur Erkennung falscher Objekte (nicht sicherheitsgerichtet)</li> </ul>
<b>Zertifizierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Eigenzertifizierung</li> <li>▶ Risikobeurteilung unterstützt und moderiert durch TÜV AUSTRIA</li> </ul>

## 1.2 Use Case 2: Fahrzeugendmontage – Magna Steyr Fahrzeugtechnik



<b>Kerninfos</b>	<i>Roboter:</i> KUKA LBR iiwa 14 R820	<i>Reifegrad:</i> Demonstrator
	<i>Art der Zusammenarbeit:</i> Kooperation	<i>Prozessbereich:</i> Fahrzeugendmontage
<b>Anwendung</b>	Zwei aus dem Serienprozess entnommene und an sich voneinander unabhängige Anwendungsbeispiele stehen symbolisch für die flexible Einsetzbarkeit eines mobilen Leichtbauroboters. Ein einfacher Greiferwechsel, die rasche, bedarfsabhängige mobile Verlagerung von der einen zur anderen Anwendung und die ungefähre Positionierung am neuen Arbeitsplatz reichen aus, um dem System zu signalisieren, welche Aufgabe es in weiterer Folge hat. Nach minimaler Set-Up-Zeit unterstützt das ortsunabhängige Gesamtsystem dabei die Mitarbeiter an bestehenden Arbeitsplätzen und stärkt damit agile Produktionskonzepte.	
	Use Case 2.1. zeigt die Entnahme von Türscheiben aus einem Regal und den nachfolgenden Prüfprozess der Türscheibe, der vorwiegend kameraunterstützt erfolgt. Dabei übernimmt der ortsvariable Manipulator einen für den Menschen ergonomisch ungünstigen Arbeitsinhalt, sowie den nicht-wertschöpfenden Anteil des visuellen Qualitäts-Prüfprozesses.	
	In Use Case 2.2. entnimmt der Leichtbauroboter mit Hilfe einer im Rahmen des Anwendungsfalls entwickelten, modularen Greifer-/Kameralösung eine Anzahl biegeschlaffer Objekte aus einem Regalsystem. Das am Regal für Menschen installierte Pick to Light-System signalisiert dem Robotersystem über Leuchtsignale die zur Entnahme freigegebenen Objekte und ermöglicht dadurch eine nahtlose „Mitarbeit“. Beide Use Cases enden durch das Ablegen der Komponenten auf einem von Roboter und Mensch genutzten Arbeitstisch bzw. durch Übergabe direkt in die Hand eines Mitarbeiters.	

- Ziele**
- ▶ Realisierung agiler Produktionskonzepte
  - ▶ Reduktion nicht-wertschöpfender Prozessinhalte
  - ▶ Vermeidung ergonomisch ungünstiger manueller Tätigkeiten

Produkt	Abmessungen	Gewicht
Fahrzeugscheiben	ca. 685x550x5 mm	ca. 4500g
Biegeschlaffe Objekte	ca. 200x150x3 mm	ca. 10–300 g

**Sicherheitskonzept**

- Roboter**
- ▶ Kraft- und Leistungsreduzierung
  - ▶ Geschwindigkeitsanpassung

- Umgebung**
- ▶ Kennzeichnung des Kooperationsbereichs

- Werkzeug**
- ▶ Vergrößerung von Kollisionsflächen durch geeignete Konstruktion
  - ▶ Vermeidung von beweglichen Teilen durch formschlüssiges Greifen der Scheiben
  - ▶ Konstruktiv kraftbegrenzter Mechanismus beim Greifen der biegeschlaffen Objekte

- Programm**
- ▶ Nachgiebigkeitsregelung

- Zertifizierung**
- ▶ Eigenzertifizierung



Abb. 2: Aufbau Use Case 2: Fahrzeugendmontage – Magna Steyr Fahrzeugtechnik

## 2. Risikobeurteilung

### Strukturierte Methode zur Erreichung von Schutzzielen (CE-Konformität)

Beide dargestellten Use Cases stellen eine Kombination aus verschiedenen technischen Komponenten dar – Roboterarm, Steuerung, Roboterwerkzeug, sowie die sie umgebenden Elemente wie Arbeitstisch oder Lager- und Fördertechnik. Erst in dieser Kombination und in Zusammenarbeit mit dem Menschen ergeben sie eine MRK-Anwendung nach EN ISO 10218-2 und aus Sicht der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eine Maschine, welche nur in Verkehr gebracht und damit in Betrieb genommen werden darf, wenn sie in Einklang mit u.a. dieser Richtlinie steht und damit die CE-Konformität untersucht und bestätigt wurde.

Auch aufgrund nationaler Vorschriften, in Österreich den Arbeitnehmer-Innenschutzbestimmungen (ASchG und AM-VO), muss die sichere Funktion durch den Betreiber nachgewiesen werden. Diese Anforderungen wurden im ersten White Paper dieser Reihe bereits ausführlich dargestellt (siehe [www.tuv.at/i40](http://www.tuv.at/i40)).

Zentrales und verbindliches Element der Konformitätsuntersuchung ist eine **Risikobeurteilung**, wie sie durch die EN ISO 12100 in ihrer Vorgehensweise beschrieben wird und durch den Inverkehrbringer durchgeführt werden muss.

Am Beispiel der MRK-Applikation in der Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien (Use Case 1) wird im folgenden Abschnitt die Prozedur in seinen vier Kernschritten beschrieben. Die Dokumentation der Risikobeurteilung in der Praxis wird in geeigneter Form digital unterstützt, beispielsweise in Form von versionierten Text- und Tabellendateien.

### 2.1 Festlegung der Grenzen der Maschine

Die Festlegung der Maschinengrenzen dient der Definition des Untersuchungsumfangs der Risikobeurteilung, in diesem Fall einer Montageanlage zur Assemblierung von Produkten, an der Roboter und Mensch arbeitsteilig die zu erledigenden Aufgaben abarbeiten. Sie beschreibt außerdem Merkmale und Leistung der Maschine sowie räumliche, zeitliche und eine Reihe weiterer Grenzen wie Einsatzbedingungen und Personalqualifikation.

Räumliche Grenzen betreffen Bewegungsräume der Maschine und Platzbedarfe für den Bediener sowie Schnittstellen zu vor- oder nachgelagerten Maschinen und Stationen. Zeitliche Grenzen beschreiben beispielsweise Lebensdauer und Wartungsintervalle der Maschine. So liegt die Lebensdauer des im ersten Use Case verwendeten Robotermodells UR5 laut Hersteller bei 35.000 Stunden, was auch bei der Lebensdauer der gesamten MRK-Anwendung zu berücksichtigen ist.

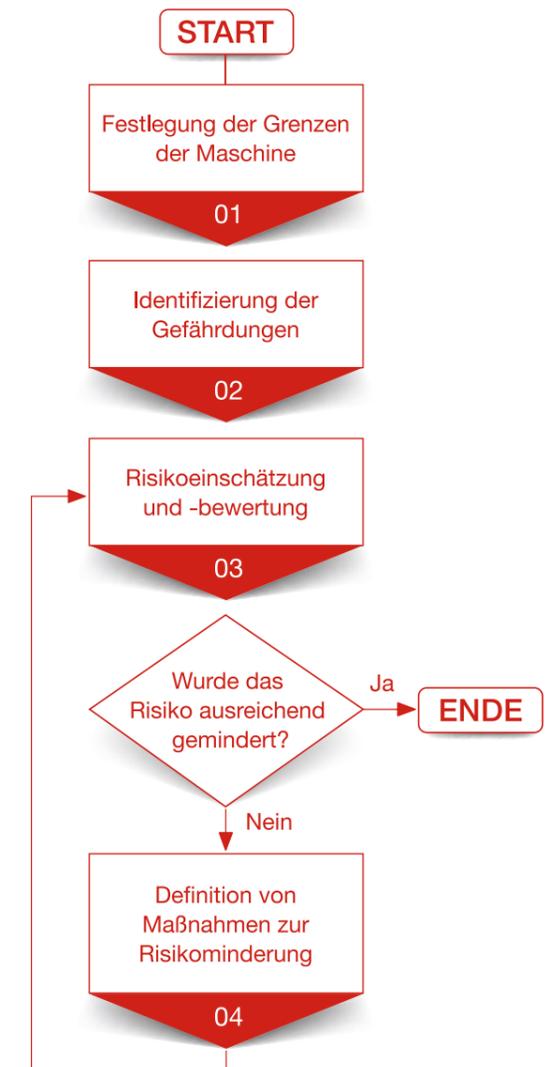


Abb. 3: Vorgehensweise Risikobeurteilung

## 2.2 Identifizierung der Gefährdungen

Sobald Transparenz über den Untersuchungsumfang vorliegt, können Risiken, die sich aus dem Einsatz der Maschine für ihre Bediener ergeben, identifiziert werden. Für diese Analyse haben sich Workshop-Formate bewährt, bei denen verschiedene, mit der Anwendung vertraute und nicht vertraute, interne sowie externe Fachexperten entlang der Lebensdauerphasen (vgl. Abb. 4) der MRK-Applikation durch methodische Diskussion von Konzepten, Zeichnungen, Prozessdarstellungen und technischen Daten der zu bewertenden Applikation mögliche Gefahren identifizieren.

Dabei kommen als gefährdete Personen nicht nur die eigentlichen Maschinenbediener, sondern auch Techniker, Reinigungspersonal oder externe Besucher der Produktionsumgebung in Betracht. Die **Moderation** eines solchen Workshops wird am besten von **unabhängigen Institutionen mit ausreichender Kenntnis der Beurteilungsmethode** durchgeführt, um Interessenskonflikten vorzubeugen.

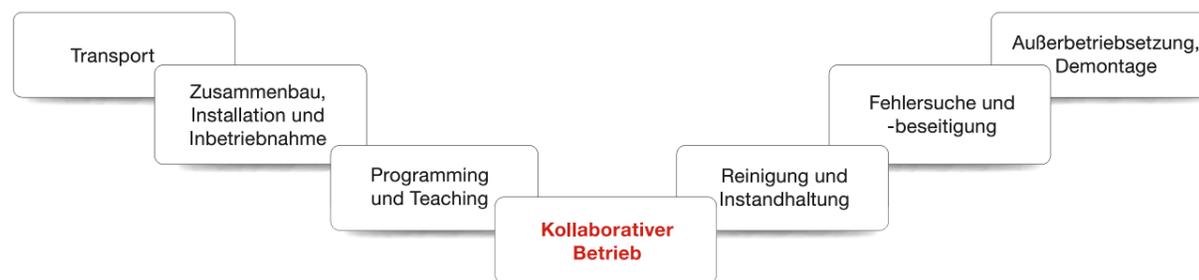


Abb. 4: Lebensdauerphasen einer MRK-Applikation

Bei dieser Analyse ist es, neben der verpflichtenden Berücksichtigung aller Lebensdauerphasen, hilfreich, mögliche Gefährdungsquellen strukturiert zu erarbeiten. Neben direkten mechanischen Gefährdungen, die sich vor allem aus dem Roboter als aktuiertes System und anderen Manipulationsstationen ergeben, sind weitere wesentliche MRK-relevante Risikodimensionen bspw. *elektrische* und *ergonomische Gefährdungen*.

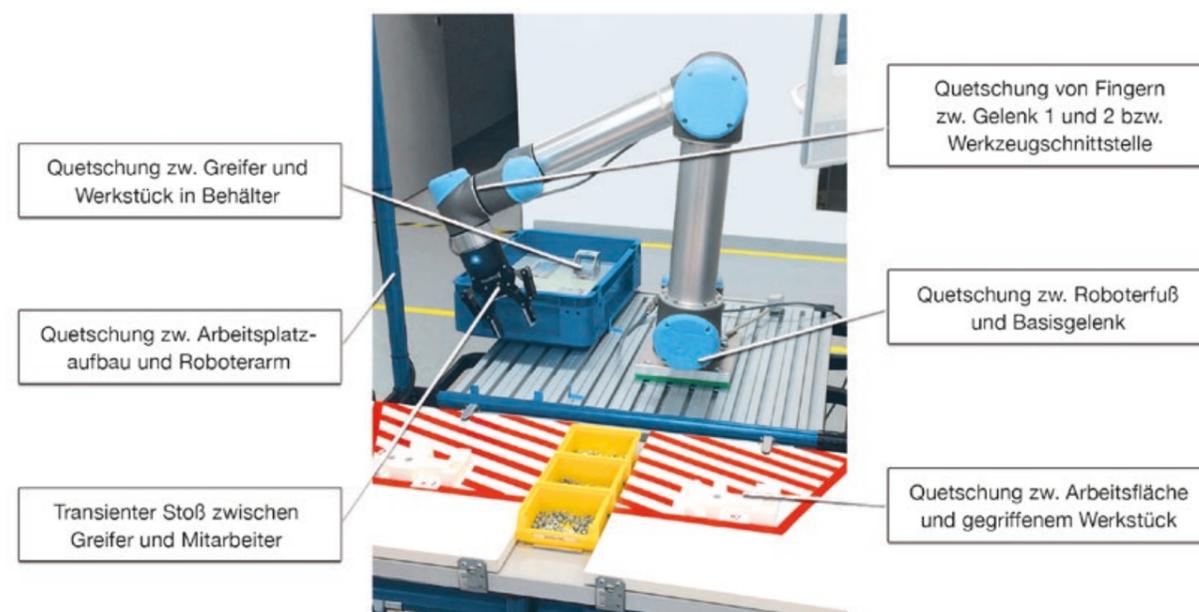


Abb. 5: Identifizierte Kollisionsgefährdungen

Letztere betreffen beispielsweise eine potenziell hohe Arbeitsmonotonie, die sich daraus ergibt, dass der Roboter einen Großteil der Arbeitsaufgaben übernimmt und für den Maschinenbediener nur ein kleiner Aufgabenumfang verbleibt oder aber aus einer ungünstigen Anbringung von Bediendisplays und -anzeigen. Andere wesentliche Gefährdungen eines Arbeitssystems, wie Substanz- oder Lärmgefährdung werden in diesem Dokument nicht behandelt, weil sie nicht in direkten Zusammenhang mit MRK stehen.

Eine wesentliche Gefährdung, an welcher sich auch der Neuheitsgrad von MRK-Anwendungen gegenüber klassischen Roboterapplikationen zeigt, ist die potenzielle Möglichkeit einer Kollision zwischen Mensch und Roboter in der direkten Kollaboration, ohne weitere Schutzeinrichtungen. Für diesen besonderen Fall müssen mögliche Kollisionsstellen im Rahmen der Gefährdungsanalyse identifiziert werden. Abbildung 5 zeigt solche beispielhaften Kollisionsstellen, wie sie im Rahmen der Risikobeurteilung am MRK Use Case in der Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien identifiziert wurden.

## 2.3 Risikoeinschätzung und -bewertung

Sind die Risiken vollständig identifiziert, folgt deren Bewertung. Während sich die Identifizierungsphase auf eine subjektive Einschätzung der beurteilenden Personen stützt, werden in der Quantifizierung der Gefährdungen definierte Kennzahlen herangezogen, was gleichzeitig eine Objektivierung des Prozesses bedeutet. Jede identifizierte Gefährdung wird nach vier Kriterien bewertet:

- S: Schadensausmaß bei Eintritt der Gefährdung
- F: Die Häufigkeit und Dauer, mit welcher ein Mensch der Gefährdung ausgesetzt ist
- W: Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine Gefährdung eintritt
- P: Vermeidbarkeit des Schadens durch Erkennung des Gefährdungseintritts

Für jedes dieser Kriterien wird pro Gefährdung eine Bewertung vorgenommen. Dazu stellen verschiedene Normen unterschiedliche Methoden und Skalierungen zur Verfügung, die untereinander nicht kompatibel sein müssen. Auch deren Darstellung in sogenannten Risikographen ist normativ nicht einheitlich geregelt. Bewährt hat sich folgende Festlegung:

- ▶ Das **Schadensausmaß S** hat eine Bandbreite von 0 (kein Schaden) bis 4 (irreversibler Schaden, Verlust von Körperteilen, Tod).
- ▶ Die **Häufigkeit F** liegt zwischen 1 (Aussetzung der Gefahr seltener als einmal im Jahr für weniger als 10 Minuten) und 5 (Aussetzung der Gefahr häufiger als einmal pro Stunde). Im kontinuierlichen Betrieb einer MRK-Applikation muss daher für viele Gefährdungen von dem höchsten Häufigkeitsniveau F5 ausgegangen werden.
- ▶ Für die **Eintrittswahrscheinlichkeit W** werden Werte zwischen 1 (vernachlässigbar) bis 5 (sehr hoch angenommen).
- ▶ Die **Vermeidbarkeit P** des Schadens wird zwischen 1 (Erkennen des Gefährdungseintritts und Ausweichen ist wahrscheinlich) und 5 (Erkennen und Ausweichen ist unmöglich) festgelegt.

Aus diesen einzelnen Bewertungen werden sodann aggregierte Werte, namentlich die Risikoklasse sowie die Risikoprioritätszahl, ermittelt.

$$\text{Risikoklasse} = F + W + P$$

$$\text{Risikoprioritätszahl (RPZ)} = \text{Risikoklasse} \times S$$

Das Beispiel in Abbildung 6 aus Use Case 1 zeigt eine identifizierte Kollisionsgefährdung sowie deren Quantifizierung nach dem oben genannten Schema, welches zu einer RPZ von 30 führt.

Dieser ermittelte Wert hat aber erst im Vergleich mit einem zuvor festgelegten, akzeptierten Restrisiko Aussagekraft. Das akzeptierte Restrisiko wird durch das Team, das die Risikobeurteilung erstellt, qualitativ und unter Berücksichtigung rechtlicher Vorschriften (=Schutzziele der Maschinenrichtlinie) bestimmt und gilt als nicht zu überschreitender Höchstwert für die RPZ.

Ziel ist es, das identifizierte Risiko mit seiner RPZ nach dem ALARP-Prinzip (as low as reasonable possible) so weit als möglich zu reduzieren; mindestens jedoch auf ein Maß unterhalb des festgelegten akzeptierten Restrisikos. Demnach müssen solange risikosenkende Maßnahmen getroffen werden, bis das vereinbarte RPZ-Niveau erreicht ist.

Maschine		Risiko vorher						Erstellungsdatum	Akzeptiertes Restrisiko							
Ifd. Nr.	Gefährdung Beschreibung der Gefährdung / Gefahrenstelle an der Maschine	S(0, 1-4)	F(1-5)	W(1-5)	P(1, 3, 5)	Risiko- klasse	RPZ	PL*	SIL	Maßnahme(n) Beschreibung der getroffenen und noch zu treffenden Maßnahmen, einschließlich Begründung von Maßnahmen (z.B. Änderung PL gegenüber dem Risikographen)	S(0, 1-4)	F(1-5)	W(1-5)	P(1, 3, 5)	Risiko- klasse	RPZ
		Mechanische Gefährdungen														
102	Annäherung eines sich bewegenden an ein feststehendes Teil und daraus resultierende Quetschung eines Körperteils, insb. Hände und Arme  (quasi-statischer Kontakt mit Robotergehäuse)	3	5	2	3	10	30	c	1	Maßnahme 1: technisch, Begrenzung der vom Roboter ausgehenden Kraft (F), ggf. auch Roboterleistung (W) und Verfahrgeschwindigkeit (v), auf ein Maß, welches die aus der Quetschung resultierende Verletzungsgefahr auf ein akzeptables Maß reduziert  Maßnahme 2: organisatorisch, Vergrößerung der Abstände zwischen sich bewegenden und feststehenden Teilen unter Berücksichtigung der Mindestabstände  Maßnahme 3: organisatorisch, Anbringung eines Leuchtsignals zur Indikation eines in Betrieb befindlichen Roboters	1	5	2	3	10	10
		1	5	2	3	10	10				1	5	2	2	9	9
		1	5	2	2	9	9				1	5	2	1	8	8

Abb. 6: Gefährdungsidentifizierung, -bewertung und Risikoreduzierung mit Hilfe von Risikoprioritätszahlen

## 2.4 Risikominderung

Im Umkehrschluss müssen alle identifizierten Gefährdungen, die mit einer RPZ größer dem vereinbarten Zielniveau bewertet werden, durch geeignete Maßnahmen gesenkt werden. Dabei wird zwischen konstruktiven, technischen und organisatorischen Maßnahmen unterschieden. Konstruktive Maßnahmen beziehen sich auf bauliche Veränderungen an der Maschine, die deren grundsätzliche Gestalt oder Funktion verändern. Technische Maßnahmen werden durch Hilfsmittel technischer Natur erzielt. Dies können in Bezug auf die Mensch-Roboter-Kollaboration zusätzliche Schutzeinrichtungen oder Sensoren sein, allerdings auch die Begrenzung von Leistung und Geschwindigkeit durch die Steuerung des Roboters selbst.

In Abhängigkeit der Höhe der RPZ wird für steuerungstechnische Maßnahmen ein bestimmter Zuverlässigkeitsgrad vorausgesetzt, welcher die Ausfallwahrscheinlichkeit pro Stunde der technischen Maßnahme beschreibt. Dieser vorausgesetzte Zuverlässigkeitsgrad wird als Performance Level (PL) nach EN ISO 13849-1 oder Safety Integrity Level (SIL) nach EN 61508 bzw. EN 62061 angegeben.

In Abbildung 6 verlangt die beispielhafte Gefährdung mit einer RPZ von 30 bei Einsatz einer technischen Maßnahme zur Risikominderung einen Performance Level von wenigstens PL = c bzw. ein Safety Integrity Level von SIL1, was einer Ausfallwahrscheinlichkeit von maximal 0,0003% je Stunde entspricht. Durch Umsetzung dieser Maßnahme wird die RPZ auf 10 reduziert. Durch ergänzende organisatorische Maßnahmen kann sie weiter, im vorliegenden Beispiel bis auf den Wert 8, abgesenkt werden. Liegt dieser damit unter dem vereinbarten Höchstwert, so wären keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Die Möglichkeiten zur Risikominderung sind denkbar vielfältig und in ihrer Wirkung unterschiedlich.

Die Besonderheit der Mensch-Roboter-Kollaboration liegt in der potenziellen Kollision zwischen Mensch und Roboter. Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über den Umgang mit dieser Besonderheit sowie weitere Ideenanstöße für risikomindernde Maßnahmen.

Performance Level (PL)	Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls (PFH <sub>d</sub> ) [1/h]	SIL Level
a	$10^{-5} \leq PFH_d < 10^{-4}$	-
b	$3 \times 10^{-6} \leq PFH_d < 10^{-5}$	SIL 1
c	$10^{-6} \leq PFH_d < 3 \times 10^{-6}$	SIL 1
d	$10^{-7} \leq PFH_d < 10^{-6}$	SIL 2
e	$10^{-8} \leq PFH_d < 10^{-7}$	SIL 3

Abb. 7: Zuverlässigkeitsgrade technischer Risikominderungsmaßnahmen

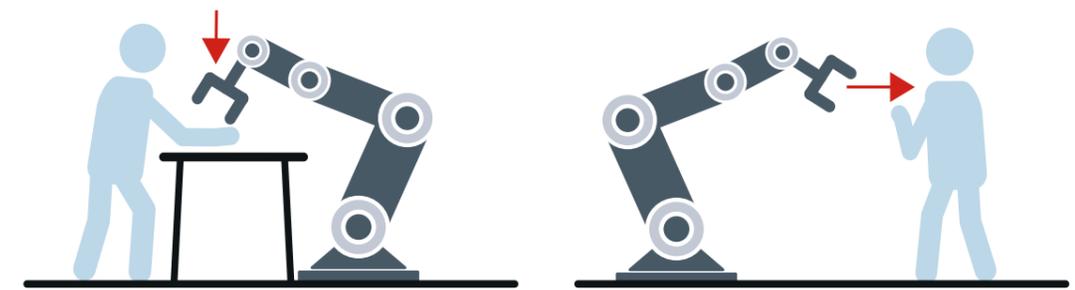
## 3. Maßnahmen zur Risikominderung

### 3.1 Grundlagen der biomechanischen Grenzwerte

Sind im Rahmen der Risikobeurteilung die möglichen Kollisionsszenarien zwischen Mensch und Roboter identifiziert worden, so ist die wichtigste Maßnahme zur Risikominderung nach der Vermeidung der Gefahrenstelle die Reduktion von Kräften und Geschwindigkeiten als technische Maßnahme – zur Einhaltung von Kraft- und Druckgrenzwerten, die für Kollisionen zwischen Bediener und Roboter gelten.

Die potentiellen Kontaktsituationen können nach ISO/TS 15066 in zwei Kategorien unterteilt werden: den **transienten** und den **quasi-statischen Kontakt**. Zum einen unterscheiden sie sich in der Dauer des Kontakts, zum anderen in der Möglichkeit des betroffenen Menschen sich nach dem Zusammenstoß zu befreien.

Der quasi-statische Kontakt dauert per Definition länger als 0,5 Sekunden an und der Mensch wird zwischen Roboter und der Umgebung oder Teilen des Roboters eingeklemmt. Im Gegensatz dazu dauert der transiente Kontakt höchstens 0,5 Sekunden und die getroffene Person kann nach dem Kontakt zurückziehen bzw. ausweichen (vgl. Abb. 8 – transient und quasi-statisch).



Quasi-statische Kollision

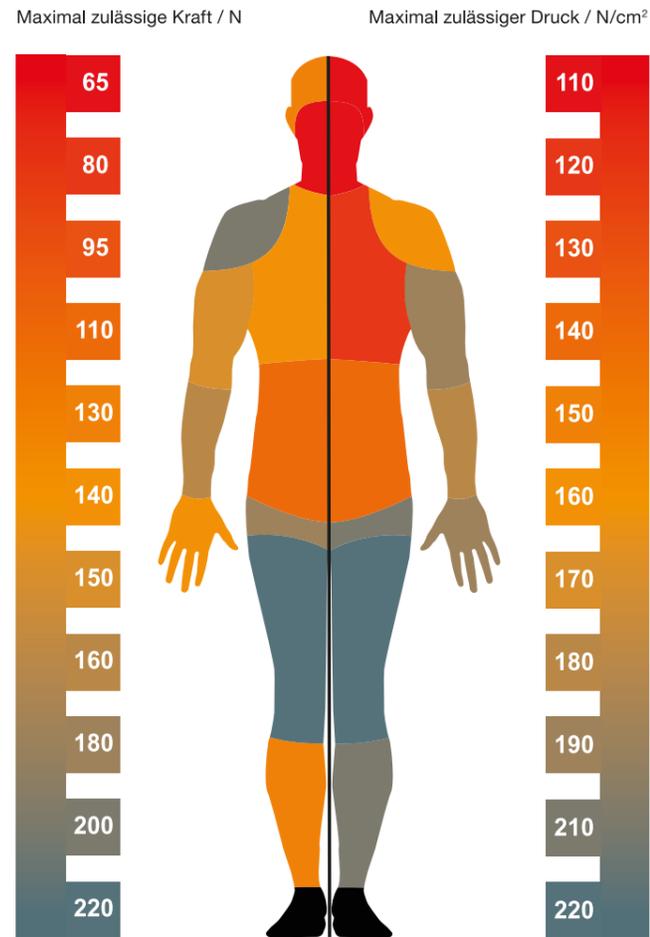
Transiente Kollision

Abb. 8: Klassifizierung von Kollisionssituationen

Zur Festlegung der Grenzwerte für eine quasi-statische Kollision wurden Schmerzgrenzen des Menschen in Abhängigkeit der wirkenden Kraft und des wirkenden Drucks für 29 spezifische Körperregionen empirisch ermittelt. Das Institut für Arbeitsschutz (IFA) und die Universität Mainz haben dazu 2014 eine Studie mit 100 Probanden durchgeführt. Obwohl aufgrund des geringen Stichprobenumfangs der Studie die ermittelten Ergebnisse nicht für jeden Menschen in gleicher Weise zutreffend sein werden (bspw. Unterscheidung Frau – Mann) wurden die ermittelten Grenzwerte in einer Information der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) (3) und der technischen Spezifikation ISO/TS 15066:2016(E) (1) veröffentlicht. Ein beispielhafter Auszug ist in Abbildung 9 bildhaft zitiert.

In der ISO/TS 15066:2016, welche den Standard EN ISO 10218-1/2:2012 ergänzt, sind neben den beschriebenen Grenzwerten für den quasi-statischen Kontakt (vgl. Abb. 9) auch Grenzwerte für den transienten Kontakt angegeben. Dabei wird von einem doppelt so hohen Grenzwert im Vergleich zum quasi-statischen Kontakt ausgegangen, wobei es sich um eine konstruktive Abschätzung handelt.

Während eines möglichen Zusammenstoßes zwischen Mensch und Roboter dürfen nach ISO/TS 15066:2016 beide für die betroffenen Körperregionen geltenden Grenzwerte, sowohl für Kraft als auch für Druck, nicht überschritten werden. Bei kleiner Kollisionsfläche wird der Druck relevanter sein, bei größeren Flächen die wirkenden Kräfte.



Die beispielhaft dargestellten biomechanischen Grenzwerte stellen eine gute Orientierungshilfe bei der Implementierung von MRK-Applikationen in der Industrie dar und können als Leitfaden dienen.

Auch wenn sich Kraft-, Leistungs- und Geschwindigkeitsgrenzen in den Steuerungen moderner, kollaborativer Roboter parametrieren lassen, sind dennoch reale Messungen von wirkenden Kräften und Drücken im Kontext der Gesamtapplikation durchzuführen – und zwar für alle im Rahmen der Gefährdungsanalyse identifizierten potenziellen Kollisionsfälle (vgl. Abb. 5).

Hierbei wird die Einhaltung der Grenzwerte überprüft.

Abb. 9: Biomechanische Grenzwerte nach ISO/TS 15066:2016 für quasi-statischen Kontakt (Auszug)

### 3.2 Messverfahren und -hilfsmittel

Zur Durchführung dieser Messungen stehen unterschiedliche Verfahren und Messmittel zur Verfügung, welche sich jeweils für unterschiedliche Mess- und Einsatzzwecke eignen.

#### Kraft-Druck-Messgeräte

Die aussagekräftigsten Messergebnisse liefern kombinierte Kraft-Druck-Messgeräte wie das vom Institut für Arbeitsschutz (IFA) der DGUV entwickelte KDMG-KOLROBOT. Dieses Messgerät simuliert als biofideler Ersatz die unterschiedlichen Körperregionen realitätsnah mit ihren jeweiligen Federsteifigkeiten und ist in der Lage, Drücke auch in ihrer örtlichen Auflösung zu messen. Kraft- und Druckverläufe können in einem einzelnen Kollisionsversuch bestimmt werden. Während im Gehäuse des Messgeräts ein Piezo-Kraftaufnehmer zur Kraftbestimmung verbaut ist, ist auf der Kollisionsoberfläche wie in Abbildung 10 erkennbar eine Sensor-Folie angebracht, welche die räumliche Verteilung dieser Kraft misst, wodurch eine Druckverteilung errechnet werden kann. In einer Analysesoftware werden die Daten der unterschiedlichen Sensoren zusammengefasst.

Abbildung 11 zeigt, wie durch schrittweise Absenkung der Kraftgrenze (S) und Beschleunigung (a) in der Steuerung des untersuchten Roboters auch eine Reduktion der vom Roboter in der Kollision ausgeübten Maximalkraft tatsächlich erreicht werden kann und somit eine Ausrichtung der MRK-Applikation an den biomechanischen Grenzwerten ermöglicht wird.



Abb. 10: Messgerät KDMG-KOLROBOT im Einsatz

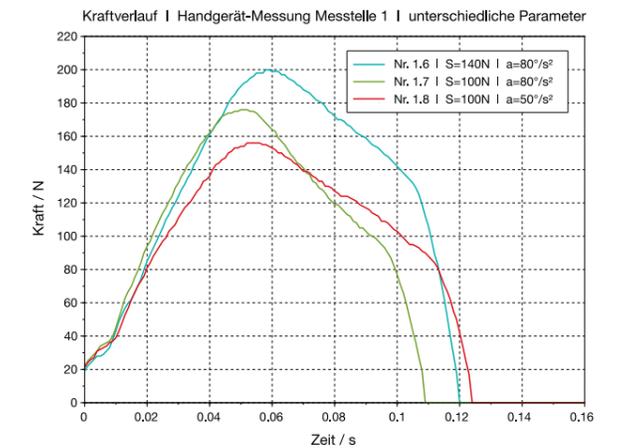


Abb. 11: Kraft-/Zeitverläufe bei veränderten Kraft- und Beschleunigungseinstellungen am Roboter

Durch die Darstellung der Kraft und des Drucks im zeitlichen Verlauf lässt sich die Dauer der Belastung bestimmen und damit eine Entscheidung treffen, zu welchen Zeitpunkten der Grenzwert für quasi-statische oder transiente Kontaktsituationen zu beachten ist. Durch aktive und passive Funktionen einiger Roboter wirken die Kräfte und Drücke nur für kurze Zeit.

Bei Betrachtung der Abbildung 11 im Detail fällt auf, dass trotz einer Parametrierung des Kraftlimits/der Sensitivität auf 140 bzw. 100 N in der Robotersteuerung in allen drei Kollisionsversuchen tatsächlich höhere Kraftspitzen erreicht wurden.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Roboter erst bei Erreichen dieser eingestellten Schwelle die bereits eingetretene Kollision detektiert und bis zur Umsetzung des Stopps im sogenannten Nachlauf weiter Kraft aufbaut.

Dieses Phänomen konnte durch JOANNEUM RESEARCH in Versuchsreihen (vgl. Abb. 12) weiter nachgewiesen werden.

Dies belegt, dass es sich bei den Parametern in den roboterseitigen Sicherheitseinstellungen lediglich um Stellvertreterwerte handelt, die zwingend durch biofidele Messungen überprüft werden müssen (4).

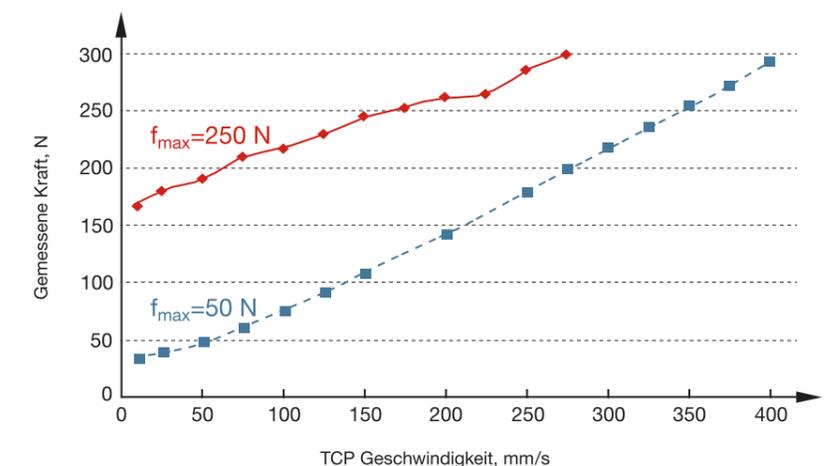


Abb. 12: Eingestellte Sensitivität und tatsächliche Kollisionskraft (4), Robotermodell Universal Robot UR3

## Handmessgeräte

Als Ergänzung zu den vergleichsweise großen und unhandlichen Kraft-Druck-Messgeräten bieten Handmessgeräte die Möglichkeit, auch an schwerer zugänglichen Stellen Kraftmessungen durchzuführen – beispielsweise zwischen den Backen eines Zwei-Finger-Greifers zur Bestimmung der tatsächlichen Greifkraft.



Abb. 13: Handmessgerät KMG-300 im Einsatz



Abb. 14: Ergebnisdarstellung am Handmessgerät (2)

Die Fähigkeiten der Handmessgeräte beschränken sich auf die Kraftmessung im Zeitverlauf. Mit einer festeingestellten Federsteifigkeit von 75 N/mm und einem stark eingeschränkten Umfang an zusätzlichen Dämpfungselementen lassen sich außerdem nur wenige unterschiedliche Konstanten der Körperbereiche abbilden. Zu diesem Zweck müssen zusätzliche Dämpfungselemente außen am Gerät aufgebracht werden. Die Druckverteilung lässt sich alternativ über die Anbringung von Druckmessfolien auf der Kollisionsfläche ermitteln.

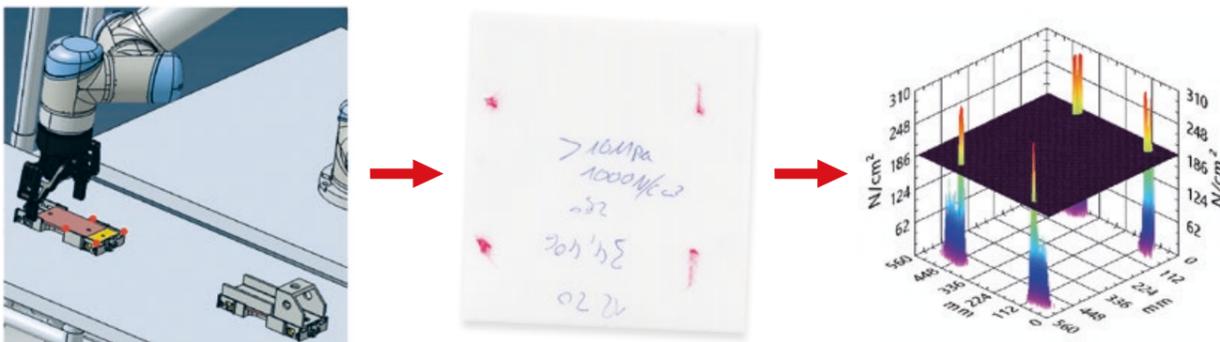


Abb. 15: Hervorstehende Quetschstellen an der Montagevorrichtung, Druckmessfolie mit Farbauftrag nach Kollisionsversuch und Auswertung am Rechner (biomechanischer Grenzwert dargestellt als horizontale Ebene).

## Druckmessfolien

Druckmessfolien eignen sich ebenfalls als ergänzendes Messmittel zur Bestimmung von Drücken an ungleichmäßigen Geometrien oder an noch schwerer zugänglichen Kollisionsstellen.

Die mit Farbkügelchen überzogenen Folien zeigen eine farbliche Änderung bei mechanischer Belastung. Nach Durchführung des Kollisionstests werden die Druckmessfolien eingescannt und softwaregestützt ausgewertet. Im Ergebnis lassen sich so Druckextreme genau lokalisieren und gegebenenfalls notwendige konstruktive Änderungen an der MRK-Applikation ableiten.

## 3.3 Programmierung für Mensch-Roboter-Kollaboration

Über die Parametrierung von Limits für Kraft, Leistung und Geschwindigkeit, zur Einhaltung der biomechanischen Grenzwerte, in der Robotersteuerung, müssen Techniker die gesamte Programmierung in der Mensch-Roboter-Kollaboration neu denken.

Statt einer Minimierung von Zykluszeiten durch möglichst kurze Fahrwege und hohe Geschwindigkeiten des Roboters, sollte die Programmgestaltung selbst einen Beitrag zur Risikovermeidung leisten, ohne dabei die Performanz wesentlich negativ zu beeinflussen.

### Als mögliche Maßnahmen gelten folgende Punkte:

- Auf Greifpunkte als mögliche Quetschstelle sollte langsamer zugefahren werden als in einem herkömmlichen Roboterprogramm.
- Am Greifort selbst sollten Greiferspreizungen so schmal wie möglich ausgelegt werden, um zu verhindern, dass Finger zwischen Werkstück und Greifer geraten.
- Während des Greifvorgangs kann der Kraftaufbau in Relation zur Greiferspreizung überwacht werden, um zu prüfen, ob das richtige Objekt korrekt gegriffen wurde.
- Die Pfadverläufe sollten in ausreichenden Abständen von Umgebungsobjekten geplant werden, um zusätzliche Kollisionsgefährdungen zu vermeiden.
- Der Geschwindigkeitsverlauf innerhalb eines Pfades sollte an Bewegungsrichtung, Lage von Hindernissen und Position von Personen angepasst werden.
- Annäherungen an ebene Oberflächen sollten in möglichst rechtem Winkel erfolgen um scherende Kollisionen zu vermeiden.
- Falls es die Objektgeometrie zulässt, sollte form- vor kraftschlüssigen Greifvorgängen der Vorzug gegeben werden.

Die Programmierung von MRK-Applikationen erfordert neuartige Herangehensweisen im Vergleich zur herkömmlichen Industrierobotern und stellt Programmierer vor neue Herausforderungen. Hier besteht dringender Schulungsbedarf bei Personal und eine entsprechende Behandlung in der Ausbildung.

### 3.4 Konstruktive und organisatorische Sicherheitsmaßnahmen

Neben den technischen Maßnahmen, allen voran der Begrenzung von Kollisionskräften, spielen auch konstruktive und technische Maßnahmen zur Risikominderung eine wichtige Rolle in der ganzheitlich sicheren Auslegung der MRK-Applikation. Die strukturierte Vorgehensweise der Risikobeurteilung identifiziert auch Gefährdungen, denen durch konstruktive oder organisatorische Maßnahmen begegnet werden kann. Häufig stellen solche auch die kostengünstigeren, einfacher zu implementierenden Maßnahmen zur Risikominderung dar.

#### In Bezug auf den Roboter

Einfache konstruktive Elemente können die Zugänglichkeit von potenziellen Scher- und Quetschstellen erschweren bzw. unmöglich machen, sodass diese nicht aufwändig technisch überwacht werden müssen (vgl. Abb. 16 und 17). Dies ist in jedem Falle notwendig, wenn eine technische Überwachung nicht möglich ist oder die an den potenziellen Kollisionsstellen wirkenden Kräfte und Drücke durch Messungen nicht zuverlässig bestimmt werden können, beispielsweise aufgrund ihrer eingeschränkten räumlichen Erreichbarkeit.

Flächenvergrößerung an kleinen Kontaktflächen wie beispielsweise Greiferspitzen kann die Verteilung von Kollisionskräften auf einen größeren Bereich und damit eine Drucksenkung bewirken. Weiche Dämpfungselemente am Robotergehäuse reduzieren die Übertragung von Kraftspitzen.

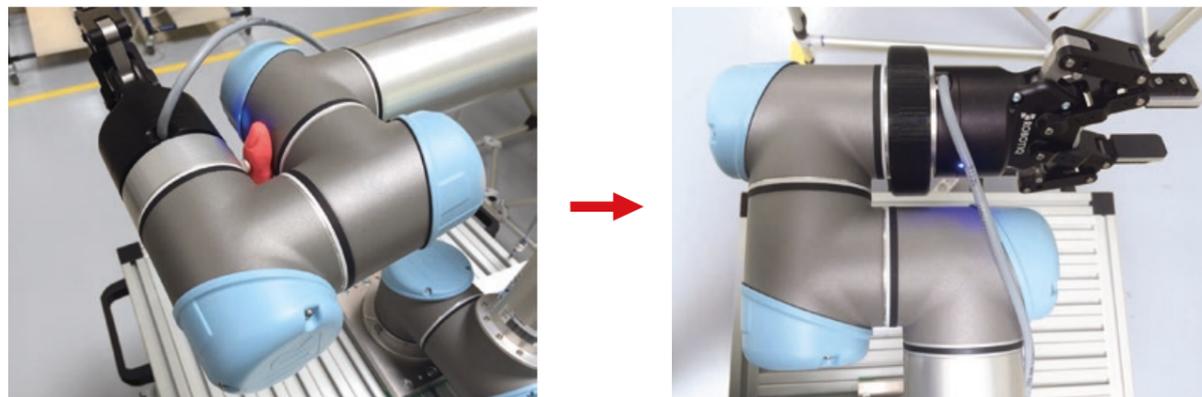


Abb. 16: links: Prüfung einer Quetschstelle am Werkzeugflansch mit einem Safety-Finger, rechts: Absicherung durch Schutzring

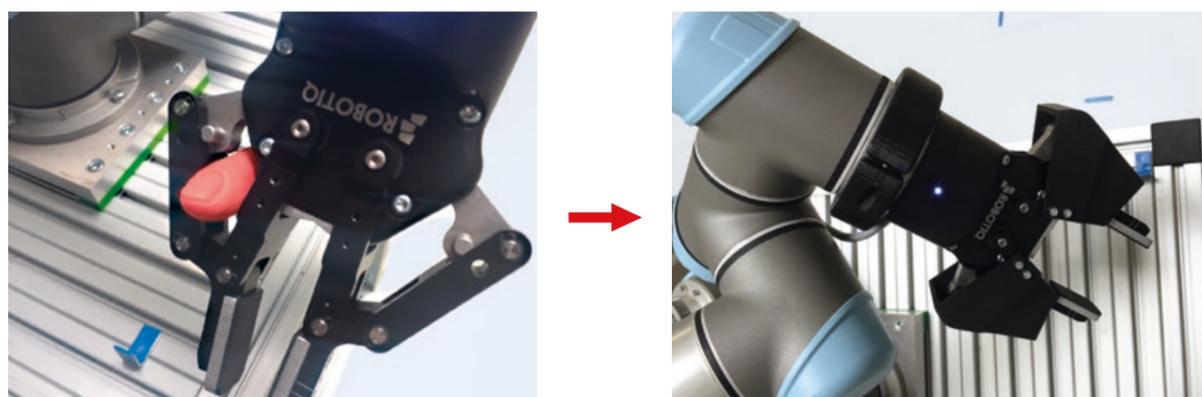


Abb. 17: links: Prüfung einer Quetschstelle an der freiliegenden Greiferkinematik mit einem Safety-Finger, rechts: Absicherung durch Abdeckkappen



Abb. 18: Installation eines Leitungskanals (6)

Durch die Verlegung von Medienleitungen in einen Kanal entlang des Robotergehäuses können die Gefahren von Beschädigungen der Anlage oder Verletzungen aus einem Verfangen des Kabels deutlich gemindert werden (vgl. Abb. 18). Günstigstenfalls ist ein außenliegender Kabelstrang nach Möglichkeit immer zu vermeiden und die ausschließliche Verwendung der im Inneren des Roboterarms geführten Medienleitungen zu bevorzugen.

#### In Bezug auf den Einsatzbereich

Grundlegend sind eine Kenntlichmachung des Einsatzbereichs von kollaborativen Robotern durch Hinweisschilder (vgl. Abb. 19) und die optische Kennzeichnung des Bewegungsbereichs des Roboters innerhalb des kollaborativen Arbeitsraums zielführende Maßnahmen. Sie dienen dazu, die allgemeine Aufmerksamkeit auf mögliche Risiken zu lenken und erhöhen die Chance, den Eintritt einer Gefährdung zu erkennen und somit Schaden abzuwenden. Weiters wird dadurch der Betrieb des Roboters nicht durch oftmalige Sicherheitsabschaltungen beeinträchtigt. Statusanzeigen, wie Säulenampeln, signalisieren den Betriebszustand des Roboters und beugen Überraschungsmomente vor.

Eine sinnhafte Anordnung des Bedienpanels im kollaborativen Arbeitsbereich ermöglicht außerdem einen sofortigen Zugriff auf die Nothalteinrichtung und eine Übersicht über Stör- und Fehlermeldungen. Sollte häufiger Besucherverkehr im betroffenen Fertigungsbereich herrschen, so sollte der Zugang zum Einsatzbereich der MRK-Applikation(en) nur für unterrichtete Personen gestattet werden. Im Hinblick auf den unmittelbaren Kollaborationsbereich und seine konstruktive Auslegung sind allgemein große vor kleinen Flächen und runde vor eckigen Formen zu bevorzugen. Diese Maßnahme führt in Kollisionsfällen dazu möglichst große Kraftaufnahmebereiche zu bieten und damit den einwirkenden Energieeintrag zu mindern.



Abb. 19: Hinweisschild MRK (3)

Das Beispiel aus Abbildung 15 zeigt deutlich, dass eine ursprünglich für die Verwendung in einer rein manuellen Montageumgebung vorgesehene Vorrichtung aufgrund ihrer Geometrie für den Einsatz in einer Mensch-Roboter-Kollaboration völlig ungeeignet ist. Durch die Geometrie des Bauteils ergeben sich spitzkantige Konturen, die im Falle einer durchaus möglichen Handquetschung zwischen der Vorrichtung und dem Werkstück am Roboter zu Kollisionsdrücken führen, welche die biomechanischen Grenzwerte für die Handbereiche deutlich überschreiten. Da eine hinreichende Reduzierung dieser Drücke durch Kraft- und Geschwindigkeitsbegrenzung allein nicht erreichbar sein wird, muss das Betriebsmittel neugestaltet werden.

## 4. Wirtschaftlichkeit von MRK-Systemen

Trotz der hohen Popularität des Themas Mensch-Roboter-Kollaboration im Kontext der Industrie 4.0 und den, bedingt durch das Auftreten neuer Anbieter auf dem Robotermarkt, prinzipiell sinkenden Kosten für die notwendige Hardware, scheuen viele Unternehmen noch den Schritt, sich Wettbewerbsvorteile durch den Einsatz flexibler, sensitiver Assistenzroboter zu verschaffen.

Für Betriebe, die bislang keine Erfahrung mit Automatisierungstechnik generell und Robotik im Speziellen gesammelt haben, bietet es sich an, Einführungsvorhaben von spezialisierten Dienstleistern – auch im Bereich der Risikobeurteilung – unterstützen zu lassen, um den Erfolg eines geplanten Projekts zu sichern. Mit steigendem Erfahrungswissen sinkt die Abhängigkeit von externen Dienstleistern, was Folgeprojekte schneller und günstiger umsetzbar machen wird.

Klassische Amortisationsrechnungen, Grundlage für Investitionsentscheidungen in den meisten Unternehmen, stoßen bei MRK-Anwendungen an ihre Grenzen. Für die Bestimmung der Produktivitätseffekte durch den Einsatz von Leichtbaurobotern sind meist noch keine Bewertungsmethoden vorhanden. Auch die positiven Nebenwirkungen verbesserter Arbeitsergonomie, verbesserter Produktqualität und erhöhter Stückzahlflexibilität lassen sich im Vorhinein nur schwer quantifizieren (5).

Eine Beispielrechnung für die MRK-Montagelinie der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 (vgl. Abb. 20) zeigt die relevanten Kalkulationskriterien. Durch den Einsatz des Roboters zusätzlich zu zwei Mitarbeitern kann die tägliche Produktionsmenge um 25% gesteigert werden, was über die Lebensdauer der Anlage einer Produktionssteigerung von 50.000 Einheiten entspricht. Zwar liegen die Total Cost of Ownership der MRK-Montageanlage um ein dreifaches höher als für eine klassische, manuelle Montagelinie, dennoch können durch gleichbleibende Personalaufwände, dank der gesteigerten Ausbringungsmengen in diesem Montageszenario, bereits knapp 7,5% der Prozessstückkosten eingespart werden – positive ergonomische Auswirkungen nicht mitgerechnet. Anzumerken ist, dass es sich bei dieser Applikation um ein Demonstrationsszenario handelt, bei dem der Fokus auf der Erforschung sicherheitsrelevanter Aspekte liegt. Es ist anzunehmen, dass durch eine gezielte Optimierung der Applikation hinsichtlich Wirtschaftlichkeit ein höheres Einsparungspotential erzielt werden könnte.

### Prozesskostenvergleich:

	Manueller Montageprozess	MRK-Montageprozess
Nutzungsdauer der Anlage [a]	5	5
Arbeitstage pro Jahr [d/a]	250	250
Tägliche Betriebsdauer der Anlage [h/a]	4	4
Kosten der Anlage über Nutzungsdauer [€]	€ 30.000	€ 90.000
Anzahl Mitarbeiter für Prozess	2	2
Lohnkosten [€/h]	€ 70	€ 70
Tägliche Ausbringungsmenge [Stk.]	160	200
Ausbringungsmenge über Nutzungsdauer [Stk.]	200.000	250.000
Anlagenkosten [€/Stk.]	€ 0,15	€ 0,36
Lohnkosten [€/Stk.]	€ 1,75	€ 1,40
Prozesskosten [€/Stk.]	€ 1,90	€ 1,76
Differenz [%]		-7,4

Abb. 20: Prozesskostenvergleich manueller Montageprozess und MRK-Montageprozess anhand der Montagelinie in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0

Vor allem durch Skalierung und Ausweitung des Einsatzes von MRK werden die Kosten pro Anwendung reduziert, da Engineering-Aufwände für gleichartige oder ähnliche Applikationen teilweise eingespart werden können. Weiterhin können zunehmend intelligente und mobile Robotersysteme flexibel eingesetzt werden, wodurch deren Auslastung steigt und die mit dem System in Verbindung stehenden Kosten auf eine größere Anzahl an Prozessen umgelegt werden können.

## 5. Ausblick



Das vorgestellte Verfahren der Risikobeurteilung sowie die exemplarisch dargestellten Maßnahmen zur Reduktion von Risiken in der direkten Mensch-Roboter-Kollaboration bieten einen guten Rahmen zur funktional sicheren Gestaltung von MRK-Anwendungen. Bei rechtzeitigem Einsatz dieser Methoden profitieren Unternehmen auch von höherer Investitionssicherheit durch einen von vornherein sicheren, auf Mitarbeiterbedürfnisse ausgelegten, und somit ergonomischen Prozess. Sie bilden insofern ein Kernelement des integrierten Safety & Security-Konzepts für die Mensch-Roboter-Kollaboration, welches in Zusammenarbeit von TÜV AUSTRIA und Fraunhofer Austria Research, sowie JOANNEUM RESEARCH als assoziiertem Partner, entwickelt wird. Die Schwierigkeiten, mit denen sich Integratoren und Betreiber im Umgang mit Normvorgaben, vor allem auch im Hinblick auf die Einhaltung der biomechanischen Grenzwerte, konfrontiert sehen, werden hierdurch konsequent adressiert.

Das bis hierher vorgestellte Konzept berücksichtigt noch nicht die Rolle der Mensch-Roboter-Kollaboration als Ressource in einem stark vernetzten Fabrikssystem. Erste Untersuchungen des TÜV AUSTRIA zeigen aber bereits, dass durch Kompromittierung des MRK-Systems auf der IT-Ebene weitere Gefährdungen entstehen, die im bisherigen Prozess der Risikobeurteilung unberücksichtigt geblieben sind, oder getroffene Maßnahmen zur Gefährdungsminderung umgangen werden können. In der nächsten Projektphase werden unter anderem durch umfassende Penetrationstests und Systemanalysen die potenziellen Wege der Einflussnahme auf die MRK-Applikation sowie die genauen Möglichkeiten der Manipulation untersucht und ermittelt. Diese Erkenntnisse werden sodann in das integrierte Safety & Security-Konzept überführt, um die Risikobeurteilung ganzheitlich vornehmen zu können.

Weitere Aspekte der Forschungsarbeit werden die Auswirkungen steigender Flexibilität und Produktindividualisierung im Rahmen von Industrie 4.0 sein, welche auf das Vorgehen bei Risikobeurteilung und -minderung ebenfalls einen deutlichen Einfluss haben. Dies betrifft insbesondere auch mobile Manipulatoren, die an veränderlichen Orten eingesetzt werden können und in der Lage sein müssen, Prozesse unter Umständen sehr kurzfristig und kurzzeitig zu übernehmen.

Auch weiterhin werden die Zwischenergebnisse aus der Erarbeitung des integrierten Safety & Security-Konzepts laufend durch die Projektpartner veröffentlicht, welche interessierten Unternehmen und Instituten bereit gestellt werden.

## Über TÜV AUSTRIA

Der österreichische TÜV ist ein internationales Unternehmen mit Niederlassungen in mehr als 40 Ländern der Welt und über 1.500 Mitarbeitern. Das Leistungsspektrum reicht von der Maschinensicherheit und der IT – Security über Managementsystem-Zertifizierung, der Prüfungen von Aufzügen und Druckgeräten, Anlagensicherheit, Aus- und Weiterbildung, Medizintechnik, Elektrotechnik, umweltschutztechnische Gutachten, Schallschutzgutachten, Carbon Footprint-Evaluierungen, Loss Adjustments, AppChecks, alle Arten von Zertifizierungen und Kalibrierungen, Produktprüfungen, technischer Due Diligence und Legal Compliance Checks bis zu Prüfungen von Bühnen-, Photovoltaik- und Windkraftanlagen.

Ansprechpartnerin zum Thema Mensch-Roboter-Kollaboration:  
DI Alexandra Markis – [alexandra.markis@tuv.at](mailto:alexandra.markis@tuv.at)

## Über Fraunhofer Austria Research

Fraunhofer ist die größte Forschungsorganisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa mit über 24.000 Mitarbeitern. Die Forschungsfelder richten sich nach den Bedürfnissen der Menschen: Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Mobilität, Energie und Umwelt. Und deswegen hat die Arbeit der Forscher und Entwickler bei Fraunhofer großen Einfluss auf das zukünftige Leben der Menschen. Sie sind kreativ, gestalten Technik, entwerfen Produkte, verbessern Verfahren und eröffnen neue Wege. In Österreich arbeiten rund 50 Mitarbeiter an Projekten insbesondere in den Bereichen Produktions- und Logistikmanagement sowie Visual Computing und insbesondere an der Innovierung von Wertschöpfungsprozessen durch emergierende Technologien.

Ansprechpartner zum Thema Mensch-Roboter-Kollaboration:  
Fabian Ranz, M.Sc. – [fabian.ranz@fraunhofer.at](mailto:fabian.ranz@fraunhofer.at)

## Über JOANNEUM RESEARCH

JOANNEUM RESEARCH ist eine unternehmerisch orientierte Innovations- und Technologieanbieterin, die, eingebunden in ein internationales Netzwerk, seit mehr als dreißig Jahren Spitzenforschung auf internationalem Niveau betreibt. Das Institut für Robotik und Mechatronik (ROBOTICS) konzentriert sich in seiner Forschungstätigkeit vor allem auf die Sicherheit von Robotersystemen. Dieser Fachbereich umfasst sowohl die physische Sicherheit (Safety), die Cybersicherheit (Security) als auch die sicherheitsgerichtete künstliche Intelligenz. Darüber hinaus wird in einem der modernsten Robotere Labore in Österreich an Themenstellungen wie Mensch-Roboter-Kollaboration und -Interaktion, mobile Manipulation und intelligente Automatisierung geforscht.

Ansprechpartner zum Thema Mensch-Roboter-Kollaboration:  
DI Dr. Mathias Brandstötter – [mathias.brandstoetter@joanneum.at](mailto:mathias.brandstoetter@joanneum.at)

## Quellen

- (1) ISO/TS 15066:2016(E): Technical Specification: Robots and robotic devices – collaborative robots. Erste Edition, 15.02.2016
- (2) Copyright: GTE Industrieelektronik GmbH
- (3) DGUV-Information: Kollaborierende Robotersysteme – Planung von Anlagen mit der Funktion “Leistungs- und Kraftbegrenzung”. Entwurf 11/2015, FB HM-080
- (4) D. Kirschner, A. Schlotzhauer, M. Brandstötter: Validation of Relevant Parameters of Sensitive Manipulators for Human-Robot Collaboration. *To appear in Proceedings of the 26th International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD) (2017).*
- (5) W. Bauer, M. Bender, M. Braun, P. Rally, O. Scholtz: Roboter ohne Schutzzaun in der Montage – Stand der Anwendungen in deutschen Montagen. *wt Werkstattstechnik online Jahrgang 106 (2016) H. 9, S. 616-621.*
- (6) Copyright: Icus® GmbH

# WhitePaper

**TÜV AUSTRIA Gruppe**

DI Alexandra Markis  
TÜV-Austria Platz 1  
2345 Brunn am Gebirge  
Mail: [i4.0@tuv.at](mailto:i4.0@tuv.at)

[www.tuv.at/i40](http://www.tuv.at/i40)

**Fraunhofer Austria  
Research GmbH**  
Fabian Ranz M.Sc.

Theresianumgasse 27  
1040 Wien  
Mail: [fabian.ranz@fraunhofer.at](mailto:fabian.ranz@fraunhofer.at)

[www.fraunhofer.at](http://www.fraunhofer.at)

**JOANNEUM RESEARCH**  
Forschungsgesellschaft mbH  
ROBOTICS - Institut für Robotik und Mechatronik  
DI Dr. Mathias Brandstötter

Lakeside B08a  
9020 Klagenfurt am Wörthersee  
Mail: [mathias.brandstoetter@joanneum.at](mailto:mathias.brandstoetter@joanneum.at)

[www.joanneum.at](http://www.joanneum.at)