

Leitfaden für den ortsflexiblen Einsatz von kollaborativen Robotern

Praxisnah. Anwenderfreundlich. Prägnant.

Impressum

Diese Publikation ist dauerhaft nachgewiesen im Repositorium der Fraunhofer-Gesellschaft unter <https://doi.org/10.24406/igcv-n-635224>.

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
Am Technologiezentrum 10
86159 Augsburg

VDMA Bayern
Denningerstraße 84
81925 München

Projektleitung

Fraunhofer IGCV, Dr.-Ing. Julia Berger
Fraunhofer IGCV, Christian Härdlein (Redaktion)
VDMA Bayern, Laura Hillgartner (Redaktion)

Leitung der Arbeitsgruppen

ABB Automation GmbH Division Robotics
Caspari Consulting Inh. Katja Caspari
Siemens AG
Weber Schraubautomaten GmbH

Bildnachweise

Titel & S. 10: ©zyabich – stock.adobe.com
S. 25: ©patpitchaya@hotmail.com – stock.adobe.com
S. 31: ©Matej Kastelic – stock.adobe.com
Grafiken und Bilder, falls nicht anders angegeben:
©Fraunhofer IGCV

Gestaltung

Fraunhofer IGCV, 2022

Hinweis

Der Inhalt des Leitfadens wurde sorgfältig recherchiert und zusammengestellt, ersetzt aber nicht die Rechtsberatung im Einzelfall. Für die Richtigkeit und Vollständigkeit sowie für zwischenzeitliche Änderungen wird keine Gewähr übernommen.

Der Leitfaden dient nur als Anhaltspunkt und bietet nur einen Überblick zur Beurteilung von Risiken und Chancen der MRK-Integration. Er erhebt weder einen Anspruch auf

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Inhaltliche Beiträge aus dem Netzwerk

ABB Automation GmbH Division Robotics
Armin Lausterer Ingenieurbüro für Prozessoptimierung GmbH
Berufsgenossenschaft Holz und Metall
BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH
Caspari Consulting Inh. Katja Caspari
DENSO Robotics Europe
Festo SE & Co. KG
Festo Vertrieb GmbH & Co. KG
FHWS
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
German Robotics Academy
HAWE Hydraulik SE
ICM – Institut Chemnitzer Maschinen- und Anlagenbau e.V.
IFS Sicherheitstechnik GmbH
INEX Werkzeugmaschinen GmbH
JUGARD+KÜNSTNER GmbH
ROBUEN – Robotics Business Engineering
Schaeffler Technologies AG & Co. KG
SENSODRIVE GmbH
SICK Vertriebs-GmbH
Siemens AG
Thomas Stempfhuber – CE-Koordinator/-Berater, Techn. Red.
VDMA Bayern
Weber Schraubautomaten GmbH
Yaskawa Europe GmbH
ZF Friedrichshafen AG

Vollständigkeit noch auf die exakte Auslegung der bestehenden Rechtsvorschriften. Er darf nicht das Studium der relevanten Richtlinien, Gesetze und Verordnungen ersetzen. Weiter sind die Besonderheiten der jeweiligen Produkte sowie deren unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten zu berücksichtigen. Von daher sind bei den im Leitfaden angesprochenen Beurteilungen und Vorgehensweisen eine Vielzahl weiterer Konstellationen denkbar.

Inhalt

Einführung

Was Sie als Grundlage im Bereich der MRK wissen sollten.

Seite 6

Der Use Case

Pick & Place:
Praxisnah. Anwenderfreundlich. Prägnant.

Seite 10

Die Eignungsprüfung

Worauf Sie achten sollten und wie Sie Ihre MRK-Lösung wirtschaftlich einbinden.

Seite 12

Die Risikobeurteilung

Grundlagen, Methoden, Tools – Risiken identifizieren und bewerten.

Seite 14

Die Risikominderung

Wie Sie mit möglichen Gefährdungen umgehen und Komponenten sicher gestalten.

Seite 18

Die Ortsflexibilität

Den ortsflexiblen Einsatz von Leichtbaurobotern effizient implementieren und mit bestehenden Normen vereinen.

Seite 22

Schulung und Weiterbildung

Erfolgsfaktor Mensch: Wie Sie Ihre Mitarbeitenden erfolgreich einbeziehen und qualifizieren.

Seite 24

Unterstützung und Begleitung

Wie Sie regionale Angebote, Initiativen, Förderstrukturen und Maßnahmen finden.

Seite 26

Vorwort

Wissen für die Industrie von morgen.

Der Einsatz der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) hat in den vergangenen Jahren zunehmende Aufmerksamkeit erfahren. Die Normenlage ist definiert, zahlreiche Komponenten zur Umsetzung von MRK-Anlagen sind verfügbar und die Potenziale der Technologie weitreichend bekannt. Für Unternehmen, die bereits ihre Fertigungsabläufe automatisiert haben, bietet sich mit der MRK die Gelegenheit, ihre Mitarbeitenden in belastenden, monotonen und nicht ergonomischen Bewegungsabläufen intensiver zu unterstützen und die Leistungsfähigkeit einer vom demografischen Wandel betroffenen Belegschaft zu erhalten. Gleichzeitig eröffnet sich für Erstanwendende der wirtschaftliche Einstieg in die Automatisierung von Prozessen sowie in die Produktivitäts- und Qualitätsverbesserung. Dennoch ist der konkrete Einsatz von MRK-Anwendungen, allen voran in mittelständischen Unternehmen, noch nicht verbreitet.

Berechnungen der International Federation of Robotics (IFR) zufolge waren im Jahr 2019 lediglich 18.000 von mehr als 373.000 installierten Industrierobotern (4,8 Prozent) kollaborative Leichtbauroboter (Quelle: IFR, 2020). Der Grund: Aktuell fehlen die Erfahrungswerte. Die sicherheitstechnischen Anforderungen für eine CE-Kennzeichnung bringen einen erheblichen Aufwand mit sich und die Ausgestaltung von rechtlich, technisch wie gestalterisch konformen Arbeitsplätzen erfordert unterschiedliche Expertise. Gleichzeitig schafft der zunehmende Fachkräftemangel im nichtakademischen Bereich einen Anreiz, sich mit neuen Automatisierungsmöglichkeiten auseinanderzusetzen.

Mit Blick auf die Möglichkeiten, die sich durch die Robotik von morgen eröffnen, und die Potenziale einer Maschinenvernetzung steht die Industrie ganz am Anfang. So bietet dieser Leitfaden künftigen Anwendenden einen transparenten Einblick in die erfolgreiche MRK-Integration, er kann als übersichtlicher und leicht verständlicher Ablaufplan genutzt werden.

Ziel ist, Unternehmen eine ganzheitliche Orientierungshilfe an die Hand zu geben. Gezeigt wird, wie sich der MRK-Ansatz wirtschaftlich einsetzen lässt und wie Mitarbeitende erfolgreich eingebunden und qualifiziert werden können.

Dabei setzen sich die erarbeiteten Inhalte aus theoretischen wie praktischen Beiträgen aus der anwendungsorientierten Forschung und der Industrie zusammen. Die Prozesssicherheit ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens.

Unser Dank gilt den über 25 Unternehmen und Einrichtungen, die ihre Erfahrungswerte und Expertise im Rahmen des Expertennetzwerks »Robotik für den Mittelstand« einfließen ließen.

Das Expertennetzwerk »Robotik für den Mittelstand« versteht sich als neutrale und kostenfreie Plattform für Unternehmen verschiedener Branchen und Größen. Initiiert aus dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Projekt »Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg« widmen sich die beteiligten Unternehmen und Institute der Robotik von morgen mit dem übergeordneten Ziel des Wissenstransfers und der Vernetzung. Das Fundament: gegenseitiges Vertrauen und Engagement. Es wurden keine finanziellen Zuwendungen vergeben.

Mit der Ausrichtung auf den industriellen Einsatz finden Sie ergänzende Informationen (u. a. Vorlagen, Checklisten) und Hilfsdokumente unter dem angegebenen QR-Code.



Der Leitfaden bietet künftigen Anwenderinnen und Anwendern einen transparenten Einblick in die erfolgreiche MRK-Integration.«

Einführung

Was Sie als Grundlage im Bereich der MRK wissen sollten.

Eigenschaften von kollaborativen Robotern und ihre Anwendung

Klassische Industrieroboter werden im Rahmen von Tätigkeiten eingesetzt, die für den Menschen physisch nicht zu bewältigen sind, z. B. aufgrund von hohen Geschwindigkeiten und der Zyklusleistung, oder auch, wenn es um gleichbleibende Qualität über einen längeren Zeitraum geht. Weitere Merkmale für den Einsatz sind hohe Stückzahlen, eine geringe Variantenvielfalt sowie die Spezialisierung auf eine Arbeitsaufgabe. Dabei erfolgt die Bearbeitung von Arbeitsaufgaben autark, d. h. der Mensch befindet sich nicht im Arbeits- und Bewegungsbereich des Roboters. Entsprechend besitzt die Maschine einen separierten Arbeitsbereich (eingezäunt oder eingehaust). In Ausnahmefällen ist der Arbeitsbereich auch beispielsweise mit Lichtvorhängen oder Laserscannern ausgestattet. Um einen sicheren und kontrollierten Zugang zum Roboter zu gewährleisten, sind Türen und berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen installiert. Diese Schutzmaßnahmen verhindern Unfälle, insbesondere durch Kollision mit dem Roboter oder mit den durch ihn bewegten Nutzlasten (Hesse und Malisa 2010; Pott und Dietz 2019).

Es werden jedoch vermehrt anpassungsfähigere Automatisierungslösungen benötigt, mit denen ein vielfältiger Einsatz ohne Neuentwicklung der Applikation erreicht werden kann. Durch eine Mensch-Roboter-Kooperation bzw. -Kollaboration können die Potenziale des Roboters genutzt, die Flexibilität des Menschen erhalten und Peripherie in der Prozesskette eingespart werden (Müller et al. 2019).

Kollaborierende Roboter (Cobots) ermöglichen im industriellen Umfeld hybride Automatisierungslösungen an Stellen, die zuvor unrentabel erschienen sind und erheblichen Mehraufwand verantworteten. Argumente für den Einsatz von Cobots sind die Verbesserung der Ergonomie von Produktionsmitarbeitenden, die Ortsflexibilität, die intuitive Bedienung oder auch der geringe Platzbedarf aufgrund ihrer kompakten Abmessungen und ihr günstiges Verhältnis von Eigengewicht zu Traglast. (Müller et al. 2019)

Cobots sind für Arbeiten in enger Wechselwirkung mit dem Menschen konzipiert. Ein Cobot wird ohne Einzäunung und Umhausung in das Arbeitsumfeld eines Menschen integriert und kann koexistierend, kooperierend oder kollaborierend eingesetzt werden (Abbildung 1). Bei der Kooperation und Kollaboration wird ein gemeinsamer Arbeitsraum mit Eingriffszonen genutzt. Es finden gekoppelte Arbeiten mit reduzierter Geschwindigkeit statt. Für die sichere Auslegung der Robotersysteme ergeben sich Fragestellungen bzgl. des Umgangs mit Gefährdungen für Menschen, die bisher nicht allgemeingültig beschrieben und geregelt sind (Buxbaum 2020).

Typische Cobot-Anwendungen umfassen »Pick & Place«-Tätigkeiten, Teilezuführungen oder die Bestückung von Maschinen sowie Palettier- und Montageaufgaben. Die Anwendungen setzen zur sicheren Realisierung den Einsatz geeigneter Sensortechnik (interne oder externe Sensoren) voraus. Der Mensch stellt dabei Teile zur Verfügung oder übernimmt im Prozessverlauf weitere Aufgaben, die der Vor- und Zuarbeit dienen.

Was spricht für eine MRK-Applikation?

Neben den klassischen Begründungen für MRK-Applikationen, wie beispielsweise der ergonomischen Entlastung von Mitarbeitenden oder einer Erhöhung der Flexibilität bestehen zusätzliche Argumente, wie die Fachkräftesicherung für höherwertige Tätigkeiten und Einsatzflexibilität, der Einstieg in ein verbessertes Prozessmanagement durch digitale und vernetzte Fertigungsprozesse und die Erhöhung der Kundenzufriedenheit durch verkürzte Fertigungszeiten. Die vereinfachte Programmierung von Cobots trägt positiv zur Realisierung einer MRK-Anwendung bei.

Normen und Richtlinien

Was muss beim Inverkehrbringen einer MRK-Applikation beachtet werden?

Die Maschinenrichtlinie (MRL) 2006/42/EG gilt europaweit einheitlich für den Hersteller/Inverkehrbringer. Im deutschen Rechtssystem wird die Maschinenrichtlinie durch das

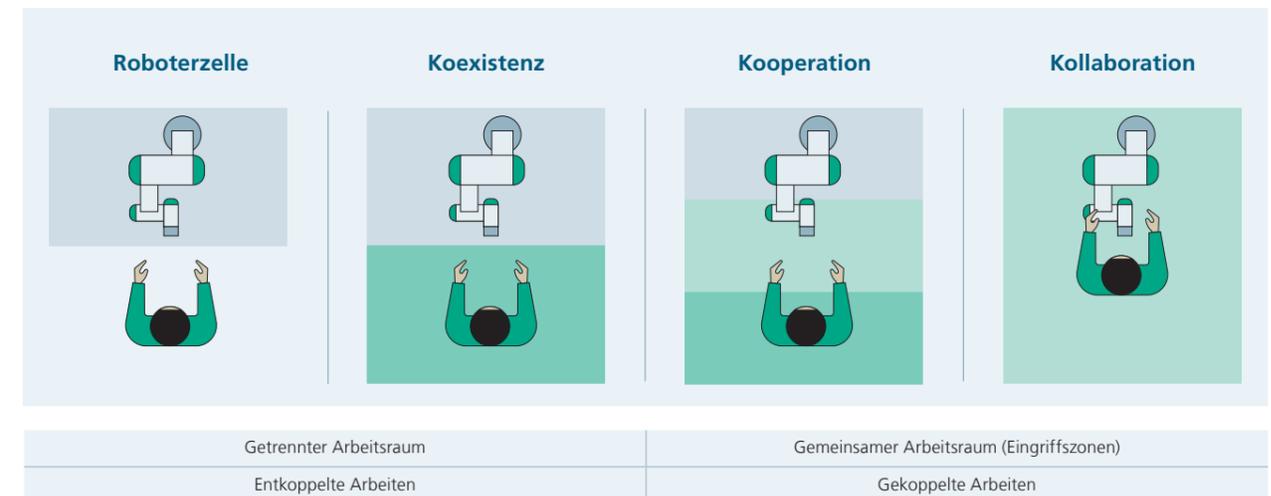


Abbildung 1: Mensch-Roboter-Arbeitsysteme (in Anlehnung an ifaa 2021)

Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) abgebildet, wobei sich die neunte Verordnung auf die Maschine bezieht. Für das Inverkehrbringen einer sicheren MRK-Applikation ist es notwendig, die MRL einzuhalten und durch die Anbringung einer CE-Kennzeichnung die Konformität zu bestätigen. Darüber hinaus gelten Vorschriften zur Sicherheit am Arbeitsplatz, die im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung des gesamten Arbeitsplatzes betrachtet werden müssen.

Woran kann ich mich als Unternehmen orientieren?

Werden die zur MRL harmonisierten Normen (durch den Hersteller) eingehalten, wird die Vermutungswirkung angenommen. Hierbei wird angenommen, dass die

Sicherheitsanforderungen aus der MRL vom Hersteller umgesetzt wurden und demnach eine CE-Kennzeichnung vergeben werden kann. Bei einem Unfall muss dem Hersteller der Maschine nachgewiesen werden, dass er die Sicherheitsanforderungen aus der MRL nicht erfüllt hat.

Der Hersteller ist allerdings nicht verpflichtet, Normen zu erfüllen. Es genügt, wenn er den Anforderungen aus der MRL entspricht. In diesem Fall gilt die Vermutungswirkung nicht. Bei einem Unfall muss der Hersteller der Maschine nachweisen, dass er die Sicherheitsanforderungen aus der MRL erfüllt hat (Beweislastumkehr).

Folgende Normen sind im Bereich der Robotik jeweils in der

	Typ	Normen
C	C-Normen Detaillierte Sicherheitsanforderungen für eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen	DIN EN ISO 10218-1, DIN EN ISO 10218-2
B	B2-Normen Normen zu Schutzeinrichtungen	DIN EN ISO 14119, DIN EN ISO 13850
B	B1-Normen Normen zu Sicherheitsaspekten	DIN EN ISO 13855, DIN EN ISO 13857, DIN EN ISO 13849, DIN EN ISO 11161
A	A-Normen Sicherheitsfachgrundnormen und Grundbegriffe, Gestaltungsansätze für Maschinen	DIN EN ISO 12100

Abbildung 2: Normen für Robotik- bzw. MRK-Anwendungen

aktuellen Fassung zu berücksichtigen, wobei C-Normen vorrangig zu behandeln sind (Abbildung 2):

Rollen in einem MRK-Projekt

Innerhalb eines MRK-Projekts gibt es verschiedene Rollen und Stakeholder, die zu berücksichtigen sind. Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten der Roboter- bzw. Applikationsbeschaffung. Zum einen kann das MRK-Projekt über einen Generalunternehmer laufen. Das sind in der Regel Systemintegratoren. Alternativ kann der kollaborierende Roboter (Cobot) direkt bei einem Hersteller beschafft werden. Die Integration kann anschließend mit dem eigenen Personal erfolgen, oder als Integrationsdienstleistung zugekauft werden. Von dieser Entscheidung ist abhängig, wer und wie viele Personen im Projekt beschäftigt sind und welche Person welche Rolle einnimmt.

Der **Hersteller** (Person oder Unternehmen) ist dafür verantwortlich, dass eine Maschine oder unvollständige Maschine im Sinne der MRL konstruiert und gebaut wird sowie die gesetzlichen Anforderungen erfüllt. Erst die Kombination von Roboter,

Endeffektor und Applikation wird als vollständige Maschine bezeichnet. Je nach Art der Applikation müssen für einen sicheren Betrieb die integrierten Sicherheitsfunktionen verwendet und entsprechend eingestellt werden.

Das **Inverkehrbringen** ist nach § 2 ProdSG die erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt. Gemäß der MRL wird unter der Inbetriebnahme die erstmalige bestimmungsgemäße Verwendung einer Maschine verstanden.

Die Pflichten, die einem **Betreiber** durch den Gesetzgeber auferlegt sind, lassen sich in drei Kategorien gliedern:

- **Persönliche Pflichten** (u. a. Organisations-, Führungs- und Durchführungspflichten)
- **Unternehmenspflichten** (u. a. Beschäftigte, Dritte, Behörden und Umwelt)
- **Spezielle Betreiberpflichten** (u. a. Pflicht zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich des Cobot-Arbeitsplatzes, Prüfpflichten vor Inbetriebnahme, wiederkehrende Prüfungen und Prüfung nach prüfpflichtigen Änderungen)

Aufbau des Leitfadens

Zur erfolgreichen Umsetzung einer sicheren MRK-Applikation ist ein strukturierter Ablauf erforderlich, der in vier Phasen mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen gegliedert werden kann. Der Aufbau des zugrundeliegenden Leitfadens ist dementsprechend gestaltet (Abbildung 3).

Als Einstieg wird ein Use Case als exemplarischer Anwendungsfall skizziert. Anschließend legt das Kapitel zur Eignungsprüfung dar, welche Parameter für die Realisierung einer kollaborativen Applikation erforderlich sind. Zusatzdokumente bieten hier die Möglichkeit, Potenziale im eigenen Unternehmen zu identifizieren und deren Machbarkeit zu bewerten.

Mit der Risikobeurteilung erfolgt die Verifikation des Konzepts. Welche Maßnahmen zur Risikominderung umgesetzt werden können

und was im Hinblick auf die Ortsflexibilität berücksichtigt werden muss, zeigen die folgenden Abschnitte.

Die Kapitel stellen grundlegende rechtliche, technische und gestalterische Anforderungen dar. Leitfragen bieten Orientierungshilfen und führen durch die Projektphasen. Gleichzeitig wird anhand einer exemplarischen Planung und Durchführung ein transparenter und praxisnaher Ablaufplan an die Hand gegeben. Bezugsgröße ist dabei der beschriebene Anwendungsfall.

Die Kapitel »Schulung und Weiterbildung« und »Unterstützung und Begleitung« leisten einen wesentlichen Beitrag zur Sensibilisierung und Akzeptanzschaffung. Ziel ist die erfolgreiche Einbindung und Qualifizierung der Betroffenen.

Anhang

Neben den aufgeführten Normen finden Sie weitere Empfehlungen auf Seite 33.

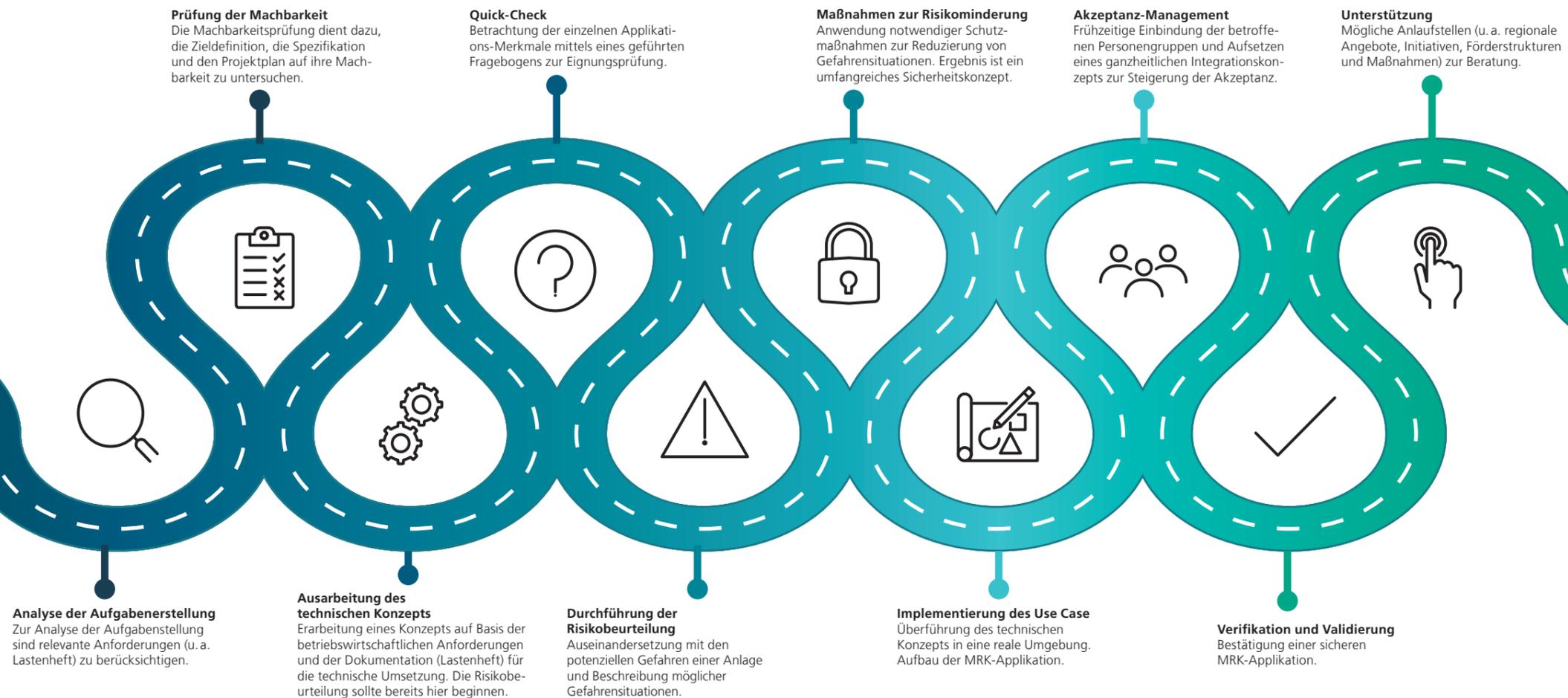
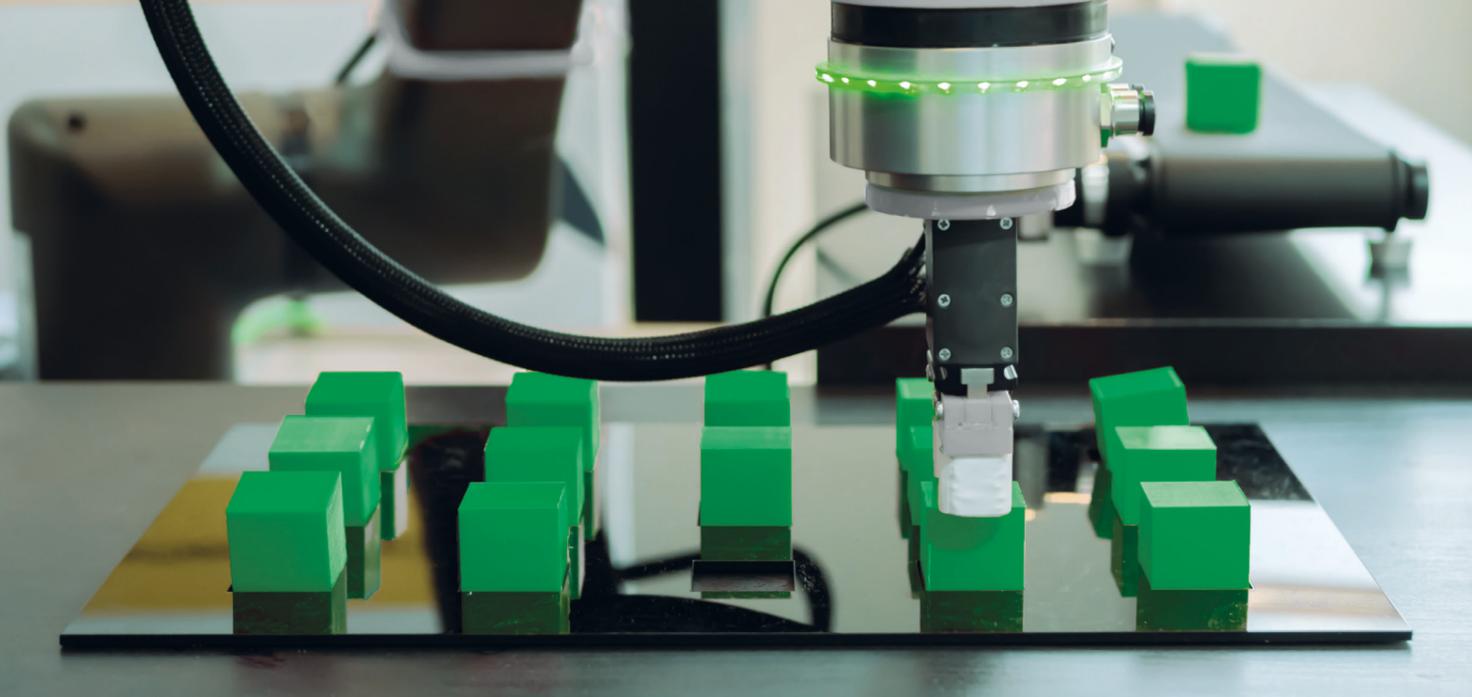


Abbildung 3: Mind-Map zur Umsetzung einer MRK-Applikation



Der Use Case

Um den Einstieg in die Thematik zu erleichtern, stellt der folgende Abschnitt eine exemplarische MRK-Applikation vor: »Pick & Place«. Es sollen Dosen aus einer geordneten Position (Tray) in einer Gitterbox entnommen und auf einem Förderband abgelegt werden.

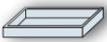
Handhabungsobjekte	Spezifikationen
	Dose Gewicht: 500 g. Abmessungen: Ø 73 mm, Höhe 73 mm. Material: Aluminium + Inhalt
	Tray Gewicht: 50 g. Abmessungen: Länge 1.200 mm, Breite 800 mm. Material: Pappe
	Gitterbox Gewicht: 70 kg. Abmessungen: Länge 1.240 mm, Breite 835 mm, Höhe 970 mm. Material: Stahl

Abbildung 4: Handhabungsobjekte und Spezifikationen

Mit diesem Use Case werden die einzelnen Phasen eines MRK-Projekts (Abbildung 3) beispielhaft veranschaulicht. Es wird ausschließlich der Personenschutz betrachtet.

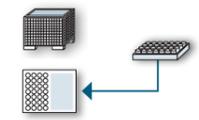
Randbedingungen

- Umgebungsbedingungen: klimatisierte Halle bei max. 25 °C
- Technische Anschlüsse, Pneumatik (6 bar)
- Personenexposition: Wechsel der Trays und der Gitterboxen
- Benutzergruppe: unterwiesene, ausgebildete und geschulte Fachkräfte
- Werkstoffe: keine gefährlichen Materialien oder Substanzen

Handhabungsobjekte

Im Rahmen des Use Cases sind unterschiedliche Objekte zu

Arbeitsumgebung



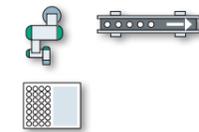
Aufnahmeposition

Dosen werden mehrlagig in Trays in einer Gitterbox angeliefert. Trays müssen nach Leerung entnommen werden.



Ablageposition

Geordnete Ablage der Dosen auf einem Förderband. Dosen werden im weiteren Prozess etikettiert.



Ablageposition

Abstand zwischen Aufnahmeposition und Förderband ist veränderbar. Maximaler Arbeitsraum beträgt 2 x 2 m. Der Mensch befindet sich im Arbeitsraum.

Abbildung 5: Arbeitsumgebung im Use Case

handhaben, die hinsichtlich ihres Gewichts, ihrer geometrischen Form und des verwendeten Materials spezifiziert werden können (Abbildung 4).

Technisches Konzept

Für die technische Umsetzung des Use Case müssen verschiedene Anforderungen an das Robotersystem im Vorfeld ermittelt werden. Anschließend sind geeignete technische Konzepte zu erstellen, zu bewerten und auszuwählen.

Die Anforderungen an den kollaborativen Roboter (Cobot) sind im Falle des Use Case eine 6-Achs-Kinematik, eine Reichweite von 1.000 Millimetern, eine Traglast von 1,5 bis 5 Kilogramm sowie Grundfunktionen gemäß DIN EN ISO 10218 (Power-Force-Limiting, sichere Arbeitsraumbegrenzungen und sichere Geschwindigkeiten). Der Endeffektor soll ein Maximalgewicht von 500 Gramm und einen Hub von 100 Millimetern besitzen. Ein Vakuumgreifer weist gegenüber einem Parallelgreifer, insbesondere bei schwereren Dosen, Nachteile auf. Die Tätigkeiten des Menschen sollen sich auf den Wechsel der Gitterbox und die Entnahme der Trays beschränken, da eine Übernahme dieser Tätigkeiten durch den Cobot mit einem hohen Entwicklungsaufwand und zusätzlichen Kosten verbunden wäre.

Use-Case-Ablauf

Der Ablauf des Use Case gliedert sich in neun zentrale Schritte. Diese beinhalten gemäß den Handhabungsobjekten, dem technischen Konzept und der Arbeitsumgebung Tätigkeiten des kollaborativen Roboters (Cobot) und des Menschen (Abbildung 6).

1. Der Mensch entfernt eine leere Gitterbox und positioniert sowie arretiert eine volle Gitterbox auf angezeichneter Position.
2. Der Mensch öffnet die Gitterbox.
3. Eingabesignal: Neue Gitterbox vorhanden.
4. Der Roboter entnimmt Dosen aus der Gitterbox bzw. aus den Trays, bis das Tray entleert ist.
5. Der Roboter fährt in eine sichere Position.
6. Ausgabesignal: Tray entfernen.
7. Der Mensch entnimmt ein leeres Tray aus der Gitterbox.
8. Eingabesignal: Tray ist entfernt.
9. Nächster Schritt: siehe 4. oder, falls letzte Traylage, siehe 1.

Arbeitsumgebung

Die Arbeitsumgebung des Use Case (Abbildung 5) besteht aus einer Aufnahme- und Ablageposition der Handhabungsobjekte sowie dem Arbeitsraum des Roboters und des Menschen.

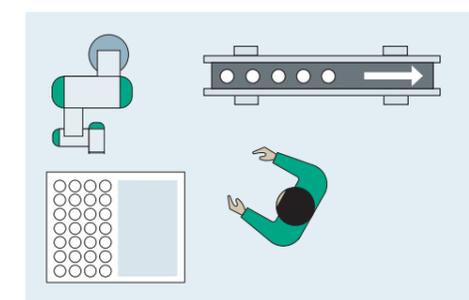


Abbildung 6: Gesamtübersicht des Use Case

Anhang

Die Beschreibung der einzelnen Verfahren des Power Force Limiting sowie deren Vor- und Nachteile finden Sie auf Seite 34.

Die Eignungsprüfung

Worauf Sie achten sollten und wie Sie Ihre MRK-Lösung wirtschaftlich einbinden.

Warum ist eine Eignungsprüfung wichtig?

Im Vorfeld der Implementierung einer MRK-Applikation sollten sich die Anwendenden detailliert mit den Gegebenheiten vor Ort auseinandersetzen. Hierbei sind verschiedene Intentionen in der Praxis üblich. Für eine MRK-Pilotanwendung ist die Zielsetzung, der Zeitplan, die finanziellen Mittel und der spätere Betrieb sowie die Aspekte des MRK-Arbeitsplatzes in der Produktion zu klären. Ein MRK-Arbeitsplatz in der Produktion erfordert vorab eine Überprüfung hinsichtlich Taktzeit, Aufgabenstellung und Peripherie.

Abbildung 7 zeigt den typischen Einsatzbereich für MRK-Anwendungen bzw. grenzt die kollaborative Montage von einer manuellen und einer automatisierten Montage ab. Eine erfolgreiche Realisierung der Applikation erfordert eine weitreichende Erfüllung der Kriterien wie Anzahl der Varianten, Flexibilität, Losgröße und Produktivität.

Was ist bei einer Eignungsprüfung zu beachten?

Vor der Eignungsprüfung sollte die geplante MRK-Applikation inkl. Lastenheft, optional eine Konzeptskizze und Randbedingungen bzgl. Zeitplan, Budget und verfügbarer Kapazitäten bekannt sein.

Die Auswahl des Mensch-Roboter-Arbeitssystems (Abbildung 1) hat einen entscheidenden Einfluss auf den Aufwand hinsichtlich der Konstruktion, des Sicherheits- und Logistikkonzepts sowie der Validierung inkl. Dokumentation. Folgende Fragestellungen unterstützen bei der Auswahl:

1. Gibt es oder soll es einen Eingriff des Menschen in den Arbeitsraum des Roboters geben?
Ja: siehe 2.
Nein: Eine Absicherung erfolgt über trennende Schutzrichtungen (z. B. Umhausung)

2. Arbeiten Mensch und Roboter im Prozess gleichzeitig zusammen?
Ja: siehe 3.
Nein: Es gibt Absicherungsmöglichkeiten über nichttrennende Schutzrichtung (z. B. Laserscanner, Lichtvorhang, sicheres Kamerasystem)
3. Kraft- und leistungsbegrenzende MRK

Wie wird eine Eignungsprüfung durchgeführt?

Der Ablauf einer Eignungsprüfung kann in vier zentrale Schritte unterteilt werden.

1. Analyse der Aufgabenstellung bzw. des Kundenwunsches
2. Prüfung der Machbarkeit
3. Ausarbeitung des technischen Konzepts
4. Quick-Check

Für die Erfüllung des ersten Schritts sind ein Lastenheft zu erstellen, relevante Leistungsdaten aufzunehmen, die Art des Mensch-Roboter-Arbeitssystems festzulegen und die Taktzeit zu ermitteln. Außerdem wird hier die Analyse der technischen Machbarkeit hinsichtlich Roboter und Endeffektor sowie Prozessanforderungen des bestimmungsgemäßen Verwendungszwecks und der vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung vorgenommen.

Der zweite Schritt, die Prüfung der allgemeinen Machbarkeit, umfasst vorhandene Kapazitäten und Termine, die Verfügbarkeit erforderlichen Know-hows und den Schulungs- und Weiterbildungsbedarf beteiligter Personen.

Das technische Konzept ist im dritten Schritt hinsichtlich des Arbeitsplatzes, notwendiger Sicherheitseinrichtungen und der erforderlichen Logistik auszuarbeiten (siehe Abschnitt »Der Use Case«).

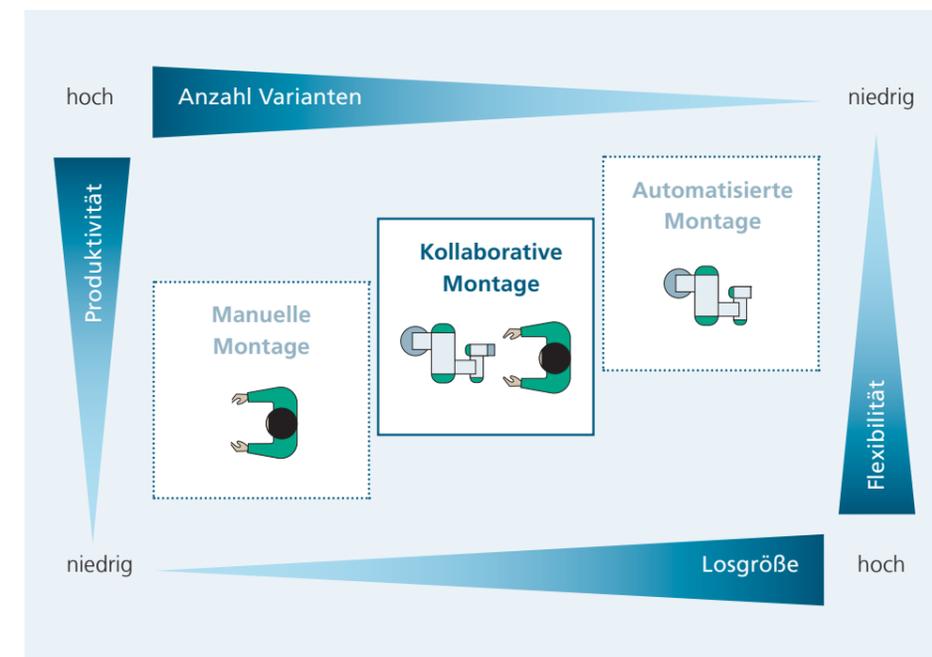


Abbildung 7: Einsatzbereiche der kollaborativen Montage (in Anlehnung an Lotter und Wiendahl 2012).

Wenn alle vorherigen Schritte durchlaufen und abgearbeitet sind, werden die einzelnen Applikationsmerkmale im Quick-Check detailliert betrachtet. Der Quick-Check wird mittels eines geführten Fragebogens zur Eignungsbewertung für MRK-Anwendungen durchgeführt, der eine ausführliche Anleitung für den Gebrauch enthält.

Wer führt eine Eignungsprüfung durch?

Die Eignungsprüfung sollte von Personen der technischen Entwicklung durchgeführt werden. Grundsätzlich sind weitere relevante Stakeholder wie z. B. Produktionsmitarbeitende zu berücksichtigen, um einen Konsens über Zweck und Aufwand zu erlangen.

Wie oft muss eine Eignungsprüfung durchgeführt werden?

Die Eignungsprüfung findet in der Initialphase eines MRK-Projekts statt und legt die Grundausrichtung der Anwendung fest. Sollte sich im Verlauf des Quick-Checks herausstellen, dass die Anwendung nicht realisierbar ist, muss die Eignungsprüfung erneut durchgeführt werden.

Zusatzdokumente

Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung und Planung finden Sie hier:



Zusatzdokumente

Machen Sie hier den Quick-Check zur Eignungsbewertung von MRK-Anwendungen:



Die Risikobeurteilung

Grundlagen, Methoden, Tools – Risiken identifizieren und bewerten.

Warum ist eine Risikobeurteilung wichtig?

Ziel einer Risikobeurteilung ist es, sich mit den möglichen Gefahren einer Maschine auseinanderzusetzen und eine Beschreibung von möglichen Unfallszenarien, die zu Gefahrensituationen führen können, zu erstellen. Anhaltspunkte für relevante Gefährdungen gibt die Liste signifikanter Gefährdungen (DIN EN 10218-2 Anhang A, Tabelle A.1).

Grundsätzlich ist der Hersteller dazu verpflichtet, alle möglichen Gefährdungen für Personen zu identifizieren und mit entsprechenden Maßnahmen zu mindern bzw. zu eliminieren. Das verbleibende Restrisiko muss so gering wie möglich gehalten werden. Hierbei sind alle Komponenten der Applikation (Cobot, Endeffektor, Greifer, Bauteile, Prozessequipment, etc.) zu betrachten.

Wie wird eine Risikobeurteilung durchgeführt?

1. Festlegung des Verwendungszwecks (»Bestimmungsgemäße Verwendung«) und Definition der Maschinengrenzen

(räumlich, zeitlich, etc.) sowie Ermittlung des »vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlgebrauchs« (z. B. Eingriff in den Arbeitsbereich) (DGUV 2017)

2. Identifikation der Gefährdungen, die die Maschine in Gefahrensituationen verursacht (z. B. Bereitstellung Gitterbox)
3. Festlegung der Lebensphasen der Maschine und der Gefährdungen je Lebenszyklus. Beschreibung potenzieller Gefährdungen und Einschätzung des Schadensausmaßes sowie der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens.
4. Bewertung der Risiken zur Entscheidung, ob Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich sind. Ist das bestehende Restrisiko dennoch als zu hoch eingestuft, gilt es, weitere risikomindernde Maßnahmen zu ergreifen (iterativer Prozess).

Wer führt eine Risikobeurteilung durch?

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Durchführung einer Risikobeurteilung mittels Vier- bis Sechs-Augen-Prinzip bzw. von einer größeren Gruppe zielführend ist. Zur Gruppe sollten Personen gehören, die Fragestellungen in folgenden Themenfeldern beantworten können:

- Technische Fragen bzgl. Konstruktion, Funktion, Betrieb, Aufbau, Wartung und Instandhaltung der Maschine
- Unfallhistorie der Maschine bzw. der Maschinenart
- Vorschriften und Normen (insbesondere DIN EN ISO 10218) der Maschine
- Menschliche Faktoren (DIN EN ISO 12100:2010, 5.5.3.4)

Wie oft muss eine Risikobeurteilung durchgeführt werden?

Der Inverkehrbringer einer Maschine hat dafür zu sorgen, dass seine Maschine der MRL entspricht. Dazu muss vor dem Inverkehrbringen der Maschine eine Risikobeurteilung stattfinden. Die Normen EN ISO 12100 und DIN EN ISO 10218-2 helfen dabei, Roboterapplikationen ins Feld zu bringen. Ferner muss der Betreiber gemäß Arbeitsschutzgesetz und Betriebssicherheitsverordnung eine Arbeitsplatzbewertung für die Mitarbeitenden durchführen. Dies beinhaltet, dass zur Werkstellung der Arbeitsaufgabe nur sichere Maschinen eingesetzt werden dürfen (mit CE-Kennzeichnung). Die Risikobewertung erfolgt einmalig durch den Hersteller bei der Erstanwendung und die Gefährdungsbeurteilung regelmäßig durch den Betreiber.

Welche Risiken müssen bewertet werden?

Gemäß DIN EN ISO 10218-2 bzw. Tabelle A.1 – Liste signifikanter Gefährdungen sind folgende Risiken zu bewerten (*Tabelle 1*).

Im Hinblick auf den Use Case sind insbesondere mechanische und elektrische Gefährdungen sowie ergonomische Gefährdungen relevant. Durch die Randbedingungen wurden weitere Gefährdungen weitestgehend ausgeschlossen.

Welche Methoden und Werkzeuge können für eine Risikobewertung eingesetzt werden?

Zur Einschätzung des Risikos sind folgende Faktoren zu bewerten:

- Aufenthaltsdauer im Gefährdungsbereich (häufig/selten)
- Eintrittswahrscheinlichkeit
- Vermeidungsmöglichkeiten (vermeidbar/nicht vermeidbar)
- Schadensausmaß

Tabelle 2 zeigt beispielhaft eine Risiko-Matrix auf, die im Rahmen des Use Cases verwendet wurde.

Das Schadensausmaß ist wie folgt definiert:

- **katastrophal:** Tod, dauerhafte körperliche Schädigung oder Krankheit (berufsunfähig)
- **schwerwiegend:** stark beeinträchtigende Verletzung oder

Gefährdung	Mögliche Auswirkungen
Mechanische Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Quetschen ■ Scheren ■ Schneiden oder Abtrennen ■ Erfassen ■ Einziehen oder Fangen ■ Stoß ■ Durchstich oder Einstich ■ Reibung, Abrieb ■ Einspritzen oder Herausspritzen von Flüssigkeiten/Gas unter hohem Druck
Elektrische Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tödlicher Stromschlag ■ Schlag ■ Verbrennung ■ Freiliegende geschmolzene Partikel
Thermische Gefährdungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verbrennung (heiß/kalt) ■ Strahlungsverletzung
Gefährdungen durch Lärm	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hörverlust ■ Gleichgewichtsverlust ■ Bewusstseinsverlust, -trübung
Gefährdungen durch Vibration	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ermüdung ■ Neurologische Schäden ■ Gefäßerkrankung ■ Stöße
Gefährdungen durch Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verbrennung ■ Schäden an Augen/Haut
Gefährdungen durch Materialien und Substanzen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Brand ■ Chemische Verbrennung ■ Erkrankung durch Einatmen
Ergonomische Gefährdungen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ungesunde Körperhaltung ■ Dauerbelastung ■ Ermüdung
Gefährdungen in Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verbrennung ■ Ausrutschen/Stürzen ■ Schädigung der Atemwege
Kombinationen von Gefährdungen	Jede andere Auswirkung oder Kombination von Gefährdungen und Gefährdungssituationen

Tabelle 1: Liste signifikanter Gefährdungen für Robotersysteme bzw. -anwendungen (in Anlehnung an DIN EN ISO 10218-2).

- Krankheit (ab einem gewissen Zeitpunkt wieder arbeitsfähig)
- **mittelmäßig:** erhebliche Verletzung oder Krankheit, die mehr als Erste Hilfe erfordert (es kann an den gleichen Arbeitsplatz zurückgekehrt werden)
 - **geringfügig:** keine Verletzung oder leichte Verletzung, die nicht mehr als Erste Hilfe erfordert (wenig oder keine verlorene Arbeitszeit)

Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist wie folgt definiert:

- **sehr wahrscheinlich:** sicheres Eintreten
- **wahrscheinlich:** kann eintreten
- **unwahrscheinlich:** sehr unsicheres Eintreten
- **entfernt vorstellbar:** Eintreten nahezu ausgeschlossen

und hängt von verschiedenen Faktoren (Auswahl) ab:

- Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition
- Anzahl der betroffenen Personen
- Arbeitsplatzumgebung
- Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen
- Menschliche Faktoren

Alternative Methoden und Werkzeuge zur Risikobeurteilung sind Inhalt der DIN ISO/TR 14121-2.

Wie sind Messungen als Beurteilungsmaß der Gefährdungsschwere zu behandeln?

Basierend auf dem Ergebnis der Risikobeurteilung werden Kraft- und Druckmessungen durchgeführt. Die Messungen dienen dazu, mechanische Gefährdungen für einen Menschen zu bewerten. Sie sind vor der Erstinbetriebnahme, bei wesentlichen Änderungen und wiederkehrenden Prüfungen nach der

Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) notwendig (Berufsgenossenschaft ETEM 2018). Der Druck-Grenzwert berücksichtigt den Einfluss der Geometrien von Maschinenteilen, die am Arbeitsprozess beteiligt sind (Kanten, Spitzen, Ecken). Dabei ist zu beachten, dass aus einer Verkleinerung der Fläche eine Erhöhung des Drucks resultiert. Die geltenden Grenzwerte sind in der ISO TS 15066 Tabelle A.2 hinterlegt. Neben den Druckgrenzwerten müssen Kraftgrenzwerte für den Kontaktfall zwischen Cobot und Körperteilen eingehalten werden. Dabei ist die Kraft zu begrenzen, um keine hohen Belastungen auf den Körper bzw. das Körpergewebe zu erreichen. Die Anforderungen gelten als nicht erfüllt, sobald einer der beiden Grenzwerte überschritten wird. In diesem Fall sind technische Schutzmaßnahmen (siehe Abschnitt »Die Risikominderung«) zu ergreifen.

Zur Messung der biomechanischen Grenzwerte sind fixierbare Messgeräte (mit fest verbauter Feder oder mit auswechselbaren Federn) zu verwenden, die in der Lage sind, den Druck und die Kraft für Kontaktsituationen zu messen und eine Messfrequenz von min. 1 kHz besitzen. Außerdem sind die Messsignale mit einem Butterworth-Tiefpassfilter (Grenzfrequenz 100 Hz bei 3dB und Steilheit von 4 dB/Oktave) zu filtern (DGUV 2017).

Der Messplan ist eine Übersicht aller erforderlichen Informationen zur Durchführung der Messung und sollte Folgendes enthalten (Berufsgenossenschaft ETEM 2018):

- Festlegung der Körperregion, die gefährdet ist
- Festlegung der Kollisionsart
- Festlegung der an der Kollision beteiligten Roboterelemente
- Definition des Bewegungsablaufs relevanter Roboterelemente
- Festlegen der Geschwindigkeit relevanter Roboterelemente
- Angaben der eingestellten Sicherheitsfunktionen am Roboter
- Festlegung der jeweiligen Dämpferelemente (DGUV 2017)

Zur Messung der maximalen Drücke werden z. B. eine weiße und eine blau-grünliche, einmalig verwendbare, Folie benötigt. Eine Betrachtung der Messunsicherheit ist erforderlich, wobei zwischen Kraft- und Druckmessung zu unterscheiden ist (Berufsgenossenschaft ETEM 2018).

Was muss dokumentiert werden?

Nach der MRL sollte vor Ausstellung der EG-Konformitätserklärung eine technische Dokumentation erstellt werden, die auf Verlangen vorgelegt werden muss. Die Inhalte der Dokumentation sind detailliert im Anhang VII A.1. der MRL festgehalten und beinhalten u. a. folgende technische Unterlagen (Richtlinie 2006/42/EG):

- Beschreibung der Maschine
- Übersichts- und Detailzeichnungen der Maschine
- Unterlagen über die Risikobeurteilung
- Angewandte Normen
- Technische Berichte von Prüfergebnissen
- Exemplar der Betriebsanleitung
- Kopie der EG-Konformitätserklärung

Die Pflichten des Herstellers für kollaborierende Roboter umfassen die Kennzeichnung, dass es sich um einen kollaborierenden Roboter handelt. Ergänzend zu den Anforderungen, die in der ISO 10218-2:2011 Abschnitt 7 getroffen wurden, müssen folgende Punkte ergänzt werden:

- Beschreibung der kollaborativen Applikation
- Art der Roboter
- Arbeitsplatzbeschreibung
- Hersteller und Integrator der kollaborativen Applikation
- Prüfstellen (falls vorhanden)
- Beschreibung der Arbeitsaufgabe
- Spezifische Informationen für Anwendungen mit Leistungs- und Kraftbegrenzung

Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens	Schadensausmaß			
	katastrophal	schwerwiegend	mittelmäßig	geringfügig
sehr wahrscheinlich	hoch	hoch	hoch	mittel
wahrscheinlich	hoch	hoch	mittel	gering
unwahrscheinlich	mittel	mittel	gering	vernachlässigbar
entfernt vorstellbar	gering	gering	vernachlässigbar	vernachlässigbar

Tabelle 2: Matrix der Risikoeinschätzung (in Anlehnung an DIN ISO/TR 14121-2)

Zusatzdokument

Eine umfangreiche Risikobeurteilung des Use Case ist hier zu finden:



Zusatzdokument

Ein Messprotokoll und die Messergebnisse in Bezug auf den Use Case finden Sie hier:



Die Risikominderung

Wie Sie mit möglichen Gefährdungen umgehen und Komponenten sicher gestalten.

Allgemeine Vorgehensweise

Im Anschluss an die Risikobeurteilung erfolgt eine Bewertung der identifizierten Risiken, um feststellen zu können, ob eine Risikominderung notwendig ist.

Die Maßnahmen zur Risikominderung lassen sich aus der DIN EN ISO 12100 ableiten und sind in dieser Reihenfolge anzuwenden:

1. Inhärente sichere Konstruktionen
2. Technische und ergänzende Schutzmaßnahmen
3. Benutzerinformationen

Nach Anwendung der inhärent sicheren Konstruktion muss überprüft werden, ob die Risiken auf ein angemessenes Niveau reduziert wurden. Wenn das Risiko nicht durch inhärent sichere Konstruktion vermindert werden kann, erfolgt im zweiten Schritt die Risikominderung durch technische

Lebensphase	Anforderungen
Alle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verwendung eines Cobots und Greifers mit glatten Oberflächen und abgerundeten Ecken/Kanten ■ Ggf. Einhüllen mit nachgiebigen Oberflächen
Betrieb/Automatik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verwendung eines Cobots mit ausreichendem Platz zwischen den Armsegmenten ■ Verwenden eines Greifers ohne offenliegende Kinematik mit Quetsch- und Scherstellen

Tabelle 3: Beispiele konstruktiver Schutzmaßnahmen in Bezug auf den Use Case

Schutzmaßnahmen d.h. Sicherheitskomponenten wie z.B. die Sicherheitssteuerung oder die im kollaborativen Roboter (Cobot) integrierten Sicherheitsfunktionen (z.B. Geschwindigkeitsüberwachung und Kraftüberwachung). Die unter Umständen nach den technischen Schutzmaßnahmen verbleibenden Restrisiken können im dritten Schritt durch Sicherheitshinweise an der Maschine und in der Betriebsanleitung, durch das Tragen von persönlichen Schutzausrüstungen und Schulungen bzw. Unterweisungen vermindert werden.

Die Benutzerinformation darf jedoch kein Ersatz für die korrekte Anwendung der inhärent sicheren Konstruktion, der technischen Schutzmaßnahmen oder der ergänzenden Schutzmaßnahmen sein.

Trennende Schutzeinrichtungen

Konstruktive Schutzmaßnahmen wie Schutzzäune lassen sich mit MRK-Applikationen schwer vereinbaren. Lediglich bei der Risikominderung bzgl. der Mechanik des Cobots und des Endeffektors sind Maßnahmen wie z. B. das Abrunden von scharfen Kanten oder Polsterungen praxistauglich.

In Bezug auf den Use Case sind in *Tabelle 3* Beispiele aus der Risikobeurteilung für konstruktive Schutzmaßnahmen genannt.

Technische Schutzmaßnahmen

In der Robotik sind häufig softwarebasierte Sicherheitsfunktionen in der Robotersteuerung umgesetzt.

Leistungs- und Kraftüberwachung

Bei MRK-Applikationen kann Quetschen und/ oder Klemmen zwischen den bewegten Teilen des Cobots (z. B. Cobotarm, Werkstück, Endeffektor) und Maschinenbedienenden auftreten. Dabei dürfen definierte Druck-/Kraftgrenzwerte (abhängig von der Körperregion) nicht überschritten werden. Hierfür liefert die ISO/TS 15066 in Anhang A weiterführende

Informationen. Eine sichere Leistungs- und Kraftüberwachung ist meist in der Sicherheitssteuerung des Cobots integriert.

Sichere Geschwindigkeitsüberwachung

Stößt der sich bewegende kollaborative Roboter (Cobot) eine Person, ist das Verletzungsrisiko abhängig von der Trägheit der bewegten Masse (z. B. bewegte Teile des Cobotarms, Werkstück, Endeffektor), der Trägheit des getroffenen Körperteils und der Geschwindigkeit beim Stoß. Um das Verletzungsrisiko ausreichend zu mindern, dürfen von der getroffenen Körperregion abhängige Leistungsgrenzwerte nicht überschritten werden. DIN ISO/TS 15066 stellt hierfür in Anhang A weiterführende Informationen zur Verfügung.

Die maximal zulässige Geschwindigkeit des kollaborativen Roboters (Cobot) ergibt sich aus der Formel zur Berechnung der kinetischen Energie. Je größer die bewegte Masse (Cobot-, Endeffektor- und Werkstückmasse) ist, desto geringer muss die maximale Bahngeschwindigkeit gewählt werden. Die Geschwindigkeiten sind zudem vom Einsatz sicherheitsbezogener Komponenten zur Vermeidung von Gefahrstellen und Kollisionen abhängig.

Sichere Arbeitsraumüberwachung

Um zu verhindern, dass bewegte Teile des kollaborativen Roboters (Cobot) (z. B. Cobotarme oder Werkstück) den vorgesehenen Arbeitsraum verlassen, wird der Arbeitsraum des Cobots überwacht: Die Sicherheitssteuerung des Cobots kontrolliert, ob sich bewegte Teile des Cobots innerhalb des Arbeitsraumes befinden. Der überwachte Arbeitsraum wird je nach Spezifikation des Herstellers meist als geometrischer Körper, etwa als Ebenen oder Quader, definiert.

Verlässt mindestens ein bewegtes Teil des kollaborativen Roboters (Cobot) den Arbeitsraum, muss der sichere Zustand des Cobots eingeleitet werden. Bezogen auf den Use Case ist der sichere Zustand als sofortiges Stillsetzen der Bewegung definiert.

Bei der Parametrierung des überwachten Arbeitsraums müssen die Nachlaufwege so berücksichtigt werden, dass der Cobot stillgesetzt ist, bevor eine Gefährdung eintritt. In Kombination mit der Leistungs- und Kraftüberwachung können Bereiche definiert werden, in denen der Cobot mit den nach ISO TS 15066 festgelegten Kräften bewegt werden darf.

Bezogen auf den Use Case muss die Leistungs- und Kraftüberwachung aktiv sein, wenn sich Quetsch-, Klemm- oder Anstoßgefahren ergeben, z. B. beim Entnehmen einer Dose aus der Gitterbox oder dem Ablegen einer Dose auf dem Förderband. Diese Bereiche können in der Regel durch sichere Zonen in der Sicherheitssteuerung des Cobots, z. B. in Form von geometrischen Körpern, modelliert werden.

Die Kopfhöhe ist aufgrund des Verletzungsrisikos als kritische Zone einzustufen. Kollisionen auf Kopfhöhe müssen für die bestimmungsgemäße Verwendung ausgeschlossen sein. Dies geschieht z. B. durch:

- Ausschließen von Bewegungen des kollaborativen Roboters (Cobots) auf Kopfhöhe mithilfe der sicheren Arbeitsraumüberwachung (in Bezug auf den Use Case liegt die maximale Arbeitshöhe des TCP (Tool Center Point) bei 1,4 Metern)
- Kombination mit der Geschwindigkeitsüberwachung, sodass der Cobot sich auf Kopfhöhe ausreichend langsam bewegt. Dadurch können Maschinenbedienende Annäherungen des Cobots an Gesicht und im vorderen Halsbereich rechtzeitig erkennen und der Kollision ausweichen.

Sichere Überwachung der Orientierung

Mit der sicheren Orientierungsüberwachung wird die Orientierung des Endeffektors im Raum überwacht. Beispielsweise darf ein Werkstück nur bearbeitet werden, wenn der Endeffektor senkrecht zum Fußboden steht. Diese Funktion wurde im Use Case nicht benötigt und ist dementsprechend in der Risikobeurteilung nicht aufgeführt.

Hinweis

Die steuerungstechnischen Schutzmaßnahmen müssen laut ISO 10218-1, PLd mit Struktur Kategorie 3 nach ISO 13849-1 oder SIL 2 nach IEC 62061 erfüllen, so lange die Risikobeurteilung nicht andere Anforderungen an die technischen Schutzmaßnahmen stellt.

Sicherheitsbewährter Halt

Neben den beschriebenen, in der Sicherheitssteuerung des kollaborativen Roboters (Cobots) integrierten Überwachungsfunktionen, sind zumeist Stoppfunktionen integriert. Diese Stoppfunktionen (S0, S1 und/oder S2) werden entweder bei Überschreiten von Kraft-, Geschwindigkeits- oder Orientierungsgrenzwerten sowie bei Verlassen des Arbeitsraums ausgeführt, oder bei Betätigung einer externen Sicherheitseinrichtung, z. B. durch ein Not-Halt-Befehlsgerät.

Für den Anschluss von externen Sicherheitseinrichtungen stehen häufig sichere Eingänge an der Sicherheitssteuerung des kollaborativen Roboters zur Verfügung. Alternativ besteht die Möglichkeit, die sicheren Signale von einer überlagerten Sicherheitssteuerung über ein sicheres Feldbusprotokoll zu übertragen.

In Bezug auf den Use Case sind in *Tabelle 4* Beispiele aus der Risikobeurteilung für technische Schutzmaßnahmen genannt.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

In Bezug auf den Use Case sind in *Tabelle 5* Beispiele aus der Risikobeurteilung für organisatorische Schutzmaßnahmen genannt. Die reale Applikation erfordert die Umsetzung aller organisatorischen Schutzmaßnahmen aus der Risikobeurteilung. Die Anforderungen müssen vom Hersteller in der Betriebsanleitung niedergeschrieben und dem Betreiber zur Verfügung gestellt werden. Der Betreiber ist für das Einhalten der organisatorischen Schutzmaßnahmen verantwortlich.

MRK-fähige Endeffektoren

Nicht nur der kollaborative Roboter (Cobot) und seine integrierten Sicherheitsfunktionen, sondern auch der Endeffektor müssen für MRK-Applikationen geeignet sein. Grundsätzlich ist jedoch jede mögliche Gefährdung, wie z. B. eine Einstichgefährdung oder Gefährdungen durch Druckluft, zu untersuchen.

Besitzt ein Endeffektor eine Herstellerbestätigung für MRK-Applikationen nach DIN ISO/TS 15066, ist das eine gute Basis. Weitere Details wie z. B. die eingebauten Sicherheitsfunktionen zur Kraftüberwachung können dann mit dem Hersteller geklärt werden. Maßnahmen zur Risikominderung sind nach dem STOP-Prinzip (Substitution, Technische Schutzmaßnahmen, Organisatorische Maßnahmen, Persönliche Maßnahmen) zu treffen. Das zu handhabende Bauteil muss gesondert bewertet werden.

In diesem Use Case wurde ein Endeffektor ausgewählt, der sämtliche Kriterien erfüllt. Der Endeffektor zeichnet sich durch eine integrierte Kraftüberwachung aus, damit Verletzungen durch Quetschen/Klemmen zwischen den Greiferbacken minimiert werden können.

Kann ein Endeffektor auch ohne Nachweis von DIN ISO/TS 15066 für MRK-Applikationen verwendet werden?

Besitzt ein Endeffektor keine Herstellerbestätigung für MRK-Applikationen nach DIN ISO/TS 15066, muss überprüft werden, ob scharfe Kanten, Scherkanten oder Einklemmstellen vorhanden sind. Scharfe Kanten sind durch Entgraten, Abrunden oder Abdecken zu beseitigen. Scherkanten sind abzudecken, etwa durch Gummilippen oder sichere Schutzgehüllen (z. B. taktil oder kapazitiv). Sind scharfe Kanten oder Scherkanten nicht durch technische Schutzmaßnahmen zu beseitigen, kann der Endeffektor nicht für eine MRK-Applikation verwendet werden.

Einklemmstellen sind analog zu Scherkanten abzudecken. Sie können auch in der kinematischen Kette des Cobots auftreten. Außerdem sind Einklemmstellen zwischen beweglichen Teilen zu beachten. Können Einklemmstellen nicht durch konstruktive

Maßnahmen wie etwa sichere Schutzgehüllen (z. B. taktil oder kapazitiv) beseitigt werden, ist zu überprüfen, ob die Greifkraft auf ein nicht für den Menschen gefährdendes Maß reduziert werden kann. Andernfalls kann der Endeffektor nicht für eine MRK-Applikation verwendet werden.



Hinweis

Zertifizierte Sicherheitskomponenten lassen sich u. a. daran erkennen, dass der Hersteller

- eine Beschreibung der Sicherheitsfunktionen der Komponenten,
- eine SIL und/oder PL der Sicherheitsfunktionen,
- ein Zertifikat einer Prüfstelle (z. B. TÜV)
- und Sicherheitskennzahlen für die Verifikation der Sicherheitsfunktionen im Gesamtsystem (PFHD, MTTFD, DCavg und SFF)

bereitstellt.

Lebensphase	Anforderungen
Betrieb/Automatik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Überwachung von Leistung und Kraft des Cobots ■ Überwachung der Greifkraft bei Annäherung an das Werkstück ■ Überwachung des Cobotarbeitsraums (ausschließen von Bewegungen auf Kopf- und Halshöhe) ■ Reduzierung und Überwachung der Cobotgeschwindigkeit ■ Überschreitung eines überwachten Grenzwerts: Stoppen der Cobotbewegung; Freigabe der Cobotbewegung über manuelle Rückstelleinrichtung am Cobot oder außerhalb des Gefahrenbereichs

Tabelle 4: Beispiele technische und ergänzende Schutzmaßnahmen in Bezug auf den Use Case

Lebensphase	Anforderungen
Alle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Persönliche Schutzausrüstung
Betrieb/Automatik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Persönliche Schutzausrüstung (z. B. Sicherheitsschuhe) ■ Darstellung des kollaborativen Bereichs auf dem Fußboden: Fläche gelb/schwarz markieren ■ Defensive Bahnplanung: Bewegungsausführung nicht auf Kopf- und Halshöhe ■ Einfache und nachvollziehbare Roboterbewegungen ■ Einfache Prozeduren für den Start und Stopp des Roboters ■ Schulung/Unterweisung des Personals

Tabelle 5: Beispiele organisatorischer Schutzmaßnahmen in Bezug auf den Use Case

Zusatzdokument

Zur Berechnung der maximal zulässigen Geschwindigkeit verwenden Sie das Zusatzdokument:



Zusatzdokument

Eine Übersicht aller risikomindernden Schutzmaßnahmen, bezogen auf den Use Case, sind in der Risikobeurteilung zu finden:



Anhang

Einen Vergleich zwischen Low-End MRK und High-End MRK finden Sie auf Seite 35.

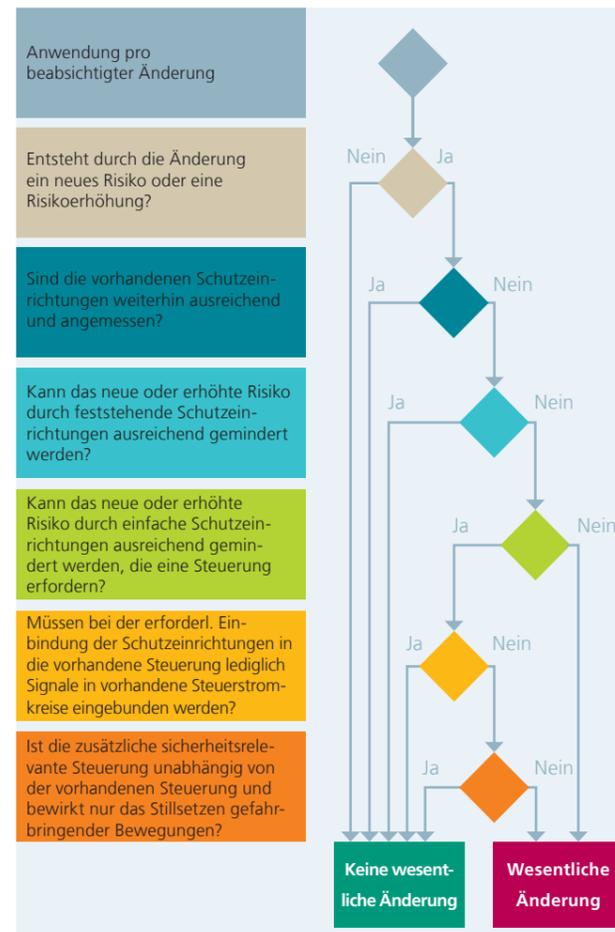
Die Ortsflexibilität

Den ortsflexiblen Einsatz von Leichtbaurobotern effizient implementieren und mit bestehenden Normen vereinen.

Umgang mit Änderungen/Umbau von Bestandsanlagen

Jede Änderung an einer Bestandsanlage unterliegt grundsätzlich der Betriebssicherheitsverordnung. Dies hat eine Revision der aktuell gültigen Freigabe zur Folge. Für die daraus resultierende Notwendigkeit einer Risikobewertung ist entscheidend,

Abbildung 8: Entscheidungsschema »Wesentliche Änderung« (in Anlehnung an Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie 2020)



ob es sich um eine wesentliche oder nicht wesentliche Änderung handelt (Abbildung 8).

In beiden Fällen sind die Schritte zur Entscheidungsfindung und die damit verbundenen Maßnahmen zu dokumentieren. Änderungen von MRK-Applikationen betreffen z. B.:

- Greifer/Endeffektor
- Standort
- Handhabungsobjekt
- Arbeitsablauf
- Zugänglichkeit

Keine wesentliche Änderung

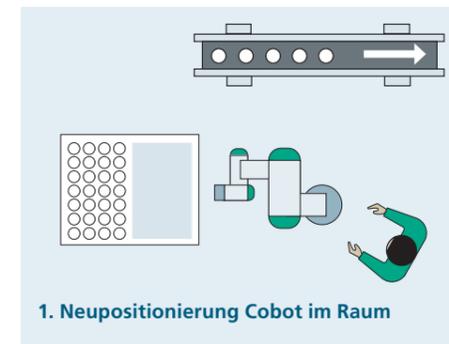
Nicht wesentliche Änderungen führen zu einer Revidierung der vorhandenen Gefährdungsbeurteilung. Folgende Maßnahmen müssen getroffen werden:

- **Anpassung der Risikobeurteilung** inkl. möglicher Änderungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten und Neubewertung des Schadensausmaßes der geplanten Änderungen
- **Implementierung notwendiger Schutzmaßnahmen** (siehe Abschnitt »Die Risikominderung«) und **Validierung**:
 - Kraft-/Druckmessung, ggf. Leistungsgrenzen anpassen
 - Sicherheitseinrichtungen ergänzen/anpassen
 - Neu-Einstellung bis zum akzeptablen Restrisiko
- **Ergänzung der bestehenden Dokumentation**

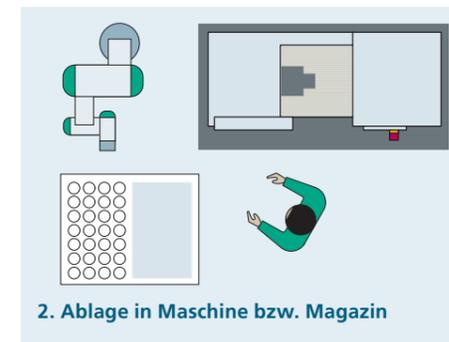
Beispiele für keine wesentliche Änderung

In Bezug auf den Use Case sind auf der rechten Seite Beispiele für eine nicht wesentliche Änderung dargestellt (Abbildung 9):

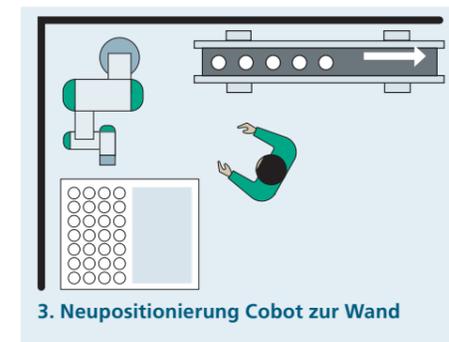
1. **Neupositionierung** des Cobots im Raum vor der Gitterbox ohne Änderung des Arbeitsablaufs.
2. **Ablage** der entnommenen Dosen in einer Maschine bzw. einem Magazin (Höhe 800–1400 Millimeter) anstelle des Förderbands.
3. **Neupositionierung** des Cobots und der Gitterbox in direkter Nähe zur Wand ohne Änderung des Arbeitsablaufs.



1. Neupositionierung Cobot im Raum

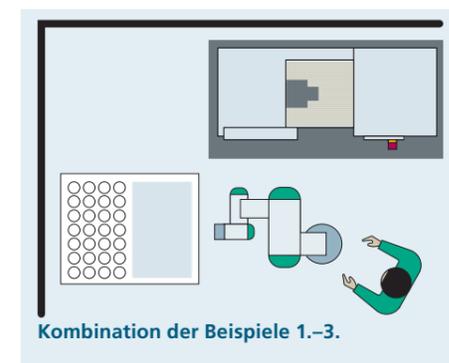


2. Ablage in Maschine bzw. Magazin



3. Neupositionierung Cobot zur Wand

Abb. 9: Beispiele für eine nicht wesentliche Änderung



Kombination der Beispiele 1.–3.

Abb. 10: Beispiel für eine wesentliche Änderung

Die beispielhaft dargestellten Änderungen erfordern folgende Maßnahmen zur Risikominderung:

Identifikation neuer Gefahrenstellen

- Neue Einklemmstellen durch Nähe zur Wand (3. und 4.)
- Neue Einklemm- und Scherstellen durch Maschine bzw. Magazin (2. und 4.)
- Cobot arbeitet im Kopfbereich

Durchführung risikomindernder Maßnahmen

- Bestätigung, dass Cobot nicht im Kopfbereich arbeitet. Hierzu ist eine Begrenzungsfunktion zu verwenden und entsprechend zu parametrieren.
- Limitierung des Cobot-Bewegungsradius
- Cobotgeschwindigkeit in Nähe der Einklemmstellen begrenzen
- Ergänzung durch Schutzvorrichtungen, wie z. B. Lichtvorhang

Validierung

- Kraft-/Druckmessung identifizierter Einklemmstellen
- Limitierung des Cobot-Bewegungsradius überprüfen
- Cobotgeschwindigkeit überprüfen

Wesentliche Änderung

Eine wesentliche Änderung führt zu einer kompletten Neubewertung. Hier ist die harmonisierte Norm EN ISO 10218-2 das geeignete Instrument, um erneut die Konformität mit der Maschinenrichtlinie zu erreichen.

Beispiel für eine wesentliche Änderung

In Bezug auf den Use Case ist ein Beispiel für eine wesentliche Änderung die Kombination der Beispiele 1.-3. (Abbildung 10). Ein weiteres Beispiel einer wesentlichen Änderung: Ein Cobot mit Vakuumgreifer zum Verpacken von Kleinteilen in Kartons wird demontiert und in ein Schweißrobotersystem umgebaut. Dieser neue Verwendungszweck konnte vom ursprünglichen Hersteller nicht betrachtet werden. Es ergeben sich neue Risiken wie z. B. Strahlung, Hitze sowie gefährliche Materialien und Substanzen. Der Austausch des Vakuumendeffektors durch einen Schweißendeffektor bedingt weitere mechanische Gefährdungen. Aufgrund der grundlegenden Modifizierung müssen daher neue risikomindernde Maßnahmen auf Basis einer neuen Risikobeurteilung erarbeitet werden. Hinzu kommen eine Neufassung der Betriebsanleitung sowie die Neuausstellung einer EG-Konformitätserklärung. Die technische Dokumentation ist entsprechend dem Stand der Sicherheitstechnik anzupassen.

Anhang

Die Entscheidungsschemas der einzelnen Beispiele finden Sie auf den Seiten 36 und 37.

Schulung und Weiterbildung

Mit Blick auf die ganzheitliche MRK-Integration wird in diesem Abschnitt auf den Erfolgsfaktor »Mensch« eingegangen.

Warum sind Schulung und Weiterbildung essenziell für eine erfolgreiche MRK-Integration?

Der Einsatz einer MRK-Applikation bedingt neue Konzepte z. B. im Arbeits- und Produktionsprozess. Die Notwendigkeit der Qualifizierung in den Bereichen ergibt sich aus der Fürsorgepflicht gegenüber allen Beschäftigten sowie der Intention (durch den Arbeitgeber), negativen Effekten der MRK-Integration vorzubeugen und die Chancen dieser Systeme für die Betroffenen erkennbar und nutzbar zu machen.

Hierfür braucht es Verständnis für den Sinn und Zweck bei den Betroffenen sowie eine transparente Kommunikation. Emotionen nehmen hier wesentlichen Einfluss. Daher empfiehlt es sich, die betroffenen Personengruppen frühzeitig einzubinden. Im Ergebnis sollen eine gesteigerte Akzeptanz erzeugt und Hemmnisse sowie Berührungspunkte reduziert werden.

Änderungen ergeben sich u. a. in den Bereichen

- Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit
- Arbeitsplatz (ergonomische Arbeitsplatzgestaltung)
- Datenschutz (u. a. Gefahr der Leistungskontrolle)
- Entgeltmodelle (Sicherung bei Ausfällen oder geringen Taktzeiten)
- Tätigkeitsprofile (Auf- oder Abwertung der Tätigkeit)
- Taktzeit (Abstimmung auf den Menschen u. a. im höheren Alter)

Welche Zielgruppen sind bei der Schulung und Weiterbildung zu berücksichtigen?

Zielgruppen sind i. d. R. alle unmittelbar Betroffenen, die (1) mit einem kollaborativen Roboter (Cobot) im Rahmen einer MRK-Applikation in Verbindung kommen, (2) in einem angrenzenden Arbeitssystem beschäftigt sind, (3) Reservisten und (4) Personengruppen, die durch den Einsatz eines kollaborativen Roboters neue Tätigkeiten ausführen bzw. ausführen werden. Gleichzeitig sollten Mitglieder des Betriebsrats

(sofern vorhanden) sowie die Geschäftsführung und deren Vertretung Berücksichtigung im Bereich Qualifizierung finden. Bedenken und Haltungen/Sichtweisen der Belegschaft werden damit nahbarer und eine gemeinsame Argumentationsgrundlage wird geschaffen, z. B. in den Bereichen Entgeltmodelle (Sicherung bei Ausfällen oder geringen Taktzeiten) oder Taktzeit (Abstimmung der Maschine auf den Menschen u. a. im höheren Alter).

Wann stiftet der Bereich Schulung und Weiterbildung einen Mehrwert?

Die Qualifizierung dient dem Wissenstransfer und entspricht dem Kompetenzmanagement. Entsprechend der unterschiedlichen Bedürfnisse und Personengruppen umfassen Qualifizierungsmaßnahmen ein vielfältiges Spektrum an Inhalten. Darunter finden sich der Schutz vor berufsbedingten Gefahren, die stetige Verbesserung der Arbeitsbedingungen, die Optimierung der eigenen Fähigkeiten sowie die Förderung der Gesundheit.

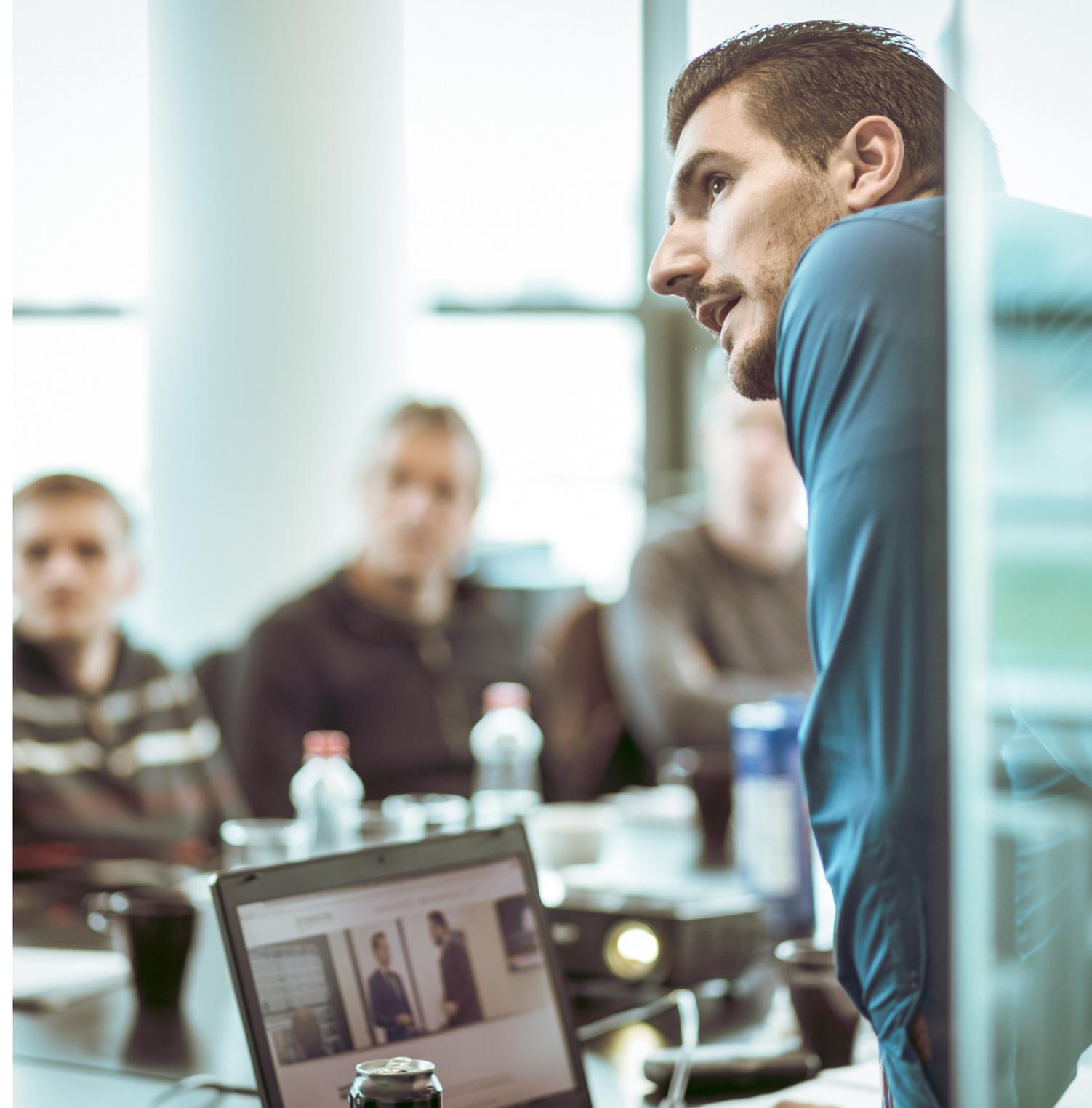
Dabei ist es wichtig, konkrete Lernziele zu setzen. Hier steht die Fragestellung im Vordergrund »Welchen Mehrwert bietet die Veranstaltung für die zu schulenden Personengruppen?«.

So kann eine Sicherheitsunterweisung für Betroffene die folgenden Ziele haben:

- Sie kennen die Unterschiede zwischen klassischen Industrierobotern und MRK-Systemen.
- Sie wissen um die Anforderungen an die MRK-Systeme.
- Sie sind befähigt, Gefahren zu erkennen und situationsgerecht zu bewältigen.

Wem obliegt die Schulungs- und Weiterbildungspflicht?

Im Gegensatz zur Unterweisung besteht keine gesetzliche Pflicht zur Schulung und Weiterbildung.



Die arbeitsschutzrechtliche Pflicht zur Unterweisung obliegt dem Arbeitgeber. Diese Pflicht kann auf andere Personen schriftlich übertragen werden. Dabei können externe wie interne Ressourcen eingesetzt werden. So gelten zertifizierte Trainer, Betriebsärzte, interne Fachleute wie Hygienefachkräfte oder Brandschutz- und Sicherheitsbeauftragte als unterweisungsbefugt, sofern erforderliche Kenntnisse und Fähigkeiten gemäß den vordefinierten Qualifikationen (durch den Arbeitgeber) vorliegen.

Auch eine Unterstützung vonseiten des Herstellers oder des Lieferanten kann hilfreich sein.

Unterstützung und Begleitung

In der veränderungsintensiven Zeit werden sensibilisierungs- sowie umsetzungsorientierte Entwicklungs- und Transfermaßnahmen zu zentralen Erfolgsfaktoren. Hier fördern und begleiten Bund und Länder bereits aktiv die hiesige Wirtschaft mit umfassenden Unterstützungsangeboten. Dieser Abschnitt informiert in Auszügen über die existierenden regionalen Angebote, Initiativen, Förderstrukturen und Maßnahmen.

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg

Das Projekt »Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg« der Förderinitiative »Mittelstand-Digital« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie begleitet klein- und mittelständische Unternehmen auf ihrem Weg in die Digitalisierung. Ziel des Zentrums ist es, grundlegende Informationen sowie Anwendungskennnisse über ganzheitliche Digitalisierungskonzepte zu vermitteln und damit Unternehmen Starthilfe in eine digitalisierte Zukunft zu geben. In Potenzialanalysen und Projekten werden Konzepte für konkrete Anwendungsfälle entworfen sowie in der Praxis erprobt und umgesetzt. Diese Digitalisierungsbeispiele dienen wiederum dazu, andere Unternehmen zu inspirieren, zu informieren und zu motivieren, selbst Projekte zu initiieren. Somit dient das Zentrum als Plattform für die Vernetzung von KMU untereinander sowie für den

Austausch mit Anwenderunternehmen, Anbietern innovativer Digitalisierungslösungen und relevanten Akteuren aus der Forschung.

Durch die Angebote des Kompetenzzentrums Augsburg in den Bereichen Informieren, Qualifizieren, Umsetzen und Vernetzen wird eine durchgängige Befähigungskette für KMU geschaffen, die bedarfsgerecht und individuell dort ansetzt, wo kleine und mittlere Unternehmen Unterstützung benötigen.

Die DGUV

Als weiterer Ansprechpartner bietet die DGUV Präventionsleistungen zu unterschiedlichen Schwerpunktthemen an u. a. zur Stärkung der Sicherheits- und Gesundheitskompetenz,

Förderung einer Kultur der Prävention und Arbeit 4.0. Ziel ist es, Betriebe und Institutionen in den Bereichen Sicherheit und Gesundheit zu unterstützen und zu informieren. Neben der persönlichen Beratung bietet die DGUV Praxishilfen, Checklisten und weitere Informationsmaterialien an.

Die Förderlandschaft

Die angeführten Anlaufstellen werden durch eine Vielzahl an lokalen, überregionalen und internationalen Maßnahmen ergänzt. Tragende Akteure sind u. a. Verbände, Kammern und Wirtschaftsförderer, die durch die lokale Vernetzung mit der jeweiligen Region und der Branchen sowie dem direkten Zugang zu den dort ansässigen KMU, die die Bedarfe kennen. Aufgabe der lokalen Einrichtungen ist es, den Mittelstand über die Potenziale und Herausforderung der Digitalisierung zu informieren und in seinen technischen, organisatorischen und arbeitsgestalterischen Kompetenzen zu qualifizieren.

Gleichzeitig bietet der technische Dienstleistungssektor Unterstützung in den Bereichen Reparatur, Wartung, Instandhaltung, technische Prüfung und Beratung.

Wer fördert was, wen und in welcher Höhe?

Weitere Maßnahmen des Bundes, der Länder und der Europäischen Union zur Stärkung der Innovationskraft des Mittelstands widmen sich der Schaffung von innovationsfördernden Rahmenbedingungen mit Angeboten zu Finanzierung und Förderung, dem Ausbau von nationalen Infrastrukturen sowie der Unterstützung und Begleitung des Mittelstands im Bereich der Internationalisierung.

Zusatzdokument

Weiterführende Informationen zu aktuellen Förderaktivitäten finden Sie in der Förderdatenbank des Bundes:



Anhang

Förderinitiativen zum Gebiet der MRK finden Sie auf Seite 38.

Das Netzwerk

Das Expertennetzwerk »Robotik für den Mittelstand« versteht sich als neutrale und kostenfreie Plattform für Unternehmen verschiedener Branchen und Größen. Initiiert durch das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Projekt »Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg«, widmen sich die beteiligten Unternehmen der Robotik von morgen mit dem übergeordneten Ziel des Wissenstransfers und der Vernetzung. Das Fundament: gegenseitiges Vertrauen und Engagement.

Das Netzwerk lebt, indem Unternehmen voneinander und miteinander lernen, Wissen teilen und Kräfte zusammenführen. Als Netzwerkpartner erhalten Unternehmen, Anwendende und Interessierte Zugang zu

grundlegenden und praxisnahen Ergebnissen aus Forschung und Entwicklung, hochwertigen Dienstleistungen, die in der Regel keine zusätzlichen Kosten bergen, und einem starken Netzwerk im Feld der Robotik. Sie profitieren nicht nur von den gebotenen Qualifizierungs- und Sensibilisierungsangeboten, die es Ihnen ermöglichen, die Chancen und Potenziale der Robotik zu erkennen, sondern gewinnen auch Einblicke in bestehende Anwendungsfälle unterschiedlichster Märkte, erhalten die Möglichkeit, Standardisierungs- oder Zukunftstechnologien mitzugestalten, sich mit anderen Experten der Robotik zu vernetzen und den Erfahrungsaustausch mit Unternehmen sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu pflegen.



Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg gehört zu Mittelstand-Digital. Mittelstand-Digital informiert kleine und mittlere Unternehmen über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Die geförderten Kompetenzzentren helfen mit Expertenwissen, Demonstrationszentren, Best Practice Beispielen sowie Netzwerken, die dem Erfahrungsaustausch dienen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ermöglicht die kostenfreie Nutzung aller Angebote von Mittelstand-Digital. Der DLR Projektträger begleitet im Auftrag des BMWK die Kompetenzzentren fachlich und sorgt für eine bedarfs- und mittelstandsgerechte Umsetzung der Angebote. Das Wissenschaftliche Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) unterstützt mit wissenschaftlicher Begleitung, Vernetzung und Öffentlichkeitsarbeit.



»Der Austausch mit einer großen Anzahl von Fachleuten aus der Praxis war sehr produktiv und aufschlussreich für mich.«

Daniel Küstner,
JUGARD+KÜNSTNER GmbH

»Das Arbeiten im Netzwerk kann ich in vier Worten beschreiben: offen, differenziert, inspirierend und wertvoll!«

Melanie Dübner,
Armin Lausterer
Ingenieurbüro für Produktionssysteme GmbH

»Die Arbeit vom Expertennetzwerk war eine tolle Erfahrung und die investierte Zeit wert. Ich bleibe auf jeden Fall dabei, denn es ist eine gute Plattform für kompetenten Austausch.«

Johannes Knall,
WEBER Schraubautomaten GmbH

»Das Expertennetzwerk ist sehr hochkarätig besetzt und doch recht bodenständig. Alle wollen und können die Robotik entscheidend voranbringen. Jede Frage und jeder Gedanke hat wertschätzend seinen Raum. Das macht dieses Netzwerk besonders und damit auch wirklich zukunftsgestaltend.«

Katja Caspari,
Caspari Consulting

»Ich habe mich gefreut, die unterschiedlichen Probleme und Sichtweisen im Netzwerk zu diskutieren und gemeinsam Lösungen für die kollaborative Robotik zu entwickeln. Wir wollen allen Unternehmen die Angst vor dem Einsatz von kollaborativen Robotern nehmen. Durch unsere Zusammenarbeit haben wir eine bessere Zugänglichkeit für neue Anwendungen in der Robotik erreichen können.«

Nicolai Hämmerle,
Schaeffler Technologies AG

»Ein Leitfaden von Dutzenden Teilnehmenden aus den unterschiedlichsten Bereichen ist eine große Bereicherung für KMU. Denn Digitalisierung lässt sich nicht mit einem Mausklick oder Fingerschnippen einfach so einführen. Für mich war es eine sehr spannende Zeit der Zusammenarbeit, die zu vielen neuen Denkansätzen geführt hat, und die hoffentlich ihre Fortsetzung erfahren wird.«

Klaus Volland,
INEX Werkzeugmaschinen GmbH

»Der Erfahrungs- und Wissensaustausch im Netzwerk ist sehr wertvoll, um die MRK-Technologie – gerade für KMU – weiter voranzutreiben.«

Heiko Böhringer,
Festo SE & Co. KG

Glossar

Betreiber

Die Maschinenrichtlinie setzt den Betreiber, der sich eine Maschine für die eigene Verwendung komplett herstellt, dem Hersteller gleich (Eigenhersteller). Dies gilt auch, wenn der Betreiber zwei Teilmaschinen zu einer Gesamtanlage verkettet.

Betriebsanleitung

Die Betriebsanleitung ist eine Sammlung von Informationen für Benutzer zum sicheren und bestimmungsgemäßen Umgang mit einem Produkt.

CE-Kennzeichnung

Mit der CE-Kennzeichnung erklärt der Hersteller, Inverkehrbringer oder EU-Bevollmächtigter, dass das Produkt den geltenden Anforderungen genügt, die in den Harmonisierungsrechtsvorschriften der Gemeinschaft über ihre Anbringung festgelegt sind.

Cobot

Ein Cobot ist ein Roboter, der das gleichzeitige Arbeiten von Mensch und Roboter im gemeinsamen Arbeitsraum gesetzeskonform zulässt. *[Kurth 2021]*

Endeffektor

Als Endeffektor wird in der Robotik das letzte Element einer kinematischen Kette bezeichnet.

Hersteller

Der Hersteller (eine Person oder ein Unternehmen) trägt Verantwortung dafür, dass eine fertige Maschine oder auch unvollständige Maschine konstruiert, gebaut oder für Eigengebrauch verkauft oder angeboten wird.

Industrieroboter

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.

Inverkehrbringen

Die erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt.

Konformitätserklärung

Die Konformitätserklärung ist eine schriftliche Bestätigung am Ende einer Konformitätsbewertung, mit der der Verantwortliche für ein Produkt, die Erbringung einer Dienstleistung oder eine Organisation verbindlich erklärt und bestätigt, dass

das Objekt die auf der Erklärung spezifizierten Eigenschaften aufweist.

Lastenheft

Das Lastenheft beschreibt die Gesamtheit der Anforderungen des Auftraggebers an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers.

Maschinenrichtlinie

Die Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (kurz: Maschinenrichtlinie) regelt ein einheitliches Schutzniveau zur Unfallverhütung für Maschinen und unvollständige Maschinen beim Inverkehrbringen innerhalb des europäischen Wirtschaftsraums (EWR).

MRK

Mensch-Roboter-Kollaboration bedeutet, dass Mensch und Roboter sich einen Arbeitsraum ohne trennende Schutzeinrichtung teilen.

Norm

Dokument zur Festlegung von Regeln, Leitlinien oder Merkmalen durch eine anerkannte Organisation und deren Normengremien.

Power-Force-Limiting (PFL)

Robotersysteme mit PFL sind so gestaltet, dass bei einem Kontakt z. B. zwischen Personen und Roboterwerkzeug, Teilen des Roboters oder des Werkstücks biomechanische Grenzwerte nicht überschritten werden (Kraft, Druck).

Produktionssicherheitsgesetz (ProdSG)

Das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) nimmt in Deutschland Regelungen zu den Sicherheitsanforderungen von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten vor. Sicherheit bezeichnet allgemein den Zustand, der für Individuen, Gemeinschaften sowie andere Lebewesen, Objekte und Systeme frei von unvermeidbaren Risiken ist oder als gefahrenfrei angesehen wird.

Roboter-Kinematik

Art und die Anordnung der Bewegungsachsen eines Roboters.

Stakeholder

Person oder Personengruppe, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Prozesses oder Projektes hat.

STOP-Prinzip

Technische Präventionsmaßnahmen kommen vor organisatorischen und personenbezogenen. Das ist das sogenannte TOP-Prinzip. Seine Erweiterung heißt »STOP«, wobei »S« für »Substitution« steht.

Systemintegrator

Systemintegratoren sind Unternehmen, die Produkte anderer Hersteller vertreiben, anpassen, erweitern und bei ihren Kunden integrieren.

Taktzeit

Die Taktzeit ist der Zeitraum, innerhalb dessen im Produktionsprozess Bauteile oder Fertigungsmaterialien einen Arbeitsplatz verlassen und an einem nachgelagerten Arbeitsplatz weiterverarbeitet werden.

Validierung

Die Validierung bezeichnet qualitätssichernde Maßnahmen in der Realisierung von Anlagen in Bezug auf Folgen unerwünschter Vorkommnisse (Schadensfolge). Gleichzeitig ist die Validierung der Nachweis, dass die gewählten

fehlervermeidenden Maßnahmen wirksam sind. Außerdem stellt die Validierung die Reduzierung von Schadensfolgen für alle Sicherheitsfunktionen der Anlage sicher.

Verifikation

Die Verifikation bezeichnet qualitätssichernde Maßnahmen während des Entwurfs von Anlagen in Bezug auf das Auftreten von Fehlern (Vermeidung) sowie die Analysen der Applikation im Hinblick auf sämtliche notwendigen Sicherheitsfunktionen.



Literaturverzeichnis

Berufsgenossenschaft ETEM (Hg.) (2018): Messspezifikation für Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborierenden Robotersystemen.

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (Hg.) (2020): Wesentliche Veränderung von Maschinen. Informationsschrift.

Buxbaum, Hans-Jürgen (2020): Mensch-Roboter-Kollaboration. 1st ed. 2020. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-658-28307-0>.

DGUV (Hg.) (2017): Kollaborierende Robotersysteme. Planung von Anlagen mit der Funktion »Leistungs- und Kraftbegrenzung«. DGUV-Information FB HM-080.

Hesse, Stefan; Malisa, Viktorio (2010): Taschenbuch Robotik – Handling – Montage. Mit 7 Tafeln und 34 Tabellen. 1. Aufl. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag.

ifaa (Hg.) (2021): Mögliche Formen der Arbeitsgestaltung für Mensch und Roboter. Online verfügbar unter <https://www.arbeitswissenschaft.net/angebote-produkte/ifaa-lexikon/mensch-roboter-kollaboration-mrk>.

Kirchherr, Julian; Klier, Julia (2019): Investition in Weiterbildung: zu oft verschwendet. Online verfügbar unter https://www.haufe.de/personal/hr-management/weiterbildung-investitionen-oft-verschwendet_80_491694.html, zuletzt geprüft am 14.06.2021.

Kurth, Johannes (2021): Herleitung einer Definition für den Begriff Cobot. Online verfügbar unter <https://s.fhg.de/kurth-cobot>.

Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (2012): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9>.

Müller, Rainer; Franke, Jörg; Kohlenkötter, Bernd; Raatz, Annika; Verl, Alexander (Hg.) (2019): Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration. [1. Auflage]. München: Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446453760>.

Pott, Andreas; Dietz, Thomas (2019): Industrielle Robotersysteme. Entscheiderwissen für die Planung und Umsetzung wirtschaftlicher Roboterlösungen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25345-5>.

Richtlinie 2006/42/EG, Mai 2006: Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

DIN ISO/TS 15066: Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter (ISO/TS 15066:2016).

DIN EN ISO 10218-2, März 2021: Robotik – Sicherheitsanforderungen für Robotersysteme in industrieller Umgebung – Teil 2: Robotersysteme, Roboteranwendungen und Integration von Roboterzellen (ISO/DIS 10218-2:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10218-2:2020.

DIN ISO/TR 14121-2, Februar 2013: Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung – Teil_2: Praktischer Leitfaden und Verfahrensbeispiele (ISO/TR_14121-2:2012).

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2020): Bildungsfinanzbericht. Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://s.fhg.de/leitfaden-destatis>.

Anhang

Weitere empfohlene Normen

Dokument	Beschreibung
ISO/TR20218-1	Robotik – Sicherheitsdesign für industrielle Robotiksysteme – Teil 1: Greiforgane
ISO/TR20218-2	Robotik – Sicherheitsdesign für industrielle Robotiksysteme – Teil 2: Manuelle Be-/Entladestationen
ISO 14539	Industrieroboter – Werkstückhandhabung mit Fingergreifern – Wörterbuch und Darstellung von Charakteristika
DIN EN ISO 13855	Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzvorrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen
DIN EN ISO 13857	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen
DIN EN ISO 13849-1	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze
DIN EN ISO 13849-2	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung
DGUV Information 209-074	Industrieroboter
DGUV-Information FB HM-080	Kollaborierende Robotersysteme – Planung von Anlagen mit der Funktion »Leistungs- und Kraftbegrenzung«
MS-ET-01	Messspezifikationen für Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborativen Robotersystemen

Beschreibung der einzelnen Verfahren des Power Force Limiting sowie deren Vor- und Nachteile

Verfahren	Beschreibung
Drehmomentüberwachung	Drehmomentsensoren messen das auf die Roboterachsen einwirkende Drehmoment. Das Drehmoment wird von der Steuerung auf Basis eines mathematischen Modells und des Bewegungsprofils überwacht.
Strombegrenzung	Bei Robotern mit Strombegrenzung wird das Antriebsmoment über den Motorstrom ermittelt. Die Abschätzung der äußeren Krafteinwirkung erfolgt über die annähernde Proportionalität des Motorstroms zum Motormoment.
Zentrale Kraftsensorik	Durch die zentrale Kraft-Momentensensorik im Fuß des Roboters können extern einwirkende Kräfte und Momente auf die Armstruktur ermittelt werden. Diese werden in der Robotersteuerung mit den aus Beschleunigung und Traglast resultierenden Kräften verglichen.

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Drehmomentüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Feinfühligkeit ■ Kraftgeregelte Bewegungen ■ Einstellbare Steifigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Kosten
Strombegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Geringe Kosten ■ Kraftgeregelte Bewegungen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Niedrige Steifigkeit/nicht regelbar ■ Niedrige Feinfühligkeit
Zentrale Kraftsensorik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe erreichbare Traglast ■ Hohe Steifigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohes Robotergewicht ■ Niedrige Feinfühligkeit

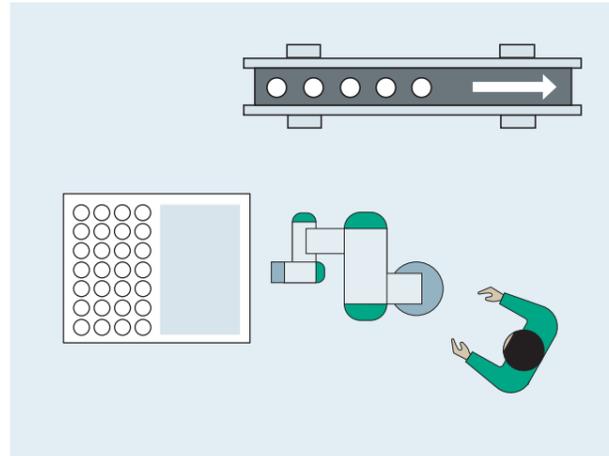
Vergleich Low-End MRK und High-End MRK

Kategorie	Low-End MRK	High-End MRK
Verfügbarkeit	Nach jedem Eintritt des Bedienpersonals in den Gefahrenbereich wird der Roboter stillgesetzt. Ein Anlauf des Roboters erfolgt erst nach einer Quittierung durch das Bedienpersonal, welches dadurch bestätigt, dass der Gefahrenbereich frei ist.	System kann unabhängig arbeiten, auch wenn der Mensch näher an das System herantritt. Reduzierter Modus wird eingeführt, wenn der Abstand zu gering ist bzw. wird das System bei ungewolltem Kontakt sicher angehalten.
Geschwindigkeit	Hohe Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters innerhalb des gesicherten Bereichs möglich. Bereich über Lichtvorhang abgesichert.	Geschwindigkeit abhängig von der eingesetzten Überwachung, allerdings immer langsamer im Vgl. zur Variante mittels Schutzzaun.
Handführen des Roboters	nicht möglich	möglich: optimierte Abläufe, einfache Störungsbehebung
Platzbedarf	Je höher die Geschwindigkeit des Roboters, desto weiter weg muss der Lichtvorhang vom Gefahrenbereich installiert werden.	Einsatz ist ortsflexibel und mit minimalem Platzbedarf möglich.
Investitionskosten	Gering aufgrund überschaubaren Einsatzes bewährter Sicherheitstechnik.	Hoch aufgrund des Einsatzes verschiedener Sicherheitstechnik sowie einem erhöhten Validierungsaufwand.
Aufwand bei Applikationsänderung	Keine Änderung, sofern keine Erhöhung der Geschwindigkeit/Beschleunigung.	Erneute Validierung bzgl. Kontakt und Gefahrstellen notwendig.
Montageaufwand bei Ortsveränderung	Erneute Montage der Lichtvorhänge bei Ortsveränderung der Maschine.	Keine erneute Montage am System bei Ortsveränderung notwendig.
Validierungsaufwand bei Ortsveränderung	Erneute Validierung bei Ortsveränderung der Maschine.	Sofern keine Änderung am System im Zusammenhang mit der Ortsveränderung notwendig ist, kann die bestehende Validierung als gültig beibehalten werden. Änderungen können bspw. größere Positionsänderungen des Roboters sein.
Verifikation & Validierung	Rechnerischer Nachweis der Abstände von der Gefahrenstelle zum Lichtvorhang (überschaubarer Aufwand = genereller Validierungsaufwand).	Validierung der Einhaltung der Kräfte bei möglichen Kontaktstellen + generelle Validierung.
Entwicklungsaufwand	Einrichtung Roboter – Greifer – S-SPS (Lichtvorhang, Not-Halt).	Einrichtung ähnlich Low-Cost + weitere Sicherheitstechnik einbinden.

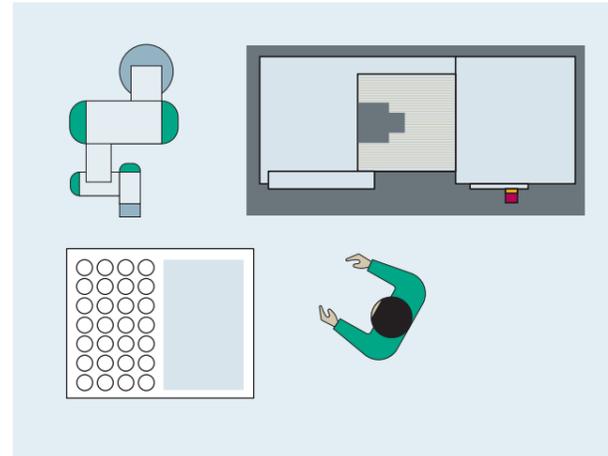
Entscheidungsschemas

(für Legende siehe Seite 22)

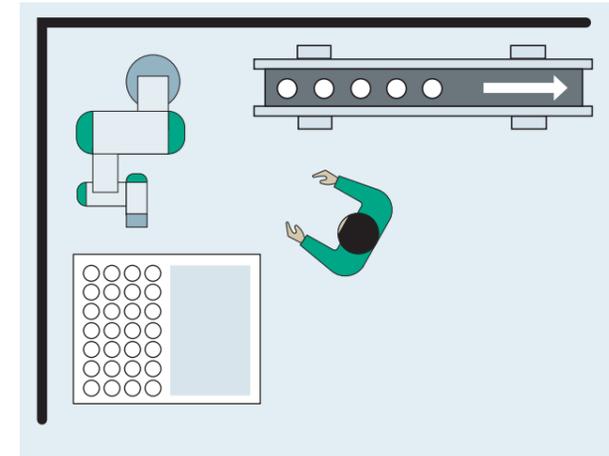
Beispiel 1 – Neupositionierung des Cobots im Raum vor Gitterbox ohne Änderung des Arbeitsablaufs:



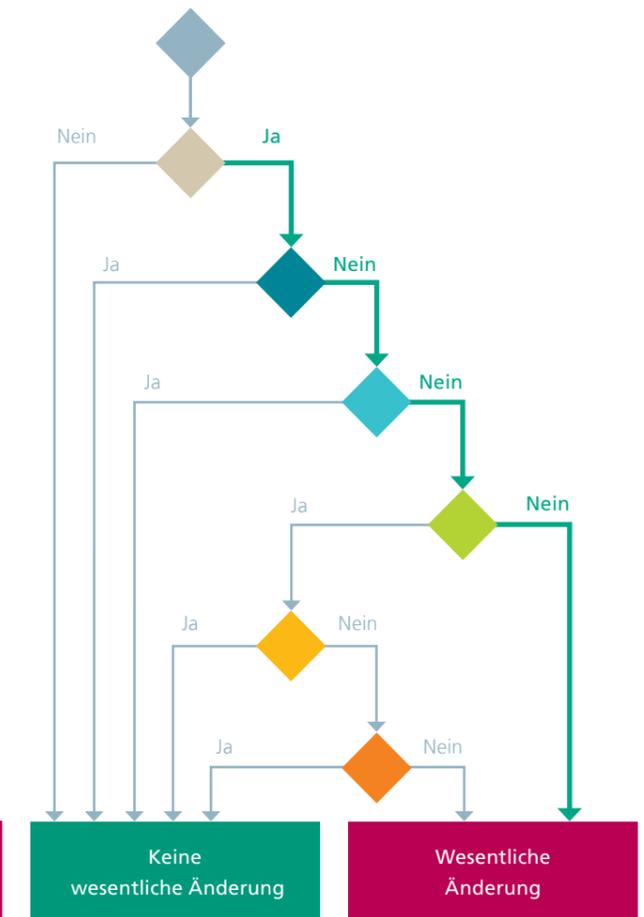
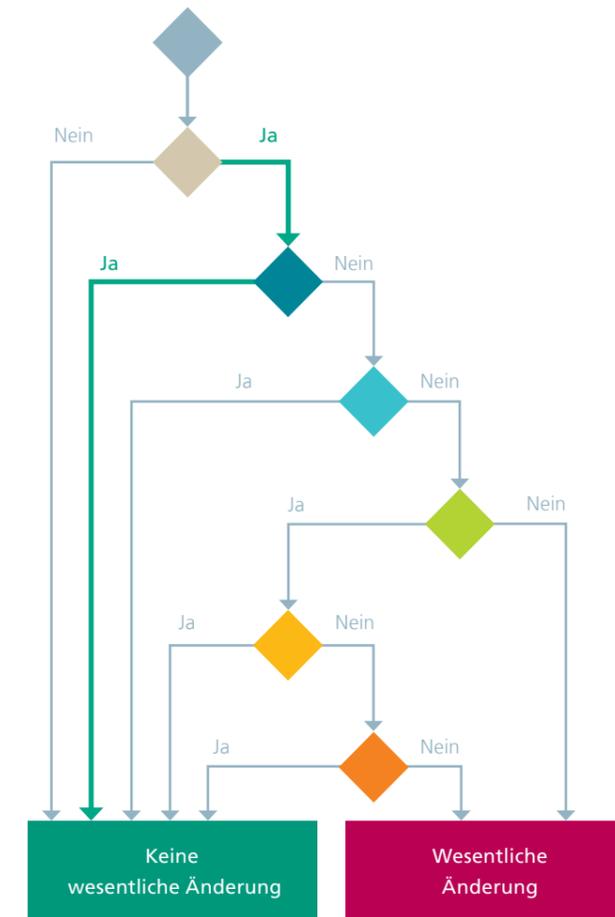
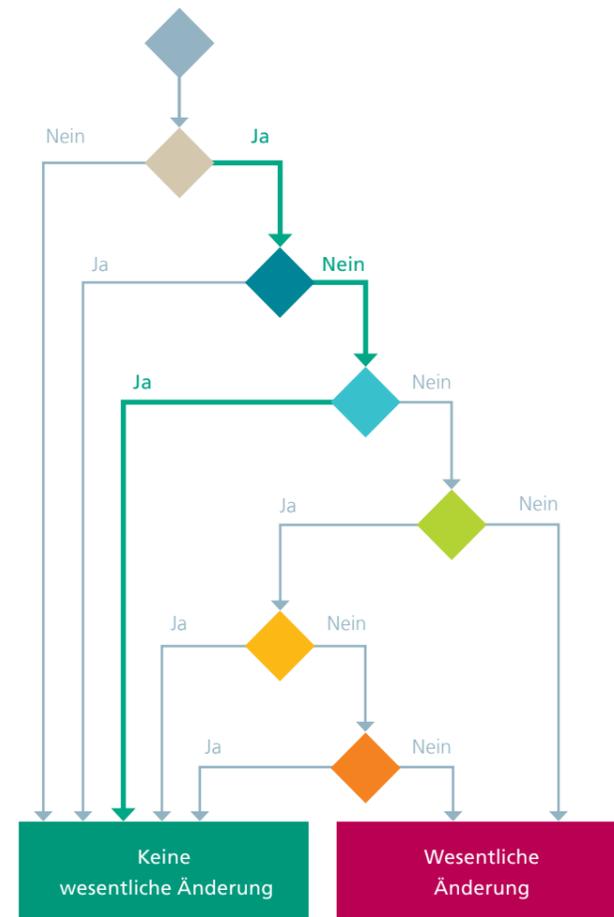
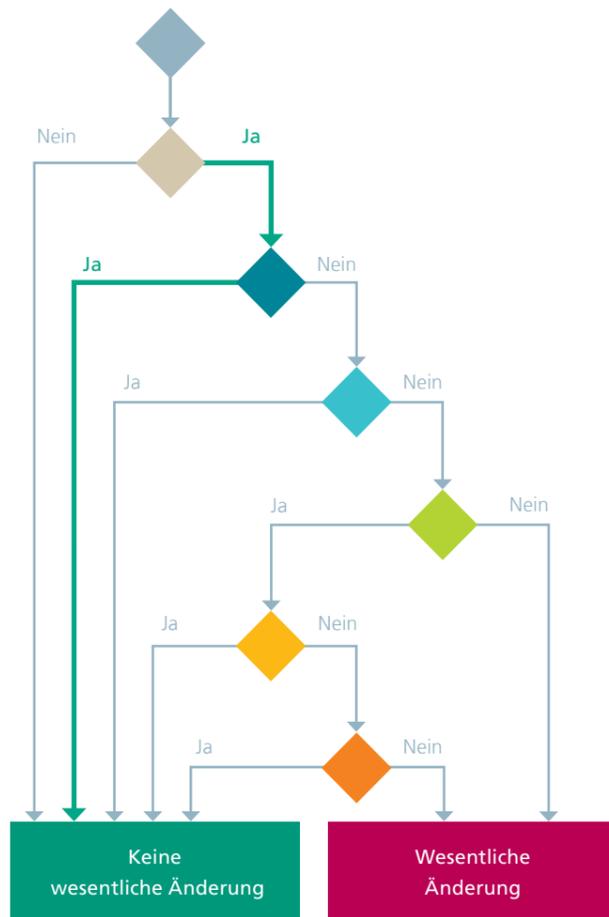
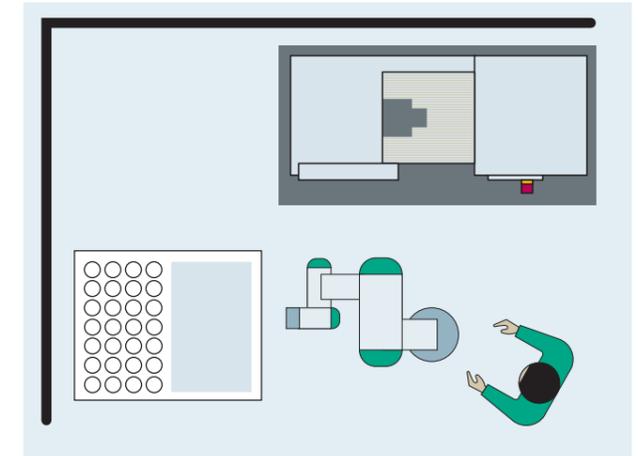
Beispiel 2 – Ablage der entnommenen Dosen in einer Maschine bzw. einem Magazin (Höhe 800–1400 mm) anstelle des Förderbands:



Beispiel 3 – Neupositionierung des Cobots und der Gitterbox in direkter Nähe zur Wand ohne Änderung des Arbeitsablaufs:



Kombination der Beispiele 1, 2 und 3:



MRK-Fördermöglichkeiten

Gebiet	Programm	Förderberechtigte	Beschreibung
Bundesweit	Technologietransfer-Programm Leichtbau (TTP LB) – Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation	Forschungseinrichtung, Hochschule, Öffentliche Einrichtung, Unternehmen, Kommune	Wenn Sie im Leichtbau branchen-, technologie- und materialübergreifend forschen und entwickeln, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.
Bundesweit	KMU-innovativ: Mensch-Technik-Interaktion	Hochschule, Forschungseinrichtung, Unternehmen	Wenn Sie im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion (MTI) forschen, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.
Bundesweit	Digital GreenTech – Umwelttechnik trifft Digitalisierung	Unternehmen, Forschungseinrichtung, Hochschule, Kommune, Verband/Vereinigung, Öffentliche Einrichtung	Wenn Sie im Bereich der Umwelttechnik Einzel- und Verbundprojekte, Langprojekte sowie Kurzprojekte planen, die der Ausarbeitung eines Konzeptes und dem Gewinnen von Partnern dienen, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen finanzielle Unterstützung in Form von Zuschüssen erhalten, z. B. in der digitalen Interaktion: Entwicklung und Anwendung ressourcenschonender Umwelttechnologien, die die An- und Einbindung von Menschen mitberücksichtigen.
Bundesweit	Forschungsprogramm zur Mensch-Technik-Interaktion – Gründungen: Innovative Start-ups für Mensch-Technik-Interaktion	Existenzgründer/in	Wenn Sie mit einem Start-up zu den Themen intelligente Mobilität, digitale Gesellschaft und gesundes Leben im Bereich Mensch-Technik-Interaktion (MTI) forschen, können Sie einen Zuschuss zu den Projektkosten bekommen.
Baden-Württemberg	Invest BW – Zukunftsinvestitionen	Unternehmen, Freiberuflerin, Freiberufler	Wenn Sie als Unternehmen oder Freiberuflerin und Freiberufler in die Zukunftsfähigkeit Ihrer Produktions-, Dienstleistungs- und Logistikprozesse investieren, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss bekommen.
Bayern	Bayerische Forschungstiftung – Hochtechnologien für das 21. Jahrhundert	Hochschule, Forschungseinrichtung, Unternehmen	Wenn Sie ein Projekt planen, in dem Unternehmen, Hochschulen und außer-universitäre Forschungseinrichtungen gemeinsam Zukunftstechnologien erforschen und entwickeln, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.
Bayern	Qualifizierungen von Erwerbstätigen durch Bildungsschecks	Privatperson, Bildungseinrichtung	Wenn Sie als Erwerbstätige oder Erwerbstätiger an einer Weiterbildungsmaßnahme im Bereich Digitalisierung teilnehmen, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.
Bremen	Bremisches Messerförderungsprogramm	Unternehmen, Freiberuflerin, Freiberufler	Wenn Sie mit einem kleinen Unternehmen Zugang zu internationalen Märkten durch Messebeteiligungen suchen, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.
Mecklenburg-Vorpommern	Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation	Hochschule, Forschungseinrichtung, Unternehmen	Wenn Sie in Mecklenburg-Vorpommern als Unternehmen, Hochschule oder Forschungseinrichtung innovative Vorhaben durchführen, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.
Thüringen	Digitalbonus	Unternehmen	Wenn Sie als kleines oder mittleres Unternehmen mit der Digitalisierung Schritt halten wollen und zum Beispiel Ihre Betriebsprozesse oder Dienstleistungen digitalisieren wollen, können Sie unter bestimmten Voraussetzungen einen Zuschuss erhalten.

Quelle: BMWK 2021



Der Text dieser Broschüre wurde unter der Lizenz »Creative Commons Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen Deutschland« in Version 3.0 (abgekürzt »CC-by-sa 3.0/de«) veröffentlicht. Unter der Bedingung, dass die Publikation als »Härdtlein, Christian; Hillgartner, Laura und Berger, Julia (2021). Leitfaden für den ortsflexiblen Einsatz von kollaborativen Robotern | Praxisnah – Anwenderfreundlich – Prägnant« sowie die Lizenz als »Lizenz: CC BY-SA 3.0 de« einschließlich der nebenstehenden Lizenz-URL genannt werden, darf der Text dieser Broschüre vervielfältigt, weitergereicht und auf beliebige Weise genutzt werden, auch kommerziell und ebenso online wie in gedruckter oder anderer Form. Die vollständigen Lizenzbedingungen sind zu finden unter der URL <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>. Eine vereinfachte Darstellung der durch die Lizenz gegebenen Freiheiten ist zu finden unter <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>.

Kontakt

Christian Härdtlein
Gruppenleiter
Engineering Adaptiver Produktionsmodule
Tel. +49 821 90678-318
christian.haerdtlein@igcv.fraunhofer.de

Fraunhofer IGCV
Am Technologiezentrum 10
86159 Augsburg
www.igcv.fraunhofer.de