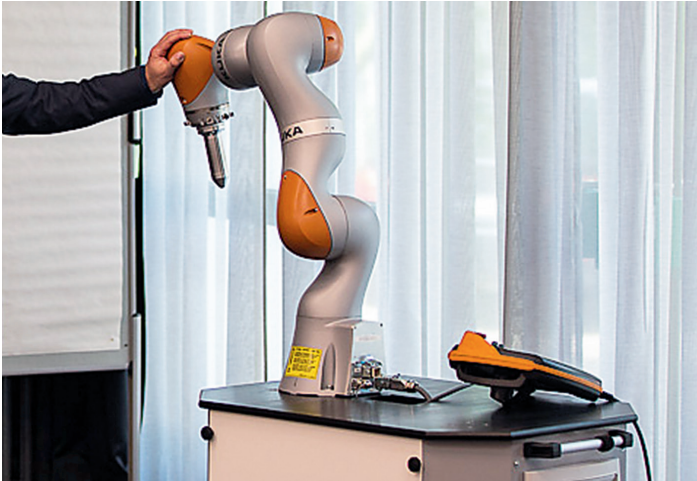




Mensch-Roboter-Kollaboration



Die Abbildung veranschaulicht Sicherheitsmechanismen der MRK. Bei leichter Berührung pausiert der Roboter (und setzt nach Loslassen seine Arbeit fort) und bei starker Berührung – etwa einer Kollision – stoppt er komplett. Der dargestellte Roboter ist auf einem fahrbaren Tisch montiert und mobil einsetzbar.

Beschreibung

Bei der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) führen Mensch und Roboter Arbeitsschritte in Produktionsprozessen gemeinsam aus. Dabei wird auf Schutzzäune verzichtet, sodass der Mensch direkt mit dem Roboter im gleichen Raum interagiert. Der Roboter assistiert dem Menschen. Die Berührung von Mensch und Roboter ist dabei möglich und teilweise arbeitsbedingt erforderlich. Sie wird technisch so gesteuert, dass keine Verletzungsgefahr besteht.

Die Arbeit wird sinnvollerweise so aufgeteilt, dass der Roboter die monotonen bzw. schweren Arbeitsschritte übernimmt, so dass der Mensch sich auf Arbeiten konzentrieren kann, in denen er dem Roboter überlegen ist (z. B. komplexe Fügevorgänge, flexible Arbeitsschritte etc.).

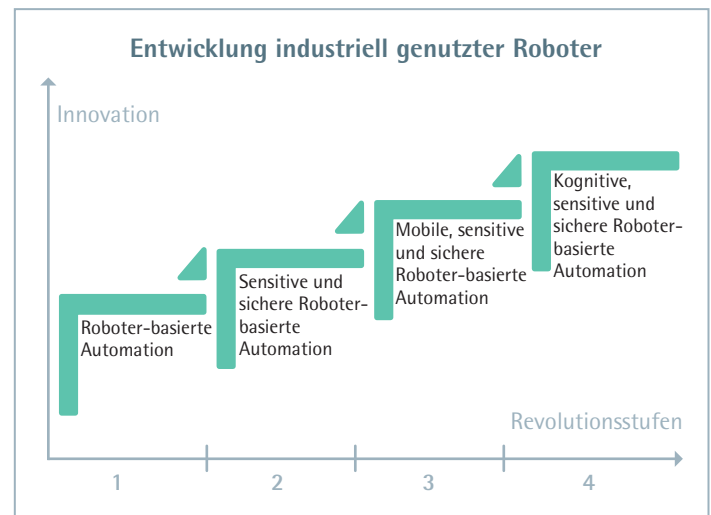
Anwendungsfelder

- Assistierende Unterstützung des Menschen, z. B. zur Verbesserung der Arbeitsergonomie.
- Anwendungsfelder sind vor allem in der industriellen Produktion zu finden, z. B. in der Montage oder beim Handling, jedoch auch in der Medizin (z. B. Operationen).
- Werkstückzufuhr und -entnahme an Bearbeitungsmaschinen zur Erweiterung der Betriebszeiten bspw. am Wochenende oder in der Nacht (bspw. Realisierung mittels mobiler MRK-Lösungen).

- Die Nutzung bietet sich außerdem dort an, wo eine flexible Skalierbarkeit des Automatisierungsgrads einer Fertigung gewünscht ist, bspw. zur flexiblen Abdeckung von Kapazitätsspitzen (je nach zu fertigender Stückzahl und Personalverfügbarkeit; täglich sowie über den gesamten Produkt[ions]lebenszyklus).

Aktuelle Verbreitung und zukünftige Entwicklung (Literatur)

Industriell genutzte Roboter haben in den vergangenen Jahrzehnten eine Entwicklung durchlaufen, die mit starrer Automation und dem Einsatz sensibler Steuerung begann. Sie hat sich weiterentwickelt bis hin zu heute gebräuchlichen mobilen Lösungen sowie zur Mensch-Roboter-Kollaboration, bei welcher der Roboter begrenzte kognitive Fähigkeiten besitzt, bspw. indem er erkennt, wie stark der Kontakt mit Hindernissen ausgefallen ist und ob er seine Tätigkeit unterbrechen oder ganz stoppen muss.



Eigene Darstellung in Anlehnung an Kuka, 2016

Aktuelle Verbreitung

- Nutzung von MRK erfolgt bereits vor allem bei Auto- und Maschinenbauern
- Einsatz von MRK erfolgt auch in anderen Branchen, bspw. kommen in Japan Pflegeroboter zum Handling pflegebedürftiger Menschen zum Einsatz, teilweise sogar zur vollumfänglichen Körperwäsche. (Deutsche Wirtschafts Nachrichten, 2015)

Zukünftige Entwicklung

- Für MRK wird ein großes Wachstum bis 2018 erwartet (bei 15 % jährlichem Wachstum für Industrieroboter allgemein). (World Robotics, 2015, IFR, 2015)



- Für das Jahr 2016 wurden weltweit 95 000 neue MRK erwartet (bei 1,5 Millionen eingesetzten Industrierobotern weltweit). MRK ist demnach noch ein Nischenmarkt, jedoch mit stetigem Wachstum. (Grüling, 2014)
- Allgemein starke Zunahme von Industrierobotern weltweit (2007 bis 2014 jährliches Wachstum von über 20 %, bis 2018 wird ein Anstieg auf über 2,3 Millionen Einheiten erwartet). (IW Köln, 2016)

Vorteile

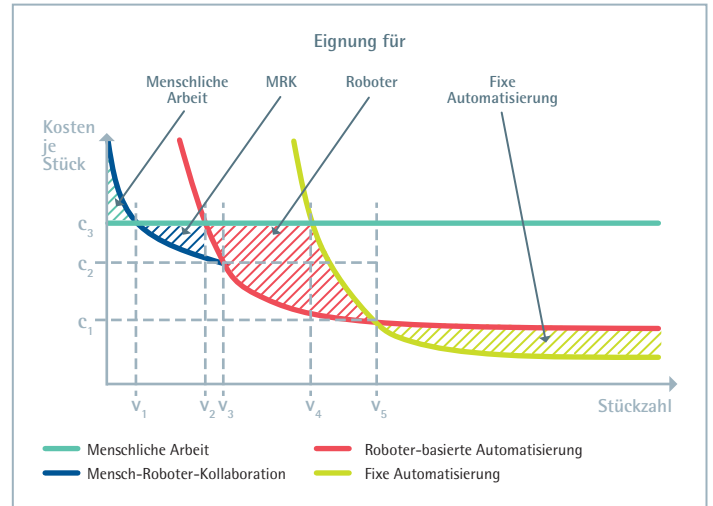
- Stärken des Menschen (Intuition, Flexibilität, Entscheiden und Urteilen) werden mit Vorteilen des Roboters (schnelle, kraftvolle, ausdauernde, reproduzierbare und präzise Bewegungen) verbunden.
- MRK kann die physische Belastung des Menschen verringern, indem Roboter belastende Teile der Arbeit übernehmen, bspw. das Halten und Handhaben schwerer Lasten oder das Einpressen von Bauteilen.
- MRK kann effektivere Arbeitsabläufe bei geringerem Platzbedarf im Vergleich zu isolierten Mensch- und Roboterarbeitsplätzen ermöglichen.
- Möglichkeit zur Verbesserung von Produktivität und Qualität manueller Arbeitsplätze, die für eine vollumfängliche Automatisierung nicht geeignet sind.
- MRK können helfen, die Leistungsfähigkeit einer vom demografischen Wandel betroffenen Belegschaft zu erhalten und zu steigern.

Nachteile

- Die Anwendung von MRK auf biegeschlaffe Bauteile (Kabel, Schläuche etc.) ist bisher nur schwer möglich.
- Der Erfüllung von Sicherheitsanforderungen kommt eine große Bedeutung zu. Damit ist erheblicher Aufwand verbunden. Dokumentationsanforderungen, technische Anforderungen und zu beachtende Aspekte sind bspw.: (DGUV, 2015)
 - EG-Konformitätserklärung
 - Risikobeurteilung
 - Betriebsanleitung
 - CE-Zeichen
 - Typenschild
 - Leicht erreichbare Not-Halt-Taste
 - Möglichkeit für Mitarbeiter, sich jederzeit vom Roboter entfernen zu können
 - Keine großen Traglasten
 - Sicherstellung, dass Kopf außerhalb des Arbeitsbereichs ist
 - Sichere Begrenzungen von Geschwindigkeit, Kraft etc.
 - Nachweis über erfolgte Prüfung des Verletzungsrisikos
 → Die Berufsgenossenschaft unterstützt bei der Prüfung und Zertifizierung der MRK-Anlagen.
- Bauteile mit scharfen Kanten oder heißen Oberflächen sind aus Sicherheitsgründen nicht für MRK geeignet. Eine falsche Zuführung durch den Roboter an den Menschen ist nicht auszuschließen und somit besteht Verletzungsgefahr (generell gilt: konkrete Sicherheitsaspekte sind für alle Werkzeug- und Werkstückkombinationen individualisiert zu prüfen. Bei späteren Änderungen muss diese Prüfung wiederholt werden).

Wirtschaftlichkeit

Produktion kann – in Abhängigkeit der herzustellenden Güter – alleine durch menschliche Arbeitskraft erfolgen, mittels Mensch-Roboter-Kollaboration, unter Verwendung von konventionellen Robotern für einzelne Arbeitsschritte sowie (ohne Berücksichtigung von Produktvarianten) durch fixe Automatisierung:



Eigene Darstellung in Anlehnung an Matthias B, Ding H (2013)

Ausgehend von den Stückkostenvorläufen (d. h. unter Berücksichtigung der Kostendegression) für menschliche Arbeit, MRK, Automatisierung mittels konventioneller Roboter und fixer Automatisierung ergeben sich folgende Break-even-Punkte:

v_1	Mensch-Roboter-Kollaboration = menschliche Arbeit
v_2	Konventionelle Roboter = menschliche Arbeit
v_3	Konventionelle Roboter = Mensch-Roboter-Kollaboration
v_4	Fixe Automatisierung = menschliche Arbeit
v_5	Fixe Automatisierung = Konventionelle Roboter

Weitere Hinweise zur Wirtschaftlichkeit

- Die Wirtschaftlichkeit wird maßgeblich dadurch beeinflusst, wie die Tätigkeit auf Roboter und Mensch aufgeteilt wird (maßgebende Rolle des Prozessdesigns).
- Ausreichende Mindeststückzahlen sind für einen wirtschaftlichen Einsatz erforderlich (siehe Abb. oben).



Auswirkung auf Arbeitsorganisation

- Primär muss beim Einsatz von MRK-Systemen die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine neu gestaltet werden unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der MRK. (BMW, 2013)

Beispiel

Reduzierung von Nebentätigkeiten des Menschen (bspw. Werkstückhandhabung) mit dem zusätzlichen Ziel der ergonomischen Entlastung durch das Vermeiden ungünstiger Körperhaltungen.

- Die Art der Interaktion zwischen Mensch und Roboter ist zu bestimmen (Steuerung durch Berührung, Gestik etc.) unter Berücksichtigung der durch die Nutzer bevorzugten und möglichst intuitiven Steuerungsmöglichkeiten sowie den individuellen Anforderungen der Nutzer. (BMW, 2013)
- Bedarf nach Qualifizierungsmaßnahmen für die Interaktion mit kollaborierenden Robotersystemen → Vermittlung der Besonderheiten im Umgang mit MRK. (BMW, 2013)

Technische Daten

- MRK sind leicht (zumeist ca. 1 bis 30 kg), damit die potenzielle Kollisionsmasse klein ist, und weisen »weiche« Rundungen auf (ggf. umhüllt mit Schaumstoff) zur Vermeidung von Kollisionschäden. (Matthias, Ding, 2013)
- Die Geschwindigkeit sollte nicht wesentlich schneller als die menschlicher Bewegungsabläufe sein (maximale Geschwindigkeit des Handgelenks ca. 1,5m/s mit ca. 0,5kg Traglast). (Matthias, Ding, 2013) Die Bewegungsgeschwindigkeit ist damit deutlich geringer als die von Robotern, welche isoliert vom Menschen arbeiten.
- Die räumliche Abmessung und dadurch bedingte Reichweite beträgt i. d. R. ca. 600mm für L/B/H.
- Aufgaben, die Drehmomente > 15 Nm (Sicherheitswert) erfordern, sind nur bedingt für die MRK geeignet, weil der Roboter evtl. nicht zuverlässig zwischen kollisions- und arbeitsbedingten Drehmomenten (bspw. Schrauben oder Heben) unterscheiden kann. Sind bspw. für Schraubvorgänge höhere Drehmomente nötig, müssen zusätzliche Sensoren dies zulassen, bspw. nachdem eine bestimmte Mindestnähe zum Bauteil erreicht und erkannt wurde. (Produktion, 2016)
- Die Bauteilgewichte sollten idealerweise < 15kg sein. Generell gilt: Je schwerer die Bauteile, desto komplizierter die Bearbeitung im Rahmen von MRK. (Produktion, 2016)

Hinweise zur Umsetzung

Arbeitsschritte und zu beachtende Punkte bei der Umsetzung von MRK: (Produktion, 2016)

- Nicht-automatisierten Gesamtprozess analysieren und Arbeitsschritte identifizieren, die im Rahmen von MRK sinnvoll einem Roboter übertragen werden können (Kriterien hierfür sind bspw. körperliche Belastung, räumliche Nähe, Tätigkeitsumfang sowie die erforderliche Bewegungsgenauigkeit).

- Die Materialbereitstellung sollte idealerweise lageorientiert im Ladungsträger an den Montageplatz erfolgen mit gleicher Greifposition für Roboter.
- Bauteilgeometrien, -festigkeit etc. auf Eignung für MRK zu prüfen.
- Infrastruktur bereitstellen (Stromanschlüsse, Bediengeräte, Förder-technik, möglichst erschütterungsfreies Fundament oder Untergrund, wenn MRK nicht mobil genutzt wird etc.).
- Softwaregestützte Etablierung einer sicher überwachten Robotersteuerung (v. a. Begrenzung von Geschwindigkeiten und Verfahrwegen, ggf. ergänzt um Zustimmungsschalter und Not-Halt-Einrichtungen), basierend auf normativ festgelegten Grenzwerten sowie Expertenempfehlungen.
- Durchführung einer Gefährdungsanalyse und Risikobeurteilung zwischen Hersteller und Betreiber der MRK-Anlage.
- Qualifikation der Anlagenbediener (ggf. inkl. Hinweise zum Tragen von Schutzausrüstungen) und einfache Bereitstellung der Bedienungsanleitungen.
- Robotergelenke und -bewegungen sollen etwa denen des Menschen entsprechen, da dies dem Mitarbeiter vertraut ist.
- Schnelle und unvorhersehbare Roboterbewegungen sowie geringe Distanzen zwischen Mensch und Roboter sind zu vermeiden, da diese Mitarbeiter verunsichern können.

Allgemeine Hinweise zur Einführung von MRK

- MRK zunächst in Pilotbereichen nutzen, um Erfahrungen zu sammeln und Akzeptanz in der Belegschaft zu gewinnen.
- Sicherheitsmaßnahmen sind erforderlich, bspw. im Einklang mit ISO/TS 15066 (Umsetzung bspw. durch elektronische Sicherheitssteuerung inkl. Hinderniserkennung und Abschaltfunktion, ggf. lichtbasierte Projektion von Sicherheitsräumen und deren vollständige Überwachung, Sensorfußboden zur Lokalisierung des Menschen im Arbeitsumfeld, Erkennung statischer und dynamischer Hindernisse, Einsatz von Kameras und Laserscannern zur Umgebungserfassung etc.).
- Weitere zu beachtende Normen und Richtlinien:
 - ▶ EN ISO 13849 »Sicherheit von Maschinen«
 - ▶ ISO 10218-1 sowie ISO 10218-2 »Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen«
 - ▶ ISO 14121-1 »Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung«
 - ▶ Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
 - ▶ Unfallverhütungsverordnung
 - ▶ Betriebssicherheitsverordnung
 - ▶ VDE 0105-100 »Betrieb von elektrischen Anlagen«
 - ▶ ISO 13855 »Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen«



STUDIEN UND LITERATUR

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi (Hrsg.) (2013) Mensch-Technik-Interaktion – Leitfaden für Hersteller und Anwender, online unter http://www.autonomik.de/documents/AN_Band_3_MTI_bf_130325.pdf

Deutsche Wirtschafts Nachrichten (Hrsg.) (2015) Japan: Pflege-Roboter betreuen Senioren, online unter <https://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/2015/03/02/japan-pflege-roboter-betreuen-senioren/>

DGUV (Hrsg.) (2015) Checkliste Kollaborierende Robotersysteme, online unter https://www.bghm.de/uploads/tx_news/KoBaRoboter_Checkliste.pdf

Glück M, Roßkopf B, Wolf J, Wagner P (2012) Produktion 2020 – Sichere Mensch-Roboter-Kooperation und Bild basierte Arbeitsraumüberwachung für die Fertigung der Zukunft – Herausforderung in Transfer, Forschung, Entwicklung. Forschungsbericht 2012 Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Hochschule Augsburg, Augsburg

Grüling B (2014) Neue Fertigungsstraßen im Autobau: Mein Kollege, der Roboter, Spiegel Online, online unter <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/roboter-sollen-menschen-an-fertigungsstraesen-arbeit-abnehmen-a-974088.html>

Hesse R (2016) Digitalisierung und Automatisierung in der Produktion – VDMA präsentiert aktuelle Zahlen, online unter <https://www.muenchner-cyber-dialog.de/Archive/753>

International Federation of Robotics IFR, in: Röhricht K, Sonnenberg V (2015) Mensch-Roboter-Kooperation als Schlüsseltechnologie in der Fertigung, Maschinenmarkt, online unter <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/mensch-roboter-kooperation-als-schlueseltechnologie-in-der-fertigung-a-512179/>

Institut der deutschen Wirtschaft Köln (Hrsg.) (2016) Arbeitswelt und Arbeitsmarktordnung der Zukunft – Welche Schlüsse können aus der vorliegenden empirischen Evidenz bereits geschlossen werden?, Köln

Kuka (Hrsg.) (2016) Hello Industrie 4.0 _we go digital, Eberl Print, Augsburg

Koppenborg M, Naber B (2013) Wie sollen Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern gestaltet werden? in: IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Aus der Arbeit des IFA, Heft Nr. 4

Matthias B, Ding H (2013) Die Zukunft der Mensch-Roboter Kollaboration in der industriellen Montage. Internationales Forum Mechatronics (ifm)

Matthias, B.; Oberer-Treitz, S.; Staab, H.; Schuller, E.; Peldschus, S.: Injury Risk Quantification for Industrial Robots in Collaborative Operation with Humans. In: Neumann, K.; Schraft, R. D.; Berns, K.:

International Federation of Robotics: Joint International Conference of ISR/Robotik2010, München, 07.06.–09.06.2010. Berlin: VDE-Verlag 2010, S. 171–176

Naber B, Lungfiel A, Nickel P, Huelke M (2013) Human Factors zu Robotergeschwindigkeit und -distanz in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration, in: GfA (Hrsg.) Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung. Bericht zum 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA Press, Dortmund

Nördinger S (2016a) Lohnen sich kollaborierende Roboter für Sie? Die 6 wichtigsten Kriterien, Produktion, Heft Nr. 9

Nördinger S (2016b) So schützen Sie Ihre Mitarbeiter vor Robotern: Die 9 sichersten Methoden, Produktion, Heft Nr. 12

Onnasch L, Maier X, Jürgensohn T (2016) Mensch-Roboter-Interaktion – Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, online unter <http://www.baua.de/Publikationen/Fokus/Mensch-Roboter-Interaktion.html>

Thomas C, Stankiewicz L, Grötsch A, Wischniewski S, Deuse J, Kuhlenkötter B (2016) Intuitive work assistance by reciprocal human-robot interaction in the subject area of direct human-robot collaboration. Procedia CIRP 44:275–280

VDMA (Hrsg.) (2014) Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration, Wissenschaftliche Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik – MHI e. V., Frankfurt

World Robotics (2015) Industrial Robot Statistics. International Federation of Robotics

ISO/TS 10218 »Sicherheitsrichtlinien für Industrieroboter«, ergänzt um ISO/TS 15066 (Sicherheit kollaborierender Roboter)

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2008) Industrieroboter, Carl Heymanns Verlag, online unter http://www.arbeitssicherheit.de/media/pdfs/bgj_5123.pdf

Ansprechpartner



Dr. rer. pol. Marc-André Weber
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fachbereich Unternehmensexzellenz
Telefon: 0211 54 22 63-36
E-Mail: m.weber@ifaa-mail.de