AQUIAS
Teilhabe durch Robotik

David Kremer

# Robotik für den Menschen

## Zukunftsszenarien der Mensch-Roboter-Kollaboration im Jahr 2030

Forschungsprojekt AQUIAS:
Arbeitsqualität durch individuell angepasste Arbeitsteilung zwischen Produktionsrobotern und schwer-/nichtbehinderten Produktionsmitarbeitenden

www.aquias.de

2. Auflage

# Teilhabe durch Robotik: Das Forschungsprojekt AQUIAS

Der Einzug der Roboter in die Produktionshallen deutscher Unternehmen ist bereits in vollem Gange. Die neueste Generation von Sicherheitssensorik in Robotern ermöglicht eine **völlig neue Organisation der Produktionsarbeit ohne Schutzzaun**. Doch wie kann die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter so gestaltet werden, dass die Mitarbeitenden attraktive Aufgaben erhalten? Das Projekt AQUIAS geht diese Fragen im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und Teilhabe an attraktiver Arbeit an.

Wie die neuen Chancen der barrierefreien Mensch-Roboter-Zusammenarbeit speziell für schwerbehinderte Personen genutzt werden können, ist ein weiterer Schwerpunkt des Projekts AQUIAS. Die **individuelle Unterstützung von schwerbehinderten Produktionsmitarbeitenden durch mobile Produktionsroboter** verspricht Teilhabe an Arbeit für diese Personengruppe, aber auch Lernpotenzial für die Unterstützung normal leistungsfähiger Personen durch Robotik.

In zwei Workshops der Kick-off-Veranstaltung AQUIAS entwickelten die Projektpartner **Zukunftsszenarien zur Mensch-Roboter-Kollaboration im Jahr 2030**. Die im weiteren Projektverlauf aufbereiteten Ergebnisse wurden in diesem Bericht zusammengestellt. Sie vermitteln aus vielfältiger Perspektive ein **positives und allgemeinverständliches Zielbild** davon, wie Produktionsmitarbeitende zukünftig mit Robotern in der unmittelbaren Mensch-Roboter-Kollaboration zusammenarbeiten werden.

Sie interessieren sich für inklusionsförderliche und wirtschaftliche Gestaltung von Arbeit in der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit? Besuchen Sie uns auf *www.aquias.de* oder kontaktieren Sie uns unter *david.kremer@iao.fraunhofer.de*.

*Zur besseren Lesbarkeit werden in diesem Bericht neben dem technisch exakten Begriff der »Mensch-Roboter-Kollaboration« (Abkürzung: MRK) auch die Begriffe »Mensch-Roboter-Zusammenarbeit« und »Mensch-Robotik-Arbeitsplatz« verwendet. Ebenso wird alternativ zur Bezeichnung »Beschäftigte mit Behinderung« auch die Bezeichnung »schwerbehinderte Beschäftigte« verwendet.*

Mit
Robotern
macht die
Arbeit Spaß

Stellen Sie sich vor, die Geschäftsleitung eröffnet Ihnen eines Tages: »Ab Montag arbeiten Sie mit einem Roboter zusammen!« Wenn Sie auf diese Nachricht mit ambivalenten Gefühlen reagieren, gehören Sie wohl zur Mehrheit der deutschen Beschäftigten. Mit diesen teilen Sie die Überlegung, ob Ihre bisherige Tätigkeit durch die neue Zusammenarbeit mit dem Roboter attraktiver wird oder ob Sie dadurch interessante Arbeitsaufgaben verlieren. Zeit für ein Zukunftsszenario, in dem die Zusammenarbeit mit Robotern Spaß macht!

## ZUKUNFTSSZENARIO 1

### Attraktive Aufgaben in der Mensch-Roboter-Kollaboration

Im Jahr 2030 erleben die meisten deutschen Beschäftigten die Zusammenarbeit mit Produktionsrobotern als interessant und abwechslungsreich.

Entscheidend für die Attraktivität der Arbeit mit Produktionsrobotern ist im Jahr 2030 die hohe **Arbeitsqualität**, die die Robotik-Arbeitsplätze nach arbeitswissenschaftlichen Gestaltungskriterien aufweisen. Dazu gehören die Übernahme körperlich und geistig belastender Aufgaben durch den Roboter (→ Zukunftsszenario 3), hohe Sicherheitsstandards für die Mensch-Roboter-Kollaboration ohne Schutzzaun (→ Zukunftsszenario 5) sowie motivierende Arbeitsaufgaben für den Menschen. Solche attraktiven Aufgaben beinhalten unter anderem:

- **Vollständigkeit** der Aufgaben: Planung, Vorbereitung, Durchführung, Kontrolle
- **Abwechslungsreichtum** der Aufgaben, Vermeiden von Monotonie
- **Lernförderlichkeit** der Aufgabe, z. B. durch verfügbare Informationen
- **Kooperationsförderlichkeit**, z. B. durch Abstimmungserfordernisse
- **Entscheidungen und Verantwortung**, z. B. für die Qualität der Arbeitsergebnisse

So koordiniert der Mitarbeitende mit seinen Kolleginnen und Kollegen die **Verteilung der aktuellen Produktionsaufträge** auf Maschinen und Roboter. Der Roboter wird mithilfe eines Steuergeräts auf aktuelle Materialien und Produkte eingestellt, neue Arbeitsschritte werden programmiert und laufende Vorgänge überwacht. Auch die Behebung von Störungen, Werkzeugwechsel, An- und Abtransport von Material und Werkstücken sowie Wartung und Instandhaltung des Roboters gehören je nach festgelegter Rolle des Beschäftigten zu seinen Aufgaben.

Da der Roboter aufgrund seiner Flexibilität ständig seinen Einsatzort in der Produktionsanlage wechselt und an unterschiedlichen Maschinen eingesetzt wird, muss sich auch der Mitarbeitende auf eine größere Zahl von Aufgaben einstellen. Diese kontinuierliche Bewegung mit dem Roboter zu verschiedenen Einsatzorten (**Rob Rotation**) führt dazu, dass die Kompetenz des Mitarbeitenden, unterschiedliche Maschinen zu bedienen (**Mehrfacheinsetzbarkeit**), zunimmt. Dadurch entstehen mehr neue und vielfältige Aufgaben, als durch den Roboter-einsatz wegfallen.

Roboter reagieren im Jahr 2030 auch auf **Sprachbefehle und Gesten** von Menschen. Auf diese Weise können nicht nur Änderungen von Produktionsparametern oder des Einsatzorts in der Fabrik schnell durchgeführt werden. Auch **Lernprozesse zwischen Mensch und Maschine** sind dadurch möglich, die über das manuelle Führen des Greifarms (teach-in) hinausgehen. Mitarbeitende lernen Roboter z. B. ein, indem sie den Arbeitsvorgang wie gewohnt manuell durchführen und dabei einen Datenhandschuh tragen, der die menschlichen Bewegungen aufzeichnet und an den Roboter weiterleitet. Zusätzliche Kommunikationsmittel der Roboter sind neben Displays **Lichtsignale, Töne und symbolische Bewegungen des Greifarms**, die helfen, Informationen intuitiv und schnell zu vermitteln. Damit demonstrieren auch Roboter den Mitarbeitenden, wie neue oder seltene Bearbeitungsprozesse ablaufen. Nicht zuletzt können Mitarbeitende »ihren« Roboter als Kommunikationszentrale nutzen, um sich mit anderen Personen und Robotern abzustimmen.

Die Eigenverantwortung des Mitarbeitenden wird durch ein spezielles **Lern- und Qualifizierungssystem zur Mensch-Roboter-Kollaboration** gestärkt, das nach Schwierigkeitsniveau und Vorbildungsstand gestufte Lerneinheiten mit schneller Erfolgsrückmeldung enthält. Dies bietet dem Mitarbeitenden nicht nur Lernunterstützung für sämtliche Bearbeitungsvorgänge, die der Roboter ausführen kann, sondern auch für **Wartung, Instandhaltung, Mobilität und logistische Aufgaben**. Das Qualifizierungssystem enthält kompakte Lerneinheiten, Anleitungsvideos, Zugang zu Dokumenten und Hilfen zur Problemlösung. Es bringt die Benutzerinnen und Benutzer bei Bedarf mit menschlichen Fachleuten und solchen mit Künstlicher Intelligenz zusammen. Abhängig vom aktuellen Einsatzort, bearbeitetem Produkt, Vorqualifikation sowie Rolle des Mitarbeitenden (z. B. Roboter-Bedienender, Roboter-Einstellender, Roboter-Überwachender) werden Lerninhalte punktgenau passend zum aktuellen Arbeitsschritt dargestellt.

Das intelligente Lernsystem kombiniert vordefinierte Lerninhalte mit aktuellen Informationen z. B. über kürzlich installierte Maschinen oder Software. Mitarbeitende selbst können ihren Kollegen und Kolleginnen eigene Erkenntnisse über MRK-Prozesse, z. B. über kurze **Video-Tutorials**, zur Verfügung stellen. Außerdem werden Informationen in das Lernsystem eingespeist, die aus dem sogenannten **Maschinenlernen** stammen: Digital vernetzte Produktionsanlagen kommunizieren weltweit über ihre »Erfahrungen«, die sie in ihren Produktionsprozessen sammeln, z. B. über optimale Maschineneinstellungen bei der Fabrikation einer bestimmten Produktvariante. Auch diese Informationen stehen dem Mitarbeitenden über das roboterintegrierte Lernsystem zur Verfügung.

Digital zertifizierte Lernvorgänge inklusive dokumentierter Arbeitsproben erlauben es dem Mitarbeitenden, mit der Zeit immer weitere Qualifikationsgrade zu erlangen, die in **Zertifikate** zur Einrichtung und Bedienung von Produktionsrobotern münden. Ein umfassendes, intelligent gesteuertes **Kompetenzmanagementsystem** regelt die individuellen Entwicklungsmöglichkeiten und Karrierepfade, die den Mitarbeitenden zur Verfügung stehen, ob auf Basis digitaler oder präsenzbasierter Qualifizierungsmaßnahmen, ob durch Menschen, durch Roboter oder durch andere Lernsysteme vermittelt.

Die automatische Anpassung der Roboter an bestehende Qualifikationen des Mitarbeitenden trägt zu einer höheren **Durchlässigkeit zwischen Tätigkeiten** in der Produktion bei. Indem Roboter die Kompetenzen der Beschäftigten individuell berücksichtigen und Einschränkungen individuell ausgleichen, sinkt die Barriere für Mitarbeitende, höherwertigere Aufgaben zu bearbeiten.

In der flexiblen Auftragssteuerung der Industrie 4.0 können die Aufgaben eines Mitarbeitenden stündlich wechseln. Weil dadurch jeder Arbeitstag anders aussieht, wird im Interesse der Beschäftigten eine langfristige, **digitale Nachverfolgung der summierten Arbeitsaufgaben** über Tage, Wochen und Monate hinweg durchgeführt. Auf Basis dieser Auswertung diskutieren Betriebsrat und Unternehmensvertretung in regelmäßigen Abständen kritische Werte der Über- oder Unterforderung von Mitarbeitenden und führen, falls erforderlich, Gegenmaßnahmen durch.

Trotz der kurzfristig wechselnden Aufgaben bleiben die **Zuständigkeitsbereiche zwischen Mensch und Roboter klar abgegrenzt**. Dies wird z. B. durch digital hinterlegte Berechtigungen – sowohl für Mitarbeitende als auch für Roboter – sichergestellt, bestimmte Arbeitsprozesse auszuführen.

Manche Mitarbeitende bauen eine **menschenähnliche Beziehung** zu »ihrem« Roboter auf. Soweit dies vom Arbeitgeber erlaubt ist, werden Roboter mit Fotos, Buttons und sogar Kleidungsstücken verziert. Mit individuell zusammengestellten Choreografien aus Lichtsignalen, Tönen und Textanzeigen auf den Roboterdisplays begrüßen Roboter die Menschen, die sie bedienen. Beliebt ist auch die Darstellung eines Gesichts auf Bildschirmen, dessen emotionaler Ausdruck Betriebszustände wie »Fehler« und »Bereit« anzeigt. Häufig übernehmen Mitarbeitende eine **Patenschaft für einen Roboter** und kümmern sich um seine Wartung. In anderen Unternehmen ist diese Personalisierung von Robotern nicht vorgesehen. In manchen Fällen leihen sich Mitarbeitende morgens einen anonymen Roboter aus dem Pool aus und geben ihn abends dort wieder ab.

Die **menschenähnliche Gestaltung von Produktionsrobotern** hat sich nur teilweise in deutschen Produktionsunternehmen durchgesetzt. Für viele Mitarbeitende ist es wichtig, die Fähigkeiten und Begrenzungen der Roboter richtig einzuschätzen, um diese proaktiv zu steuern und Fehler zu vermeiden. Voraussetzung dafür ist die klare Unterscheidung, ob das Gegenüber ein Mensch oder ein Roboter ist. Zu erkennen, welche Fähigkeiten und Zuständigkeiten der Mensch dem Roboter voraushat, ist wichtig für Selbstbewusstsein, Motivation und Handlungsfähigkeit der Beschäftigten.

Die hohe Akzeptanz der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit basiert nicht zuletzt auf der **gelungenen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter**. Das bedeutet, dass die Aufgaben zwischen Mitarbeitenden und Robotern so aufgeteilt werden, dass die Stärken beider Seiten umfassend genutzt und die Schwächen gegenseitig ausgeglichen werden. So hat der Roboter klare Vorteile, wenn es um standardisierte Vorgänge mit hohen Anforderungen an Wiederholrate, Präzision und Kraft geht. Der Mensch dagegen ist z. B. immer dann im Vorteil, wenn Werksstücke schwierig zu handhaben sind, neuartige Situationen flexibles Verhalten erfordern oder die Teammitglieder ihr Wissen für die kreative Lösung von Problemen kombinieren.

Ein klarer Vorteil für die Akzeptanz der Mensch-Roboter-Kollaboration ist die partizipative Einführung entsprechender Arbeitsplätze. **Simulations- und Planungswerkzeuge** werden im Jahr 2030 routinemäßig für die partizipative Planung von Arbeitsplätzen, Arbeitsprozessen und Aufgaben mit Robotik eingesetzt. Mittels 3D-Brillen begehen die Mitarbeitenden die Entwürfe zukünftiger Robotik-Arbeitssysteme, bewerten die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Technik und bringen ihr Expertenwissen in die Gestaltung ein. Auch die Zusammenarbeit von Beschäftigten, die unterschiedliche Rollen ausüben, wird **in virtueller Realität vorausschauend getestet**: Bedienende, einrichtende und überwachende Rolleninhaber üben die gemeinsame Problemlösung in der virtuellen Realität ein, schon bevor die Fehler in der Zusammenarbeit mit dem Roboter auftreten. Schwerbehinderte, leistungsgewandelte und gesunde Produktionsmitarbeitende nutzen die virtuelle Dimension übergreifend für die gegenseitige Unterstützung und Zusammenarbeit.

Der Roboter
ist unser
Verdienst

Für Unternehmen ist das wichtigste Ziel beim Einsatz von Robotern, dass sie sich rechnen. Aktuell berichten jedoch viele Betriebe, dass die ersten Robotik-Projekte die gesteckten wirtschaftlichen Ziele noch nicht erreichen. Auch für die Mitarbeitenden stellt sich die Frage, wie sich für sie die Zusammenarbeit mit Robotern auszahlt. Zeit für ein Zukunftsszenario, in dem alle am Roboter verdienen!

## ZUKUNFTSSZENARIO 2

**Wirtschaftlichkeit der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit**

Produktionsroboter leisten im Jahr 2030 einen wichtigen Beitrag zu den wirtschaftlichen Zielen deutscher Produktionsunternehmen.

Roboter haben sich im Jahr 2030 zum »Liebling der Controlling-Fachleute« gemausert. Sie tragen zur wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsunternehmen bei, indem sie:

- **Kosten einsparen**
- **Krankheitsrate senken**
- **Produktivität steigern**
- **Qualität verbessern**

War es früher verbreitet üblich, die Anschaffungskosten eines Roboters in erster Linie durch die Streichung einer Mitarbeitendenstelle zu finanzieren, so hat sich dies im Jahr 2030 grundlegend geändert. Die Kosteneinsparungen durch Roboter werden nur noch teilweise durch **Verringerung der Personalkosten** erzielt. Die Einsparung von Stellen bezieht sich vorwiegend auf die Übernahme monotoner und unergonomischer Tätigkeiten durch den Roboter. Dadurch sinken die Krankheitsrate in der Produktion und die damit verbundenen Krankheitskosten. Die benötigten Fachkräfte zur Einstellung und Wartung der Roboter sind zwar teurer als Mitarbeitende mit niedrigeren Gehaltsstufen, betreuen aber eine Vielzahl von Produktionsrobotern parallel und fallen dadurch kostenseitig weniger ins Gewicht.

Durch die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter wird die Zeit verringert, die zur Ausführung eines Produktionsauftrags benötigt wird. **Das Plus an Geschwindigkeit** der Roboter basiert auf ihrer höheren Wiederholrate bei standardisierten Abläufen. Sie bearbeiten daher oft einfache Aufgaben wie z. B. das Vorsortieren von Material, mit dem der Mitarbeitende anschließend Montage- und Prüfaufgaben durchführt. Außerdem arbeiten Produktionsroboter auch in Zeiten, in denen Mitarbeitende nicht verfügbar sind, z. B. nachts oder in Pausen (Stand-alone-Betrieb). Die Stillstandszeiten der Roboter werden dadurch verringert und die Amortisation verbessert.

Weiterhin **sinken die Zeiten für das Umrüsten**, da die Roboter einfach für neue Aufträge programmiert werden können und sich selbstständig mit neuen Werkzeugen ausstatten. Zudem können sie schnell zu wechselnden Einsatzorten in der Produktion gebracht und einsatzbereit gemacht werden. Roboter koppeln ihre Energieversorgung automatisch an die Maschinen und Arbeitsplätze an, an denen sie arbeiten. Für einige Modelle sorgen Elektrotankstellen in der Produktion und Wechsel-Akkus für eine durchgehende Verfügbarkeit der Roboter rund um die Uhr.

Die Flexibilität der Produktionsroboter trägt im Jahr 2030 wesentlich zur Fähigkeit des Unternehmens bei, unterschiedliche Produktionsaufträge immer schneller zu bearbeiten. Dazu gehört, noch während des Produktionsprozesses kurzfristig geänderte Kundenwünsche zu berücksichtigen. Ohne diese Fähigkeit würden Unternehmen die **Anforderungen der Industrie 4.0** verfehlen und müssten Nachteile hinsichtlich der Produktionsziele Zeit, Kosten und Qualität gegenüber Wettbewerbern hinnehmen.

Verbesserungen der Qualität sind nicht nur durch solche Roboter erzielbar, die mit ihren Sensoren die **Verarbeitung von Produkten überprüfen**, z. B. die Maßhaltigkeit, Rissfreiheit oder die lagerichtige Positionierung einzelner Bauteile. Darüber hinaus verringert der Einsatz von Produktionsrobotern für Vorgänge, die eine hohe Präzision bei hoher Kraftaufwendung erfordern, Qualitätseinbußen schon während des Arbeitsgangs.

**Arbeitsorganisatorisch werden Roboter ähnlich gehandhabt wie Mitarbeitende**: Die individuell verfügbare Kapazität, Einsatzmöglichkeiten sowie Arbeits- und Abwesenheitszeiten sind digital hinterlegt und erlauben eine durchgehende Planung vor dem Hintergrund des aktuellen Auftragsbestands.

Das Spektrum wählbarer Unterstützungsfunktionen, die Roboter im Jahr 2030 besitzen, ermöglicht eine **Verbesserung der Einsetzbarkeit leistungsgewandelter Beschäftigter** (→ Zukunftsszenario 3). Auf diese Weise sichern Unternehmen den Erhalt ihrer Arbeitskräfte, wenn die Zahlen von Bewerberinnen und Bewerbern im demografischen Wandel sinken und ältere Mitarbeitende häufiger Leistungseinschränkungen aufweisen.

Die enge Zusammenarbeit von Mensch und Roboter in der Produktion ist in den Entgeltsystemen der Unternehmen berücksichtigt. Wegfallende und neue **Aufgaben sind in den jeweiligen Entgeltgruppen berücksichtigt**, neue Job-Familien und Tätigkeiten in der Tarifstruktur zwischen Gewerkschaften und Arbeitgeberverbänden definiert. Die Entgeltsysteme tragen außerdem den variablen Anteilen der hybriden Wertschöpfung zwischen Roboter und Bedienendem Rechnung, was je nach bearbeitetem Produkt und Einsatzmodus variieren kann. Ebenso wurden neue Ausbildungsberufe entwickelt, wie z. B. »Robotik-Applikationsspezialist/in« oder »Robotik-Datenmanager/in«.

**Positiv für das Verdienstniveau** wirkt sich aus, dass die hybride Zusammenarbeit von Mensch und Robotern anspruchsvollere Bearbeitungsaufgaben erlaubt. Nach dem Prinzip »1 + 1 = 3« können Mensch und Roboter gemeinsam mehr leisten, als dies vorher möglich war. Statt z. B. einfacher Montagetätigkeiten können die hybriden Tandems nun Montage, individualisierte Bearbeitung von Werkstücken, Qualitätskontrolle und Störungsbehebung in einem Arbeitsgang durchführen. Daraus entsteht eine neue Gruppe technisch und wissensseitig anspruchsvoller Aufgaben, die entsprechend entlohnt wird.

**Roboter sind im Jahr 2030 auch für kleine und mittlere Unternehmen wirtschaftlich attraktiv**. Dazu trägt zum einen das gesunkene Preisniveau für Produktionsroboter bei, zum anderen erprobte Verfahren zur Einrichtung von Robotern und deren Integration in IT-Strukturen und Arbeitsorganisation. Darüber hinaus erlauben »Pay-per-piece«-Geschäftsmodelle es kleineren Unternehmen, Roboter von Dienstleistungsunternehmen auszuleihen und diese nur für die erzielten Stückzahlen zu bezahlen, womit das Investitionsrisiko gesenkt wird. Sichere Cloud-basierte Lösungen mit Rundumservice bieten zudem die Möglichkeit, Produktionsroboter auch ohne umfangreiche IT-Kompetenzen des eigenen Unternehmens einzusetzen.

Die beschriebenen Vorteile fließen in die **erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Produktionsroboter** ein, welche die Roboterhersteller ihrer Kundschaft aufzeigen. Dadurch steht das gesamte Spektrum der direkten und indirekten wirtschaftlichen Vorteile im Vordergrund, und nicht mehr nur die kurzfristige Amortisation der Anschaffungskosten eines Roboters.

Dazugehören
dank
Roboter

Schon heute entlasten Roboter Mitarbeitende von gesundheitsgefährdenden Tätigkeiten wie z. B. dem Heben schwerer Lasten. Die Flexibilität und Intelligenz der Roboter birgt jedoch noch weit größere Potenziale, um körperliche und psychische Einschränkungen von Beschäftigten auszugleichen und ihr Leistungsniveau zu steigern. Zeit für ein Zukunftsszenario, in dem die Robotik Mitarbeitende mit Beeinträchtigungen wieder in die Mitte der Belegschaft bringt!

## ZUKUNFTSSZENARIO 3

**Teilhabe in der Mensch-Roboter-Kollaboration 2030**

2030 sind Produktionsroboter in der Lage, die meisten körperlichen Beeinträchtigungen von schwerbehinderten und leistungsgeminderten Produktionsmitarbeitenden auszugleichen.

Die umfangreiche Teilhabe von leistungsgewandelten und schwerbehinderten Mitarbeitenden an Arbeitsplätzen in deutschen Produktionsunternehmen ist im Jahr 2030 vor allem Robotern zu verdanken. Diese besitzen aufgrund ihrer hochgenauen Sensoren die **Fähigkeit, sich auf die individuellen Besonderheiten der sie bedienenden Menschen einzustellen**. Dies ist besonders für Schwerbehinderte wichtig, weil innerhalb dieser Beschäftigtengruppe ein breites Spektrum individueller Leistungseinschränkungen existiert. Beeinträchtigungen wie das Fehlen von Gliedmaßen, besondere Haltungs-, Bewegungs- und Belastungseinschränkungen sowie Konzentrations- und Lernschwierigkeiten haben Schwerbehinderten in der Vergangenheit den Zugang zum ersten Arbeitsmarkt erschwert. Die Unterstützung von Robotern hat jedoch in der Zwischenzeit die **Chancen von Schwerbehinderten auf einen regulären Arbeitsplatz deutlich gesteigert**.

Erkennt im Jahr 2030 ein Produktionsroboter einen leistungsgewandelten oder schwerbehinderten Mitarbeitenden – z. B. über den Funkchip seines Ausweises für Mitarbeitende –, kann er automatisch folgende Anpassungen durchführen:

- **Ergonomische Einstellungen**
- **Hilfsmittel und Werkzeuge**
- **Anpassung an individuelle Lern- und Leistungskurven**
- **Übernahme von Arbeitsschritten, die dem Menschen nicht mehr möglich sind**
- **Lern-, Entlastungs- und Therapiemodus**
- **Wählbarkeit von Aufgaben durch den Menschen**
- **Akzeptanzförderliches Design des Roboters**

Roboter richten sich in ergonomischer Hinsicht auf den Menschen aus, der sie bedient, indem sie automatisch die **Position von Arbeitsflächen, Material und Werkzeugen an die körperlichen Voraussetzungen des Menschen anpassen**. Dabei wird z. B. die Reichweite des Mitarbeitenden vergrößert, indem der Greifarm des Roboters das Material mittig vor die Person bereitlegt beziehungsweise fertig bearbeitetes Material außerhalb des Greifraums der Person ablegt. Beim Handhaben von Gegenständen unterstützt der Roboter, indem der Greifarm dem Mitarbeitenden Werkstücke oder Werkstückträger in einer Position (Höhe/Neigung) anreicht, in welcher der Mitarbeitende diese greifen kann. Ebenso kann der Roboter Gegenstände anreichen oder fixieren, die aufgrund ihres Gewichts, ihrer Form oder ihrer Materialeigenschaften (z. B. hochelastische Kunststoffteile) für den behinderten Mitarbeitenden schwer zu greifen sind. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den Körper des behinderten Mitarbeitenden phasenweise mit dem Greifarm abzustützen, z. B. um ihm die Einnahme einer aufrechten Körperhaltung zu ermöglichen.

Fehlt einem schwerbehinderten Mitarbeitenden z. B. die Funktion einer Hand, kann der Roboter dies ausgleichen, indem er mit seinem **Greifer zur Ersatzhand des Mitarbeitenden** wird. Mithilfe seiner Sensorik kann der Roboter die Bewegungen der einsatzfähigen menschlichen Hand erkennen und in Echtzeit auf die ergänzende Greiferhand umsetzen, sodass echte Hand und Greiferhand einen Gegenstand synchron bewegen.

Für schwerbehinderte Produktionsmitarbeitende mit besonders starken psychischen und/oder physischen Einschränkungen werden Arbeitsplätze geschaffen, die dem Mitarbeitenden durch **Licht-, Ton- und haptische Signale (z. B. Vibrieren) die einzelnen Arbeitsschritte anzeigen** (Pick-by-light, Place-by-light). So erkennt der Mitarbeitende genau, aus welchen Materialkisten Teile entnommen und in welcher Reihenfolge und Position diese montiert werden sollen. Kameras und Sensoren überprüfen, ob die Montage richtig erfolgte und z. B. das Drehmoment des Schraubwerkzeugs richtig gewählt wurde.

Im Verlauf eines Arbeitsvorgangs kann der Roboter diese Unterstützungsmaßnahmen **flexibel zu jedem Zeitpunkt, in jeder Reihenfolge und mit jeder Häufigkeit** durchführen, die individuell erforderlich ist. Abhängig von der Bearbeitungsaufgabe lässt sich eine **Vielfalt von Unterstützungsprofilen** in zeitlicher, quantitativer und qualitativer Variation programmieren. Die Software, die den Roboter steuert, bildet hierbei Kategorien von Einschränkungen des Mitarbeitenden ab und erlaubt darüber hinaus eine weitergehende, mitarbeiterspezifische Anpassung. **Der Roboter lernt, die individuellen Unterstützungsbedarfe der bedienenden Person zu erkennen und bedarfsgerechte Unterstützung zu leisten**. Dies geschieht z. B., indem der Betreuende des schwerbehinderten Mitarbeitenden den Greifarm des Roboters in einer solchen Bewegung führt (teach-in), wie der Mitarbeitende es als Unterstützung benötigt.

Die ergonomischen Anpassungen werden durch individualisierte Beleuchtung (Helligkeit, Winkel des Lichteinfalls, Lichtfarbe), Möglichkeiten zu Bewegung und Haltungswechsel sowie **Unterstützung von Wahrnehmung und Informationsaufnahme** ergänzt (siehe auch Sprachbefehle und Gesten, (→ Zukunftsszenario 1). So kann z. B. ein Mitarbeitender mit beeinträchtigter Sehfunktion durch erhöhte Beleuchtungsstärke, Lupenfunktion oder alternativ Audio- und Sprachsignale in der Handhabung unterstützt werden – und zwar immer genau dann, wenn der Mitarbeitende in einem bestimmten Arbeitsschritt diese Informationen benötigt.

Aufgrund ihrer Sensorik sind Produktionsroboter ebenfalls in der Lage, sich auf **individuelle Schwankungen der Lern- und Leistungskurven** von schwerbehinderten Mitarbeitenden einzustellen. So kann der Roboter die Taktzeit verringern oder einen Aufgabenwechsel »vorschlagen«, wenn er merkt, dass die bearbeitete Stückzahl des Mitarbeitenden auffällig sinkt. Dies ist für Schwerbehinderte besonders wichtig, da ihr Leistungsniveau häufiger Schwankungen unterworfen ist.

Auf Basis der individuellen Erfahrungswerte je Mitarbeitendem regen Roboter in regelmäßigen Abständen Entlastungsmaßnahmen an. Ebenso wird beim Einlernen von Personen die individuelle und aktuelle **Konzentrationsfähigkeit berücksichtigt**. Schwerbehinderte benötigen teilweise längere Einlernzeiten. Hier kann der Roboter mit Arbeitshinweisen und korrigierendem Feedback geduldig begleiten und so menschliche Einweisende wirkungsvoll unterstützen. Da schwerbehinderte Mitarbeitende oft ein erhöhtes Maß an Führung, Betreuung und Ergebniskontrolle benötigen, stellen die intelligenten Robotik-Funktionen eine wirkungsvolle Entlastung für das betreuende Personal dar.

In bestimmten Grenzen **erlauben Roboter es dem Mitarbeitenden, Aufgaben zu wählen**. Dies kann zur gezielten Entlastung durch Aufgabenwechsel sinnvoll sein, aber auch mit Qualifizierungsstrategien verknüpft werden. So können Beschäftigte, die einen bestimmten Bearbeitungsprozess erlernen wollen, sich den Zeitpunkt aussuchen, an dem sie – zusammen mit »ihrem« Roboter – in einen Lernmodus wechseln. Der flexible Aufgabenwechsel erlaubt es auch, anspruchsvolle Aufgaben in Zeiten guter Konzentrationsfähigkeit zu bearbeiten, weniger anspruchsvolle Aufgaben in Phasen abnehmender Aufmerksamkeit.

Je nach Konstellation der parallelen Fertigungsaufträge in der Produktion ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten des Aufgabenwechsels. In der Kombination mit den Wünschen und den Leistungsvoraussetzungen des Mitarbeitenden errechnet der Roboter die aktuell bestmöglichen Optionen für alternative Aufgaben und bietet sie dem Mitarbeitenden an. **Roboter übernehmen komplette Arbeitsschritte** nur, wenn der Mitarbeitende den Vorgang aufgrund seiner Einschränkungen auch mit Unterstützung nicht ausführen kann.

**Beziehung, Vertrauen und Wertschätzung** sind für viele Schwerbehinderte besonders wichtig. Um den Zugang dieser Beschäftigtengruppe zu Robotern zu unterstützen, ist im Jahr 2030 das Design bestimmter Produktionsroboter speziell auf diese Zielgruppe angepasst. So ermöglichen Sprachsignale und menschenähnliche Bewegungen des Roboterarms (z. B. »Winken«) eine individuelle Begrüßung und Verständigung. Besonders beim Einlernen und bei der Qualitätskontrolle **vermittelt die »Stimme« des Roboters dem Mitarbeitenden gleichbleibende Wertschätzung**, was menschlichen Vorgesetzten in langen Einlernphasen und bei häufig gleichen Fehlern nicht immer leichtfällt. Je nach Vorliebe des Mitarbeitenden ist die **Form des Roboters menschlicher gestaltet**, z. B. durch Gesichtszüge auf Chassis und Display. Davon heben sich Designvarianten für Mitarbeitende ab, die eher den Stil eines neutralen Arbeitsmittels bevorzugen. Die individuelle Gestaltung des Roboters fördert das Vertrauen in die intelligente Unterstützung und trägt zu einer vertrauensvollen Beziehung zwischen Mensch und Produktionsroboter bei.

Von den Fortschritten der Unterstützung durch Robotik **profitieren auch gesunde Mitarbeitende**. Die Anpassungsfähigkeit der Robotik wird auch bei ihnen genutzt, um physische und psychische Belastung zu reduzieren. Dies erfolgt zwar in einem geringeren Maßstab im Vergleich zu den Einschränkungen der Schwerbehinderten, aber ebenso hoch individualisiert. **So wird die Arbeitsfähigkeit der Mitarbeitenden langfristig erhalten und die Arbeit bedürfnisgerecht gestaltet**.

Analog sichert die intelligente Unterstützung durch den Roboter auch **Arbeitsplätze für leistungsgewandelte Mitarbeitende** ohne Schwerbehinderung. Durch den demografischen Wandel ist im Jahr 2030 der Anteil der über 65-Jährigen auf 30 Prozent gestiegen. Die gealterten Belegschaften in deutschen Unternehmen weisen durchschnittlich erhöhte körperliche und geistige Verschleißerscheinungen und Berufskrankheiten auf. Unterstützungsfunktionen der Robotik leisten hier einen wertvollen Beitrag, um ältere Mitarbeitende angesichts gestiegener Leistungsanforderungen weiterhin produktiv einzusetzen.

Die flexiblen Funktionen der Roboter **erhöhen die Durchlässigkeit des Arbeitsmarkts für schwerbehinderte Produktionsmitarbeitende**. Werden diese aus Werkstätten für behinderte Menschen in Integrationsfirmen vermittelt oder von Integrationsfirmen in Unternehmen des ersten Arbeitsmarkts, spielen Produktionsroboter eine integrierende Rolle. Da sie Beeinträchtigungen von Mitarbeitenden individuell ausgleichen können, unterstützen sie den Transfer von Mitarbeitenden in ein höheres Leistungsniveau. Allerdings ist ein umfassendes Betreuungsnetzwerk im aufnehmenden Unternehmen Voraussetzung für eine gelungene Integration.

Ich Chef –
du Roboter

»Hilfe, die Roboter übernehmen die Kontrolle!« – so oder ähnlich betitelten zahlreiche Medien den weltweiten Einzug der Roboter in die Fabrikhallen der Produktionsunternehmen. Ist es tatsächlich nur eine Frage der Zeit, bis die »Blechkameraden« ihren menschlichen Kolleginnen und Kollegen Vorgaben machen und ihre Arbeitsergebnisse kontrollieren? Zeit für ein Zukunftsszenario, in dem der Roboter ein intelligentes Werkzeug bleibt und der Mensch immer das letzte Wort behält!

## ZUKUNFTSSZENARIO 4

### Steuerung und Kontrolle in der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit 2030

Im Jahr 2030 sind die Rechte für die Steuerung von Arbeitsprozessen zwischen Menschen und Robotern klar und nachvollziehbar aufgeteilt.

Die Sorge mancher Menschen, dass Roboter die Kontrolle über ihre Arbeit übernehmen könnten, ist im Jahr 2030 dem **Vertrauen in gute Regelungen der Mensch-Roboter-Kollaboration** gewichen. Denn in den meisten Unternehmen wurden konstruktive Regelungen zu Kontroll- und Steuerungsrechten für Mensch und Roboter getroffen, die die folgenden Merkmale erfüllen:

- **Transparenz und Nachvollziehbarkeit**
- **Definierte Rollen und Berechtigungen**
- **Partizipative Einbindung**
- **Beherrschbarkeit durch Wissen**
- **Überprüfung und Optimierung**
- **Ethische Leitlinien**

Zu welchen Entscheidungen Mensch und Roboter berechtigt sind, wird im Einzelnen klar dokumentiert und den Mitarbeitenden verständlich dargestellt. **Zu den relevanten Entscheidungen gehören z. B.**:

- Produktionsaufträge annehmen/nicht annehmen
- Produktionsaufträge den Bearbeitungsstationen/Mitarbeitenden zuweisen
- Arbeitsgänge auswählen und ihre Reihenfolge festlegen
- Einrichten des Robotik-Arbeitsplatzes
- Festlegen der angezielten Produkteigenschaften und Produktionsparameter
- Auswahl von Material und Werkzeug für den Roboter
- Wahl von Umsetzungswegen und Bearbeitungsvarianten
- Geschwindigkeit und Dauer der Arbeitsgänge bestimmen
- Starten, stoppen und pausieren von Arbeitsgängen des Roboters, z. B. Arbeitsmodus kollaborativ/Stand-alone, Stand-by, Unterbrechung, Nothalt/Notaus
- Kontrolle der Ausführung und der Ergebnismenge/-qualität

Die Kontroll- und Eingriffsrechte von Mensch und Roboter werden nach wohlüberlegten Kriterien gestaltet. Es gilt der Leitsatz: **»So viele Eingriffsrechte für die Roboter wie nötig, aber so wenig Eingriffsrechte wie möglich«**. Sowohl für den Menschen wie auch für die intelligente Steuerung der Robotik und der Produktionssteuerung als technische »Akteure« werden Rollen und Berechtigungen festgelegt, die nachvollziehbar beschreiben, welcher Akteur in welchem Fall zu welchen Entscheidungen und Eingriffen berechtigt ist. Die Rollen der Mitarbeitenden in der Mensch-Roboter-Kollaboration umfassen z. B. die Rollen **»Roboter-Bedienen«**, **»Roboter-Einstellen«** und **»Roboter-Überwachen«**, die jeweils unterschiedliche Rechte zur Bedienung, Programmierung und Fehlerbehebung am Roboter beinhalten.

Mitarbeitende können jederzeit die aktuellen **Abstimmungs- und Eingriffsvorgänge von Robotern, Maschinen und Anlagen nachvollziehen** und Auswirkungen auf den eigenen Arbeitsgang vorhersehen. Spezielle Bedienoberflächen erlauben einen einfachen und intuitiven Überblick über den aktuellen Bearbeitungsstatus der vernetzten Maschinen und Roboter.

Darüber hinaus werden Mitarbeitende in den Prozess der Festlegung von Berechtigungen partizipativ und vorausschauend einbezogen. Dies erfolgt im Rahmen von

- **fach- und funktionsgemischten Projektteams**, in denen Fachleute z. B. aus den Personal- und Produktionsbereichen Regelungen für die Mensch-Robotik-Kollaboration entwerfen,
- **Workshops für Mitarbeitende**, in denen Entwürfe für Regelungen diskutiert werden
- **sowie Verhandlungen zwischen Management und Betriebsrat**, in denen die erarbeiteten Regelungen überprüft und verabschiedet werden.

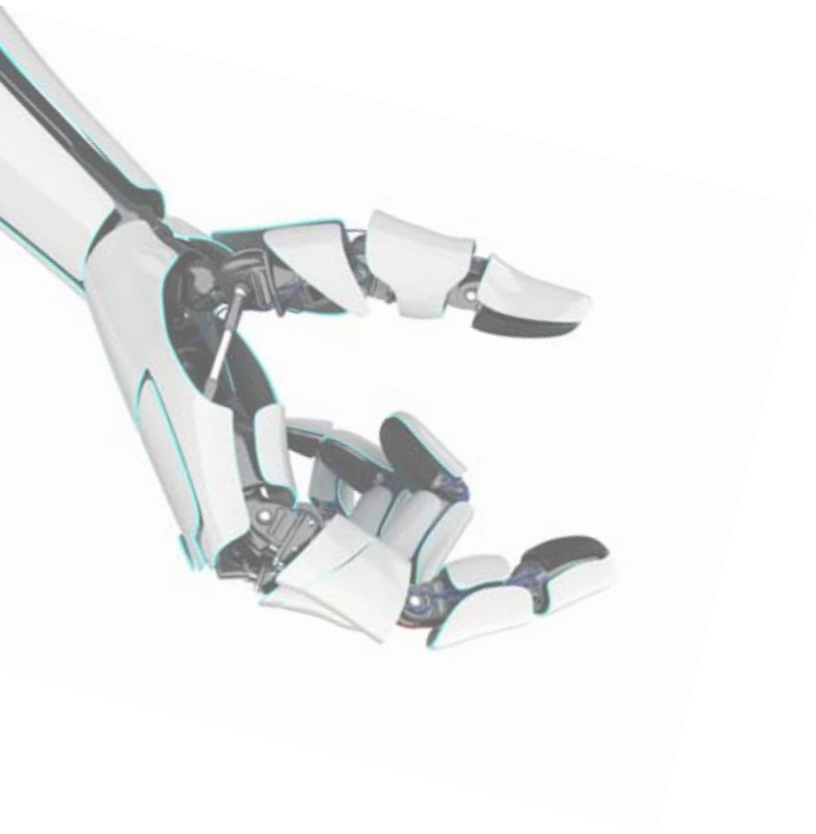
Auf diese Weise können Interessen der Mitarbeitenden frühzeitig aufgegriffen und in offiziellen Regelungen berücksichtigt werden, z. B. in Form von Betriebsvereinbarungen. Die erreichte **Akzeptanz für die Arbeit in der Mensch-Robotik-Kollaboration** begünstigt einen reibungslosen und effizienten Einsatz der Roboter. Dies wirkt sich positiv auf die Produktivität und Ergebnisqualität der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter aus.

**Voraussetzung für die Beherrschbarkeit der Technik ist das erforderliche Wissen**. Mitarbeitende können Arbeitsgänge mit Robotern und anderen Maschinen nur dann eigenverantwortlich steuern, wenn sie das Know-how über die technischen Zusammenhänge besitzen. Dazu zählt neben Wissensbereichen wie Mechatronik und Informatik auch die **Systemkompetenz**: Nur, wenn Mitarbeitende in der Lage sind, die komplexen Zusammenhänge der digital vernetzten Roboter, Maschinen und Anlagen im Produktionssystem zu verstehen und zu bewerten, können sie Entscheidungen über Eingriffe ins System treffen. Dem Wissen des Mitarbeitenden und seiner kontinuierlichen Aktualisierung durch lebenslanges Lernen kommt deshalb eine hohe Bedeutung zu. Dieser Herausforderung wird mit innerbetrieblichen und überbetrieblichen **Qualifizierungsmaßnahmen** Rechnung getragen, die sowohl im Prozess der Arbeit integriert, als auch in präsenzbasierten und Online-Lernumgebungen stattfindet (→ Zukunftsszenario 1).

Die teilautonomen **Steuerungseingriffe von Robotern und anderen Systemen in den Arbeitsvorgang werden automatisch dokumentiert** und regelmäßig auf Effizienz sowie nicht beabsichtigte Auswirkungen auf die vernetzten Systeme überprüft. Auch Verbesserungsbedarf, der vonseiten der Mitarbeitenden z. B. im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) oder des betrieblichen Ideenmanagements gemeldet wird, fließt in die Optimierungsmaßnahmen ein. So werden dauerhafte Fehlentwicklungen verhindert und das Erfahrungswissen des Menschen genutzt.

Vorgaben, welche die Eingriffsmöglichkeiten von Robotern begrenzen, sind z. B. **arbeitsrechtliche Beschränkungen und gesetzliche Regelungen zum Datenschutz**. Auch arbeitswissenschaftliche Kriterien für physische und psychische Belastungen wie auch für die Persönlichkeits- und Lernförderlichkeit der Arbeit werden in den Robotik-Anwendungen standardmäßig berücksichtigt (→ Zukunftsszenario 1).

Zentral ist aus ethischer Sicht ein **Menschenbild, in dem der Verantwortung und Handlungsfähigkeit des Mitarbeitenden eine vorrangige Rolle zukommt**. Die Kontrolle, die intelligente Roboter und Produktionssysteme übernehmen, darf nicht einseitig zulasten der Selbstbestimmung des Mitarbeitenden gehen. So ist z. B. kritisch zu hinterfragen, ob und wie Roboter Arbeitsvorgaben an Mitarbeitende erteilen sollen. Entscheidungen und Verantwortung sind zentral für die Motivation, das Selbstbild und die erlebte Arbeitsqualität des Mitarbeitenden. Je größer die Tragweite von Entscheidungen ist, desto klarer **muss geregelt sein, dass der Mensch immer das letzte Wort hat**. Ethische Fragen zur Fremd- bzw. Selbstbestimmung von Menschen in der Zusammenarbeit mit Robotern werden von staatlichen und privatwirtschaftlichen Ethik-Gremien erörtert und in Leitlinien umgesetzt, an denen sich die Mehrheit der Unternehmen orientiert.



# Hand-in-Greifer mit dem Roboter: So nah, so sicher

Würden Sie einem Roboter die Hand geben? Nein? Verständlich. Denn viele Roboter sind in der Lage, mit ihren beweglichen Teilen hohe Kräfte und Geschwindigkeiten zu entwickeln, die ein Verletzungsrisiko für Menschen darstellen. In der Vergangenheit wurden Mensch und Roboter deshalb mit Schutzzäunen voneinander getrennt. Moderne Sicherheitstechnologien sind heute jedoch in der Lage, die Kraft und Geschwindigkeit des Roboters so zu regulieren, dass der räumliche Abstand zwischen Mensch und Roboter verringert und Berührungen teilweise erlaubt werden können. Zeit für ein Zukunftsszenario, in dem Mensch und Roboter sich gefahrlos die Hand geben können!

## ZUKUNFTSSZENARIO 5

**Echte »Hand-in-Greifer-Kollaboration« in der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit 2030**

Im Jahr 2030 ermöglicht die Kombination unterschiedlicher Sicherheitsfunktionen die gefahrlose »Hand-in-Greifer-Kollaboration« zwischen Mensch und Roboter.

So hautnah, wie Menschen untereinander Hand in Hand zusammenarbeiten, tun dies im Jahr 2030 auch Menschen mit Robotern. Dabei ist es gefahrlos möglich, dass die menschliche Hand und das (Greif-)Werkzeug des Roboters sich in direktem Kontakt berühren. Dies erlaubt z. B. folgende Anwendungen:

- Ein Werkstück wird vom Greifer auf der Arbeitsfläche fixiert bzw. frei schwebend gehalten (**»dritte Hand« für den Menschen**) und dabei von der menschlichen Hand (ggf. mittels Werkzeugen) bearbeitet, oder umgekehrt.
- Mehrere menschliche Hände und/oder mehrere Greifer fixieren bzw. bearbeiten dasselbe Werkstück gleichzeitig.
- Ein Werkstück wird vom Greifer an die menschliche Hand übergeben, oder umgekehrt.
- Werkstücke werden von Greifer zu Greifer weitergereicht.
- Werkstücke werden zwischen menschlichen Händen und Greifern mehrmals übergeben, z. B. in der Abfolge: Hand-Greifer-Hand-Greifer (**Übergabekette**).

- Daneben sind auch weiterhin **indirekte Kollaborationen** im Einsatz, d. h. die menschliche Hand und der Greifer befinden sich in räumlichem und zeitlichem Abstand:
  - räumlich getrennt z. B. durch ein Übergabefeld, eine Schleuse oder eine gesicherte Zuführung der Werkstücke
  - zeitlich getrennt, indem z. B. die menschliche Hand das Werkteil bearbeitet, sich dann davon entfernt und erst dann der Greifer das Werkteil bearbeitet
- Statt Greifern können an Roboter-Armen auch andere Werkzeuge angebracht werden, z. B. Schrauber, Fügevorrichtungen, Lötgeräte, Spannungsprüfer etc. Dies stellt erhöhte Sicherheitsanforderungen an die Konstruktion, wenn ein Kontakt dieser Werkzeuge mit dem menschlichen Körper beabsichtigt oder möglich ist.

Damit bei der »Hand-in-Greifer-Kollaboration« die Sicherheit für den Menschen jederzeit gewährleistet ist, arbeiten unterschiedliche Sicherheitssysteme zusammen. Die modulare Kombination von Sicherheitssystemen ermöglicht folgende Funktionen:

- **Lageerkennung von Menschen**: Wo in der Produktion befindet sich ein Mensch? Wie nah ist er am Roboter? Hält er sich in einem sicherheitsrelevanten Bereich auf? Steht er, oder liegt er, wie z. B. nach einem Unfall? Spezielle Handschuhe, Armbänder oder sonstige Signalgeber am Körper des Menschen zeigen dem Sicherheitssystem an, wo sich der Mensch bzw. seine Extremitäten zu diesem Zeitpunkt genau befinden.
- **Lageerkennung von Robotern**: Wo genau befindet sich z. B. der Arm des Roboters? Welchen sicherheitsrelevanten Abstand hat er zum Menschen und zu anderen Objekten, wie z. B. Werkteil, Werkzeugen oder anderen Maschinen?
- **Reichweitenbegrenzung von Roboterarmen**: Die maximal mögliche Reichweite eines Roboterarms wird dreidimensional eingeschränkt und programmiert. Der erlaubte Bewegungsraum des Roboterarms kann als große, unregelmäßige Blase um den Roboter herum gedacht werden.
- **Geschwindigkeitsregulierung**: Wenn sich Menschen oder Objekte dem Roboter nähern, verringert dieser automatisch seine Arbeitsgeschwindigkeit. So wird die Verletzungsgefahr bei einer unplanmäßigen Berührung verringert.
- **Berührung zwischen Mensch und Roboter**: Während früher der Greifarm des Roboters seine Bewegung erst bei Berührung mit dem Menschen oder anderen Objekten stoppte, werden solche Berührungen im Jahr 2030 generell vermieden, z. B. durch kapazitative Sensoren.
- **Handling von Objekten**: Die Maße und Materialeigenschaften von Objekten wie Gewicht, Oberfläche, Verformungsfestigkeit oder Schwingungsverhalten werden automatisch beim Greifen, Transport und bei der Übergabe des Objekts mit dem Roboter-Greifarm berücksichtigt. So kann z. B. die Berührungszone am Objekt oder die aufzubringende Kraft des Greifers optimiert werden.

- **Übergabeorte, Schleusen, temporäre/dauerhafte Trennwände**: Wo ein Sicherheitsabstand zum Roboter erforderlich ist, kann dies durch Pufferzonen oder Abtrennungen der Arbeitsbereiche von Mensch und Roboter erfolgen. Wechseln gefährliche und ungefährliche Arbeitsvorgänge des Roboters sich ab, kann z. B. eine Trennwand auch zeitlich begrenzt in den Arbeitsraum eingefahren werden.
- **Signale zur Abstands- und Gefahrenregulierung**: Bei gefährlicher Annäherung von Mensch und Roboter wird dies durch optische, akustische und haptische (z. B. Vibration) Warnsignale angezeigt. Das breite Spektrum von Signalarten stellt sicher, dass auch Menschen mit teilweiser Sinneseinschränkung (z. B. durch Sehbehinderung) sicherheitsrelevante Situationen rechtzeitig wahrnehmen und Gefahren präventiv vermieden werden.
- **Stabile Leistung von Sensoren**: Auch unter ungewöhnlichen Bedingungen arbeiten die Sensoren von Robotik-Anwendungen zuverlässig und zeigen Sicherheitsabstände stabil an. Ungewöhnliche Bedingungen können z. B. sein: Eingecremte oder nasse Hände des Roboter-Bedienenden, Tragen von Handschuhen, verändertes Hautgewebe des Mitarbeitenden z. B. bei krankheitsbedingter Wassereinlagerung, metallische oder isolierende Einsätze in der Kleidung des Mitarbeitenden oder elektrische Felder im Umfeld des Roboters, die z. B. durch Lampen und Stromleitungen ausgelöst werden.
- **Konventionelle Schutzzäune**: Wo der benötigte Krafteinsatz und die Geschwindigkeit des Roboters zu hoch für eine direkte Mensch-Roboter-Kollaboration sind, werden nach wie vor statische Schutzzäune zwischen Mensch und Roboter eingerichtet.

Intelligente Technologien, die im Jahr 2030 in der Mensch-Roboter-Kollaboration eingesetzt werden, erlauben darüber hinaus weitere Funktionen:

- **»Predictive Safety«**: Auf Basis der Konstellation von individuellen Menschen, Robotern, Werkstücken und Werkzeugen in einem gemeinsamen Arbeitsprozess werden auf der Grundlage großer Datenmengen aktuelle Sicherheitsrisiken für den Mensch-Robotik-Arbeitsplatz berechnet und zeitnah in strengere oder gelockerte Einstellungen (Toleranzen) der Sicherheitssysteme umgesetzt. So wird z. B. ein Nachlassen der Konzentration eines Mitarbeitenden auf Basis seiner individuellen Arbeitsgeschwindigkeit und seiner aktuellen Vitaldaten erkannt. Daraufhin wird z. B. die Taktzahl (Arbeitsfrequenz) des Roboters präventiv herabgesetzt, die maximal zulässige Distanz zwischen Mitarbeitendem und Roboter heraufgesetzt und dem Mitarbeitenden eine andere Aufgabe mit geringeren Konzentrationsanforderungen vorgeschlagen. Auch die Gefährdungs- und Unfallhistorie aller vergleichbaren Robotik-Anwendungen (z. B. desselben Roboter-Typs) fließt in die vorausschauende Vorhersage und Berücksichtigung von Sicherheitsrisiken ein.

- **Personenindividuelle Sicherheit**: Ein weiterer Bestandteil der »Predictive Safety« ist, dass der Roboter individuelle Leistungseinschränkungen des Menschen automatisch berücksichtigt. Dazu zählen Einschränkungen der körperlichen und psychischen Belastbarkeit, die z. B. infolge einer Behinderung oder einer altersbedingten Gesundheitseinschränkung vorliegen. Automatisch werden die Sicherheitsfunktionen des Robotik-Arbeitsplatzes an solche Einschränkungen angepasst. Außerdem bieten die Roboter dem leistungsgewandelten Mitarbeitenden individuelle Unterstützung an (siehe Zukunftsszenario 3 »Dazugehören dank Roboter«).
- **Menschenhandähnliche Greifwerkzeuge**: Manche Greifwerkzeuge der Roboter gleichen der menschlichen Hand. Im Zusammenspiel mit Künstlicher Intelligenz werden deren Greifvorgänge denen der menschlichen Hand immer ähnlicher. Durch die Verwendung von weichen Materialien sinkt die Verletzungsgefahr bei direktem Kontakt zwischen humanoider Roboterhand und menschlichem Körper. Die menschenhandähnlichen Greifwerkzeuge eigenen sich besonders für die Unterstützung des Mitarbeitenden als »dritte Hand« oder, zur Unterstützung bei gesundheitsbedingtem Ausfall einer Hand, als »Ersatz-Hand«(siehe Abschnitt »Dazugehören dank Roboter«).

**Subjektive Sicherheit**: Das persönliche Sicherheitsempfinden bei der Zusammenarbeit mit Robotern ist bei den meisten Menschen im Jahr 2030 hoch. Das liegt vor allem daran, dass Mitarbeitende sich nach jahrelanger Zusammenarbeit mit Robotern an diese gewöhnt haben. Das »Verhalten« der Roboter, wie z. B. die Bewegungsabfolge und Reichweite eines Greifarms in einem Arbeitsprozess, ist vorhersehbar geworden und einer gewohnheitsmäßigen Achtsamkeit gegenüber dem Roboter gewichen. Dazu trägt auch bei, dass Roboter aufgrund ihrer weiten Verbreitung nicht nur im Arbeitsleben, sondern auch im privaten Bereich zur Normalität gehören und vom überwiegenden Teil der Menschen als natürlicher Bestandteil ihres Alltags akzeptiert werden.

# Der Mercedes unter den Robotern kommt aus Deutschland

Als der chinesische Haushaltsgeräte-Konzern Midea 2016 den deutschen Industrierobotik-Hersteller KUKA übernahm, staunte die Fachwelt nicht schlecht. Sollten die deutschen Industrieroboter Einzug in die Wohnungen chinesischer Bürger halten? Die asiatischen Investoren betonten das große Automatisierungspotenzial in China und erklärten, mithilfe von KUKA kleine Robotik-Lösungen für Logistik-, Haushalts- und Pflegebereiche entwickeln zu wollen. Zeit für ein Zukunftsszenario, in dem das Vorhaben gelungen ist, deutsche Industrieroboter in die Pole-Position auf dem Weltmarkt zu bringen!

## ZUKUNFTSSZENARIO 6

### Mensch-Roboter-Zusammenarbeit im weltweiten Wettbewerb 2030

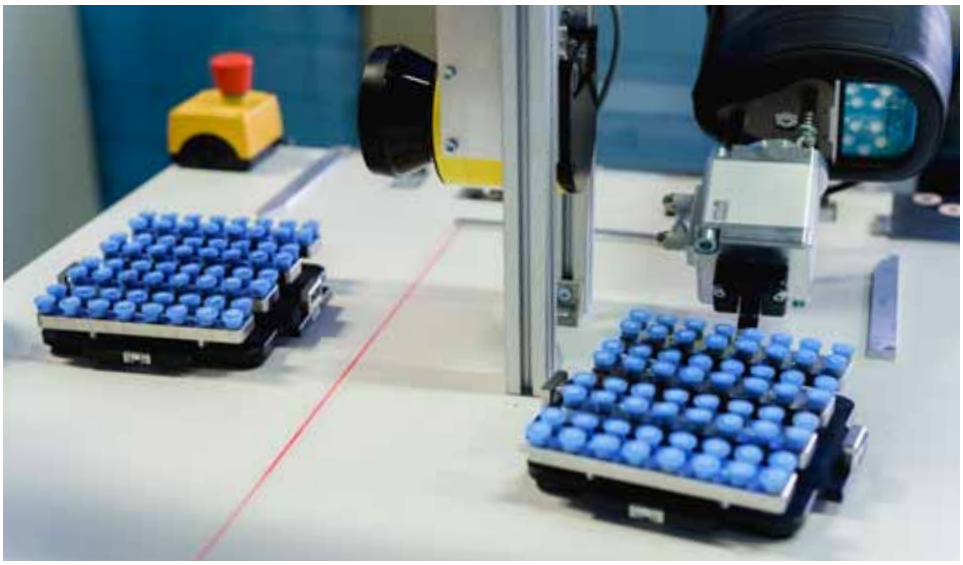
Obwohl China im Jahr 2030 weltweit die meisten Industrieroboter in der heimischen Produktion einsetzt als auch auf dem Weltmarkt verkauft, hat sich Deutschland als führendes Herstellerland von Robotern für die Mensch-Roboter-Kollaboration behauptet.

Schon früh hat sich abgezeichnet, dass chinesische Unternehmen im Vergleich zu anderen Ländern am meisten in Roboter-Anwendungen investieren. Ebenso verkauft China 2030 weltweit die meisten Roboter aus heimischer Produktion auf dem Weltmarkt. **Im Anwendungsbereich der unmittelbaren Mensch-Roboter-Kollaboration jedoch ist der Anteil der eingesetzten deutschen Roboter in Asien, Europa und den USA jeweils auf den ersten drei Plätzen**.

Diese internationale Vorrangstellung Deutschlands in der Mensch-Roboter-Kollaboration basiert auf einer Reihe von Faktoren:

- **Hightech-Kompetenz**
- **Erfindergeist und Innovationskraft**
- **Mensch im Mittelpunkt**
- **Umweltschutz**
- **Individuelle Lösungen**
- **Ganzheitliche Lösungen**
- **Kulturelle Diversität**

Wie in kaum einem anderen Land **kombinieren deutsche Unternehmen Kompetenzen** aus unterschiedlichen Bereichen wie Maschinenbau, Elektrotechnik, Sensorik und Künstlicher Intelligenz. Dies führt auch im Robotik-Bereich zu **ganzheitlichen Lösungen**, die weitaus mehr Nutzen für den Kunden in Sachen Produktivität und Flexibilität bieten als singuläre Anwendungen. Ebenfalls gelten deutsche Unternehmen zu Recht als **bei Innovationen führend** und setzen auch in der Mensch-Roboter-Kollaboration Maßstäbe. Dies gilt z. B. für Systeme der Sensorik und Aktorik, digitale Sicherheitsfunktionen und die intelligente Einbindung der Mensch-Robotik-Kollaboration in die Industrie 4.0.



Die **hohen deutschen Standards für Sicherheit und Ergonomie** gelten – auch im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration – weltweit als vorbildlich. Grundlage sind die gesetzlichen Regelungen in Hinsicht auf technische Normen, Arbeitsschutz und Arbeitsrecht, die von den hohen Ansprüchen der deutschen Gesetzgebung geprägt sind. Auch die besondere Stellung der **Tarifpartner** in Deutschland trägt zu sozial ausgewogenen Regelungen für die Gestaltung der Mensch-Roboter-Kollaboration bei. Die **hohe Mitarbeitenden-Orientierung**, insbesondere beim familiengeführten deutschen Mittelstand, wirkt sich ebenfalls positiv auf die menschengerechte Regelung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter aus.

Ebenso führen **hohe gesetzliche Anforderungen an den Umweltschutz** dazu, dass deutsche Roboter energiesparend, langlebig und recycelbar konstruiert sind. Im Jahr 2030 gibt es einen weltweiten Markt für gebrauchte Robotik-Anwendungen, auf dem Modelle aus älteren Generationen über Ländergrenzen hinweg gehandelt werden. Auch bei den Technologien, die zur Herstellung von Robotern verwendet werden, setzt Deutschland in puncto Ressourcenverbrauch international Maßstäbe.

Die in Deutschland entwickelten Baukastenlösungen für die Mensch-Robotik-Kollaboration sowie die Kompetenzen der Hersteller und Integratoren erlauben eine **individuelle Anpassung der Robotik an produktionstechnische und mitarbeiterspezifische Anforderungen**. Dank inner- und überbetrieblich vernetzter Kompetenzen entwickeln deutsche Robotik-Hersteller ganzheitliche Lösungen für die Industrie 4.0, in denen die Robotik mit der Produktionssteuerung intelligent vernetzt ist. So werden neue Potenziale der Produktivität und Flexibilität gehoben, die sich auszahlen in Form von z. B.:

- kundenindividueller Fertigung
- Ermöglichung später Änderungen an Produkten
- kurzen Lieferfristen
- vorausschauender Wartung
- verbesserter Qualität
- verbesserter Produktivität

Die Kompetenz, auch komplizierte Produkt- und Produktionsanforderungen zu beherrschen, ist ein weiterer Pluspunkt für deutsche Robotik-Hersteller.

Die Einbindung kulturell gemischter Teams in die Roboter-Entwicklung ermöglicht es deutschen Unternehmen, Roboter und Benutzerschnittstellen so zu entwickeln, dass **Akzeptanz und Usability** bei einem breiten Spektrum der Benutzergruppe mit unterschiedlichem kulturellem Hintergrund hoch sind.

Telephone

# Bildquellen

Fotos auf Titelseite und Seiten 2, 16, 23, 30, 35:
Bosch Rexroth AG

Fotos auf Seiten 4, 6, 9, 10, 12, 15, 19, 20, 24, 27, 29, 36, 38, 41:
Parsyak/Fraunhofer IAO

# Mitwirkende

Wir danken den Partnern des Projekts AQUIAS, die als Ideengeber an den Zukunftsszenarien der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit 2030 mitgewirkt haben:

| | |
|---|---|
| Ulf Dohne,<br>Susanne Stabel | Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, Hamburg |
| Dr. Matthias Umbreit | Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Stuttgart |
| Britta Kirchhoff<br>Jan-Hendrick Geilen | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund |
| Dr. Detlef Gerst | Industriegewerkschaft Metall |
| Jürgen Dörich | Arbeitgeberverband Südwestmetall |
| Thomas Wenzler<br>A.P. Müller | ISAK gGmbH, Sachsenheim |
| Werner Link | Kuratorium ISAK gGmbH |
| Eberhard Siller<br>Wolfgang Pomrehn<br>Andreas Naljot | Kuratorium ISAK gGmbH |
| Christian Henkel<br>Matthias Schneider<br>Daniel Stock | Fraunhofer IPA, Stuttgart |
| Sibylle Hermann<br>Peter Rally<br>Manfred Bender | Fraunhofer IAO, Stuttgart |

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen« unter dem Förderkennzeichen 02L14A110 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Laufzeit des Projekts AQUIAS: 1. Oktober 2015 bis 31. Dezember 2019

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Förderschwerpunkt Präventive Maßnahmen für die sichere und gesunde Arbeit von morgen

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr 2018

ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT