

## BERICHT ÜBER DIE ZUKUNFT DER ARBEIT: ROBOTIK

### 1 Einführung

Maschinen sind seit Langem Teil der menschlichen Realität, doch erst die industrielle Revolution verhalf dem Einsatz von Maschinen und Geräten zum entscheidenden Durchbruch. Zu dieser Zeit wurden ihre Bedeutung und ihr Stellenwert allgemein anerkannt, allerdings reagierten die Menschen völlig unterschiedlich: Manche empfanden Maschinen als Bedrohung, andere wiederum sahen darin vielversprechende Chancen. Heute – im Zeitalter der allseits gegenwärtigen Technologie und inmitten einer Umbruchphase – ist die Situation ähnlich, doch dieses Mal geht es um intelligente Maschinen und Prozesse.

Wie nachstehend näher beschrieben, wird die „allgegenwärtige (R)Evolution“ eine Ära einleiten, in der Maschinen und Geräte überall installiert werden können – sogar im menschlichen Körper. Roboter werden zu Gehilfen des Menschen, und auf lange Sicht werden sie zu Kollegen.

### 2 Was ist ein Roboter?

Ein Roboter kann je nach der vorgesehenen Anwendung als Industrie- oder als Serviceroboter eingestuft werden:

- Die International Robot Association definiert einen **Industrieroboter** als „einen automatisch gesteuerten, frei programmierbaren 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“ (gemäß Definition in der Norm ISO 8373:1994).
- **Serviceroboter** sind zur Unterstützung, Begleitung und Pflege von Menschen ausgelegt; sie teilen das menschliche Umfeld und verfügen über ein grundlegendes intelligentes Verhalten zur Verrichtung der ihnen zugewiesenen Aufgaben. Sie lassen sich in drei Klassen einteilen: Roboter der Klasse 1 ersetzen Menschen bei Arbeiten in schmutzigen, gefährlichen Umgebungen und bei mühsamen Tätigkeiten; Roboter der Klasse 2 arbeiten eng mit Menschen zur Steigerung des Komforts zusammen, etwa zur Unterhaltung, sie helfen älteren Menschen, tragen Patienten oder arbeiten mit Menschen zusammen; Roboter der Klasse 3 arbeiten am Menschen, z. B. Medizinroboter für Diagnostik, Chirurgie, Behandlung und Rehabilitation.

Ursprünglich wurden Roboter zur Ausführung einfacher Arbeitsaufgaben gebaut, sie werden jedoch zunehmend auch gebaut, um mittels **künstlicher Intelligenz (KI)** zu denken.

Es gibt zwei Arten von künstlicher Intelligenz: starke und schwache. Schwache KI bezieht sich auf eine Maschine, die von einer für ein spezifisches Problem konzipierten Software abhängt, die sie bei der Untersuchung oder Reaktion leitet. Dabei erreicht sie kein Bewusstsein, sondern ist im Wesentlichen ein Problemlöser in einem genau eingegrenzten Anwendungsbereich (z. B. Text- und Bilderkennung, Expertensysteme und Schachcomputer). Demgegenüber bezieht sich starke KI auf eine hypothetische Maschine, die mindestens ebenso geschickte und flexible Verhaltensweisen wie Menschen an den Tag legt.

Der vergleichsweise Vorteil von Robotern und intelligenten Maschinen wird mit ihrer Fähigkeit in Verbindung gebracht, eine Vielzahl von Bewegungen auszuführen und endlos und unermüdlich zu „denken“. Heute liegt der Schwerpunkt bei der Konzeption von Robotern auf deren Fähigkeit, Mustern zu folgen, und daher sind sie im Allgemeinen hoch spezialisiert. In nicht allzu ferner Zukunft dürfte sich dies ändern; dann wird es Roboter geben, die ein breites Aufgabenspektrum bewältigen und Menschen nachahmen und interpretieren. Diese Entwicklung wird zum Teil aufgrund einer gewaltigen Steigerung der Speicherkapazität von Robotern und KI-Anwendungen möglich, wodurch auf riesige Datenmengen zugegriffen werden kann, die für die verschiedensten Einsatzaufgaben verwendet werden.

### 3 Ausmaß der Robotik und Zukunftsprognosen

Generell gilt, dass sich die Gesellschaft von einer Informations- zu einer Wissensgesellschaft und von einer Wissensgesellschaft zu einer Gesellschaft des „allgegenwärtigen Wissens“ entwickelt. In einer Gesellschaft des „allgegenwärtigen Wissens“ wird die Rolle, die intelligenten und autonomen Maschinen zufällt, eine Kernfrage für politische Entscheidungsträger sein. Dabei muss das Augenmerk hauptsächlich auf „Technologiewellen“ wie Digitalisierung, Informations- und Kommunikationstechnologie und Robotik gelegt werden, die allesamt wichtige Bestandteile der Entwicklung dieser neuen allgegenwärtigen Gesellschaft sind.

Die EU-Robotikstrategie 2020 unterstreicht die aktuellen Entwicklungen wie folgt:

*Die Robotertechnologie wird in den kommenden zehn Jahren zur vorherrschenden Technologie werden. Sie wird jeden Aspekt des Berufs- und Privatlebens beeinflussen. Robotik besitzt das Potenzial, das Leben und die Arbeitsmethoden zu verändern, die Effizienz und das Sicherheitsniveau zu erhöhen, mehr Service zu bieten und Arbeitsplätze zu schaffen. Ihr Einfluss wird mit der Zeit zunehmen, ebenso wie die Interaktion zwischen Robotern und Menschen.*

Zwischen den 1960er- und 1990er-Jahren waren die meisten Roboter und die Robotik im Allgemeinen auf industrielle Anwendungen beschränkt. Heutzutage erzielen Roboter außerordentliche Fähigkeiten und Stabilität, und die Robotik und die künstliche Intelligenz werden sich massiv auf eine Reihe von Sektoren auswirken, wie z. B. Rüstungsindustrie, Sicherheitsdienste, Gesundheitswesen, Verkehr und Logistik, Kundendienst und Instandhaltung von Häusern und Wohnungen. Im Bereich der Servicerobotik waren die jüngsten Entwicklungen in der medizinischen Versorgung und der persönlichen Gesundheitsvorsorge beachtlich, und ein noch höheres Maß an Autonomie und Komplexität der Systeme liegt in nicht allzu weiter Ferne, zusammen mit Anwendungen, die stärker auf den Menschen ausgerichtet sind.

Ab jetzt werden Menschen in der allgegenwärtigen Welt miteinander (Mensch zu Mensch) und Maschinen mit Menschen (Mensch zu Maschine) kommunizieren, doch auch Maschinen (einschließlich Roboter) werden miteinander kommunizieren. Es wird erwartet, dass die Zahl der an der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation beteiligten Geräte bis 2020 exponentiell steigen und die Zahl der „intelligenten Gegenstände“ (*smart objects*), die miteinander sprechen und von Menschen betrieben werden können, die 50-Milliarden-Marke erreichen wird.

Diese Entwicklungen in der Kommunikation werden zu dem mit Spannung erwarteten „**Internet der Dinge**“ (*IoT, Internet of Things*) führen; damit wird ein System bezeichnet, das auf einer autonomen Kommunikation zwischen Gegenständen beruht. Die Robotik wird auf vielerlei Art und Weise mit dem Internet der Dinge verknüpft sein, und diese Verknüpfung wird die „alte“ Netzwerkgesellschaft in vielerlei Hinsicht verändern. Die Art und Weise, in der Mobiltelefone und tragbare Computer wie „Life-Tracker“ Teil unseres Alltages geworden sind, lässt darauf schließen, dass Menschen bald in einer „allgegenwärtigen Welt“ leben werden, in der alle Geräte (einschließlich Roboter) vollständig vernetzt sind. Bei der fortlaufenden IoT-Tevolution kommt es zu einer kontinuierlichen Ausbreitung von Robotern in vielen Aktivitäten des täglichen Lebens wodurch IoT-gestützte Robotikanwendungen zu einer greifbaren Realität werden.

In Zukunft werden Fortschritte in der Robotik zur Entwicklung von Partnern, Assistenten, Haushaltsrobotern, Gesundheitsrobotern, Baurobotern, Haustierrobotern, Telepräsenzrobotern und Spielzeugrobotern führen. Diese Roboteranwendungen werden das menschliche und tierische Verhalten imitieren, und das Internet der Dinge und allgegenwärtige Anwendungen werden es ihnen ermöglichen, miteinander zu kommunizieren.

All diese quantitativen Veränderungen werden zu qualitativen Veränderungen führen, die sich aufgrund der Komplexität der Thematik kaum vorhersagen lassen. Bei den Hochgeschwindigkeitscomputersystemen gab es bereits Möglichkeiten für eine schnellere, zuverlässigere und präzisere Entscheidungsfindung und entsprechende Maßnahmen, während sich bei dieser rasanten Entwicklung auch Risiken und Gefahren ergeben können, etwa Börsenspitzen infolge des Hochfrequenzhandels. Verläuft die Entwicklung möglicherweise zu rasant? Könnte die wachsende Geschwindigkeit allgegenwärtiger und anderer technologischer Fortschritte noch größere Risiken für die Wirtschaft und die Gesellschaft mit sich bringen?

## 4 Robotik und die Zukunft der Arbeit

Angesichts der Zukunft der Arbeit muss überlegt werden, inwieweit Roboter die menschliche Arbeit ersetzen oder aber ergänzen und optimieren können. Eine Zukunft, in der Roboter weiterhin primär gebaut werden, um eine ergänzende Funktion zu übernehmen, wäre für die Gesellschaft diejenige Zukunft, die mit den geringsten Schwierigkeiten einherginge, da Menschen nicht mit Robotern und Automaten konkurrieren müssten und die traditionellen Rollen weitgehend beibehalten würden. Doch der wirtschaftliche und der Produktivitätsdruck dürften stattdessen zu einem Substitutionskonzept führen, bei dem Einzelne und Gruppen bei ihren Tätigkeiten durch Robotik und Automatisierung ersetzt werden. Insgesamt werden für Tätigkeiten, die Routinearbeiten darstellen oder mit klar abgrenzbaren Aufgaben verbunden sind, weniger Arbeitnehmer benötigt, da diese von Industrie- und Servicerobotern übernommen werden. Eine Folge dieses technischen Wandels wird eine relative Zunahme der Nachfrage nach hoch qualifizierten Arbeitnehmern sowie eine geringere Nachfrage nach geringer qualifizierten Arbeitnehmern sein, die traditionell Tätigkeiten ausführen, die aus kognitiven und manuellen Routineaufgaben bestehen. Diese sogenannte „Aushöhlung“ von durchschnittlich qualifizierten Arbeitnehmern könnte dazu führen, dass in den kommenden Jahrzehnten rund ein Drittel aller derzeitigen Stellen abgebaut wird.

Dieses Dilemma zwischen Komplementarität und Ersetzbarkeit und der Abgleich zwischen dem Erhalt von Arbeitsplätzen und der technologisch bedingten Arbeitslosigkeit stellen politische Entscheidungsträger, Unternehmen und die Zivilgesellschaft generell vor große Herausforderungen. Die umfassenderen Auswirkungen der Frage, wie die Robotik den Arbeitsmarkt, die Wirtschaft und die Gesellschaft verändern wird, werfen schwierige soziale und politische Fragen auf. Die Diskussion über intelligente Maschinen und über die Auswirkungen der Robotik und der allgegenwärtigen Technologie auf Gesellschaft, Wirtschaft und Beschäftigung verlief bisher eher passiv, und es wurden nur wenige klar strukturierte Ideen zu der Frage ausgearbeitet, wie weit eine robotergestützte und automatisierte Gesellschaft entwickelt werden kann.

Die Furcht vor einer technologisch bedingten Arbeitslosigkeit ist mindestens so alt wie die Proteste der englischen Textilarbeiter (*Ludditen* (Maschinenstürmer)) im 19. Jahrhundert gegen den Verlust ihrer Arbeitsplätze aufgrund der neuen Technologie der industriellen Revolution. Doch die Befürchtungen, dass die sich weiterentwickelnde Technologie einen Großteil der menschlichen Arbeitskraft ersetzen und zu ständiger struktureller Arbeitslosigkeit führen könnte, haben sich wieder und wieder als unbegründet erwiesen, und für viele Wirtschaftswissenschaftler sind sie eine fast undenkbar Vorstellung. So bedeutete der technologische Fortschritt im Allgemeinen einen steigenden Wohlstand und mehr Arbeitsplätze, zumindest auf lange Sicht, und die neue Technologie und wissenschaftliche Erfindungen wurden in der Regel als sehr positiv empfunden. Die neue Ära der Robotik und der künstlichen Intelligenz könnte jedoch Veränderungen in einem bislang ungekannten Ausmaß mit sich bringen; und bei diesem Szenario wurde noch kaum über die möglichen Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitsplatzvernichtung und Wirtschaft gesprochen. Viele konventionelle Ökonomen glauben, dass die Marktmechanismen erneut in der Lage sein werden, die Probleme langfristig auszugleichen. Doch wird dies tatsächlich immer der Fall sein?

## 5 Auswirkungen der Robotik auf Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz

Wie bereits erörtert, hat die Verbreitung der Innovationen in der Robotik wichtige Auswirkungen auf die Zukunft der Arbeit. Roboter ermöglichen es, einen hohen Anteil an industrieller Produktion in Ländern mit hohen Lohnkosten zu erhalten. Außerdem können damit Produktionstätigkeiten und -aufgaben erledigt werden, die nicht vom Menschen übernommen werden können, etwa die Analyse, Prüfung und Bearbeitung immenser Datenmengen oder das Arbeiten in Umgebungen, die nur schwer erreichbar oder zu gefährlich sind. Außerdem zeigen Roboter vor dem aktuellen Hintergrund einer alternden Bevölkerung Lösungsansätze angesichts der zunehmenden Verknappung – und des steigenden Wertes – von manueller Arbeit auf.

Aus Sicht der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes am Arbeitsplatz ist die Verbreitung der Robotik sowohl mit Chancen als auch mit Herausforderungen verbunden.

Die größten Vorteile für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, die sich aus dem wachsenden Einsatz der Robotik ergeben, sollte die Substitution von Menschen sein, die in ungesunden oder gefährlichen Umfeldern arbeiten. In der Raumfahrt-, Verteidigungs-, Sicherheits- oder

Nuklearindustrie aber auch in Logistik, Instandhaltung und Inspektion sind autonome Roboter besonders nützlich, wenn sie menschliche Arbeitnehmer ersetzen, die schmutzige, einförmige oder unsichere Aufgaben ausführen, denn sie vermeiden die Exposition der Arbeitnehmer gegenüber gefährlichen Stoffen und Bedingungen und verringern physische, ergonomische und psychosoziale Risiken. So werden Roboter beispielsweise bereits zur Erbringung von repetitiven und monotonen Aufgaben, für den Umgang mit radioaktiven Stoffen oder für die Arbeit in explosionsgefährdeten Umgebungen eingesetzt. In Zukunft werden viele andere hochgradig repetitive, risikobehaftete oder unangenehme Aufgaben in vielerlei Bereichen von Robotern erbracht, z. B. der Landwirtschaft, dem Baugewerbe, der Transportbranche, dem Gesundheitswesen, der Brandbekämpfung oder dem Reinigungsgewerbe.

Trotz dieser Fortschritte gibt es bestimmte Fertigkeiten, für die Menschen auf absehbare Zeit auch weiterhin besser geeignet sein werden als Maschinen, und die Frage lautet, wie die beste Kombination von menschlichen und Roboterfertigkeiten erzielt werden kann. Zu den Vorteilen der Robotik zählen schwere Arbeiten mit gegebenenfalls hohen Lasten, die mit Präzision und Wiederholgenauigkeit verbunden sein können, während zu den Vorteilen des Menschen Kreativität, Entscheidungsfindung, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit gehören. Diese Notwendigkeit, optimale Fertigkeiten miteinander zu verbinden, hat dazu geführt, dass sich kollaborative Roboter und Menschen einen gemeinsamen Arbeitsbereich noch enger teilen sowie zur Entwicklung neuer Konzepte und Normen zur Gewährleistung der Sicherheit der „Interaktion zwischen Mensch und Roboter“. Einige europäische Länder binden Roboter in ihre nationalen (Forschungs-)Programme ein und versuchen, eine sichere und flexible Zusammenarbeit zwischen Robotern und Maschinenbedienern zu fördern, um die Produktivität zu steigern. So organisiert beispielsweise die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Deutschland jährliche Workshops zum Thema „Mensch-Roboter-Zusammenarbeit“.

In Zukunft wird sich die Zusammenarbeit zwischen Robotern und Menschen ausweiten, denn Roboter werden immer autonomer und die Mensch-Roboter-Zusammenarbeit nimmt völlig neue Formen an. Die aktuellen Ansätze und technischen Standards zum Schutz der Arbeitnehmer vor dem Risiko der Arbeit mit kollaborativen Robotern müssen als Vorbereitung auf diese neuen Entwicklungen überprüft werden.

Doch das künftige Auftreten von autonomen Industrie- und Servicerobotern ist mit weiteren Herausforderungen für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz verbunden, die es zu bewältigen gilt:

- Die Robotik spielt eine wichtige Rolle bei Neuerungen im Gesundheitswesen und beim Angebot von Pflegeleistungen für ältere Menschen (einschließlich älterer Arbeitnehmer). Die Robotertechnologie ist eng mit Entwicklungen in den Bereichen Prothetik und Implantattechnologie verbunden und diese beiden Bereiche hängen wiederum stark von der Neurowissenschaft und Informatik ab. Gehirn-Computer-Schnittstellen, mit dem Nervensystem verbundene Prothesen, künstliches Sehen, IKT-Implantate und sogar Neurochips (noch im Anfangsstadium) gehören zu den neuesten Entwicklungen.

Diese und andere Fortschritte in der Robotik ermöglichen die Entwicklung von „Human Enhancement“-Technologien (zur Erweiterung der menschlichen Möglichkeiten und der Steigerung menschlicher Leistungsfähigkeit), die sich nicht nur mit dem Thema Behinderung befassen, sondern auch die Fähigkeiten gesunder Menschen verbessern. So steigern beispielsweise Exoskelette oder „tragbare Roboter“ die Fähigkeit von Arbeitnehmern, Lasten zu heben, werden aber auch als Rehabilitations- oder Hilfsgeräte eingesetzt, die Menschen mit Behinderungen den Zugang zur Arbeit bzw. die Rückkehr an ihren Arbeitsplatz ermöglichen. Die Einführung von Human-Enhancement-Technologien stellt neue Anforderungen an das Sicherheits- und Gesundheitsschutzmanagement zur Überwachung von sich abzeichnenden Risiken, wirft aber auch neue rechtliche und ethische Fragen auf.

- Die überwiegende Mehrheit der Menschen hat keinerlei Erfahrung mit der Interaktion mit Robotern, doch dies wird sich ändern, da die Interaktion zwischen Mensch und Maschine bei der Arbeit zunimmt. Die indirekten Auswirkungen der Maschine-Maschine-Kommunikation sind zwar nicht allgemein bekannt, könnten jedoch signifikant sein. Für die ergonomische und logistische Planung autonomer Roboter sind neue Test- und Pilotprogramme in der Industrie und im Dienstleistungssektor erforderlich, und Arbeitnehmern, die solche Roboter programmieren, bedienen, warten oder ihren Arbeitsplatz mit ihnen teilen, sollten maßgeschneiderte Fortbildungsprogramme angeboten werden.

- Die Auswirkungen der Robotik auf die Motivation und das Wohlbefinden von Arbeitnehmern und Führungskräften sind nicht allgemein bekannt. Psychosozialen Faktoren in Verbindung mit Robotik muss im Bereich Sicherheit und Gesundheit mehr Aufmerksamkeit zuteilwerden.
- Aufgrund der unterschiedlichen Ausgereiftheit der Anwendungsbereiche ist es nicht möglich, einheitliche Leitlinien für die Sicherheit und das Risikomanagement zu erlassen. Bei manchen Anwendungen wurden Fragen der Sicherheit und des Schutzes professionell geregelt, doch gibt es auch eine Reihe von Robotikanwendungen, die weniger sicher sind. Es sollten mehr Analysen erstellt werden, um gefährliche und unsichere Aktivitäten autonomer Roboter zu ermitteln, insbesondere in der Agrar- und Lebensmittelindustrie, bei Pflegedienstleistungen, Haushaltsdienstleistungen, im verarbeitenden Gewerbe, bei professionellen Dienstleistungen und im Transportwesen.
- Da professionelle Servicerobotik ein relativ neuer Bereich ist, sind Fragen der gesetzlichen Haftpflicht bei Unfällen im öffentlichen Bereich noch nicht geregelt. Es müssen weitere Analysen der Rechtsvorschriften in Bezug auf Haftungsfragen erstellt werden, bevor die Technologie eingeführt werden kann.

Es gibt also thematische Anforderungen an die Entwicklung eines Sicherheitsrahmens für autonome Industrierobotik und Servicerobotik. Zu den strategischen Themenschwerpunkten gehören (1) Technologiemanagement, (2) Rechtsetzung und verantwortungsvolles Verwaltungshandeln sowie (3) Benutzerschnittstellen und Benutzererfahrungen. Es ist eine in größerem Rahmen gemeinsam genutzte europäische Wissensbasis der Sicherheitsmethoden für weniger intelligente Systeme (z. B. Fahrzeuge und Autos) erforderlich, damit diese an die Servicerobotik und die autonome Robotik angepasst werden können, die in Zukunft noch „intelligenter“ sein werden.

## 6 Abschließende Bemerkungen

Die Geschichte hat uns gelehrt, dass neue Technologien nicht nur neue Vorteile und neue Möglichkeiten bieten, sondern auch mit neuen Kosten und neuen Risiken verbunden sind. Es besteht allgemein Konsens darüber, dass sich der Wandel beschleunigt und dass uns die Zukunft immer weniger vertraut sein wird, und dies in einem immer schnelleren Tempo, insbesondere im Bereich Robotik und künstliche Intelligenz, wo fast jede Woche neue Erfindungen und Innovationen eingeführt werden. Einige der Vorteile dieser Fortschritte sind ein höheres Maß an Gesundheit, Bequemlichkeit, Produktivität, Sicherheit sowie nützlichere Daten, Informationen und Kenntnisse für Menschen und Unternehmen. Die möglichen Kehrseiten sind Herausforderungen für die Privatsphäre und den Datenschutz, überzogene Erwartungen und eine zunehmende Komplexität der Technologie.

Es besteht Bedarf an einer verstärkten europäischen Zusammenarbeit in folgenden Bereichen: (1) Sicherheitsanforderungen an die Robotik (Anforderungskataloge, Normen für einen sicheren Betrieb und bewährte Verfahren), (2) Konstruktionsrichtlinien für die Ergonomie der Robotik, (3) Methoden zur Verbesserung von Sicherheits- und Gesundheitsanwendungen in der Robotik, (4) Validierungs- und Verifikationstechniken (Methoden, um zu überprüfen, ob die Anforderungen und Richtlinien sachgerecht umgesetzt werden), (5) nutzerorientierte Erfahrungen und Verhalten im Umgang mit der Robotik, (6) Bildungsmodelle zur Schulung von Arbeitnehmern im Umgang mit Robotern, (7) bewährte Verfahren der Rechtsetzung im Bereich Industrie- (insbesondere autonome Roboter) und Servicerobotik (insbesondere Pflege- und Fürsorgeroboter) und (8) technologische Möglichkeiten zur Schaffung von sicheren Systemen durch Beseitigung oder Verringerung möglicher Risiken der Robotik.

*Das vorliegende Diskussionspapier beruht auf einer Zusammenfassung eines längeren Artikels, mit dem Dr. Jari Kaivo-oja von der EU-OSHA beauftragt wurde, und enthält Beiträge des Netzwerks der Focal Points der Agentur anlässlich eines [Seminars](#) am 11. Juni 2015 in Bilbao.*