

Die langsame Transformation der Robotik

M. Vincze

Roboter beflügeln unsere Fantasie, fertigen viele unserer Produkte und würden wir gerne zu Hause sehen, um hinter uns aufzuräumen und Ordnung zu halten. Aber Roboter sorgen auch für Ängste und stehen oft als Sinnbild für unbeherrschbaren Technologien. Dieser Artikel zeigt Beispiele der Entwicklung in der Robotik, zieht Vergleiche mit anderen Technologien und präsentiert zu erwartende Entwicklungen und Änderungen. Diese Transformationen in der Robotik sind relativ langsam und im Rahmen von Standards gut abgedeckt. Die Daten aus verschiedenen Bereichen der Fertigung zeigen, dass zukünftige Produktion ohne Roboter oder Automatisierung weniger erfolgreich sein wird. Es gilt daher, Roboter nicht mit Angst zu begegnen, sondern Roboter als Helfer wahrzunehmen und zu entwickeln.

Schlüsselwörter: Roboter; Trend; Unterstützung; Hilfe

Slow transformation of robotics.

Robots inspire our fantasy, manufacture many of our products, and we would like to see them at home to clean up and keep order behind us. But robots also cause anxiety and represent the fear of technology that gets out of control. This article presents examples of the recent developments in robotics, compares this with other technologies, and presents expected developments and changes. This transformation of robotics is relatively slow and well-covered by existing standards. The data from different studies in production show that future manufacturing without robots or automation would be less successful. The goal must be to master the fear of robots and develop and perceive robots as helpers for humans.

Keywords: robot; trend; helper

Eingegangen am 29. September 2017, angenommen am 3. Oktober 2017, online publiziert am 26. Oktober 2017
© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist auf Springerlink.com mit Open Access verfügbar



1. Einleitung

Roboter beflügeln unsere Fantasie, fertigen viele unserer Produkte und würden wir gerne zu Hause sehen, um hinter uns aufzuräumen und Ordnung zu halten. Aber Roboter sorgen auch für Ängste und stehen oft als Sinnbild für unbeherrschbare Technologien. Bereits die Einführung des Begriffes Roboter durch Karel Čapek in seinem Theaterstück „Rossums Universale Roboter“ (RUR), uraufgeführt im Jänner 1921, spricht diese Ambivalenz an. Roboter sind bereits sehr weit entwickelt und entlasten die Menschen von aller ungewollten Arbeit. Aber erst durch die Entdeckung der Liebe für Roboter werden auch Roboter in allen Bereichen gleichwertig oder besser als der Mensch und lösen genau die Ängste aus, die immer wieder angerufen werden.

Zwei Jahrzehnte später hat Isaac Asimov in seiner Geschichte „Runaround“ die drei berühmten Gesetze in der Robotik eingeführt. Diese stehen als Sinnbild, wie Menschen gerne über die Technik herrschen möchten. Sie geben auch menschliche Richtlinien vor, wie sichere Roboter auszulegen sind. Als tiefer Denker geht Asimov aber noch viel weiter, über die nächsten Jahrzehnte hat er in vielen Romanen die Probleme dieser Gesetze analysiert und viele Situationen kreiert, die zu Konflikten führen. Einer der bekanntesten Konflikte zeigt Asimov in „Robots and Empire“ [2], in dem dank telepathischer Kräfte der Roboter Giskard erkennt, dass ein Mensch die Menschheit auslöschen möchte und dies durch Verletzung des Gehirns des Menschen verhindert, allerdings daran auch sein positronisches Gehirn zerstört, da er das erste Gesetz verletzt.

Auch heute ist das Bild in der Öffentlichkeit mehr von der Darstellung von Robotern in Filmen geprägt als von wirklichem Wissen über die Technik und Entwicklung von Robotern. Ein nüchterner Blick auf Roboter zeigt jedoch ein Bild von wenig mächtigen Ma-

schinen, die in speziellen Bereichen eingesetzt werden. Unzweifelhaft gibt es auch großes Potenzial, Roboter in noch vielen anderen Bereichen einzusetzen. Und hier kommt wieder die Angst ins Spiel, denn dieses Potenzial könnte gehoben werden. Doch dies ist nichts Neues, jede Neue Technologie hat diese Ängste geweckt und oft sind sie auch als Waffen benützt worden.

Ziel dieses Beitrages ist, die Entwicklung und Fähigkeiten von Robotern sachlich zu präsentieren und zu reflektieren. Es soll aufgezeigt werden, wie die derzeitige Transformation in der Robotik unsere Gesellschaft treffen könnte. Der Artikel versucht die Frage zu beantworten, ob die Angst vor Robotern begründet ist und welche Auswirkungen neue Entwicklungen in der Robotik haben könnten.

Um dies darzustellen, beginnt der Artikel mit einer Analyse der Entwicklung von Robotern und stellt einen Vergleich zu Computern an, bevorer in Abschn. 3 eine Sicht auf derzeitige Entwicklungen in der Robotik gibt. Abschnitt 4 setzt sich mit Innovationen in der Robotik und dem Verhältnis zur Arbeit auseinander, und in Abschn. 5 folgt eine Diskussion mit Schlussfolgerungen für unsere Gesellschaft und einen vernünftigen Umgang mit Robotik.

2. Analyse der Entwicklung von Robotern im Vergleich zu Computern

Bereits 1965 beobachtete Gordon Moore die Entwicklung, dass sich die Anzahl an Transistoren pro Prozessor alle zwei Jahre verdoppelt [14]. Seitdem folgt der Fortschritt bei Prozessoren dem nach ihm

Vincze, Markus, Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 25-29, 1040, Wien, Österreich
(E-Mail: markus.vincze@tuwien.ac.at)



Robotermodell (Jahr)	IRB 6 (1974)	UR 5 (2015)
Achsen	5	6
Ansteuerung	elektronisch	elektronisch
Armlänge	1120 mm	850 mm
Wiederholgenauigkeit	0,2 mm	0,1 mm
Traglast	5 kg	5 kg
Gewicht	150 kg	18,4 kg
Verhältnis Last: Gewicht	1:30	1:3,6
Geschwindigkeit des Greifers	ca. 1 m/sec	ca. 1 m/sec
Regelung	positionsbasiert, starr	kraftbasiert, nachgiebig

Abb. 1. Vergleich zweier Roboter gleicher Bauart (Kickarm) und mit gleicher Traglast. Die Tabelle zeigt die Änderungen ausgewählter Merkmale von Robotern über die letzten 40 Jahre. Dabei ist festzustellen, dass sich viele mechanische Parameter nur wenig geändert haben, während in den letzten Jahren ein neues Konzept der Roboterregelung basierend auf einer Kraft/Momentenregelung dank deutlich schnellerer Prozessoren umgesetzt wurde.

benannten Moore'schen Gesetz [15, 16]. Das Gesetz zeigt eine unbestritten exponentielle Entwicklung auf. Auch wenn zuletzt eine leichte Abschwächung auf zweieinhalb Jahre für eine Verdoppelung zu erkennen ist [4], bleibt die grundsätzliche Entwicklung unverändert. Als Folge davon verdoppelt sich die Rechengeschwindigkeit von Computern alle 24 Monate und nach der Verlangsamung alle 30 Monate. Dieses exponentielle Gesetz ist dafür verantwortlich, dass immer mehr Rechenleistung zur Verfügung steht- und dies bei gleichem Preis.

Die Folge davon sind immer leistungsfähigere Smartphones, Laptops, Kamerasysteme und unter anderem auch Roboter. Die Auswirkung auf die Robotik ist jedoch unterschiedlich bezüglich der Komponenten eines Roboterarmes oder Systems. Im Folgenden sollen die Aspekte genauer untersucht werden, wie dieses Gesetz die Entwicklung der Robotik beeinflusst.

Kurz sei noch eine andere Folge des Moore'schen Gesetzes hervorgehoben. Auch die Verfügbarkeit von Speicherplatz wächst im gleichen Tempo. Verfügbarer Speicher verdoppelt sich derzeit alle zwei Jahre. Dies beinhaltet auch den rascheren Zugriff auf größere Datenmengen. Diese Entwicklung beeinflusst unter anderem die rasche Verfügbarkeit enormer Datenmengen. Dies gilt auch für Daten, die über Internet zugegriffen werden, unterstützt von der begleitenden Beschleunigung der Übertragungsraten.

In der Robotik konnten aufgrund dieser Entwicklung deutlich bessere Regelungen erarbeitet werden. Einer der größten Sprünge war die vorausschauende Berechnung der nicht-linearen Verhältnisse der Dynamik während der Bewegung des Armes. Ein Schritt, der kürzlich erfolgte, ist die Änderung von position-basiert hin zu kraft-basierten Regelansätzen.

Während sich die Regelung stark weiterentwickelt hat, ist zu beobachten, dass Roboterarme über die Jahre sehr ähnlich aussehen. Die kinematische Struktur ist seit der Einführung der ersten elektronisch gesteuerten Arme im Jahre 1974 unverändert. Ein Roboterarm besteht aus sechs Gelenken, die die notwendigen sechs Freiheitsgrade zur Verfügung stellen, um jede Position und Orientierung im Raum (Pose) zu erreichen. Abbildung 1 stellt zwei Roboterarme gegenüber, IRB6 aus dem Jahr 1974 und einen Roboter des Stands

der Technik 2015, UR5. Die Auswahl vergleicht Roboter mit gleicher Knickarm-Bauweise und gleicher Traglast.

Datenblätter der ersten elektronischen Roboter sind schwer zu bekommen. Einige der Zahlen in der Tabelle wie die Armlänge, Wiederholgenauigkeit oder Geschwindigkeit des gestreckten Armes am Greifer folgen späterer Literatur und den darin angegebenen Versuchen [5, 18, 19]. Wobei die Geschwindigkeit unterschiedlich interpretiert werden muss: während die Angabe für IRB6 eher eine maximale Geschwindigkeit ist, gilt für UR5 diese Geschwindigkeit im Rahmen der Nachgiebigkeit, wenn auch in der Nähe von Menschen diese Geschwindigkeit immer noch als zu hohes Risiko anzusehen ist.

Auch mit diesen Einschränkungen zeigt der Vergleich eine klare Tendenz: Die Entwicklung von mechanischen Komponenten schreitet weitaus langsamer voran als von elektronischen Komponenten. Im besten Falle erfolgte eine Verbesserung um eine Größenordnung in den letzten 40 Jahren. Im Vergleich zur Traglast sind Roboter um einen Faktor 10 leichter geworden. Oder anders gesehen, die Leistungsdichte der Motoren zusammen mit Verbesserungen der Kompaktheit von Getrieben und eine bessere Materialausnutzung (sprich: weniger Gewicht) im Design der Arme macht Roboterarme um einen Faktor 10 leichter. Der gleiche Faktor plus bessere Prozessoren für die Regelung machen Roboterarme heute ebenso einen Faktor 10 schneller. Roboter müssen dann jedoch hinter einem Zaun stehen. Zum Vergleich, in 40 Jahren wurde die Anzahl an Transistoren 20 Mal verdoppelt, also eine Steigerung um 2^{20} oder um einen Faktor von einer Million.

Der größte Schritt liegt im Sprung zu kraft/momentenbasierter Regelung. Dies ermöglicht, Arme zu bauen, die nachgiebig sind und daher Sicherheitsanforderungen gerecht werden, die bisherige Arme hinter Zäune verbannt haben. Daraus folgen einige der derzeit ablaufenden Entwicklungen.

3. Derzeitige Entwicklungen in der Robotik

Die Entwicklungen in der Robotik betreffen sehr viele verschiedene Arten von Robotern und Technologien. Der im Folgenden gegebene Überblick hebt kurz einige Trends hervor. In der gebotenen Kürze ist es allerdings nicht möglich, ein vollständiges Bild zu geben.

Die Robotik unterteilt sich in drei größere Bereiche mit den Techniken Navigation, Wahrnehmung und künstlicher Intelligenz, und der Schnittstelle Mensch – Roboter, siehe auch [11, 22]. Die nächsten Absätze gehen kurz auf diese drei Bereiche ein. Danach folgt ein kurzer Ausblick auf Anwendungen und zu erwartende Trends in der Robotik.

Mobile Roboter sieht man heute in vielen Bereichen der Logistik. Die dafür notwendige *Navigation* in teilweise strukturierter Umgebung gilt als gelöst. Die Aussicht auf autonome Fahrzeuge belegt diese Entwicklung. Der Eintritt von Robotern in Wohnungen ist mit kleinen Staubsaugern erfolgt. Derzeit erfolgt der Schritt, dass erste Staubsauger lernen, Räume zu unterscheiden. Dies gilt als Grundvoraussetzung, um weitere Tätigkeiten in privaten Wohnungen zu übernehmen.

Während Navigation auch Methoden zur *Wahrnehmung* der Umgebung benützt, ist der Weg zu einem kompletteren Verstehen der Umgebung eines Roboters noch weit. Große Fortschritte wurden zuletzt erzielt durch Entwicklungen insbesondere in der Bildverarbeitung. Mit der stetig ansteigenden Rechenleistung und neuen bildgebenden Sensoren, wie Stereo- oder Tiefenbildkameras, steigen die Möglichkeiten, Objekte und deren Umgebung immer besser und besser zu erkennen und zu verstehen. So können aus Bild-datenbanken eine große Anzahl an Objekten gelernt werden und auch wieder erkannt werden. Dies ermöglicht den Einsatz in Service-Anwendungen, wo der Mensch Bilder aufnimmt und Informationen zu den aufgenommen Gegenständen erhält. Diese Entwicklungen treiben aber auch Anwendungen im Sehen für Roboter voran. So können Objekte komplett aus allen Richtungen modelliert werden und diese Modelle für eine Objekterkennung, aber auch die Verfolgung der Bewegung des Objektes verwendet werden. Des Weiteren ist es möglich, Modelle auch aus den 3D-CAD-Daten von Objekten zu lernen. Dadurch können Klassen von Objekten erkannt werden, ohne vorher einzelne Objekte modellieren zu müssen. Zusätzlich können aus Beispielen die typischen Einrichtungsgegenstände wie Tische, Montageeinrichtungen oder Stühle und Kästen gelernt werden. Damit wird es möglich, Robotern ein erstes Verständnis der Umgebung mitzugeben. Die Entwicklungen in der künstlichen Intelligenz, insbesondere Neurale Netzwerke, tragen zu diesen Entwicklungen bei. Komplementär sind jedoch viele andere Methoden, wie probabilistische Ansätze oder regelbasierte Systeme, in Verwendung.

Grundlage für die *Mensch-Roboter-Interaktion* (MRI) sind sowohl Navigation als auch Wahrnehmung des Menschen. MRI geht einen Schritt weiter und verknüpft die Funktionen in Echtzeit mit zusätzlicher Eingabe von Befehlen. Während Spracherkennung große Fortschritte erzielt hat, ist der Einsatz direkt am Roboter meist noch in weiter Ferne, da Eigengeräusche und Umgebungslärm die Erkennungs-raten noch zu sehr beeinflussen.

Eine der wichtigsten Funktionen, um Vertrauen zu erreichen, ist die zuverlässige Erkennung der Umgebung. Nur so werden Roboter mit einem besseren Verstehen der Welt ausgestattet und können mit dem Menschen arbeiten und den Menschen in seiner Arbeit unterstützen. Im industriellen Umfeld spricht man von einer Kooperation von Mensch und Roboter mit einer klaren Übergabe und Trennung der Aufgaben. Dies heißt aber auch, dass man vertrauenswürdigen Robotern nicht nur vertrauen, sondern auch etwas zutrauen kann. Wozu ein gewisses Verstehen der Umwelt Voraussetzung ist.

Im industriellen Umfeld kommen Roboter dem Menschen näher. Mit der nachgiebigen Kraft/Momentenregelung wird es möglich, Roboter hinter den Zäunen hervorzuholen. Dank neuer Sicherheitsmerkmale, wie Kraftsensoren in Gelenken und berührungsempfindlicher Haut, kommen Roboter neben Menschen zum Einsatz. Wäh-

rend oft von einer Kollaboration zwischen Mensch und Roboter gesprochen wird, ist das Ziel eher eine flexible und rasche Umgestaltung der Fertigung, die mit Zäunen nur sehr schwer, kosten- und auch platzintensiv erreicht werden kann. Viel eher kommen Roboter in Koexistenz mit Menschen vor oder bestenfalls in einer Art Kooperation, wo einzelne Handlungen klar verteilt sind, aber Mensch und Roboter nie einen gemeinsamen Arbeitsraum teilen.

Die Wahrnehmung im industriellen Umfeld hinkt auch hinter Einsätzen auf Datenbanken hinterher. Der Grund sind die notwendigen großen Beispieldaten, um erfolgreich lernen zu können, zum Beispiel für eine Objekterkennung. Dies ist einer der Gründe, warum neue Aufgaben für Roboter in der Industrie nur langsam kommen, wie die Statistiken der IFR zeigen.¹ Auto- und Elektronikindustrie sind weiterhin dominierend. Nur langsam etablieren sich Anwendungen im Lebensmittelbereich oder chemischen und biotechnischen Anwendungen.

Dank besserer Methoden basierend auf künstlicher Intelligenz, wie in der Bildverarbeitung, Navigation oder Pfadplanung, ist zu erwarten, dass Roboter in Service-Anwendungen mehr und mehr neben den Menschen arbeiten und helfen werden. Beispiele hierfür sind Roboter in Pflegeheimen zur Unterstützung des Personals, Roboter in Geschäften beim Empfang, und auch Roboter zu Hause, die über die Staubsaugroboter hinaus vielfältige Tätigkeiten ausführen werden wie zum Beispiel Dinge vom Boden aufzuheben [6].

Für diese beiden Arten von zukünftigen Roboteranwendungen fordern Experten, dass die Roboter sicher sind und dem Benutzer eine klare Rückmeldung geben [20]. Letzteres ist vor allem wichtig, um Vertrauen in die neuen Roboter zu bekommen. Nur so wird es gelingen, dass sich Roboter nahtlos in Fertigungsprozesse und eine Zusammenarbeit mit dem Menschen einfügen werden, also zukünftige, *vertrauenswürdige Roboter* [21].

Neben diesen Trends für Roboterarme und mobile Plattformen gibt es viele andere Arten an Robotern: Drohnen, medizinische Roboter von hochgenauen Operationsrobotern bis zu Nano- und Microrobotern, die durch Blutgefäße gezielt im Menschen platziert werden können, bis zu humanoiden Robotern. Robotik ist vielfältig. Die unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeit von Hardware und Software gilt jedoch für alle Arten von Robotern.

4. Innovation in der Robotik und Relation zu Arbeitsplätzen

Die oben genannten Innovationen in der Robotik, aber vor allem in der stark gestiegenen Leistung von Computern, verändern die Arbeitswelt. Verschiedene Studien sprechen von weniger als zehn Prozent [3] bis zu sehr rascher Änderung von fast der Hälfte [7] aller Arbeitsverhältnisse. Auch hier gilt es, den Unterschied zwischen Computer und Roboter oder Automatisierungstechnik mit mechanischen Komponenten zu treffen. Während [3] zwischen Arbeiten nur mit Daten und Automatisierungstechnik unterscheidet, befasst sich die Studie [7] mit dem Einsatz von Computern generell.

Ein etwas detaillierter Blick zeigt, dass Arbeiten, die direkt von Computern erledigt werden können, wie zum Beispiel in Banken, sehr rasche Veränderungen nach sich ziehen. Und im Vergleich dazu ändert sich physische Arbeit nur langsam. Einige der am wenigsten betroffenen Branchen sind Servicebereiche vom Barbier bis zum Reinigen.

Bereiche, die am meisten betroffen sind, umfassen die Aufnahme und Verarbeitung von Daten und Tätigkeiten mit wiederholbaren Arbeitsschritten [3]. Wenig betroffen sind Arbeiten an Schnittstellen zwischen Bereichen, Abteilungen und Firmen, in der Führung und

¹ <https://ifr.org/industrial-robots/statistics/>.

Leitung, Tätigkeiten mit nicht wiederholbaren Arbeitsschritten und kreative Arbeiten. Arbeiten basierend auf Expertenwissen gelten derzeit auch noch als schwer automatisierbar. Hier ist die Tendenz sichtbar, dass spezielles Expertenwissen, wie die Diagnose bestimmter Krankheiten, bereits von intelligenten Systemen ausgeführt werden können.

Die oft angesprochenen Verluste an Arbeitsplätzen in der fertigen Industrie sind in der Realität selten anzutreffen. Zum Beispiel zeigen die Daten der Internationale Federation of Robotics (IFR), dass in der Autoindustrie in den Vereinigten Staaten zwischen 2010 und 2015 60.000 neue Roboter installiert wurden, während gleichzeitig 230.000 neue Arbeitsplätze geschaffen wurden. Ähnliche Zahlen gibt es für Deutschland, wo einer Steigerung der Anzahl an Robotern von 17 Prozent (14.000 neue Roboter auf gesamt 93.000) einherging mit 13 Prozent mehr Angestellten im gleichen Fünfjahreszeitraum [9].

Andere Studien ergänzen das Bild. Das Wachstum des Brutto-Inlands-Produkts (BIP) und des Wohlstands fundiert weniger auf Arbeit als auf dem Einsatz von Kapital. Dadurch öffnet sich die Schere zwischen immer weniger global agierenden Firmen und den Arbeitskräften. Am meisten betroffen sind Arbeitsplätze mit mittlerer Ausbildung. Andererseits hält Automatisierung Arbeitsplätze im Land, die ansonsten ans Ausland verloren gehen würden [10, 13]. Eine OECD-Studie [1] kommt zum Schluss, dass durch Computer mehr Jobs entstanden sind als verloren gingen. Dabei haben sich allerdings die geforderten Fertigkeiten deutlich geändert. Daher gibt die OECD die Empfehlung an Bildungseinrichtungen und Universitäten ab, nicht Inhalte, sondern Fähigkeiten zu lehren. Oft genannt werden die Kompetenzen des 21sten Jahrhunderts wie kritisches Denken, Kreativität, Kommunikation und Initiative [17].

Juha Heikkilä, Leiter der AI and Robotics-Einheit der Europäischen Kommission fasste kürzlich bei einem Vortrag die Ergebnisse unter anderem so zusammen [8]. Roboter erhöhen die Produktivität und helfen somit Firmen wettbewerbsfähig zu sein. Firmen, die technische Innovationen umsetzen sind 2–10mal produktiver als Firmen, die das nicht machen. Die gestiegene Produktivität trägt zu gestiegenem Bedarf bei und erzeugt dadurch neue Arbeitsplätze. In Ländern, die in Roboter investiert haben, gingen weniger Arbeitsplätze in der Fertigung verloren oder stieg die Anzahl der Mitarbeiter. Und die Statistiken sind klar, in Ländern mit großer Dichte an Robotern, wie Korea und Deutschland, gibt es geringe Arbeitslosenzahlen. Als Folge davon ist zu erwarten, dass zukünftige Arbeit immer mehr daraus bestehen wird, intelligente Maschinen zu entwerfen, zu fertigen, zu warten und zu überwachen.

Wie die Trends in Abschn. 3 schon gezeigt haben, werden Menschen mit Robotern und Automatisierungstechnik zusammenarbeiten. Roboter können und werden Menschen unterstützen und stärken. Automatisierung und Roboter gelten als der Schlüssel zur wiederholbaren Qualität moderner Fertigung. Ein großer Teil des heutigen Wohlstands wurde so erarbeitet. Im nächsten Abschnitt folgt eine Erörterung, ob und wie dieser technische Fortschritt auch in Zukunft zum Wohle des Menschen genutzt werden kann.

5. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Gegenüberstellung der rasanten Entwicklung von Prozessoren und der relativ langsamen Transformation der mechanischen Komponenten von Robotern und Maschine im Allgemeinen soll zeigen, dass Entwicklungen differenziert gesehen werden müssen. Die Analyse der Auswirkungen auf Arbeit, insbesondere in der Fertigung, sind weitaus langsamer als für andere Branchen, wie in Abschn. 2 aufgezeigt wurde.

Eine Konsequenz aus der „langsamen“ Transformation in der Robotik ist die Tatsache, dass sich Bereiche, in denen auf mechanische

10 wichtigste Fähigkeiten

2020	2015
1. Komplexe Probleme lösen	1. Komplexe Probleme lösen
2. Kritisches Denken	2. Koordination mit Anderen
3. Kreativität	3. Führung von Mitarbeitern
4. Führung von Mitarbeitern	4. Kritisches Denken
5. Koordination mit Anderen	5. Verhandeln
6. Emotionale Intelligenz	6. Qualitätskontrolle
7. Entscheidungen fällen	7. Serviceorientierung
8. Serviceorientierung	8. Entscheidungen fällen
9. Verhandeln	9. Aktive Zuhören
10. Kognitive Flexibilität	10. Kreativität



Abb. 2. Vorhersage der Qualifikationen, wie sie der Arbeitsmarkt 2020 brauchen wird (Adaption basierend auf der Studie des World Economic Forum [23]).

Komponenten größtenteils verzichtet werden kann, die Entwicklungen der künstlichen Intelligenz oder anderer Datenverarbeitungsmethoden weitaus stärker auswirken wird. Dies hat bei Banken bereits vor mehreren Jahrzehnten begonnen. Niemand kann sich heute noch vorstellen, manuell Konten zu führen.

Robotik und auch Automatisierung folgen mit einer stetigen, aber langsameren Entwicklung. Wie bereits in früheren industriellen Revolutionen wird sich Arbeit ändern. Wie oben gezeigt heißt das nicht, dass Arbeiter ersetzt werden, sondern, dass sich deren Aufgaben ändern. Viele Arbeiten werden aber auch digitale Fähigkeiten fordern [1]. Aufgaben ändern sich zu einer verbesserten Qualifikation und damit auch potenziell höherem Einkommen der Arbeiter [8]. Und ja, es ist zu erwarten, dass Menschen und Roboter enger zusammenarbeiten. Eine wirkliche Kollaboration wird noch auf sich warten lassen. Aber die Änderung durch Wegfall nach 40 Jahren Zäune ist dramatisch.

Eine Folge der erwarteten höher qualifizierten Tätigkeiten ist, dass Arbeit mehr und mehr sogenannte komplementäre Fähigkeiten fordert. Dies umfasst die bereits genannten Fähigkeiten des 21. Jahrhunderts. In neueren Studien wird dies aber auch noch weiter gesehen.² Abbildung 2 zeigt eine Adaption nach [23] und die zehn wichtigsten Fähigkeiten, wie sie für Arbeit im Jahre 2020 vorhergesagt wird.

Mit dieser Änderung der Qualifikation ergibt sich eine ebenso dramatische Folge für die Gesellschaft. Es genügt nicht, Inhalte zu lernen. Es ist viel besser, Fertigkeiten zu erwerben. Inhalte sind nach einem Jahrzehnt Schule bereits veraltet. Viele der Fähigkeiten des 21. Jahrhunderts mögen die Reihenfolge ändern, die meisten werden wiederholt auftreten, siehe auch Abbildung 2.

Damit ist aber auch die Führung jedes Teiles des Landes gefordert. Schule sollte auf die Erkenntnisse von Pädagogen und den bereits beobachteten Trends hören und das System drastisch ändern. Die technische Entwicklung kann nicht gestoppt werden. Es gilt zu überlegen mitzubestimmen oder hinterherzuhinken. Es bietet sich klar an, den Vorteil zu nutzen. Österreich hat gutes Potenzial in der Dichte der Roboter aufzuholen und somit Fertigung und Wertschöpfung zu halten. Bündelung von Investitionen in Forschung und Entwicklung in die Robotik versprechen, viel Potenzial freizusetzen, sowohl im industriellen als auch im Service-Bereich. Ausbildung sollte

²Eine umfangreiche Quelle für die Fähigkeiten für das 21. Jahrhundert mit vielen Materialien ist P21 an <http://www.p21.org/our-work/p21-framework>.



Abb. 3. Roboter als ideales Beispiel, um die Vielfalt von Technik interdisziplinär zu unterrichten. Kinder nehmen begeistert die Herausforderung an, ihren eigenen Roboter zu entwerfen: Beginnend von der Idee, was der Roboter tun soll, über Design, der Gestaltung der Interaktion, bis zur technischen Umsetzung und der notwendigen Koordination kann der Unterricht auf das Lernen aller Kompetenzen gelegt werden. Ein idealer Ansatz, um fächerübergreifend Kompetenzen für MINT-Fächer zu unterrichten und das Selbstwertgefühl der Kinder für den Umgang mit neuer Technik zu stärken (Bildquelle: TU Wien, ETIT).

sich auf allgemeine Fähigkeiten konzentrieren und von der Schule bis zu Weiterbildung in der Industrie reichen.

Noch gibt es eine Chance, nicht allzu sehr hinterherzuhinken. Wie dargelegt, wird die Entwicklung in der Robotik langsamer vor sich gehen als mit Prozessoren und Computern. Ein gutes Beispiel ist die Pflege zu Hause. Diese ist in absehbarer Zeit nicht automatisierbar. Tätigkeiten wie eine Unterstützung beim Anziehen, Hygiene oder Aufräumen gelten als besondere Herausforderung für Roboter und bieten noch viele Chancen für schlaue, junge, gut ausgebildete Köpfe.

Interessant ist, dass soziale Aspekte wie Kommunikation eher gelöst werden könnten, da sie rein auf künstlicher Intelligenz beruhen und nicht direkte physische Aktionen benötigen. So könnten sogenannte Chatbots, also Programme zum Plaudern, für Abwechslung und verbale Kommunikation sorgen, unabhängig davon wie ethisch bedenklich wir dies einstufen.

Ein gutes Beispiel für Ausbildung könnte auch aus der Robotik kommen. Mit Unterstützung der Europäischen Kommission und der Fakultät für Elektrotechnik der TU Wien wurde ein holistisches Programm zur Produktentwicklung entwickelt [12]. Als Beispiel dienen Roboter, denn Kinder sind von bewegten Maschinen leicht zu begeistern, siehe Abbildung 3. Durch die interdisziplinäre Gestaltung werden möglichst viele verschiedene Neigungen angesprochen. Und gezielte Aspekte von Fähigkeiten lassen sich leicht in den Unterricht einbauen. Flächendeckender Unterricht in Robotik, oder ähnlich interdisziplinäre Gebiete, kann die gewünschten Fähigkeiten gezielt fördern, das Selbstwertgefühl steigern und somit unbegründete Angst vor Technik und einer offenen Zukunft nehmen.

6. Schlusswort und Ausblick

Robotik ist in aller Munde. Ausgehend von den Ängsten losgelassener Maschinen, versucht dieser Beitrag aufzuzeigen, dass sich mechanische Komponenten wie Roboter weitaus langsamer entwickeln als die Leistung von Prozessoren nach dem Gesetz von Moore. Als nächstes versucht der Beitrag aufzuzeigen, dass Roboter und Automatisierung einen wichtigen Beitrag zur Wertschöpfung und daher

Wohlstand leisten und dass damit auch weiterhin zu rechnen ist, so diese Entwicklung gefördert wird und fortschreiten kann.

Ohne in die Tiefe einer Diskussion ethischer Gesichtspunkte zu gehen, wurden derzeitige Trends aufgezeigt. Aber man sollte bedenken, dass jüngste Studien zeigen, dass Menschen in kritischen Situationen falsch oder ethisch nicht richtig entscheiden. Es macht daher wenig Sinn, Robotern Ethik beizubringen. Es gilt eher, so wie bisher, eine Maschine so zu entwickeln, dass sie innerhalb der erwarteten Grenzen agiert.

Im täglichen Einsatz sind Roboter so wie andere Maschinen zu behandeln. Alles andere führt in Konflikte, wie bereits von Karel Čapek und Isaac Asimov aufgezeigt. Sobald ein Hersteller von autonomen Fahrzeugen die Technik meistert und autonomes Fahren auf der Autobahn verspricht, ist der Hersteller auch für Fehlfunktionen verantwortlich. Nicht anders liegen die Rechte bei Flugzeugen und deren Autopilot. Und ebenso wird es mit Robotern bei uns zu Hause sein. Sie werden sich anfangs langsam, aber sicherheitstechnisch ungefährlich bewegen, aber über Nacht meine Küche aufräumen und mir damit eine unangenehme Aufgabe des Aufräumens und Reinigens, abnehmen. In der Industrie und auch für andere Umgebungen gibt es sehr klare Richtlinien und Standards, die festlegen, wie sichere Roboter auszulegen sind. Roboter sind Maschinen und keine Gefahr für Menschen, außer wir lassen zu, dass solche Maschinen gebaut werden. Die drei Robotergesetze von Asimov sollten uns davon abhalten. Es gibt genug zu tun, um friedliche Roboter zu bauen, die den Menschen helfen.

Es gibt genug zu tun, auch wenn die Fortschritte zuletzt für große Schlagzeilen gesorgt haben. Zertifizierte und sichere Roboter gibt es wenige, und viele Faktoren wie Wahrnehmung und gesicherte Reaktionen sind noch zu lösen, wenn Roboter täglich den Menschen helfen sollen. Weder die Erkennung aller Gegenstände in industriellen Umgebungen oder zu Hause noch deren Handhabung sind gelöst. Flexible Teile, Werkstücke mit Artikulationen, Stoffe und ähnliche Materialien sind weder von der Wahrnehmung noch von der mechanischen Seite des Greifens einer geordneten Fertigung zuführbar außer in sehr eingeschränkten Szenarien.

Diese Fortschritte bedürfen auch einer Anpassung der Ausbildung: Weg vom Garantieren des Bestehenden. Hin zu einer Befähigung für die Zukunft. Weg von Inhalten, die viel zu rasch veralten. Hin zu Fähigkeiten, die Menschen zu aktiven, selbstbestimmten Mitgliedern der Gesellschaft machen. Menschen bestimmen, was Maschinen machen dürfen. Bereits in Čapek's RUR hatten das die Menschen nicht beachtet und mussten die Folgen tragen. Es gilt daher, Robotern nicht mit Angst zu begegnen, sondern klar zu definieren, was Roboter tun können, damit wir Roboter als Helfer für Menschen einsetzen können.

Danksagung

Open access funding provided by TU Wien (TUV). Mein großer Dank geht an Björn Matthias für die Unterstützung und das Material für den Vergleich von Robotern vor 40 Jahren und heute. Dieser Beitrag wurde teilweise unterstützt durch Förderungen der Europäischen Kommission im 7. Rahmenprogramm unter Vertrag Nr. 610532 SQUIRREL, durch das Horizon 2020 Programm, Vertrag Nr. 519625 Flobot, und ER4STEM, Vertrag Nr. 665972, durch den CHIST-ERA und den FWF mit Projekt ALOOF Nr. I1856-N30 und durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG und Projekt MMAssist Nr. 858623.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Literatur

1. Arntz, M., Gregory, T., Zierahn, U. (2016): The risk of automation for jobs in oecd countries: a comparative analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers.
2. Asimov, I. (1986): Robots and empire. London: HarperCollins.
3. Chui, M., Manyika, J., Miremadi, M. (2016): Where machines could replace humans and where they can't (yet). Mc Kinsey Quarterly. URL Zugegriffen: 2. Okt. 2017. <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/where-machines-could-replace-humans-and-where-they-cant-yet>.
4. Clark, D. (2015): Intel rechisels the tablet on Moore's law. In Wall street journal digits tech news and analysis.
5. Duysinx, P., Geradin, M. (2004): An introduction to robotics: mechanical aspects. Tech. rep. University de Liège.
6. Fischinger, D., Einramhof, P., Papoutsakis, K., Wohlkinger, W., Mayer, P., Panek, P., Hofmann, S., Körtner, T., Weiss, A., Argyros, A., Vincze, M., (2016): Hobbit, a care robot supporting independent living at home: first prototype and lessons learned. Robot. Auton. Syst., 75, 60–78.
7. Frey, C. B., Osborne, M. (2013): The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation. Tech. rep., Published by the Oxford Martin programme on technology and employment.
8. Heikkilä, J. (2017): Robotics in the digitising european industry strategy. Smart regions with smart robots. In SPARC conference, Brussels. 10.5.2017. Zugegriffen: 2. Okt. 2017. <https://www.eu-robotics.net/sparc/newsroom/press/smart-regions-with-smart-robots-conference-presentations.html?changelang=2>.
9. IFR (2016): World robotics industrial robots and service robots. Zürich: IFR—International Federation of Robotics.
10. Kaiser, T. (2017): Warum Arbeitnehmer weniger vom Wachstum haben. In Welt Wirtschaft. Zugegriffen: 2. Okt. 2017. <https://www.welt.de/wirtschaft/article163604732/Warum-Arbeitnehmer-weniger-vom-Wachstum-haben.html>.
11. Kragic, D., Vincze, M. (2010): Vision for robotics. Foundations and trends in robotics (Vol. 1, S. 1–78).
12. Lammer, L. (2016): Introducing young people to real-life problem solving in multi-disciplinary teams with robotic product development. Ph.D. thesis, Technische Universität Wien. Reviewer: M. Vincze, C. Kynigos.
13. Mishel, L., Shierholz, H. (2017): Robots, or automation, are not the problem—too little worker power is. Economic Policy Institute.
14. Moore, G. E. (1965): Cramming more components onto integrated circuits. Electronics.
15. Moore, G. E. (1975): Progress in digital integrated electronics. In IEEE international electron devices meeting (S. 11–13), Reprinted, from technical digest 1975.
16. Moore, G. E. (2006): Chapter 7: Moore's law at 40. In D. Brock (Hrsg.), Understanding Moore's law: four decades of innovation (S. 67–84). Philadelphia: Chemical Heritage Foundation
17. Pellegrino, J. W., Hilton, M. L. (2012): Education for life and work: developing transferable knowledge and skills in the 21st century. Washington: National Academies Press.
18. Phillips, N., Cowell, J. R., Bell, R. (1984): The measurement capability of an industrial robot. In Proceedings of the twenty-fourth international machine tool design and research conference (S. 423–430).
19. Szkodny, T. (1995): Modelling of kinematics of the irb-6 manipulator. Comput. Math. Appl., 29(9), 77–94.
20. Vernon, D., Vincze, M. (2016): Industrial priorities for cognitive robotics. In EUCognition meeting on cognitive robot architectures.
21. Vincze, M. (2017): Vertrauenswürdige Roboter. E&I, Elektrotech. Inf.tech., 134(6), 291–292. doi:10.1007/s00502-017-0521-3.
22. Vincze, M., Wachsmuth, S., Sagerer, G. (2014): Perception and computer vision. In K. Frankish, W. M. Ramsey (Hrsg.), The Cambridge handbook of artificial intelligence (S. 168–246). Cambridge: Cambridge University Press.
23. WEF (2016): The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution. In World Economic Forum. Zugegriffen: 2. Okt. 2017. <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016/>.

Autor

**Markus Vincze**

ist Leiter der Abteilung „Sehen für Roboter“ am Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN) der Technischen Universität Wien. Er studierte an der Technischen Universität Wien Maschinenbau und schloss 1988 das Studium mit dem Titel Dipl.-Ing. ab. Es folgte der Master of Science in Maschinenbau am Polytechnischen Institut Rensselaer, Troy, New York, 1990. Im Jahr 1993 promovierte er an der TU Wien und war als Forschungsassistent am Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik tätig. Mit Unterstützung durch ein APART-Stipendium (bis 1998) der Österreichi-

schen Akademie der Wissenschaften arbeitete er 1995 bis 1996 bei HelpMate Robotics Inc. sowie an der Yale University, New Haven, Connecticut, USA, in der Gruppe von Prof. G. D. Hager. Seit Februar 1998 ist er als Universitätsassistent am ACIN der TU Wien beschäftigt. Im Jänner 2004 legte er die Habilitation für „Robotertechnik“ ab. Er leitete die EU-Projekte RobVision, ActIPret, robots@home, HOBBIT sowie ER4STEM sowie das FWF Forschungsnetzwerk „Kognitives Sehen“. Er hat bislang 40 Journalartikel und über 300 begutachtete Beiträge im Bereich Objekte modellieren, erkennen, verfolgen und greifen mit dem Ziel, Robotern das Sehen beizubringen, veröffentlicht.