



Foto: Fotolia

Tanja Sinozic, Michael Nentwich, Georg Aichholzer

Industrie 4.0

Zu den Möglichkeiten und Herausforderungen der nächsten Computerisierungs- und Automatisierungswelle

Neue technologische Entwicklungen sind nicht nur mit Chancen, sondern auch mit unterschiedlichen Risiken verbunden, die vor ihrer Einführung analysiert werden müssen. Aktuell bewirkt gerade die zunehmende Digitalisierung massive Veränderungen in den Produktionssystemen und Industrieprozessen. Die Auswirkungen dieser Entwicklungen sind derzeit noch schwer zu bewerten. Eine wissenschaftliche Technologiefolgenabschätzung, wie sie das Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durchführt, trägt zu einem besseren Verständnis der Auswirkungen des technischen Wandels bei. Der Beitrag fasst die wichtigsten Aspekte aus einer Studie über die Auswirkungen der digitalen Vernetzung der Produktion zusammen.

Kaum eine der Triebfedern des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wandels ist von ähnlich tiefgreifendem Einfluss auf die Art und Weise, wie wir leben und arbeiten, wie die technologische Entwicklung. In den letzten drei Jahrzehnten haben digitale Technologien mit neuen Entwicklungen und Fortschritten bei der Verarbeitung und Analyse von Daten praktisch alle Sektoren der Wirtschaft durchdrungen, haben große und neue Wirtschaftszweige und Verbindungen zwischen bislang getrennten Sektoren hervorgebracht. Auch wenn diese Veränderungen das Wirtschaftswachstum beflügelt haben, indem neue Produkte, Systeme, Dienstleistungen und Arbeitsplätze geschaffen wurden, gibt es doch Gründe zur Annahme, dass der nächste Schritt der Computerisierung – je nach Kontext genannt Cyber-Physical-Systems (CPS),

Internet der Dinge, Smart Production, Robotik und Autonome Systeme (RAS) oder, in den deutschsprachigen Ländern, Industrie 4.0 – dramatisch neue Bedingungen dafür schaffen wird, wie wir Produkte herstellen.

Industrie 4.0 bezieht sich auf die Veränderungseffekte von CPS oder RAS vor allem in der Fertigungsindustrie, prinzipiell aber durch digitale Integration über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Es werden Transformationen erwartet, die auf eine 4. Industrielle Revolution hinauslaufen, ähnlich der Einführung von Dampf und Wasserkraft (1. Revolution), Elektrifizierung und Taylorismus (2. Revolution) sowie Mikroelektronik (3. Revolution). Industrie 4.0 wird charakterisiert durch selbststeuernde oder "intelligente" Produktionssysteme, die mittels Daten- und Informationsaus-

tausch zwischen allen Komponenten funktionieren. Auch wenn interaktive Computersysteme schon in Fahrzeugen, Flugzeugen oder in Fabriken existieren, meint man mit Industrie 4.0 Systeme, die potenziell über Sektoren, Regionen und Länder reichen.

Verbesserungen der Fertigungseffizienz und -produktivität

Die Herstellung von Gütern trägt zu rund 15 % der Bruttowertschöpfung Europas bei, in Österreich sind es 19 %. Ungefähr 621.000 Menschen arbeiten in 25.500 österreichischen Produktionsunternehmen und erwirtschaften einen Jahresumsatz von ca. 49 Milliarden Euro. Es hat sich gezeigt, dass jene europäischen Länder, die einen höheren Anteil an Fertigungsindustrie aufweisen, in den jüngsten

| Wirkungsfeld | Chancen | Risiken |
|--|--|--|
| Operative Arbeitsebene | <ul style="list-style-type: none"> • Individualisierung der Arbeitsplatzgestaltung • Komplementarität von Mensch und Maschine • Kollaboration und Unterstützung • Mobile Arbeitsplätze | <ul style="list-style-type: none"> • Substitution menschlicher Arbeit durch Technik/Automation • Menschliches Arbeiten als Residuum • Handlungskompetenzverlust durch fortschreitende Virtualisierung • Entfremdung |
| Engineering, Planung und Leitung | <ul style="list-style-type: none"> • Delegation von Aufgaben • Erweiterte und neue Planungsaufgaben • Mehr Kreativitätseinfaltung | <ul style="list-style-type: none"> • Substitution von menschlicher Arbeit durch Technik/Automation • Handlungskompetenzverlust bei der Steuerung und Handhabung von zunehmender Komplexität |
| Mensch-Maschine Schnittstelle/ Kooperation | <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der menschlichen Leistungsfähigkeit • Optimierte Entscheidungsfindung in kollaborativen Entscheidungsprozessen von Menschen und Maschinen | <ul style="list-style-type: none"> • Fehlentscheidungen bei Distanz zum praktischen Systemablauf • Unkontrollierte Datenverwendung bei Integration von Sensorik • Hemmung von improvisatorisch-experimentellem Arbeitshandeln • Kontrollverlust beim Menschen • Gesundheitliche Belastungen |
| Unternehmensübergreifend in Netzwerken | <ul style="list-style-type: none"> • Transparenz • Berechenbarkeit • Flexibilisierung und dynamische Geschäftsprozesse • Optimierte Entscheidungsfindung | <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkte Abhängigkeit, Substituierbarkeit, Kontrollverlust (insbesondere bei Zulieferern) |

TABELLE 1: HERAUSFORDERUNGEN IM BEREICH DER ARBEITSORGANISATION (AICHHOLZER ET AL., 2015A)

Wirtschaftskrisen widerstandsfähiger waren. Damit wurde die Re-Industrialisierung Europas eine Top-Priorität der Europäischen Kommission. Als ein Schlüssel, um dieses Ziel zu erreichen, gilt es, durch die Entwicklung innovativer Produkte, Systeme und Dienstleistungen in den technologischen Wandel zu investieren. Die Anwendung und Verbreitung neuer Generationen digitaler Technologien hebt das Potenzial für Österreich und andere europäische Länder, den Grad an Industrialisierung zu halten und zu erhöhen. Die technologischen Entwicklungen, die mit Industrie 4.0 verknüpft sind, befinden sich noch in einem frühen Stadium. Deutschland wird als Spitzenreiter in Europa angesehen, die größten Investitionen werden von China und den USA getätigt.

Wie bei den vernetzten Systemen auf Geräteebene ist eines der Ziele von CPS Effizienz. Dies fußt auf der Idee direkter Reaktionsschleifen zwischen Produktion und – sowohl vertikal wie auch horizontal integrierten – Dienstleistungsnetzwerken, was zu mehr Flexibilität und Stabilität führen und Effizienzverluste minimieren soll. Beispielsweise wird ein voll integriertes und autonomes System, das die Ar-

beitskräfte, die Produktionsmaschinen und die Logistik durch eingebettete Computersysteme verknüpft, theoretisch Kundenwünsche effizienter und effektiver befriedigen. Ein voll entwickeltes System, das der Industrie-4.0-Vision entspricht, würde so interaktive und wechselseitig responsive Arbeitsabläufe hervorbringen, die alle Arten von Ressourcen (Arbeitskräfte, Information und Materialien) steuert, wo immer diese benötigt werden. Die so genannte „Intelligente Fabrik“ optimiert den Herstellungsprozess, indem die Maschinen ihren vergangenen, aktuellen und Zielzustand „kennen“ bzw. Information darüber abgespeichert haben und abrufen lassen.

Die Auswirkungen von Industrie 4.0 werden je nach Sektor unterschiedlich sein. Auf Basis einer Umfrage in deutschen Industrieunternehmen wurden große Anstiege bei den Verkaufszahlen von komplexen Produkten wie zum Beispiel Fahrzeugindustrie, Maschinenbau, Elektronik und Kommunikationstechnologie vorhergesagt, nicht jedoch für die Prozessfertigung. Freilich sind für die Erzielung von Gewinnen aus Industrie 4.0 kurzfristige Investitionen in die Fähigkeiten und Technologien erforderlich, welche viele kleinere Fir-

men nicht leisten können oder wollen. Eine weitere Vorbedingung, um die Vision selbst-regulierender Produktionssysteme über die ganze Wertschöpfungskette Realität werden zu lassen, sind beträchtliche Investitionen in großräumige Infrastrukturen sowie Forschung und Entwicklung auf nationaler und internationaler Ebene. Von diesen Veränderungen werden Hochlohnökonomien mit verhältnismäßig großen Produktionssektoren wie Österreich und Deutschland vermutlich mehr profitieren als andere Länder.

Ungewissheiten bestehen in den Bereichen Arbeitsmarkt, Ausbildung, Arbeitszufriedenheit und Sicherheit

Um das Potenzial von Industrie 4.0 zu heben, müssen auch Herausforderungen in anderen Teilen der Wirtschaft und der Gesellschaft anerkannt und gelöst werden. Arbeitsmarkt- und Ausbildungseinrichtungen, aber auch Regulierungsbehörden müssen sich engagieren, um mögliche negative Effekte von Diskrepanzen zwischen Ausbildung und notwendigen Fähigkeiten, sowie von Arbeitslosigkeit in weiten Teilen der Wirtschaft abzufedern. Darüber hinaus müssen Auswirkungen auf die individuelle und die soziale Sicherheit aber auch Veränderungen im Energie- und Strombedarf dieser nicht zu Unrecht so genannten disruptiven Technologien berücksichtigt und Bedingungen geschaffen werden, von denen die Wirtschaft und die Gesellschaft profitieren können.

Die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die nationale Beschäftigung sind ungewiss und ÖkonomInnen, SoziologInnen, HistorikerInnen und TechnikwissenschaftlerInnen äußern sehr unterschiedliche Einschätzungen, wie viele und welche Arbeitsplätze neu geschaffen und welche verloren gehen werden. Es ist unklar, ob die Produktivitätsgewinne von Industrie 4.0 den Wegfall der Jobs in manchen Produktionssektoren aufhalten oder ob dieser weiter beschleunigt werden wird. In manchen Sektoren, in denen bestimmte Aufgaben leichter automatisiert werden können, könnten Arbeitsplätze verloren gehen, während neue und zum Teil anforderungsreichere Arbeitsplätze entstehen könnten.

Große Veränderungen werden auch in der Arbeitsorganisation erwartet.

| Wirkungsfeld | Chancen | Risiken |
|---|---|--|
| Schulische Ausbildung | <ul style="list-style-type: none"> • Kombination von Theorie und Praxis (Duales System, Unternehmenspraktika) • Neue Qualifikations- und Tätigkeitsprofile (z. B. Mechatronik/IKT) • Ausbau von Schlüsselqualifikationen | <ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Ausrichtung auf neue Anforderungen (flexibles Arbeiten, Verständnis für Innovation, ständige Weiterbildung) • Problemverschärfung für Pflichtschulabgänger und Ungelernte |
| Akademische Aus- und Weiterbildung | <ul style="list-style-type: none"> • Spezialisierung auf Industrie 4.0-spezifische Herausforderungen • Ansätze zu Interdisziplinarität • Neue Berufsbilder (z. B. Data-Scientist) | <ul style="list-style-type: none"> • Distanz zum operativen Arbeitsprozess (durch vermehrte Virtualisierung des Engineering) |
| Berufliche Aus- und Weiterbildung – Lebenslanges Lernen | <ul style="list-style-type: none"> • Abfederung des Facharbeiter-mangels • Arbeitsplatznahe Weiterbildung • Lernförderliche Arbeitsorganisation • Digitale Lerntechniken | <ul style="list-style-type: none"> • Qualifizierungsdruck • Ausgrenzung und mangelnde Rücksicht auf Belastbarkeit der Beschäftigten |

TABELLE 2: HERAUSFORDERUNGEN IM BEREICH DER AUS- UND WEITERBILDUNG (AICHHOLZER ET AL., 2015A)

Ob sich als Muster eine hinsichtlich Qualifikationen eher „polarisierte“ Arbeitsorganisation oder aber Formen von „Schwarmorganisation“ verbunden mit einem generellen Upgrading verbreiten werden, ist noch offen (vgl. Hirsch-Kreinsen 2015, 15ff.). Die zunehmende gegenseitige Abhängigkeit von Menschen und Maschinen in manchen Arbeitsformen wird sich auch auf die Arbeitszeiten auswirken. Plattform-vermittelte Arbeit dürfte eher zunehmen und den auf Arbeitskosten beruhenden Wettbewerb verstärken sowie bestimmte Zweige weiter globalisieren.

Die zunehmende Komplexität der Prozesse erfordert weiters Anpassungen bei Aus- und Fortbildung der Arbeitskräfte. Beispielsweise benötigt die Digitalisierung der Produktionsprozesse fortgeschrittenes Know-How im Bereich der Computertechnik (an dem es bereits jetzt in Österreich mangelt) ebenso wie kommunikative und Teamfähigkeiten, um die verschiedenen wachsenden technischen und Managementprobleme zu lösen. Wenn Systeme mehr integriert und komplex werden, wird es schwieriger, die Anforderungen an das dafür erforderliche Wissen vorherzusagen, sodass Fortbildung und Lernen direkt am Arbeitsplatz immer wichtiger werden, voraussichtlich mehr als früher und entlang des gesamten individuellen Arbeitslebens. Österreichs Fachhochschulen und das Duale System der Lehrlingsausbildung unterstützen prinzipiell die Aneignung von entsprechend auf die sich ändernden Wissensanforderungen angepassten

Antworten, aber mehr Investitionen in diese Bereiche, u.a. mit stärkerem Fokus auf Problemlösungsfähigkeiten, werden wohl erforderlich sein. Wenn sich der Trend zur Automatisierung in manchen Bereichen fortsetzt, werden schlecht ausgebildete Personen mehr denn je in Gefahr sein, ihre Jobs zu verlieren oder erst gar keine zu finden.

Die Tabellen 1 und 2 fassen die Herausforderungen aus den Bereichen Arbeitsorganisation und Aus- und Weiterbildung zusammen.

Neue Anforderungen betreffen auch den Bereich der physischen und psychischen Gesundheit und des allgemeinen Wohlbefindens. Die Automatisierung von physisch anspruchsvollen Aufgaben hat ArbeiterInnen geholfen, aber die schädlichen Auswirkungen des Sitzens vor Computern über lange Zeit auf die Augen und den Bewegungsapparat sind gut bekannt. Darüber hinaus kann die potenzielle 24-Stunden-Verfügbarkeit der Arbeitskräfte per Smartphone zu Stress beitragen. Weiters kann die Zunahme von über internationale Plattformen vermittelter Arbeit zu ungewöhnlichen Arbeitszeiten führen, um Aufträge in verschiedenen Zeitzonen annehmen zu können.

Die laufende Erzeugung von immer größeren Datenvolumen und ihr Austausch zwischen früher weniger verknüpften Systemen macht diese jedenfalls verletzlicher und erhöht damit die Wichtigkeit von Daten- und Systemsicherheit ebenso wie Vorkehrungen zum Schutz sensibler Daten von Personen sowie von Unternehmen. Die sehr großen

Technikfolgenabschätzung

Technische Innovation bergen Chancen und Risiken, die bereits bei der Gestaltung von neuen Technologien erkannt und berücksichtigt werden müssen. Wissenschaftliche Technikfolgenabschätzung (Technology Assessment) untersucht die Auswirkungen des technischen Wandels auf Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt und Gesundheit, aber auch auf das Rechtssystem. Ziel ist es, die Gesellschaft möglichst umfassend über direkte und indirekte Folgen von technischen Innovationen zu informieren, Handlungsoptionen aufzuzeigen und dadurch eine Grundlage für rationale technologie-politische Entscheidungen zu bieten.

In einem interdisziplinären Ansatz werden mögliche Folgen des Einsatzes bestimmter Technologien systematisch und umfassend analysiert. Das betrifft insbesondere unbeabsichtigte und zu meist erst langfristig auftretende Sekundär- und Tertiär-Wirkungen.

Technologiebewertungsstudien werden projektinduziert (z. B. zur Untersuchung der Folgen bei der Realisierung eines konkreten Projektes), technologieinduziert (Untersuchung der möglichen Folgen beim Einsatz bestimmter Technologien) oder probleminduziert durchgeführt. Beim probleminduzierten Ansatz wird nach unterschiedlichen technologischen Lösungsmöglichkeiten für ein bestehendes oder zukünftiges gesellschaftliches Problem gesucht. Durch die vergleichende Bewertung alternativer technologischer Entwicklungspfade werden politische Handlungsoptionen erarbeitet. Umfang und Tiefe der Analyse von Technikbewertungsstudien können stark variieren. Umfassende Makroassessments (Comprehensive Assessments) benötigen 10 bis 15 Personenjahre (also mehrere Jahre in kleinen Teams) zu ihrer Erstellung. Miniassessments in der Größenordnung weniger Personenmonate analysieren eine begrenzte Fragestellung im Detail oder eine breite in ihren Grundzügen. Weniger detaillierte Mikroassessments dienen der raschen Information der Entscheidungsträger.

Quelle: Institut für Technikfolgen-Abschätzung, ÖAW
www.oew.ac.at/ita

Größenordnungen, in denen Industrie 4.0 funktionieren wird, führt zur Notwendigkeit effektiver Back-up-Prozesse, auf die zurückgegriffen werden kann, falls die Systeme versagen.

Die Entwicklung von Industrie 4.0 wird auch Spannungen und Konflikte mit bestehender Regulierung hervorbringen und neue Standards erfordern. Bestimmte Gesetze könnten diese neuen interaktiven Prozesse eher behindern als befördern. Die Entwicklung von Normen ist ein schrittweiser Vorgang, der sehr lange dauert, gerade weil wegen des technologischen Wandels Sektorgrenzen überschritten werden und weil die Ergebnisse von Normsetzungsprozessen immer unsicher sind. Die Intensivierung und Automatisierung von Interaktionen im Produktionsbereich zwischen unterschiedlichen Netzwerken führt auch zu neuen Fragen der Verantwortung und Haftung, wenn etwas schief geht oder wenn sensible Daten preisgegeben oder missbraucht werden. Große, Industrie 4.0 vorantreibende Produktionsunternehmen sind globale multinationale Firmen. Die internationale Dimension ihrer Aktivitäten wird vermehrt Themen im Bereich Arbeits- und Handelsregulierung aufwerfen.

Um erfolgreich zu sein, müssen die Veränderungen in Richtung Industrie 4.0 aktiv und auf breiter und gesellschaftlich inklusiver Ebene gemanagt werden.

Ohne Zweifel bergen die bevorstehenden Veränderungen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 für die österreichische Produktionswirtschaft und die als Ausrüster in Frage kommenden Wirtschaftszweige nicht nur große Herausforderungen, sondern auch Chancen. Zugleich gilt es jedoch wie bei allen disruptiven Technologien, sich bewusst zu machen, dass etablierte Strukturen und Prozesse zur Sicherstellung eines ausgewogenen sozialen und wirtschaftlichen Fortschritts aufrechterhalten werden müssen.

Weiterführende Literatur:

Aichholzer, G., Rhomberg, W., Gudowsky, N., Saurwein, F., Weber, M. (2015a) Industrie 4.0 - Hintergrundpapier für den 1. Workshop am 4.

Mai 2015 (1. Zwischenbericht).

Aichholzer, G., Rhomberg, W., Gudowsky, N., Saurwein, F. and Weber, M., (2015b)

'Industrie 4.0: Background Paper on the pilot project "Industry 4.0: Foresight & Technology Assessment on the social dimension of the next industrial revolution', Institute for

Technology Assessment, Austrian Academy of Sciences and Austrian Institute of Technology. Project report.

Baheti, R. and Gill, H., (2011) 'Cyber-physical systems', in Samad, T. and Annaswamy, A. M., (eds.) The Impact of Control Technology, www.ieeeccs.org.

Hinterseer, T., (2016): 'Industrie 4.0: Revolution oder Evolution?', Wirtschafts- und Sozialpolitische Zeitschrift, Nr. 1/16, März, Institut für Sozial- und Wirtschaftswissenschaften.

Hilgendorf, E. (2013). Rechtliche Herausforderungen für die Automatik Industrie 4.0. Beitrag zum BMWi Workshop Recht vom 18.06.2014. Abgerufen am 14.9.2016 von http://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/DE/Foerderprogramme/Autonomik_fuer_Industrie/Querschnittsthemen/Recht/recht.html.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015). Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit. In: H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann, J. Niehaus (Hg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. Baden-Baden: Nomos, edition sigma, S. 9-30.

Hughes, T. P. (1989). The Evolution of Large Technological Systems. The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. Pinch. Cambridge, Massachusetts and London, England, The MIT Press.

Lee, E. A., (2006) 'Cyber-Physical Systems – Are Computing Foundations Adequate?', Position Paper for the NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap, October 16-17, 2006, Austin, TX.

Pfeiffer, S., (2015) 'Effects of Industry 4.0 on vocational education and training', MANU:SCRIPTS, ITA-15-04, Discussion Paper Series of the Institute of Technology Assessment (ITA), Austrian Academy of Sciences, Vienna, Austria.

Wolf, W., (2009) 'Cyber-physical Systems', Embedded Computing, IEEE Computer Society



Dr. Tanja Sinozic

Institut für Technikfolgen-Abschätzung, ÖAW

Autoren:

Dr. Tanja Sinozic studierte Wissenschafts- und Technologiepolitik, Raumplanung, Umweltpolitik und Volkswirtschaft, und forscht im Bereich Technologieentwicklung und den Interaktionen zwischen Technologien, Wirtschaft und Gesellschaft.

Sie absolvierte ihre Ausbildung zunächst an der LSE – London School of Economics and Political Science (BSc), weiters an der Universität Cambridge (MPhil) und an der SPRU – Science Policy Research Unit der Universität Sussex (Doktorat).

Für ihre Dissertation in „Science and Technology Policy Studies“ (2014) forschte Dr. Tanja Sinozic zu Lernprozessen in diagnostischen Bildgebungstechnologien in Spitälern der UK National Health Service (NHS).

Vor ihrem Eintritt ins Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) im Oktober 2015 arbeitete sie am Department Sozioökonomie der Wirtschaftsuniversität (WU) Wien zum Thema Evolution der Branchen Medizintechnik, Neue Medien und Umwelttechnik in Österreich (cluster-life-cycles.eu) und an den Interaktionen zwischen der EU und ihren Nachbarländern zu Fragen der Technologiepolitik (SEARCH Project).

Die beiden Co-Autoren Univ.-Doz. Dr. Michael Nentwich und Dr. Georg Aichholzer sind ebenfalls Mitarbeiter des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.