
EINLEITUNG: DIE GESTALTUNG DER ZUKUNFT

008

HANNES ANDROSCH Rat für Forschung und Technologieentwicklung, AT
JOHANNES GADNER Rat für Forschung und Technologieentwicklung, AT

Der Rat für Forschung und Technologieentwicklung ist das zentrale Beratungsorgan der österreichischen Bundesregierung für bildungs-, wissenschafts-, forschungs- und innovationspolitische Fragestellungen. Auf gesetzlicher Grundlage erarbeitet er konkrete, umsetzungsorientierte Empfehlungen für spezifische Politikbereiche in seinem Aufgabenspektrum und erstellt im Auftrag des österreichischen Ministerrats einen jährlichen Bericht zur wissenschaftlichen und technologischen Leistungsfähigkeit Österreichs. Seine Rolle versteht der Rat allerdings nicht lediglich als Impulsgeber für die genannten Politikfelder. Vielmehr erhebt er den Anspruch, sich über tagespolitische Erfordernisse hinausgehend auch mit Themen und Fragestellungen aus seinem Arbeitsbereich zu befassen, die das Verständnis für historische Entwicklungen, aktuelle Prozesse und zukünftige Erfordernisse erhöhen. Dieser Anspruch war auch der Hintergrund für die Entstehung dieses Buches.

Das Buch trägt den Titel *Die Gestaltung der Zukunft: wirtschaftliche, gesellschaftliche und politische Dimensionen von Innovation*. Es ist als Sammelband konzipiert und verfolgt das Ziel, „Innovation“ aus verschiedensten Perspektiven zu beleuchten. Die zentrale Rolle vor allem technischer Innovationen für die Verfasstheit menschlicher Gesellschaften – so skizziert es der Technikforscher Ernest Braun in seinem Aufsatz *From Need to Greed* (2010) – kommt bis heute dadurch zum Ausdruck, dass ganze Zeitalter und Epochen der Menschheitsgeschichte nach den in ihnen angewendeten vorherrschenden Technologien bezeichnet werden (Braun, 2010, 6). Diese *General Purpose Technologies* dominieren nicht lediglich die Wirtschaft auf nationaler oder globaler Ebene, sondern beeinflussen vor allem auch soziale und politische Strukturen (Lipsey et al., 2006, 93ff.). Dem Ökonomen Richard Lipsey (2006, 85ff.) zufolge, lassen

sich im Verlauf der Geschichte 24 dieser *General Purpose Technologies* definieren. Die Liste reicht von der Erfindung der Schrift über den Buchdruck und die Dampfmaschine bis hin zur Elektrizität, der Computertechnologie oder dem Internet.¹ Dabei ist es nicht immer ganz eindeutig, ob technische Innovationen soziale Veränderungen verursachen, oder ob es zuerst sozialer Innovationen bedarf, damit sich technische Neuerungen durchsetzen. In den meisten Fällen bedingen sich wohl beide gegenseitig.

Die einzelnen Beiträge dieses Buches sollen die unterschiedlichen Dimensionen von Innovation in Vergangenheit und Gegenwart sowie deren Relevanz für die Welt im 21. Jahrhundert diskutieren. Der erste Teil des Buches beginnt mit der Aufklärung in Europa, der Erfindung des Erfindens und des Fortschritts sowie der Herausbildung der zentralen Institutionen der Wissensgesellschaft – und damit der „Entfesselung des Prometheus“ (Landes, 1986). Der zweite Teil fokussiert auf die modernen Entstehungsbedingungen von Innovationen, wie wir sie heute kennen. Und im dritten Teil wird der Versuch unternommen, einen Blick in die Zukunft zu wagen und Möglichkeiten auszuloten, welche veränderte Rolle Forschung und Innovation für Wirtschaft und Gesellschaft künftig zukommen soll und wie Zukunft neu gedacht und gestaltet werden kann. Ziel des Buches ist es, Denkanstöße zu liefern und die Auseinandersetzung mit dem Thema Innovation jenseits der engen Grenzlinien der Tagespolitik zu fördern. Dass es dabei nicht lediglich um eine zweckfreie, intellektuelle Auseinandersetzung geht, wird einerseits dadurch evident, dass etliche Beiträge auch konkrete Implikationen für die Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik beinhalten. Andererseits wird aufgezeigt, dass nur eine fundierte Auseinandersetzung mit den Entstehungsbedingungen von Innovation in der Geschichte und in der heutigen Welt die Basis

¹ Nicht erwähnt sind dabei die unzähligen kleinen Innovationen des Alltags, von Nägeln und Schrauben über den Reißverschluss bis hin zu Büroklammern oder Lochern. Es sind nicht immer die dramatischen und aufsehenerregenden Ereignisse, sondern zumeist allmähliche und unauffällige Prozesse, in denen kleine Innovationen den Alltag erobern (vgl. dazu auch Glatzer, 1999, 178ff.).

010

für zukunftsorientierte politische Entscheidungsfindungen liefert. Folglich liegt der Fokus eines großen Teils der Beiträge auf den künftigen Erfordernissen von und für Innovation. Beginnen wir aber mit einem kurzen Rückblick auf die Geschichte.

**KURZER ABRISS ÜBER DIE GESCHICHTE DER INNOVATION
VOM BEGINN DER MENSCHHEIT BIS IN DIE NEUZEIT**

In seinem Essay *Alles Leben ist Problemlösen* (1991) argumentiert der österreichisch-britische Philosoph Sir Karl Popper, dass Erfindungen und technische Hilfsmittel ein prinzipielles Wesensmerkmal lebendiger Organismen sind – beim Menschen ebenso wie beim Tier. Freilich sind unterschiedliche Organismen darin besser oder schlechter bzw. erfolgreicher oder weniger erfolgreich. Jedenfalls hat es der Mensch in seinem Versuch, Herausforderungen und Probleme durch die Erfindung technischer Hilfsmittel zu lösen, zu einer gewissen Perfektion gebracht, weshalb die Geschichte der menschlichen Zivilisation zugleich auch die Geschichte einer Kette immer schneller aufeinander folgender vor allem technischer Innovationen und deren gesellschaftlicher, wirtschaftlicher oder politischer Folgen ist (vgl. Braun, 2010; Harari, 2013).

Verantwortlich dafür sind einerseits Mangel und Not. Nicht umsonst heißt es im Volksmund, dass Not erfinderisch macht. Die Notwendigkeit der Befriedigung grundlegender menschlicher Bedürfnisse wie jenen nach Nahrung, Schutz vor Kälte oder Sicherheit und somit letztlich die Sicherstellung des Überlebens führten bereits in den Anfängen der Existenz des Homo sapiens zur Entdeckung der Nützlichkeit von einfachen technischen Hilfsmitteln und Werkzeugen (Braun, 2010, 9ff.). Dabei spielten aller Wahrscheinlichkeit nach der Zufall und das Trial-and-Error-Prinzip eine wesentliche Rolle (Diamond, 1997, 245ff.).

Andererseits ist dies ein Urtrieb des Menschen, der ihn von Beginn an charakterisiert und auszeichnet, und der die Innovationsspirale immer weiter vorantreibt: die Neugierde. Das Staunen über Unbekanntes oder die Verwunderung „über das nächstlie-

gende Unerklärte“, wie es Aristoteles in seiner Metaphysik bezeichnet (vgl. Liessmann 1997, 25ff.), spornt den Menschen seit jeher an. Wissbegierde und das Streben nach Neuem stehen so an der Wurzel der kulturellen Entwicklung der Menschheit (vgl. Nowotny, 2005, 35ff.). Dieses Streben begleitet die Menschen, seitdem ihnen, wie die griechische Mythologie erzählt, Prometheus vom Olymp verbotenerweise das Feuer brachte und sie lehrte, damit umzugehen. Prometheus wurde für dieses Vergehen von Zeus bekanntlich schwer bestraft.²

Neben der Neugierde spielte immer auch eine weitere Grundkonstante menschlichen Verhaltens eine nicht unwesentliche Rolle für die Entstehung von Innovationen: Aggression und gewaltsame Auseinandersetzungen (vgl. Harari, 2013, 80ff.; Lorenz, 1981, 30ff.). Krieg gehört offenbar seit Anbeginn zu menschlichen Gesellschaften, wie archäologische und anthropologische Erkenntnisse nahelegen (Harris, 1990, 46ff.; Morris, 2013, 14ff.). Ob der Krieg tatsächlich der Vater aller Dinge ist, wie Heraklit meinte, sei einmal dahingestellt. Faktum ist allerdings, dass eine Fülle technischer Innovationen zum Zweck der Kriegsführung entwickelt oder nach ihrer Entwicklung für militärische Zwecke verwendet wurde (Diamond, 1997; 250f.; Harris, 1990, 107; Morris, 2013, 105ff.). Und wie wir sehen werden, war es in bedeutender Weise der „militärisch-industriell-wissenschaftliche Komplex“ (Harari, 2013, 342), der in letzter Konsequenz die industrielle Revolution und deren Folgen bewirkte. So verwundert es weiter nicht, dass etwa die Entstehung des heute als globale Modellregion für Innovationskultur geltende Silicon Valley unmittelbar mit der militärisch-technologischen Forschung verbunden war und ist (Sturgeon, 2000, 15ff.; Leslie, 2000; 48ff.), oder dass das Pentagon nach wie vor als bei weitem größter F&E-Förderer in den USA fungiert (vgl. AAAS, 2015, 61). Der britische Historiker Ian Morris hat eine weitere Erklärung für den Motor der Geschichte: In seinem epochalen Werk *Why the West rules – for now* (2010) argumentiert

² Vgl. dazu auch die ausführliche Darstellung in Reclams Lexikon der antiken Mythologie, 1991, 455f.

012

er, dass technische Innovation und damit einhergehende gesellschaftliche Veränderung immer dadurch motiviert waren und sind, dass der an sich faule Mensch einfachere und bequemere Lösungen sucht. Die Konsequenzen daraus waren und sind meist nicht absehbar und führten bisweilen auch zu nicht intendierten Entwicklungen, deren Keime in jeder Innovation angelegt sind. Denn die Lösung konkreter Probleme kann Kräfte freisetzen, die diese Lösung unterminieren und wiederum gänzlich neue Probleme verursachen (Morris, 2010, 28, 560). Jedenfalls ist die Summe all dieser Veränderungen – des Aufbaus und Umbaus immer neuer, komplexerer Strukturen – das, was wir heute als die Geschichte unserer globalen Zivilisation bezeichnen.

In seiner *Kurzen Geschichte der Menschheit* (2013) zeigt der israelische Historiker Yuval Harari, welche tiefgreifenden Veränderungen, ja Revolutionen, (technische) Innovationen bisweilen hervorbringen können. Von eminenter Tragweite waren dabei vor allem drei große Revolutionen (deren erste freilich keiner technischen Innovation, sondern eher einer zufälligen Genmutation geschuldet war): Die kognitive Revolution, die vor rund 70.000 Jahren zur Entwicklung der Sprache führte und damit den Aufstieg des Homo sapiens sowie letztlich unsere Geschichte überhaupt erst in Gang brachte. Die landwirtschaftliche Revolution, die vor rund 10.000 Jahren die Lebensweise des Menschen radikal veränderte und deren Konsequenzen bis heute nachwirken – denn bis dato wird der weltweite Kalorienbedarf zu mehr als 90 Prozent von den damals domestizierten Pflanzenarten gedeckt (vgl. Harari, 2013, 102; Diamond, 1997, 128). Und schließlich die wissenschaftliche Revolution, deren Grundstein vor rund 500 Jahren gelegt wurde und in deren weiterem Verlauf über die industrielle bis zur digitalen Revolution sich die heutige Wissensgesellschaft herausbildete.

Die längste Zeit hindurch waren menschliche Erfindungen dem Zufall geschuldet oder entsprangen direkten Notwendigkeiten und Bedürfnissen. Innovationen waren gleichsam Nebenprodukte menschlichen Verhaltens, wie etwa die Zähmung des Feuers, die Entdeckung der Verwendung von Knochen oder Steinen als technische Hilfsmittel, aus

denen mit der Zeit Schaber, Messer oder Nadeln hergestellt wurden, oder die Erfindung des Rads (vgl. Lipsey et al. 2006, 55ff.; Diamond, 1997, 246f.). Auch die Entwicklung der Grundlagen für die landwirtschaftliche Revolution im Neolithikum – also Domestikation von Pflanzen und Tieren – scheinen sich aller Wahrscheinlichkeit nach zufällig und graduell herausgebildet zu haben (vgl. Lipsey et al. 2006, 137ff.; Diamond, 1997, 93ff., 105f.; Harari, 2013, 37). Hauptverantwortlich dafür waren die globale Klimaerwärmung nach dem Ende der Eiszeit, die Ausrottung der Großwildbestände im Mesolithikum und der daraus resultierende Anpassungsdruck, der eine Umstellung der Ernährung erforderlich machte, um den Rückgang in der Produktion tierischer Proteine durch pflanzliche Eiweiße zu kompensieren (Morris, 2010, 81ff.; Harris, 1990, 32ff.).

Nachdem die Menschheit den Großteil ihrer Geschichte in kleinen Jäger/Sammler-Gruppen lebte, bewirkten die veränderten Produktionsbedingungen der landwirtschaftlichen Revolution und die Sesshaftigkeit die bis dato einschneidendste Transformation menschlicher Lebensweise. Die Kultivierung von Pflanzen bedeutete mehr Kalorien pro Fläche und resultierte in einer Bevölkerungsexplosion: Lebten vor Beginn der neolithischen Revolution über Jahrtausende hinweg maximal 5 Mio. Menschen auf der Erde, stieg deren Zahl bis zum Beginn unserer Zeitrechnung auf etwa 250 Mio. (vgl. Harari, 2013, 126; Diamond, 1997, 92; Harris, 1990, 26, 45). Dieses Bevölkerungswachstum war allerdings auch von einer Verschlechterung der Ernährungsqualität und einer Zunahme von Krankheiten sowie der Entstehung von Epidemien begleitet (vgl. Harari, 2013, 104f.; Diamond, 1997, 203f.; Harris, 1990, 25, 37ff.).³ Der Anstieg der Bevölkerungszahlen führte zur allmählichen Herausbildung größerer

³ Offenbar genossen die steinzeitlichen Menschen im Vergleich zu jenen späterer Epochen durchwegs bessere Ernährungs- und Lebensstandards (Harari, 2013, 104; Harris, 1990, 18f.; Sahlins, 1972, 35). Archäologische Evidenz belegt, dass steinzeitliche Jäger und Sammler gesünder lebten, weniger oft krank wurden und höhere Gesundheitsraten aufwiesen als nachfolgende Generationen. Ein offenkundiger Beleg dafür ist die Tatsache, dass das durchschnittliche Größenwachstum der Menschen des Paläolithikums erst seit den 1960er Jahren wieder erreicht wird (Harris, 1990, 25).

014

gesellschaftlicher Strukturen, was wiederum eine völlig neue Art von Information und deren Verarbeitung notwendig machte: Daten und Zahlen (vgl. Harari, 2013, 155). Die alten mesopotamischen Kulturen begannen als erste damit, ein System zu entwickeln, um die Buchführung zu erleichtern und Ernteerträge zu dokumentieren (vgl. Lipsey et al., 2006, 144ff.). Daraus entwickelte sich im Laufe der Zeit die erste bekannte Schrift. Somit steht am Beginn der Entwicklung der Schrift als einer der bedeutendsten Innovationen überhaupt ein konkreter praktischer Nutzen (vgl. Fara, 2010, 10f., Morris, 2010, 181): „Die ältesten Texte der Menschheit enthalten weder tiefeschürfende philosophische Erkenntnisse noch Gedichte, Legenden, Gesetze oder Heldenepen [..., sondern] ganz alltägliche Aufzeichnungen aus dem Geschäftsleben – Steuerzahlungen, Schuldverschreibungen und Besitzurkunden.“ (Harari, 2013, 158)

Anders als die Entwicklung der Schrift dürfte sich die Entdeckung von Bronze nicht auf Basis eines konkreten Problems herausgebildet haben. Sie wird als zufälliger, aber logischer Schritt in einer längeren Geschichte inkrementeller Verbesserungen bereits seit der Steinzeit verwendeter Metalle gesehen (Lipsey et al., 2006, 151). Die Entwicklung von Eisen und Stahl hingegen ist wiederum Resultat des Mangels: Am Übergang zur Eisenzeit kollabieren wichtige Zentren bronzzeitlicher Hochkulturen, was den Zusammenbruch bestehender Handelsnetze zur Folge hatte. Das zur Herstellung von Bronze benötigte sehr seltene Zinn war damit an vielen Orten nicht mehr verfügbar. Zwar war Eisenerz bereits früher bekannt, allerdings wurde dessen Verarbeitung erst durch den Wegfall des Zinns und die daraus resultierende Suche nach Alternativen interessant (Morris, 2010, 233; Lipsey et al., 2006, 155).

Für die Herstellung von Bronze und Eisen waren bereits sehr differenzierte Arbeitsprozesse erforderlich. Mit diesen ging die Etablierung gänzlich neuer Berufsgruppen für Abbau, Transport und Verarbeitung in immer weiter entwickelten Schmelzöfen hervor. Entsprechend groß waren jeweils die sozialen, wirtschaftlichen oder politischen Veränderungen, die mit der Etablierung dieser neuen (Kultur-)Techniken

einhergingen – auch wenn deren Verbreitung wie im Falle des Eisens sich teilweise über Jahrhunderte hinweg erstrecken konnte (vgl. Lipsey et al., 2006, 151ff.). Der Aufstieg des Perserreichs im 6. Jahrhundert v. Chr. etwa fällt mit der konsequenten Nutzung des Eisens für die Entwicklung einer überlegenen Waffentechnologie zusammen (Morris, 2010, 245ff.). Der rasanten Expansion des Perserreiches sollten erst die Griechen mit Beginn des 5. Jahrhunderts vor unserer Zeitrechnung Einhalt gebieten. Diese hatten leistungsfähigere Schmelzöfen entwickelt und die Fertigkeit des Eisenschmiedens neuerlich weiterentwickelt (Lipsey et al., 159f.). Kombiniert mit einer verbesserten Waffen- und Kampftechnik (Meier, 2009, 184ff.) sowie getragen von einer nie dagewesenen gesellschaftlichen und politischen Neuorientierung trotzten die verbündeten griechischen Stadtstaaten den zahlenmäßig weit überlegenen persischen Streitkräften (Meier, 2009, 36ff.) In der Folge waren es u. a. immer wieder neue, innovative Waffen und damit einhergehende militärische Kampftechniken, die die Entstehung und den Untergang von Reichen bewirkten (vgl. Diamond, 1997, 241; Harris, 1990, 45ff.; Morris, 2013, 144ff.). Während der letzten zweieinhalb Jahrtausende war das Imperium, das seine Macht auf einer militärischen Vorherrschaft sicherte, die dominierende Staatsform, und die meisten Menschen lebten in irgendeinem dieser vergangenen „Weltreiche“ (Harari, 2013, 235ff.; Morris, 2013, 85ff.).

Technische Innovationen gab es auch in Zeiten, die wir heute üblicherweise als vermeintlich nicht sonderlich innovative Epochen der Geschichte ansehen. So wurde etwa im Mittelalter die agrarische Produktion durch die Weiterentwicklung des Pfluges und die Einführung der Dreifelderwirtschaft neuerlich revolutioniert (Braun, 2010, 47f.; Landes, 1999, 41; Lipsey et al., 2006, 161). Der weitverbreitete Einsatz des Wasserrads vor allem für das Betreiben von Mühlen – ursprünglich bereits von den Römern erfunden, aber nie in einem nennenswerten Ausmaß verwendet – war einer der Grundsteine für den Pfad zur Mechanisierung und damit auch eine der Grundvoraussetzungen für die spätere industrielle Revolution (Diamond, 1997, 359;

016

Landes, 1999, 45f.; Lipsey et al., 2006, 167). Diese Innovationen entsprangen in erster Linie der Notwendigkeit, den Wegfall der Arbeitskräfte, die im römischen Reich durch Sklaven gestellt wurden, zu kompensieren (Braun, 2010, 61; Lipsey et al., 2006, 161, 165).

Das europäische Mittelalter sah neben einer Vielzahl weiterer Erfindungen, wie etwa der Windmühle, der Brille, des Sextanten, des Kompass oder dreimastiger Segelschiffe, auch erstmals die Entwicklung von Feuerwaffen (Braun, 2010, 61; Landes, 1999, 52f.): Im 14. Jahrhundert wurde damit ein wesentlicher Grundstein für die Eroberungen der Konquistadoren und die in weiterer Folge globale Dominanz Europas gelegt (Diamond, 1997, 74ff.; Harari, 2013, 340ff.; Landes, 1999, 29ff.). Dabei war diese weitreichende Innovation keine genuin europäische, sondern lediglich die Weiterentwicklung einer Erfindung, die auf Handelswegen aus China über die Mongolei oder Arabien nach Europa kam (vgl. Morris, 2010, 396). Die Araber hatten sich die chinesische Erfindung des Schwarzpulvers zunutze gemacht, das in seinem Ursprungsland trotz einiger Anläufe bis dahin nie für kriegerische Auseinandersetzungen verwendet wurde (Diamond, 1997, 247).

**VOM ZUFALL ZUM SYSTEM:
DIE ENTSTEHUNG DER WISSENSGESELLSCHAFT**

Gemeinsam war all diesen Innovationen bis zu diesem Zeitpunkt, dass sie vollkommen pragmatisch waren, auf keinerlei Theorien basierten und mittels Versuch und Irrtum entwickelt wurden (Braun, 2010, 61). In seinem wissenschaftlichen Manifest mit dem Titel *Novum organum scientiarum*, was so viel bedeutet wie „neues Werkzeug der Kenntnisse bzw. des Wissens“, veröffentlichte der englische Philosoph Francis Bacon im Jahr 1620 nicht nur den berühmten Satz „Wissen ist Macht“, sondern schlug einen damals revolutionären Gedanken vor: die Vereinigung von Wissenschaft und Technologie. Damit gilt das Buch als Wendepunkt zwischen mittelalterlichem

Denken und neuzeitlicher, systematischer Forschung, die auf wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt zum Nutzen der Allgemeinheit ausgerichtet ist (vgl. Fara, 2010, 149ff.; Fischer, 2001, 52f.; Harari, 2013, 317f.).

Während also frühere Innovationen sehr stark durch das Element des Zufalls geprägt waren oder direkten Bedürfnissen entsprangen, setzte sich im Laufe der Jahrhunderte eine zunehmend systematischere Herangehensweise durch. (vgl. Fara, 2010, 103ff.; Fischer, 2001, 49; Morris, 2010, 510f.). Diese bisweilen so bezeichnete „Erfindung des Erfindens“ (Landes, 1999, 45) sollte weitreichende Konsequenzen für das europäische Denken und Handeln haben. Mit der Renaissance und der Aufklärung bildeten sich in Europa erstmals eigene Denkweisen, Strukturen und Institutionen heraus, deren Zweck immer stärker der systematischen Produktion von Wissen diente (Burke, 2001, 45ff.; Fara, 2010, 165ff.; Harari, 2013, 299ff.). Vor allem die seit dem Mittelalter bestehenden Universitäten erlebten in der Folge einen massiven Aufschwung und bildeten künftig einen der Grundsteine für die wissenschaftliche und die industrielle Revolution (Braun, 2006, 64f.; Burke, 2001, 52ff.).

In deren Zentrum stand zunehmend dieses neue Denken, das dem Fortschritt verpflichtet und von der Überzeugung durchdrungen war, dass Gewissheit nicht durch Glauben errungen werden kann, sondern allein durch Vernunft und systematische Versuche (Fara, 2010, 225ff.; Fischer, 2001, 48ff.).⁴ Dieses Denken war ein genuin Europäisches. Es gibt auch keinen bestimmten Ort, an dem es isoliert entstanden wäre. Europa selbst ist dieser Ort: Nikolaus Kopernikus etwa war Pole, Francis Bacon und Isaac Newton waren Engländer, Paracelsus, Johannes Kepler und Gottfried Wilhelm Leibniz waren Deutsche, Galileo Galilei und Evangelista Torricelli waren Italiener und René Descartes und Blaise Pascal waren Franzosen (vgl. Rossi, 1997).

Bezeichnend für diese Entwicklung ist auch die zunehmende Förderung der Wissenschaften durch die europäischen Fürstenhäuser, ehrgeizige Mäzene oder wissenschaftliche Gesellschaften (vgl. Burke, 2001, 55f., 58ff., 149ff.). Nicht zuletzt

war auch der internationale Handel von großer Bedeutung für den Fortschritt der Wissenschaften: Einerseits stimulierte er den globalen Austausch von Rohstoffen, Produkten, Tieren und Pflanzen, aber auch von technischen Fertigkeiten und Wissen, andererseits finanzierte er internationale Entdeckungsreisen, deren Erkenntnisse von unschätzbarem Wert für die wissenschaftliche Forschung waren (Fara, 2010, 103).

Eine zentrale Innovation, die am Beginn der in der Folge sich entwickelnden Wissensgesellschaft stand, war der Buchdruck (Lipsey et al., 2006, 175ff.; Burke, 2001, 20; Landes, 1999, 51f.). Dieser revolutionierte die Art, wie Wissen dokumentiert und vervielfältigt werden konnte. Damit veränderte sich aber vor allem auch die Möglichkeit der Verbreitung von Wissen (Burke, 2001, 96f.). Und diese war eine der fundamentalen Voraussetzungen für die gegenwärtige „Explosion des Wissens“ (Burke, 2014) sowie die Etablierung unseres heutigen wissenschaftlichen Wissenssystems: Es basiert auf der Grundlage früherer Erkenntnisse, auf denen es aufbauen und sich weiterentwickeln kann. Dieses Prinzip führt zu einem beständigeren Fortschritt als die frühere unsystematische Herangehensweise und bildet bis heute eine der zentralen Voraussetzungen der modernen Wissenschaften sowie der Wissensgesellschaft

⁴ Der Glaube an einen permanenten Fortschritt ist seit seiner Entstehung von Kritik begleitet. Zum Ende der Renaissance zweifelt Michel de Montaigne in seinen *Essais* (1572–1587) als einer der Ersten am Fortschrittsglauben, der sich in Europa etablierte. Jean-Jacques Rousseau greift einen zentralen Gedanken Montaignes auf, demzufolge die Kultur auf Dauer die Natur zerstört, und fordert in seiner *Abhandlung über den Ursprung und die Grundlagen der Ungleichheit unter den Menschen* (1755) im Wesentlichen ein „Zurück zur Natur“. In dieser Tradition steht auch Friedrich Nietzsche, der in seiner *Fröhlichen Wissenschaft* (1887) die Freiheit des Denkens jenseits wissenschaftlich-methodischer Zwänge auslotet, in *Der Antichrist* (1888) den Skeptiker als einzigen anständigen Typus in der Geschichte würdigt und in *Der Götzen-Dämmerung* (1889) sein Misstrauen an allen Systematikern zum Ausdruck bringt. Nietzsche wiederum war ein Vorbild für den Kulturphilosophen Oswald Spengler, dessen Hauptwerk *Der Untergang des Abendlandes: Umriss einer Morphologie der Weltgeschichte* (1918) eine nicht unbedingt optimistische Prognose der künftigen Entwicklung Europas nach den Erfahrungen des Ersten Weltkriegs formuliert. Mit seiner Schrift *Das Unbehagen in der Kultur* (1930) liefert Sigmund Freud schließlich eine der einflussreichsten kulturkritischen Schriften des 20. Jahrhunderts. Zuletzt hat vor allem die Sozial- und Kulturanthropologie die Auffassung eines teleologischen Verlaufs der Geschichte hin zu einer stetig verbesserten Zukunft in Frage gestellt (vgl. Sahlins, 1972, 1ff.; Harris, 1990, 7f.).

(vgl. Acemoğlu/Robinson, 2012, 215; Burke, 2001, 20ff.; Lipsey et al., 2006, 181). Am Beispiel des Buchdrucks lassen sich auch die Wechselwirkungen zwischen Innovationen und politischer Macht sowie der Instrumentalisierung und Kontrolle von Wissen sehr gut nachvollziehen (vgl. Burke, 2001, 139ff.). Es illustriert zudem auch die Interdependenz zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Regierung, die schließlich zu einem regelrechten Wettstreit um die Förderung wissenschaftlicher Erkenntnisse und technologischer Neuerung zwischen den europäischen Nationalstaaten führte (vgl. Harari, 2013, 330ff.). Die Rückkoppelung zwischen Wissenschaften, kapitalistischen Wirtschaftsstrukturen und den europäischen Herrschaftssystemen war in den darauf folgenden Jahrhunderten der Motor der Geschichte (Harari, 2013, 334). Vor allem die erfolgreichen Kolonialreiche des 19. Jahrhunderts unterstützten ganz massiv und gezielt die wissenschaftliche Forschung in der Hoffnung auf nützliche technologische Innovationen (Harari, 2013, 432).

Heute bilden die Wissenschaften das Rückgrat der modernen Welt, doch ihre Rolle konnten sie nur im Zusammenspiel mit „Industrie, Wirtschaft, Militär, Regierung und Gesundheitssystem“ (Fara, 2010, 165) zur vollen Entfaltung bringen. Entscheidend dafür war die „Periode des Übergangs von den privaten Experimenten einiger wohlhabender und vornehmer Männer zu den öffentlichen Forschungsanstalten, der staatlichen Finanzierung und der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts“ (Fara, 2010, 165). Die wissenschaftliche und in deren Folge die industrielle Revolution veränderten das Leben der Menschheit auf bislang ungekannte Weise. Mit der Nutzung fossiler Energieträger wurde die Muskelkraft sukzessive durch Maschinenkraft ersetzt (Braun, 2010, 63). Die sozialen Verwerfungen, die aus der Erfindung der Dampfmaschine, einer zunehmenden Mechanisierung aller Produktionsprozesse, der Ermöglichung der Massenproduktion in Fabriken, dem gesteigerten Gütertransport durch die Eisenbahn sowie schließlich der Elektrifizierung resultierten, sind in ihrer Dramatik einzigartig in der Menschheitsgeschichte und bestenfalls mit den einschneidenden

020

Veränderungen der Lebensbedingungen nach der neolithischen Revolution vergleichbar (vgl. Hobsbawm, 1996, 38ff., Landes, 1999, 186ff.).

Vor allem die Ablösung der alten, auf menschlicher und tierischer Muskelkraft basierenden Energiesysteme durch neue, fossile, später atomare und heute zunehmend erneuerbare bewirkte eine energetische Wende und einen fundamentalen Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft. Unsere heutige Zivilisation ist gänzlich auf der Nutzung von Energie aufgebaut: Von der Landwirtschaft über den produzierenden Sektor oder die Mobilität bis hin zu Geräten des täglichen Bedarfs wie Kühlschrank, Wasch- oder Geschirrspülmaschine sind wir auf „Energiesklaven“ (Dürr, 2010, 72ff.) angewiesen, die von außen zugeführte Energie umwandeln, um dem Menschen Arbeit abzunehmen. Lag die Energienutzung vorindustrieller Agrargesellschaften bei jährlich rund 600 Watt pro Person, stieg sie in den heutigen Industrieländern auf 4.750 Watt (Glaser, 2013, 33). „Der globale Energiebedarf der Menschen liegt heute ungefähr eine Million Mal höher als vor 10.000 Jahren. Dabei haben 60 Prozent dieses gewaltigen Anstiegs in den letzten 50 Jahren stattgefunden. [...] Die historische Wurzel dafür ist in der industriellen Revolution zu suchen.“ (Glaser, 2013, 33)

Vor allem die Überwindung der Malthusianischen Falle – jener von Thomas Robert Malthus in seinem Aufsatz *The Principle of Population* (1798) postulierte quasi naturgesetzliche Zyklus, in dem die Bevölkerungszahlen unweigerlich immer schneller wachsen als das verfügbare Angebot an Nahrungsmitteln, was wiederum zwangsweise zu einer fortschreitenden Verelendung der Bevölkerung durch Krankheit und Seuchen führt und damit die Bevölkerungszahlen schließlich wieder reduziert –, aber auch der allmähliche und kontinuierliche Anstieg der Lebenserwartung sowie die bis dahin kaum für möglich gehaltene Zunahme des Wohlstands sind prominente Merkmale dieser Entwicklung (vgl. Braun 2006, 63ff; Landes, 1999, 186ff.). Lebten im Jahr 1500 rund 500 Millionen und um 1800 rund eine Milliarde Menschen auf der Erde, sind es heute bereits mehr als sieben Milliarden. Während im Jahr 1500 auf

der ganzen Welt Waren und Dienstleistungen im Wert von umgerechnet rund 250 Milliarden US-Dollar produziert wurden, sind es heute knapp 60 Billionen. Der Energieverbrauch stieg im selben Zeitraum von 13 Billionen Kalorien pro Tag auf 1.500 Billionen. „14-mal so viele Menschen produzieren 240-mal so viel und verbrauchen dabei 115-mal so viel Energie.“ (Harari, 2013, 301)

Mit der Industrialisierung und dem Bevölkerungswachstum setzte auch ein bis heute fortlaufender Prozess der Urbanisierung ein. Um 1800 bestand die Welt noch aus einer Ansammlung ländlich-agrarischer Gesellschaften, in denen der überwiegende Teil der Bevölkerung in der Landwirtschaft arbeitete (vgl. Reiterer, 2010, 90). Global gesehen lebten damals nur rund drei Prozent der Bevölkerung in Städten (vgl. Bähr, 1997, 9ff.). Die Effizienzsteigerungen der Landwirtschaft machten es möglich, immer mehr Menschen von der Subsistenzwirtschaft zu befreien und ihre Arbeitskraft in den neu entstehenden industriellen und urbanen Zentren einzusetzen. Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht absehbar: Um 1950 etwa lebten 28,8% der Weltbevölkerung in Städten, gegenwärtig sind es bereits mehr als fünfzig Prozent und bis 2050 soll dieser Anteil nach Schätzungen der UNO (2013) auf knapp siebzig Prozent ansteigen. Mit der Urbanisierung ging allerdings auch eine Verlagerung der Armut vom Land in die Stadt einher, und in den entstehenden Fabriken, für die kontinuierlich mehr Arbeitskräfte gebraucht wurden, konzentrierte sich ein neu entstandenes Lohnarbeiterproletariat (Hobsbawm, 1996, 47ff.; Ziegler, 2005, 46). Daraus resultierten laufend soziale Probleme mit wiederkehrenden Arbeiterunruhen und sozialreformerischen Reaktionen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann. Faktum ist allerdings auch, dass die industrielle Revolution samt ihren gesellschaftspolitischen Problemen zur Schaffung der europäischen Wohlfahrtsstaaten geführt hat – mit dem Ergebnis, dass die Durchschnittsbürger der heutigen Industriestaaten besser leben und einen weit höheren Lebensstandard haben als Monarchen vor zweihundert Jahren, wie der Historiker Eric Hobsbawm (2000; 1996, 297f.) feststellte (vgl. Harris, 1990, 9).

022

Mit der wissenschaftlichen und industriellen Revolution begann auch – so der britische Historiker John Darwin in seinem Buch *Der Imperiale Traum* (2010) – die weltweite Dominanz Europas. Noch im Jahr 1750 zeichnete Asien für achtzig Prozent der Weltwirtschaft verantwortlich, wobei China und Indien zusammen annähernd zwei Drittel der weltweiten Wirtschaftsproduktion stellten (Harari, 2013, 341; Darwin, 2010, 188). Europas Anteil hingegen wuchs zwischen 1750 und 1900 auf über sechzig Prozent. Diese Steigerung ging zu einem Gutteil von Großbritannien aus, dessen Anteil an der weltweiten Produktion sich von knapp zwei Prozent im Jahr 1750 auf über 18% im Jahr 1900 fast verzehnfachte. Noch mehr legten die USA zu, deren Anteil in diesem Zeitraum von 0,1% auf 23% stieg. Damit wurde die Weltwirtschaft zum Ende des 19. Jahrhunderts fast vollständig vom Westen dominiert, und auch das globale Machtzentrum verlagerte sich zusehends nach Europa. Im Jahr 1900 beherrschte Europa unangefochten die Weltwirtschaft und den größten Teil der Erde (Harari, 2013, 341; Darwin, 2010, 156ff.). Als Begründung wird meistens der wissenschaftlich-militärisch-industrielle Komplex genannt, der sich in Europa zu dieser Zeit etablierte (vgl. Fara, 2010, 165; Harari, 2013, 342; Morris, 2010, 498ff.). In *The Great Divergence* (2000) beschreibt der Historiker Kenneth Pomeranz die daraus folgende divergente Entwicklung Europas, die schließlich – basierend auf der neuen, „aufgeklärten“ und rationalen Weltsicht, der daraus resultierenden wissenschaftlichen und industriellen Revolution und einer auf den Vorteilen der industrialisierten Produktion aufbauenden sowie durch militärische Interventionen gestützten Ausweitung des Handelsvolumens – zu einer globalen Verschiebung der Machtverhältnisse führte. Europa und später die USA erlebten einen ungeheuren Wirtschaftsaufschwung, sodass der Anteil an der weltwirtschaftlichen Produktion aller übrigen Länder stark zurückging. Davon waren vor allem China und Indien stark betroffen: Der Anteil Chinas an der weltweiten wirtschaftlichen Produktion ging bis 1900 auf rund fünf Prozent zurück. Indien, das lange Zeit als Textilwerkstatt der Welt fungierte, stürzte auf unter zwei Prozent ab (vgl. Darwin, 2010, 181ff.).

Rund zweitausend Jahre lang war China die größte Wirtschaftsmacht der Welt gewesen (vgl. Kang, 2012). Diese Position büßte es bis zum Ende des 19. Jahrhunderts völlig ein. Den Grund dafür sieht der britische Ökonom Angus Maddison in seiner OECD-Studie „Chinese Economic Performance in the Long Run“ (2007) in der zunehmend isolationistischen und rückwärtsgewandten Politik Chinas seit dem 17. Jahrhundert (vgl. Diamond, 1997, 411ff.; Landes, 1999, 335ff.; Morris, 2010, 476ff.). Dadurch kam der kulturelle und technologische Austausch mit anderen Ländern zum Erliegen, was eine allmähliche Abkoppelung von technologischen Innovationen außerhalb des Reichs bewirkte. Folglich gibt es auch keine Anzeichen dafür, dass die chinesische Wirtschaft sich zu irgendeinem Zeitpunkt in Richtung Mechanisierung weiterentwickelt hätte (vgl. Acemoğlu/Robinson, 2012, 231). So blieben sowohl die Landwirtschaft als Schlüsselsektor der chinesischen Wirtschaft als auch das produzierende Gewerbe auf menschliche Arbeitskraft angewiesen. Längerfristig konnten die dadurch entstandenen Wettbewerbsnachteile gegenüber Europa nicht mehr kompensiert werden. Die wirtschaftliche Abwärtsspirale hatte weitreichende Folgen für die chinesische Gesellschaft.

Zunächst waren die europäischen Initiativen, den chinesischen Markt für den Handel zu öffnen, wenig erfolgreich. Noch 1793 beschied Kaiser Qianlong dem englischen Gesandten George Macartney mit Bestimmtheit, dass das Reich der Mitte selbst alle Dinge besitze und daher keinerlei Interesse am Import ausländischer Waren bestünde, weshalb er das englische Angebot eines Handelsabkommens brüsk zurückwies (vgl. Morris, 2010, 484). China verblieb damit noch einige Zeit in vornehmer Isolation. Dieser Isolationismus offenbarte schließlich jedoch die schwache Anpassungsfähigkeit der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Strukturen Chinas. Der Versuch, sich gegen das durch die Industrialisierung zunehmend erfolgreichere Ausland und seine Freihandelspolitik zu wehren, scheiterte. In den beiden Opiumkriegen (1839–1842 bzw. 1856–1860) setzte Großbritannien die Öffnung gewaltsam durch. Dies mündete in der

024

Demütigung der „Ungleichen Verträge“, die eine Beseitigung aller Handelsschranken oktroyierten: China wurde gezwungen, seinen Wirtschaftsprotektionismus aufzugeben und sich den Handelsinteressen der Europäer zu öffnen. In weiterer Folge führte die damit angestoßene Entwicklung zum Zusammenbruch der seit zwei Jahrtausenden bestehenden Monarchie, zu langwierigen blutigen Bürgerkriegen sowie zur Besetzung des Landes durch fremde Mächte wie Großbritannien, Frankreich, Russland, Deutschland und Japan (vgl. Darwin, 2010, 260ff., 332ff.). Am Ende dieser über ein Jahrhundert andauernden Turbulenzen lag die chinesische Wirtschaft in Trümmern: Das Pro-Kopf-Einkommen stürzte weit unter den weltweiten Durchschnitt ab. Bis zum Jahr 1952 fiel es sogar unter das Niveau von 1820 und machte China zu einem der ärmsten Länder der Welt (vgl. Acemoğlu/Robinson, 2012, 234; Maddison, 2007, 43). Diese Abwärtsspirale fand erst in den 1950er Jahren ein Ende, und mit Deng Xiao Ping erfolgte 1978 der Weg aus der Isolation, womit ein höchst erfolgreicher Wiederaufstieg einsetzte (vgl. Zakaria, 2009).

Während Europa also seit der Aufklärung zukunftsgewandte Denksysteme und Institutionen für wissenschaftliches Lernen etablierte, fehlten derartige Einrichtungen, wie Schulen, Universitäten, Akademien oder Gelehrtenesellschaften, in China weitgehend (Landes, 1999, 343). Stattdessen behinderte die auf dem konfuzianischen Bildungssystem basierende Bürokratie die Entwicklung von Innovationen (Maddison, 2007, 17, 27). Und während sich in Europa allmählich der Glaube an einen Fortschritt der Menschheit und ein durch technische Neuerungen begründetes besseres Leben in der Zukunft herausbildete (Fara, 2010, 227ff.; Fischer, 2001, 48ff.), suchten chinesische Intellektuelle Antworten in Überlieferungen und alten Texten (Landes, 1999, 343; Morris, 2010, 481). Schließlich bauten chinesische Wissenschaftler kein dem europäischen vergleichbares, wissenschaftliches Wissenssystem auf, in dem Erkenntnisse oder technologische Neuerungen systematisch dokumentiert und verbreitet werden, um darauf aufbauend neue Erkenntnisse oder technologische Innovationen zu entwi-

ckeln – als Konsequenz daraus fielen bedeutende Erfindungen in China immer wieder dem Vergessen anheim (Landes, 1999, 343).

So waren es schlechterdings nicht technologische Fähigkeiten oder das Wissen, das den Chinesen oder anderen Völkern fehlte. Was fehlte, waren vielmehr innovationsfördernde Denkweisen und -systeme sowie soziale, politische oder wirtschaftliche Strukturen und Institutionen, die in Europa über Jahrhunderte gewachsen waren und sich andernorts nicht so einfach kopieren oder verinnerlichen ließen (Acemoğlu/Robinson, 2012, 70ff.; Harari, 2013, 344f.). Und diese basierten auf einem aufgeklärten, wissenschaftlich fundierten Weltbild, das sich seit der Neuzeit herausgebildet hatte (Fara, 2010, 165ff., 224ff.; Harari, 2013, 345; Landes, 1999, 276ff.).

Diesen Zusammenhang beschrieb der österreichische Ökonom Joseph Schumpeter in seiner „Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“ (1912) folgendermaßen: Die Durchsetzung einer technischen Neuerung basiert nicht allein auf der Überlegenheit einer Erfindung. Der Innovationsprozess ist keine einfache lineare Abfolge von Erfindungen, von fertigen Produkten oder Prozessen, sondern ein komplexes Zusammenspiel zwischen wissenschaftlichen, technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Einflussgrößen. Er ist somit nicht nur ein technischer Vorgang – so wichtig dieser ist –, sondern nicht zuletzt auch ein sozialer Prozess. Bei diesem müssen immer wieder Vorbehalte, Bedenken oder Ängste überwunden werden. Die Transformation einer technischen Neuerung in einen gesellschaftlichen Prozess, der zu einer positiven Bewertung bei Anwendern, Finanziers und politischen Entscheidungsträgern führt, ist eine Herausforderung, an der Innovationen häufig auch scheitern (Bauer, 2006, 316). Die Erfindung allein ist also noch keine Innovation. Innovationen benötigen immer einen gewissen Vorlauf, in dem Ideen oder Erfindungen in neue Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren umgesetzt und erfolgreich angewendet werden, bis sie letztlich den Markt durchdringen und massenhaft Verwendung finden. Als exemplarisch für diesen langwierigen, oftmals disruptiven Prozess gelten die grundlegenden Erfindungen und

026

Entwicklungen Thomas Alva Edisons in den Bereichen Elektrizität und Beleuchtung – von den ersten Anfängen als Erfinder in den 1860er Jahren über die Elektrifizierung New Yorks und die Einführung der elektrischen Beleuchtung in den 1880ern bis zur umfassenden Elektrifizierung der industrialisierten Welt um 1900 (vgl. Baldwin, 2001). Dabei wird ein spezifisches Entwicklungsmuster technologischer Innovationen evident: Zunächst wird massenhaft in eine neue Technologie investiert und damit ein Aufschwung hervorgerufen. Mit der zunehmenden Etablierung dieser Technologie und ihrer Durchsetzung als *General Purpose Technology* verringern sich die Investitionen, und es kommt mittel- bis langfristig zu einem Abschwung. In der Zeit des Abschwungs wird bereits an alternativen Technologien gearbeitet und damit ein neues Paradigma vorbereitet. Schumpeter prägte für diese wellenförmigen Entwicklungsmuster technologischer Paradigmenwechsel und deren Auswirkungen auf die Weltwirtschaft den Begriff der Kondratjew-Zyklen (Schumpeter, 1939, 172ff.).⁵

In seinem Erklärungsmodell für den Evolutionsprozess weltweiter Konjunkturzyklen übernahm Schumpeter die *Theorie der langen Wellen* des russischen Wirtschaftswissenschaftlers Nikolai Kondratjew. Die Basis für den beobachtbaren zyklischen Verlauf der globalen Wirtschaftsentwicklung sind demnach grundlegende technische Innovationen – von Schumpeter als „Basisinnovationen“ bezeichnet –, die zu einer Umwälzung in Produktion und Organisation führen. Ausschlaggebend ist dabei allerdings nicht die Entdeckung einer Basisinnovation, sondern deren massenhafte Verbreitung,

⁵ Der erste Kondratjew-Zyklus von ca. 1780 bis 1840 wurde durch die Erfindung der Dampfmaschine ausgelöst und von der industriellen Revolution begleitet. Der zweite Zyklus von ca. 1840 bis 1890 basierte auf der Entwicklung der Eisenbahn und der Dampfschifffahrt. Der dritte Zyklus von ca. 1890 bis 1940 wurde durch die Elektrifizierung und den Verbrennungsmotor gekennzeichnet. Der vierte Zyklus von ca. 1940 bis 1990 wurde von Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrttechnik und Kunststoffindustrie bestimmt. Der aktuelle, mit 1990 einsetzende fünfte Kondratjew-Zyklus wird durch die Innovationen in der Informations- und Telekommunikationstechnologie sowie der Biotechnologie geprägt (vgl. Duden, 2013). Einige Analysten erkennen bereits Anzeichen für einen neuen, sechsten Kondratjew-Zyklus, dessen Antriebsmotor die Basisinnovationen in der Biotechnologie und der psychosozialen Gesundheit sind (Nefiodow/Nefiodow, 2014).

die einen technologischen Paradigmenwechsel und einen damit korrelierenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Wandel bewirkt (Schumpeter, 1939, 213ff.).

Innovation ist somit immer auch ein Bruch mit bisherigen Paradigmen und Gewohnheiten und ein Prozess, in dessen Verlauf Bekanntes oder Etabliertes durch Neues ersetzt wird. Dies kann durch inkrementelle Verbesserungsprozesse ebenso wie durch radikale, disruptive Innovationen und revolutionäre Veränderungen gleichermaßen geschehen. Schumpeter brachte das mit dem Bild des Sturms der schöpferischen Zerstörung zum Ausdruck (Schumpeter, 1912, 157). Dieser führte bisweilen zu verzweifelten Wettrennen, da sich etablierte Technologien nicht so leicht verdrängen lassen – Postkutschen gegen Eisenbahnen, Segelschiffe gegen Dampfschiffe, Ochsenpannen gegen Traktoren oder Petroleumlampen gegen Glühbirnen, um nur einige Beispiele zu nennen. Dieser Wettstreit ist entscheidend für die weitere wirtschaftliche Entwicklung und ein Motor der Geschichte.

DIE GESTALTUNG DER ZUKUNFT: MÖGLICHE ENTWICKLUNGSLINIEN UND NOTWENDIGE VORAUSSETZUNGEN

Die Geschichte der Menschheit ist – so wurde eingangs erwähnt – zugleich auch die Geschichte einer Kette immer schneller aufeinander folgender Innovationen. Und dieser Prozess ist heute weder abgeschlossen, noch ist dessen weiterer Verlauf absehbar. Der dänische Physiker und Nobelpreisträger Niels Bohr soll einmal gesagt haben, dass „Vorhersagen [...] schwierig [sind], besonders wenn sie die Zukunft betreffen“. Trotzdem wagen Zukunftsforscher immer wieder Prognosen. Die meisten von ihnen gehen davon aus, dass die rezenten krisenhaften Entwicklungen die Notwendigkeit eines globalen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umbruchs aufzeigen (vgl. Androsch/Gadner, 2013, 256ff.; Morris, 2010, 598ff.).

Der bereits einsetzende grundlegende Wandel, der als „dritte industrielle Revolution“ (Rifkin, 2011) bezeichnet wird, basiert auf den Folgen der „Vernetzung der Welt“

(Schmidt/Cohen, 2013) durch die Digitalisierung und deren Zusammentreffen mit erneuerbaren Energiesystemen und intelligenten Produktionsweisen, die unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ zusammengefasst werden (vgl. Bauernhansl et al., 2014; Marsh, 2012). Die Idee der dritten und vierten industriellen Revolution deutet zwar an, dass technologische Innovationen für die Zukunft der Menschheit eine zentrale Rolle spielen werden. Gleichzeitig impliziert sie aber auch soziale Innovationen sowie die notwendige Neugestaltung einer Vielzahl von zusammenhängenden politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Prozessen (vgl. Anderson, 2012; Rothkopf, 2012).

Als Folge dieser Umwälzungen prognostiziert der US-amerikanische Zukunftsforscher Jeremy Rifkin (2011) ein neues ökonomisches und gesellschaftliches Paradigma, das weitreichende soziale Konsequenzen nach sich zieht. Neben der Veränderung der Gesellschaftsstrukturen, die demokratischer und weniger hierarchisch sein sollen, werden die geänderten Produktionsbedingungen durch zunehmend automatisiert ablaufende Prozesse massive Auswirkungen auf das Arbeitsleben haben. Dabei spielen vor allem auch die Fortschritte im Bereich der künstlichen Intelligenz eine zentrale Rolle (vgl. Anderson, 2012; Marsh, 2012).

Das renommierte Wissenschaftsjournal *Science* veröffentlichte Anfang Oktober 2014 eine Sonderbeilage zum Thema „The social life of robots“. Darin werden die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Artificial Intelligence (AI) zusammengefasst, und es werden mögliche Implikationen der Automatisierung intelligenten Verhaltens abgeleitet. *Science* zufolge ist die Robotik mittlerweile so weit fortgeschritten, dass es möglich ist, eine Form manipulativer Intelligenz zu generieren, die auf Basis der künstlichen Informationsverarbeitung und mithilfe von Sensoren und Aktoren eine quasi intelligente Interaktion mit der physischen Umwelt ermöglicht. Der Grundgedanke dabei ist es, Systeme zu schaffen, die intelligente Verhaltensweisen von Lebewesen nachvollziehen können (Science, 2014, 182f.).

So können Roboter heute schon grundlegende menschliche Sinnesempfindungen in verschiedensten Kontexten flexibel anwenden: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten oder Balancehalten sind seit einigen Jahren im Einsatz (Science, 2014, 184f.). Eher neueren Datums ist hingegen die informationstechnologisch fundierte Fähigkeit des „deep learning“, die Roboter mittels eines einprogrammierten Feedback-Systems dazu befähigt, aus bislang zumeist visuellen Eindrücken und Erfahrungen zu lernen und auf dieser Basis ihr Verhalten anzupassen (Science, 2014, 186f.; vgl. The Economist, 2015, 17f.).

Mit Hilfe von Robotern können heute schon potenziell gefährliche Tätigkeiten, wie das Aufspüren undichter Gasleitungen, die Beseitigung von Geröll nach Naturkatastrophen sowie die Rettung von Personen aus eingestürzten oder brennenden Häusern, oder auch immer gleich ablaufende Prozesse und Manipulationen wie etwa Schweißen, Lackieren etc. hervorragend automatisiert werden. Doch auch komplexere Aufgaben wie das Abfassen von datenbasierten Kurznachrichten, das Durchführen repetitiver Labortests in der Forschung oder die Arbeit als Chauffeur werden laut *Science* (Science, 2014, 190f.) durchaus bereits heute von Robotern übernommen.

Die mögliche zukünftige Entwicklung dieser komplexen Systeme kann allerdings auch Horrorszenarien hervorbringen – so zum Beispiel die unkontrollierbare Verselbständigung der allen diesen Prozessen zugrundeliegenden Artificial Intelligence (vgl. The Economist, 2015, 9). So warnt etwa der Physiker Stephen Hawking davor, dass die weitere Entwicklung der AI zur Entstehung eines Bewusstseins der Maschinen führen und damit letztlich das Ende der Menschheit bedeuten könnte (The Guardian, 2014; vgl. Morris, 2010, 617f.). Auch wenn diese Gefahren nicht gänzlich in den Bereich der Science-Fiction abgeschoben werden können und die Bedenken der Kritiker ernst genommen werden müssen, so überwiegen aus heutiger Sicht doch die unterschiedlichsten Nutzenaspekte (The Economist, 2015, 9).

030

Jedenfalls birgt die Verschmelzung von neuen Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien mit der synthetischen Biologie, wie sie etwa im Bereich der Biorobotics bereits angewendet wird, das Potenzial für völlig neue Entwicklungen (Science, 2014, 196ff.). Die darauf aufbauende mögliche Verschmelzung von Mensch und Maschine wird in der Philosophie als Transhumanismus oder technologische Singularität bezeichnet. Der MIT-Professor Ray Kurzweil prognostiziert in seinem Buch *Menschheit 2.0. Die Singularität naht* (2013) als realistische mögliche Konsequenz dieser biotechnologischen Evolution nicht nur einen grundlegenden Wandel unseres Menschenbildes, sondern einen Bruch in der Struktur der Geschichte der Menschheit. Diese Entwicklung wird naturgemäß auch Implikationen für die Verfasstheit von Gesellschaften und vor allem für die Strukturen der Arbeitswelt der Zukunft haben (vgl. Anderson, 2012; Marsh, 2012). Diese These wurde von den beiden MIT-Professoren Eric Brynjolfsson und Andrew McAfee in ihren Büchern *Race Against the Machine* (2011) und *The Second Machine Age* (2014) näher untersucht. Demnach führt der technologische Fortschritt letztlich dazu, dass wissensbasierte Ökonomien ihre Produktivität losgelöst von der menschlichen Arbeitsleistung steigern können. Dadurch stagniert – wie in den meisten OECD-Ländern seit einigen Jahren erkennbar ist – die Zahl der Arbeitsplätze, während gleichzeitig die Produktivitätsrate weiter steigt. Global erfolgreiche Unternehmen zeigen bereits heute vor, wie mit wenigen hundert Mitarbeitern gewaltige Umsätze erwirtschaftet werden. Von den Auswirkungen sind daher nicht nur die vielzitierten KassiererInnen betroffen, die durch den Einsatz von Self-Service-Terminals sukzessive von den Kassen der Supermärkte verdrängt werden, sondern längerfristig auch spezialisierte Fachkräfte, die durch intelligente industrielle Roboter ersetzt werden. Auch sogenannte WissensarbeiterInnen sind nicht davor gefeit, dass AI-Systeme ihnen die Arbeitsplätze streitig machen (vgl. The Economist, 2015, 20). Bereits heute konkurrieren Übersetzungsprogramme mit gut ausgebildeten Übersetzern, werden IT-Expertinnen oder Mathematiker mit akade-

mischem Abschluss von Algorithmen für die automatisierte Datenanalyse ersetzt – letzteres ist vor allem im Zusammenhang mit dem weltweiten Megatrend „Big Data“ ein hochaktuelles Thema (Mayer-Schönberger, 2013).⁶

Zwar wird aller Voraussicht nach in näherer Zukunft vor allem die Diskrepanz zwischen dem Verlust der Arbeit und einem gleichzeitigen Mangel an qualifizierten Arbeitskräften mit geänderten und sich immer rascher verändernden Anforderungsprofilen ein zentrales Thema sein. Denn während in etlichen Industrieländern die Zahl der Arbeitsplätze stagniert oder bisweilen sogar dramatisch zurückgeht, fehlen in anderen zunehmend hochqualifizierte Fachkräfte, die den heute notwendigen Anforderungsprofilen der Wirtschaft entsprechen (vgl. OECD, 2012). In etwas fernerer Zukunft wird jedoch – sofern die Apologeten des Aufstiegs der Roboter recht behalten – der Unterschied zwischen qualifizierten und unqualifizierten Arbeitskräften bzw. Jobs von zunehmend geringerer Bedeutung sein. Wenn es dazu kommen sollte, resultiert daraus jedenfalls eine weitere Entkoppelung von Produktivität und (menschlicher) Arbeit (vgl. Morris, 2010, 597f.).

Folgt man dem vom britischen Wirtschaftshistoriker Robert Skidelsky in seinem Essay *The Rise of the Robots* (2013) entwickelten Gedanken, ergibt sich aus dieser Entwicklung zwangsläufig eine soziale Revolution, die eine Neudefinition des Arbeitsbegriffs notwendig macht. Auch der deutsche Soziologe Wolfgang Engler hat in seinem Buch *Bürger, ohne Arbeit* (2005) darauf hingewiesen, dass es im Zeitalter der dritten industriellen, digitalen Revolution unumgänglich sein wird, sich mit der Tatsache des Verschwindens der Arbeit und den daraus resultierenden Implikationen auseinanderzusetzen. Skidelsky und Engler geht es vor allem darum zu fragen, wie Gesellschaften funktionieren können, in denen große Teile der Bevölkerung aus dem

⁶ Vgl. auch President's Council of Advisors for Science and Technology (2014): *Big Data: Seizing Opportunities, Preserving Values*. Executive Office of the President.

032

Erwerbsprozess ausgeschlossen sind. Da aufgrund der zu erwartenden Veränderungen der Produktionsbedingungen Vollbeschäftigung heute kein ernstzunehmendes politisches Ziel mehr sein kann, muss man sich vom Prinzip eines Rechts auf Arbeit verabschieden. Vielmehr geht es in Zukunft darum, über ein Recht auf Einkommen nachzudenken und Möglichkeiten zu erörtern, die durch den maschinellen Fortschritt und die Automatisierung gewonnene Freizeit besser zu nutzen und persönliches Selbstwertgefühl sowie gesellschaftliche Anerkennung und Wertschätzung auch außerhalb von klassischen Arbeitsprozessen zu gewährleisten (vgl. Rifkin, 2004).

Ob der Menschheit tatsächlich die Arbeit ausgehen wird, kann allerdings mit Blick auf die Vergangenheit und insbesondere die Folgen der wissenschaftlichen und industriellen Revolution auch bezweifelt werden. Die beschleunigte Entwicklung von Technik, Produktivität und Wissenschaften seit dem 18. Jahrhundert führte zwar zu einer Bevölkerungsexplosion, gleichzeitig entstanden aber auch laufend neue Arbeitsplätze in bislang ungekanntem Ausmaß (vgl. Braun, 2010, 63ff.). Und obwohl unzählige Berufe mit der Zeit verschwunden sind (vgl. Palla, 2014), ist der Arbeitsgesellschaft bis dato die Arbeit nicht ausgegangen. Dies belegen nicht zuletzt der weitere Anstieg der globalen Erwerbsquoten (vgl. OECD, 2014) sowie auch beispielsweise der aktuelle und akute Mangel an IT-Fachkräften in Deutschland (Frankfurter Allgemeine Zeitung, 2015).

Im Gegenteil wird es wohl auch künftig Arbeit geben. Sie wird anders sein und bei beschleunigtem Tempo der Veränderungen neue Anforderungsprofile mit sich bringen sowie andere Qualifikationen erfordern. Dem Soziologen Richard Sennett (2006) zufolge wird es eine Arbeitswelt sein, in der es immer weniger Lebensjobs gibt und immer mehr Flexibilität gefordert wird. Diese Entwicklung wird vielfache Antworten vor allem und zuvorderst im Bildungs- und Erziehungs-, im Aus- wie im Weiterbildungsbereich erfordern, aber auch im Rechtssystem sowie im sozialstaatlichen Bereich. Ähnlich sieht das auch Jeremy Rifkin in seinem Buch *Das Ende der Arbeit und ihre Zukunft* (2004). Folglich ist die Ausrichtung der heutigen politischen Aktivitäten

zu sehr strukturkonservierend, auf den Status quo und zurückliegende Gegebenheiten fixiert. Daraus entsteht zunehmend die Gefahr der Spaltung der Gesellschaften in Modernisierungsgewinner und -verlierer sowie – damit verbunden – die Gefahr von populistischem Extremismus an den Rändern des politischen Geschehens.

Ob die Zukunft das Ende der Arbeit oder das Ende der Menschheit und deren Ersatz durch intelligente Maschinen bringen wird, kann naturgemäß nicht vorhergesagt werden. Heute leben wir jedenfalls auf dem Höhepunkt des von einigen Wissenschaftlern so bezeichneten Anthropozän (vgl. Crutzen/Stroemer, 2000). Damit wird das Zeitalter beschrieben, in dem der Mensch seit der wissenschaftlichen und industriellen Revolution zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren auf die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse auf der Erde geworden ist (vgl. Glaser 2013, 33ff.). Seine daraus erwachsende Verantwortung nimmt der Mensch bis dato jedoch nur unzureichend wahr, was zu einer großen Bedrohung unseres Planeten geführt hat. Die Folgen sind allgegenwärtig: Der vom Menschen verursachte Klimawandel, die durch eine nie da gewesene Wirtschaftsproduktion verursachte Ressourcenknappheit, der in vielen Regionen der Welt weiterhin rasante Bevölkerungsanstieg, der ungebremste Energiehunger oder die teilweise bereits dramatische Verschmutzung der Ozeane, des Bodens und der Luft sind dafür nur einige der prominenten Beispiele (vgl. IEA, 2014; IPCC, 2014; SOER, 2015; UNEP, 2011a; UNEP, 2011b; UNO, 2013).

Bemerkenswert sind dabei vor allem Ausmaß und Geschwindigkeit des vom Menschen verursachten globalen Wandels. Besonders in den letzten fünfzig Jahren waren die menschlichen Eingriffe in die Natur so grundlegend und umfassend, dass sie einen bis dato beispiellosen Transformationsprozess eingeleitet haben, dessen Auswirkungen von globaler Dimension sind (vgl. Diamond, 2005, 486ff.):

„Die zentrale Frage ist dabei, inwieweit und in welchen Bereichen der Mensch das System Erde derart überstrapaziert, dass seine ureigene Existenzgrundlage, sein ‚Lebenssicherungssystem‘ – basierend auf sauberer Luft und

034

Trinkwasser, fruchtbarem Boden, einer vielfältigen Pflanzen- und Tierwelt, gesunder und ausreichender Nahrung, nachhaltiger Energieversorgung und Rohstoffsicherung – gefährdet ist. [...] Neben diese Versorgungs- treten ebenso drängende Entsorgungsfragen: Müll, Altlasten, devastierte Landstriche, *dead zones* in Meeren und Ozeanen, Smog und Feinstaubbelastung zählen zu den virulenten Auswüchsen der unangepassten Eingriffe und Begehrlichkeiten des Menschen. Infolgedessen sind der Verlust an Biodiversität, Klimawandel, Landschaftsdegradation, Desertifikation sowie die Veränderung der Stoffkreisläufe von Ozon, Kohlenstoff und Stickstoff zu drängenden Fragen unserer Zukunftsfähigkeit geworden.“ (Glaser, 2013, 7)

Faktum ist, dass unsere heutige Lebens- und Produktionsweise nicht nachhaltig ist und die Menschheit vor ungeahnte Herausforderungen stellt. Aus der Geschichte wissen wir, dass frühere Kulturen immer wieder an Wachstumsgrenzen gestoßen oder an ihren Produktionsweisen und Technologien gescheitert sind (vgl. Diamond, 2005; Harris, 1990). Die Überwindung der Wachstumsgrenzen und die Lösung der anstehenden Herausforderungen durch (technische) Innovationen sind der Menschheit immer wieder gelungen (vgl. auch Morris, 2010, 144ff.). Dabei wurden gescheiterte Technologien früherer Kulturen durch neue ersetzt und bestehende Wachstumsgrenzen überschritten (Harris, 1990, 8). Der große Unterschied zwischen den aktuellen Herausforderungen und jenen früherer Kulturen besteht darin, dass wir heute wissen, welche Probleme involviert sind und welcher Lösungen es bedarf (vgl. Morris, 2010, 621). Dafür sind nicht zuletzt die modernen Wissenschaften verantwortlich – und obwohl diesem Wissen auch ein entsprechendes Handeln folgen muss, scheint ein vorsichtiger Optimismus durchaus gerechtfertigt (vgl. Diamond, 2005, 525). Zwar ist die Stimme der Vernunft leise, wie Sigmund Freud erkannte, „aber“ – so schreibt er in *Die Zukunft einer Illusion* (1928, 32) – „sie ruht nicht, ehe sie sich Gehör geschafft hat. Am Ende, nach unzählig oft wiederholten Abweisungen, findet sie es doch. Dies ist einer

der wichtigsten Punkte, in denen man für die Zukunft der Menschheit optimistisch sein darf, aber er bedeutet an sich nicht wenig“.

„Die Zukunft ist offen“, so kommen der österreichische Verhaltensforscher und Nobelpreisträger Konrad Lorenz und der Philosoph Karl Popper in ihrem gleichnamigen, gemeinsam herausgegebenen Buch überein (Popper/Lorenz, 1985). Während unklar bleibt, welche Gestalt die Zukunft tatsächlich annehmen wird und welche der skizzierten Entwicklungen so oder ähnlich Realität werden, so ist doch klar, dass wir uns auf einen grundlegenden Wandel vorbereiten müssen. Um diesem Wandel angemessen begegnen zu können, bedarf es vor allem einer Sache: Bildung. Gut ausgebildete, selbständig denkende, kritische und kreative Köpfe sind Grundvoraussetzung für die Bewältigung der „Grand Challenges“ und der dafür erforderlichen technologischen und sozialen Innovationen. Es bedarf daher eines modernen Bildungssystems, das die Menschen optimal auf die neuen Herausforderungen vorbereitet. Um dies zu gewährleisten, ist energisches und zielstrebiges staatliches Handeln erforderlich.

Die Ökonomin Mariana Mazzucato argumentiert in ihrem Buch *The Entrepreneurial State* (2013), dass die Rolle des Staates entscheidend für die Herausbildung einer funktionierenden Innovationskultur ist. Gesetzliche und steuerliche Rahmenbedingungen sind dabei ebenso zentral wie das Bildungssystem oder Forschungsförderungsprogramme und Interventionsinstrumente. Ohne entsprechend förderliche staatliche Strukturen kann sich auch keine innovative unternehmerische Kultur etablieren. Im Gegenteil: Laut Mazzucato waren und sind nicht kreative Unternehmer und risikobereite Venture-Capitalists Motor der Entwicklung von technologischen Innovationen sowie dem daraus resultierenden wirtschaftlichen Aufschwung und Wohlstand, sondern ein aktiver Staat, der öffentliche Bildungsinstitutionen finanziert, Infrastrukturen auf- und ausbaut, die Grundlagenforschung fördert sowie Maßnahmen zur Unterstützung des Markteintritts junger wissensintensiver Unternehmen setzt. Beispiele dafür reichen von der Elektrifizierung bis zum Internet, deren Entstehung

und Ausbau ohne die öffentliche Hand so nicht zustande gekommen wären. Apples Erfolg etwa basiert auf Technologien, die fast zur Gänze durch die öffentliche Hand gefördert wurden (vgl. *The Economist*, 2013).

Ähnlich argumentieren auch der MIT-Ökonom Daron Acemoğlu und der Harvard-Politologe James Robinson in ihrem Bestseller *Warum Nationen scheitern* (2013). Demzufolge sind die von den Staaten gewählten Regeln und Institutionen dafür verantwortlich, ob Volkswirtschaften ihr innovatives Potenzial heben und damit die Grundlage für ihren wirtschaftlichen Erfolg legen. Wirtschaftswachstum wurde immer schon, aber heute in zunehmendem Ausmaß vom technologischen und organisatorischen Wandel sowie von Innovationen angetrieben, die auf Ideen, Begabungen, Kreativität und Energie der Individuen einer Gesellschaft basieren. Grundlage dafür sind einerseits entsprechende Anreizsysteme und andererseits inklusive Strukturen, die die Fähigkeiten und Begabungen möglichst vieler Mitglieder einer Gesellschaft fördern und damit das vorhandene Innovationspotenzial gezielt nutzen. Dazu bedarf es geeigneter Bildungseinrichtungen, aber auch förderlicher Rahmenbedingungen, wie beispielsweise gesicherter Eigentums- und Vertragsrechte, einer funktionierenden Justiz sowie eines freien Wettbewerbs. Nur dadurch kann sich der Großteil der Bevölkerung produktiv am Wirtschaftsleben beteiligen.

In seinem Buch *The Wealth and Poverty of Nations* (1999) zeigt der Wirtschaftshistoriker David Landes die eminente Bedeutung von Innovationen und der Weitergabe neuen Wissens für die gedeihliche Entwicklung von Volkswirtschaften auf. Auch wenn sein Ansatz nicht unumstritten ist und aufgrund seiner eurozentristischen Position sehr kontroversiell diskutiert wurde, so ist seine Analyse der Rolle wissenschaftlicher und technologischer Innovationen eine schlüssige Erklärung für den Wohlstand oder die Armut von Nationen in der Vergangenheit und in der gegenwärtigen Welt.

Die heute zu ziehenden Konsequenzen für politische Entscheidungsträger hat kürzlich der Chefökonom der Bank of England, Andrew Haldane, in einer Rede mit dem

Titel „Growing, Fast and Slow“ (2015) treffend auf den Punkt gebracht. Die Ingredienzien für wirtschaftliches Wachstum bleiben trotz jahrhundertelanger Erfahrung nach wie vor mysteriös. Doch ungeachtet aller Unklarheit wird aus der Globalgeschichte der Menschheit eines evident: Neben soziologischen Faktoren spielen vor allem Bildung, Forschung, Technologie und Innovation eine wesentliche Rolle für das Wohlergehen erfolgreicher Staaten.

Die global innovativsten Länder, allen voran die USA, Deutschland, die skandinavischen Staaten, die Schweiz, Japan und Südkorea, haben auf die Erkenntnis, dass der Weg zur Bewältigung der großen Herausforderungen der Menschheit nur über verstärkte Anstrengungen in den Bereichen Bildung, Forschung und Innovation verläuft, angemessen reagiert und gerade auch in den rezenten Krisenjahren ihre Investitionen in diese Zukunftsbereiche massiv erhöht.

Dieses Buch soll einen Anstoß dazu geben, die notwendige Diskussion über die zentrale Rolle von Innovation in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft unter neuen Gesichtspunkten neu zu entfachen. Dabei sollen sowohl die internationalen Vergleiche als auch die verschiedenen Perspektiven der Autorinnen und Autoren neue Argumente in den FTI-politischen Diskurs einbringen. Welche Schlüsse die Leserin oder der Leser daraus zieht, bleibt notwendigerweise offen. Aus unserer Sicht zeigt das Buch jedoch eines ganz klar: Wenn es gelingt, die in etlichen Beiträgen skizzierten zentralen Grundvoraussetzungen für Innovation nachhaltig zu etablieren, so ist eine selbstbestimmte und den großen gesellschaftlichen Herausforderungen entsprechende Gestaltung der Zukunft möglich. Wesentlich ist dabei, dass die erforderlichen Schritte nicht erst morgen getan und die anstehenden Reformen nicht weiter aufgeschoben werden. Denn alles, was heute verabsäumt wird, zieht morgen bereits weitreichende Konsequenzen nach sich. Wir müssen also heute beginnen, am Morgen zu arbeiten – denn die Gestaltung der Zukunft beginnt jetzt!

- **AAAS** (2015): AAAS Report XXXIX: Research and Development FY 2015.
- **Acemoğlu, D. / Robinson, J. A.** (2013): Warum Nationen scheitern. Die Ursprünge von Macht, Wohlstand und Armut. S. Fischer Verlag, Frankfurt.
- **Anderson, C.** (2012): Makers: The New Industrial Revolution. Random House, New York.
- **Androsch, H. / Gadner, J.** (2013): Die Zukunft Österreichs in der Welt von Morgen. In: Rat für Forschung und Technologieentwicklung (Hg.), Österreich 2050 – FIT für die Zukunft. Holzhausen, Wien, 254–272.
- **Baldwin, N.** (2001): Edison: Inventing the Century. University of Chicago Press, Chicago.
- **Bauer, R.** (2006): Gescheiterte Innovationen. Campus Verlag, Frankfurt.
- **Bauernhansl, T. / ten Hompel, M. / Vogel-Heuser, B. (Hg.)** (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung – Technologien – Migration. Springer Verlag, Wiesbaden.
- **Bähr, J.** (1997): Bevölkerungsgeographie. Verteilung und Dynamik der Bevölkerung in globaler, nationaler und regionaler Sicht. UTB, Stuttgart.
- **Braun, E.** (2010): From Need to Greed. The Changing Role of Technology in Society. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- **Brynjolfsson, E. / McAfee, A.** (2014): The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. W.W. Norton, New York.
- **Brynjolfsson, E. / McAfee, A.** (2011): Race Against the Machine: How the Digital Revolution Is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy. Digital Frontier Press, Lexington.
- **Burke, P.** (2014): Die Explosion des Wissens: Von der Encyclopédie bis Wikipedia. Verlag Klaus Wagenbach, Berlin.
- **Burke, P.** (2001): Papier und Marktgeschrei. Die Geburt der Wissensgesellschaft. Verlag Klaus Wagenbach, Berlin.
- **Crutzen, P. J. / Stoermer, E. F.** (2000): The „Anthropocene“. In: Global Change Newsletter, 41, 17–18.
- **Darwin, J.** (2010): Der imperiale Traum: Die Globalgeschichte großer Reiche 1400–2000. Campus Verlag, Frankfurt.
- **Diamond, G.** (2005): Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed. Penguin Books, London.
- **Diamond, G.** (1997): Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies. W.W. Norton, New York.
- **Duden** (2013): Wirtschaft von A bis Z. Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn.
- **Dürr, H. P.** (2010): Geist, Kosmos und Physik – Gedanken über die Einheit des Lebens. Crotona Verlag, Amerang.

- **The Economist** (2015): Briefing: Artificial Intelligence – Rise of the Machines. 9. Mai 2015.
- **The Economist** (2013): Schumpeter: The Entrepreneurial State. 31. August 2013.
- **Engler, W.** (2005): Bürger, ohne Arbeit: Für eine radikale Neugestaltung der Gesellschaft. Aufbau-Verlag, Berlin.
- **Fara, P.** (2010): 4000 Jahre Wissenschaft. Spektrum – Akademischer Verlag, Heidelberg.
- **Fischer, E. P.** (2001): Die andere Bildung. Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte. Ullstein, München.
- **Frankfurter Allgemeine Zeitung** (2015): Engpass an Arbeitskräften befürchtet – Der Branchenverband Bitkom meldet schon jetzt 41.000 unbesetzte Stellen in der IT. 4. März 2015.
- **Freud, S.** (1928): Die Zukunft einer Illusion. Internationaler Psychoanalytischer Verlag, Wien.
- **Glaser, R.** (2013): Global Change: Das neue Gesicht der Erde. Primus Verlag, Darmstadt.
- **Glatzer, W.** (1999): Soziotechnische Innovationen im Alltag. In: Glatzer, W. (Hg.): Ansichten der Gesellschaft, Sonderheft, Vol. 11. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 178–190.
- **The Guardian** (2014): Artificial Intelligence Could Spell End of Human Race – Stephen Hawking. 2. Dezember 2014.
- **Haldane, A.** (2015): Growing, Fast and Slow. Rede, gehalten am 17. Februar 2015, University of East Anglia.
- **Harari, Y. N.** (2013): Eine kurze Geschichte der Menschheit. Schriftenreihe der Bundeszentrale für Politische Bildung, Band 1392, Bonn.
- **Harris, M.** (1990): Kannibalen und Könige: Die Wachstumsgrenzen der Hochkulturen. Klett-Cotta, Stuttgart.
- **Hobsbawm, E.** (2000): Das Gesicht des 21. Jahrhunderts. Carl Hanser Verlag, München.
- **Hobsbawm, E.** (1996): The Age of Revolution – 1789–1848. Vintage Books, New York.
- **IEA** (2014): World Energy Outlook.
- **IPCC** (2014): Fifth Assessment Report: Climate Change 2014. Synthesis Report – Summary for Policymakers.
- **Kang, D. C.** (2012): East Asia Before the West. Five Centuries of Trade and Tribute. Columbia University Press, New York.
- **Kurzweil, R.** (2013): Menschheit 2.0. Die Singularität naht. Lola Books, Berlin.
- **Liessmann, K. P.** (1997): Vom Nutzen und Nachteil des Denkens für das Leben. WUV Universitätsverlag, Wien.
- **Landes, D. S.** (1999). The Wealth and Poverty of Nations: Why some are so rich and some so poor. W.W. Norton, New York.
- **Landes, D. S.** (1986): Der entfesselte Prometheus. Technologischer Wandel und industrielle Entwicklung in Westeuropa. Verlag Kiepenheuer & Witsch, Köln.

- **Leslie, S.W.** (2000): The Biggest „Angel“ of Them All: The Military and the Making of Silicon Valley. In: Kennedy, M. (Hg.), *Understanding Silicon Valley: The Anatomy of an Entrepreneurial Region*. Stanford University Press, 48–70.
- **Lipsey, R.G./Carlaw, K.I./Bekar, C.T.** (2006): *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*. Oxford University Press, Oxford.
- **Maddison, A.** (2007): *Chinese Economic Performance in the Long Run, Second Edition, Revised and Updated, 960–2030 AD*. OECD Development Centre Studies.
- **Mazzucato, M.** (2013): *The Entrepreneurial State. Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Anthem Press, London.
- **Marsh, P.** (2012): *The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production*. Yale University Press, New Haven.
- **Mayer-Schönberger, V.** (2013): *Big Data. Die Revolution, die unser Leben verändern wird*. Redline-Verlag, München.
- **Meier, C.** (2009): *Kultur, um der Freiheit Willen. Griechische Anfänge – Anfänge Europas?* Siedler, München.
- **Morris, I.** (2013): *Krieg – Wozu er gut ist*. Campus Verlag, Frankfurt.
- **Morris, I.** (2010): *Why the West rules – for now*. Profile Books, London.
- **Nefiodow, L./Nefiodow, S.** (2014): *Der sechste Kondratieff: Wege zur Produktivität und Vollbeschäftigung im Zeitalter der Information. Die langen Wellen der Konjunktur und ihre Basisinnovation*. Rhein-Sieg Verlag, St. Augustin.
- **Nowotny, H.** (2005): *Unersättliche Neugier. Innovationen in einer fragilen Zukunft*. Kadmos, Berlin.
- **OECD** (2012): *Skills Strategy – Better Skills, Better Jobs, Better Lives: A Strategic Approach to Skills Policies*.
- **OECD** (2014): *Employment Outlook*.
- **Palla, R.** (2014): *Verschwundene Arbeit. Das Buch der untergegangenen Berufe*. Brandstätter Verlag, Wien.
- **Pommeranz, K.** (2000): *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*. Princeton University Press, Princeton.
- **Popper, K.R.** (1991): *Alles Leben ist Problemlösen*. In: Popper, K.R. (1997): *Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik*. Piper Verlag, München, 255–263.
- **Popper, K.R./Lorenz, K.** (1985): *Die Zukunft ist offen. Das Altenberger Gespräch. Mit den Texten des Wiener Popper-Symposiums*. Piper Verlag, München.
- **President’s Council of Advisors for Science and Technology** (2014): *Big Data: Seizing Opportunities, Preserving Values*. Executive Office of the President.

- **Reclams Lexikon der antiken Mythologie** (1991): Philipp Reclam jun. GmbH, Stuttgart.
- **Reiterer, A. F.** (2010): Demografie: Der große Übergang. In: Sieder, R./Langthaler, E. (Hg.): Globalgeschichte 1800–2010. Böhlau Verlag, Wien, 69–98.
- **Rifkin, J.** (2011): The Third Industrial Revolution. How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. Palgrave MacMillan/Houndmills-Basingstoke, Hampshire.
- **Rifkin, J.** (2004): Das Ende der Arbeit und ihre Zukunft: Neue Konzepte für das 21. Jahrhundert. Campus, Frankfurt.
- **Rossi, P.** (1997): Die Geburt der modernen Wissenschaft in Europa. C.H. Beck, München.
- **Rothkopf, D.** (2012): The Third Industrial Revolution. In: Foreign Policy, November 2012, No. 196, 87–88.
- **Sahlins, M. D.** (1972): Stone Age Economics. Aldine Atherton, New York.
- **Schmidt, E./Cohen, J.** (2013): Die Vernetzung der Welt. Ein Blick in unsere Zukunft. Rowohlt, Reinbek.
- **Schumpeter, J.** (1939): Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process. McGraw-Hill, New York.
- **Schumpeter, J.** (1912): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Berlin.
- **Science** (2014): The Social Life of Robots. 346(6206), 178–203.
- **Sennett, R.** (2006): The Culture of the New Capitalism. Yale University Press, New Haven.
- **Skidelsky, R.** (2013): The Rise of the Robots. In: Project Syndicate, 19. Februar 2013. <http://www.project-syndicate.org/commentary/the-future-of-work-in-a-world-of-automation-by-robert-skidelsky>
- **SOER** (2015): The European Environment – state and outlook.
- **UNEP** (2011a): Recycling Rates of Metals: A Status Report.
- **UNEP** (2011b): Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth.
- **UNO** (2013): World Population Prospects: The 2012 Revision.
- **Ziegler, D.** (2005): Die industrielle Revolution. Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt.