

Inhalt

Vorbemerkung	 2
 Martin Schlegel	
Industrielle Revolution und Industrie 4.0	 3
 1. Einleitung	 3
2. Einführung in das Projekt Industrie 4.0	 4
2.1. Einordnung, Programme, Akteure	 4
2.2. Was soll das Projekt Industrie 4.0 erreichen?	 5
3. Charakterisierung früherer Revolutionen der Produktivkräfte	 7
3.1. Begriffsklärungen	 7
3.2. Die erste industrielle Revolution	 9
3.3. Schlussfolgerungen aus der ersten industriellen Revolution	18
3.4. Fließbandproduktion als zweite industrielle Revolution?	20
4. Basistechnologien am Beispiel des automatisierten Fahrens	25
4.1. Antiblockiersystem, Tempomat und Einparkhilfe	 26
4.2. Weitere Schritte zum automatisierten Fahren	 28
4.3. Veränderungen in der Automobilindustrie	 30
5. Industrie 4.0 in den Produktionsprozessen	 34
5.1. Vorbemerkung	 34
5.2. Entwicklung der allgemeinen Rechentechnik	 36
5.3. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen und Roboter	41
5.4. Automatisierung der Produktion nach dem 2. Weltkrieg	46
5.5. Das Projekt Industrie 4.0	 48
6. Mögliche Auswirkungen der Automatisierung auf den Arbeitsmarkt	51
7. Betrachtungen zum Verhältnis zwischen der Revolution der Produktivkräfte und der politischen Revolution	 60
8. Literatur	 65

Vorbemerkung

Diese Ausgabe der AzD befasst sich mit dem Thema "Industrie 4.0". Obwohl der weitere Fortschritt von "Industrie 4.0" mit jedem Schub weiterer Automatisierung gesellschaftlichen Zündstoff mit sich bringt, fehlt nicht nur auf Seiten der Linken eine konkrete, halbwegs verständliche Beschreibung, was "Industrie 4.0" ausmacht und wie sie in die Entwicklung der Produktivkräfte im Kapitalismus einzuordnen ist. Dies soll in dieser Ausgabe geleistet werden.

Dazu wird die Entwicklung der Produktivkräfte seit der industriellen Revolution anhand der Marx'schen Begrifflichkeit dargestellt. Danach werden Studien zu den Auswirkungen der sich beschleunigenden Automatisierung auf den Arbeitsmarkt vorgestellt und bewertet. Abschließend wird die Frage andiskutiert, ob die Weiterentwicklung der Produktivkräfte im Kapitalismus ab einem gewissen Entwicklungsstand eine gesellschaftliche Revolution erfordert.

Der Artikel ist eine überarbeitete Version des unter gleichem Titel auf <http://archiv.neue-impulse-verlag.de/veroeffentlichungen/masch-skripte.html> erschienenen MASCH-Skripts. Die AzD 87 ist demnächst auf www.kommunistische-debatte.de/?page_id=851 einseh- und herunterladbar. Dort werden nach und nach auch frühere AzD-Ausgaben bereitgestellt.

Mitteilungen in eigener Sache:

Mailadresse: Wir verweisen noch einmal auf unsere neue Mailadresse für die Kontaktaufnahme, Bestellungen, Mitteilungen etc: >azd72@gmx.de<.

AzD im Internet: Zusätzlich zur Printausgabe werden die AzD auf der Webseite der "Kommunistischen Debatte" eingestellt: www.kommunistische-debatte.de/?page_id=851

Presseschau: Die AzD-Redaktion verschickt in unregelmäßigem Abstand per Mail Links zu Analysen und Hintergrundberichten zu nationalen und internationalen politischen Fragen aus der deutschsprachigen Presse (Print- und Internetmedien). Wer daran Interesse hat, kann uns ihre/seine Mailadresse geben und wird in den Verteiler aufgenommen.

Industrielle Revolution und „Industrie 4.0“

1. Einleitung

Immer häufiger tauchen in den deutschen Medien Begriffe wie „Industrie 4.0“, „Wirtschaft 4.0“, „Arbeitsmarkt 4.0“, „Internet der Dinge“ oder Ähnliches auf. So war „Industrie 4.0“ und seine Folgen ein zentrales Thema auf dem Weltentwicklungsforum 2017 in Davos, auf mehreren Industriemessen der letzten Jahre in Hannover, den Computermessen CeBIT, auf den IT- (Informationstechnik) Gipfeln der Bundesregierung, Gewerkschaftskongressen um nur einige zu nennen. Es gibt eine Flut von Veröffentlichungen und Internetseiten zu diesem Thema.

In anderen fortgeschrittenen Industrieländern und in den sogenannten Schwellenländern wird ebenfalls eine bevorstehende industrielle Revolution thematisiert, in den englischsprachigen Ländern unter anderem mit den Begriffen „Industrial Internet“, „smart factory“, „second machine age“, „third industrial revolution“ und anderen Begriffen. Kern der bereits stattfindenden und sich beschleunigenden Veränderungen ist das verstärkte Eindringen von rechnergestützten Automatisierungs- und Kommunikationstechniken in die Produktionsprozesse und andere Bereiche der Gesellschaft.

Ein in der Öffentlichkeit vielbeachtetes Beispiel für die neuen Technologien ist das automatisierte Fahrzeug, in dem Sensoren das Auge des Fahrers ersetzen und auf Sensordaten beruhende Automaten Hände und Fuß des Fahrers. An diesem Beispiel werden zunächst exemplarisch Bestandteile der neuen Technologien beschrieben, die auch in der Industrie 4.0 zum Einsatz kommen. Zuvor werden wesentliche Elemente der bisherigen Revolutionen der Produktivkräfte in der neueren Geschichte herausgearbeitet.

Ziel dieses Artikels ist es, die Automatisierungstechniken zu beschreiben, die derzeit viele Produktionsprozesse revolutionieren und dies auch weiter tun werden. Die fortschreitende Automatisierung betriebswirtschaftlicher Abläufe wird nur am Rande behandelt, obwohl sie ebenfalls die Produktionsverhältnisse verändert. Auch die Veränderungen anderer Bereiche der Gesellschaft durch die neuen Automatisierungs- und Kommunikationstechniken ist kein Thema des Artikels. Die Untersuchung erfolgt anhand der von Karl Marx entwickelten Begrifflichkeit der politischen Ökonomie, die kurz erläutert wird.

Anschließend wird eine Auswahl von Studien zu den möglichen Folgen der zunehmenden Automatisierung auf den Arbeitsmarkt vorgestellt und diskutiert. Zum Abschluss wird die Frage erörtert, ob die Entwicklung der Produktivkräfte

ab einem gewissen Entwicklungsstand zu ihrer Weiterentwicklung notwendigerweise zu einer Änderung der gesellschaftlichen Produktionsweise führen muss.

Eine anschauliche Einführung in die aktuellen technischen Entwicklungen ist zum Beispiel in den Büchern „Arbeitsfrei“ ([1]) und „Smarte Maschinen“ ([2]) zu finden.

2. Einführung in das Projekt „Industrie 4.0“

2.1 Einordnung, Programme, Akteure

Im Jahr 2006, also in etwa gleichzeitig mit den Hartz IV Gesetzen, beschloss die damalige Bundesregierung aus Rot-Grün die „Hightech Strategie“ (HTS). HTS hat folgende Schwerpunkte ([3]):

- Digitale Wirtschaft und Gesellschaft
- Nachhaltiges Wirtschaften und Energie
- Innovative Arbeitswelt
- Gesundes Leben
- Intelligente Mobilität
- Zivile Sicherheit

Im HTS Aktionsplan ([4]) sind die einzelnen Projekte zu diesen Themenkomplexen und ihr Stand dokumentiert. Außerdem kann man im Haushalt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ([5]) jährlich die aktuelle Finanzierung der HTS-Projekte einsehen. Als roter Faden zieht sich durch alle Themenkomplexe die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft durch die zunehmende Digitalisierung. Eine Schlüssel- und Querschnittstechnologie innerhalb der HTS-Strategie sind die sogenannten „eingebetteten Systeme“ (embedded systems). In allen Bereichen des HTS-Projekts, aber auch in Alltagsgegenständen werden Sensoren (Messgeräte), Mikroprozessoren und Mikrocontroller (Rechner kleinster Abmessungen) eingesetzt, die Sensordaten und teilweise über Funk angeforderte Informationen aus dem Internet verarbeiten. Die verarbeiteten Daten dienen der Steuerung von Prozessen. Dabei fallen große Datenmengen an, die teilweise in Echtzeit verarbeitet werden müssen. Maschinen mit eingebetteten Systemen und Funk- oder Internetverbindung werden „cyber-physikalische Systeme“ (CPS) genannt. Will man es weniger hochtrabend ausdrücken, so kann man den Begriff „smart machine“ verwenden. Eine umfassende Beschreibung der cyber-physikalischen Systeme findet sich in ([6]). Das in diesem Aufsatz vor allem behandelte Thema „Industrie 4.0“ ist ein Teilprojekt der HTS-Strategie. Viele Internetseiten sind dem Thema Industrie 4.0 gewidmet. Eine übergeordnete Seite ist die der Plattform Industrie 4.0 ([7]), die vom Bun-

desministerium für Wirtschaft und Energie und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung betrieben wird. Die Plattform Industrie 4.0 arbeitet mit ihrem amerikanischen Pendant, dem Industrial Internet Consortium zusammen. Bemerkenswert an der HTS ist, dass der Staat damit umfassende gesamtgesellschaftliche Konzepte entwickelt, während er sich ansonsten seit langem auf Druck des Neoliberalismus aus immer mehr gesellschaftlichen Bereichen zurückzieht

Beraten wird die jeweilige Bundesregierung zum Beispiel durch die Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft ([8]) und die deutsche Akademie der Technikwissenschaften ([9]). Beteiligt an der Umsetzung der HTS-Strategie sind alle Bundesministerien. Mit im Boot sind die Verbände Bitkom (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien), VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau), ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) und verschiedene Forschungsgesellschaften. Da die deutsche Industrie zum größten Teil von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) geprägt ist, gibt es eine Reihe von Förderprogrammen, die die Digitalisierung dieser mittelständischen Industrie unterstützen, wie die Förderinitiative „Mittelstand 4.0“ ([10]). Die mittelständischen Unternehmen beschäftigen mehr als die Hälfte aller Arbeitnehmer, haben aber aufgrund ihrer Größe oft wenig IT-Kompetenz. Eine Reihe von Beispielen geförderter Projekte und teilnehmender Firmen finden sich in ([11]). Aus Berichten wie diesem geht auch hervor, dass „Industrie 4.0“ keine Fata Morgana ist, sondern ein bereits stattfindender Prozess. Auch von Seiten der EU gibt es Förderprogramme wie zum Beispiel Artemis (Advanced Research and Technology for embedded Intelligence and Systems, ([6])), die in die gleiche Richtung gehen.

2.2 Was soll das Projekt „Industrie 4.0“ erreichen?

Zunächst ist anzumerken, dass der Begriff „Industrie 4.0“ vor allem im deutschsprachigen Raum verwendet wird. Im englischsprachigen Raum wird zum Beispiel von dem „second machine age“ oder dem „Industrial Internet“ gesprochen. Alle diese Begriffe beziehen sich aber auf die gleiche Entwicklung, nämlich das beschleunigte Eindringen von digital gesteuerten Prozessen in die Warenproduktion und weite Lebensbereiche. Die Ziele von „Industrie 4.0“ beschreibt das Bundesministerium für Bildung und Forschung folgendermaßen: „Industriebetrieben aus Deutschland erwächst in Asien und zunehmend auch in Südamerika starke Konkurrenz, die mittelfristig ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit gefährden kann. Unternehmen, etwa aus China, steigern ihre Produktivität und Innovationskraft, zugleich beschleunigen sich die Innovationskreisläufe in vielen Technologiefeldern und die Märkte werden volatiler. Die Unternehmen müssen in Deutschland zusätzlich auf weitere Herausforderungen Antworten finden: knappere Rohstoffe, steigende Energiepreise oder das zu-

nehmende Durchschnittsalter der Beschäftigten. Das produzierende Gewerbe braucht Lösungen, um auf diese Herausforderungen wirksam zu reagieren. Die Technologie der cyber-physischen Systeme – oder kurz CPS – bietet das Potential für solche Lösungen." ([12]).

Das Projekt „Industrie 4.0“ verfolgt produktionstechnische, betriebswirtschaftliche und logistische Ziele. Die Basis für die Automatisierung in der Produktion wurde in den 1970er Jahren mit den ersten frei programmierbaren CNC-Werkzeugmaschinen, der SPS-Steuertechnik (CNC: computerized numerical control, SPS: speicherprogrammierbare Steuerung) und Industrierobotern vor allem in der Automobilindustrie gelegt ([13]). Zuvor mussten mindestens die Steuerprogramme für jede neue Anwendung ausgetauscht werden. Dies war aufwendig und erschwerte einen schnellen Produktwechsel und die Individualisierung eines Produkts nach Käuferwunsch. Ab den 1970er Jahren begann der Einzug von Mikroprozessoren und Mikrocontrollern in die Fertigungstechnik und der Vormarsch von Computern mit betriebswirtschaftlicher Software in Betrieben, Verwaltung, Handel und Logistik. Ein begünstigendes Moment bei der Automatisierung von Produktion und Verwaltung war, dass alle Komponenten der Automatisierungsverfahren immer billiger wurden. Diese Entwicklung wird in späteren Kapiteln genauer beschrieben.

Im Grunde ist das Konzept von „Industrie 4.0“ eine Fortschreibung des in den 1970er Jahren entwickelten Konzepts CIM (computer integrated manufacturing) mit den heute verfügbaren Technologien. CIM umfasst den integrierten EDV-Einsatz (Elektronische Datenverarbeitung) in allen mit der Produktion zusammenhängenden Bereichen. Auf der Produktionsseite sind dies die rechnergestützte Konstruktion CAD (computer aided design), die rechnergestützte Fertigung CAM (computer aided manufacturing) mit CAD-Daten und die rechnergestützte Qualitätskontrolle CAQ (computer aided quality). Auf betriebswirtschaftlicher Ebene umfasst CIM die rechnergestützte Arbeitsplanung CAP (computer-aided planning), die rechnergestützte Betriebsdatenerfassung BDE und das Produktionsplanungs- und Steuerungssystem PPS ([14], Seite 573 folgende).

Das Thema Automatisierung war Kern der in den 1950er Jahren begonnenen Kybernetik-Diskussion, in deren Mittelpunkt technisch der Begriff des Regelkreises stand. Obwohl die Entwicklung von Rechenanlagen noch in den Kinderschuhen steckte, wurde bereits damals die Vision von selbstlernenden Maschinen entworfen. Die damals beschriebenen Bestandteile einer kybernetischen Maschine sind im Wesentlichen die gleichen, die heute bei cyber-physikalischen Systemen genannt werden: Signalverarbeitung, Steuerung, Regelung, Rückkopplung und so weiter. Im Unterschied zur damaligen Diskussion sind heute die technischen Grundlagen für die damaligen Visionen vorhanden.

Hinsichtlich der Weiterentwicklung der HTS-Teilaufgabe „innovative Wirtschaft“ oder „smart factory“ sind folgende Zielvorstellungen maßgeblich:

- Individuelle Produktion, das heißt die Herstellung individualisierter Produktvarianten (Losgröße 1) mit demselben Maschinenpark und ohne lange Produktionsunterbrechung. Außerdem werden die Voraussetzungen für die Möglichkeit schnellerer Modellwechsel geschaffen. Dazu sind anwendungsoffene Maschinen mit einer größeren Flexibilität in der Fertigung erforderlich und damit eine Standardisierung der Zentralkomponenten mit einer Spezialisierung der Einzelkomponenten. Zu diesem Themenkomplex gehört auch die Verringerung der Stillstandzeiten und des Ressourceneinsatzes.
- Weiterentwicklung der Automatisierungs- und Robotertechnik in Hinblick auf Reaktionsfähigkeit in Echtzeit, Lernfähigkeit und Orientierung in nichtstandardisierten Umgebungen, Durchführung unterschiedlicher Aufgaben, Vernetzung von Maschinen und Gegenständen über Funk und Internet sowie der Verbesserung Zusammenarbeit Roboter – Roboter und Roboter – Mensch.
- Horizontale Vernetzung von Unternehmen und Kunden, beginnend mit der kundenspezifischen Bestellung, änderbar bis zur Fertigung, und darüber hinaus die Überwachung des Produkts bis zum Ende der Produktlebenszeit. Dies erfordert, dass sich jedes Produkt identifizieren lässt, mit Sensoren seinen Zustand erfasst, ihn an eine Auswertungsstelle übermittelt, in der mittels intelligenter Auswertungsprogramme aus den großen Datenmengen die erforderlichen Wartungsmaßnahmen angestoßen werden. Dieser Datenaustausch erfordert standardisierte Schnittstellen statt firmeneigener Lösungen.

Vor der weiteren Beschreibung des Projekts „Industrie 4.0“ sollen anhand der Geschichte wesentliche Merkmale einer Revolution der Produktivkräfte herausgearbeitet werden.

3. Charakterisierung früherer Revolutionen der Produktivkräfte

3.1 Begriffsklärungen

Die Automatisierung ist eine besondere Form der Rationalisierung des Produktionsprozesses. Eine Rationalisierung kann zum Beispiel durch effizientere Arbeitsabläufe erreicht werden, die die Produktivität erhöhen, ohne dass sich etwas am Produktionsverfahren ändert. Von einer Automatisierung kann nur gesprochen werden, wenn Arbeitsschritte vom Menschen auf eine Maschine übertragen werden. So schrieb Karl Marx ([15], Seite 402): „Sobald die Arbeitsmaschine alle zur Bearbeitung eines Rohstoffs nötigen Bewegungen ohne

menschliche Beihilfe verrichtet und nur noch menschlicher Nachhilfe bedarf, haben wir ein automatisches System der Maschinerie, das indes beständiger Ausarbeitung im Detail fähig ist."

Zunächst sollen einige Begriffe der Marx'schen politischen Ökonomie dargestellt werden. Beginnen wir mit dem Arbeitsmittel. Marx definiert es folgendermaßen: „Das Arbeitsmittel ist ein Ding, oder ein Komplex von Dingen, die der Arbeiter zwischen sich und den Arbeitsgegenstand schiebt [...]. Der Gebrauch und die Schöpfung von Arbeitsmitteln [...] charakterisieren den spezifisch menschlichen Arbeitsprozess, und Franklin definiert daher den Menschen als ‚a toolmaking animal‘, ein Werkzeuge fabrizierendes Tier“ ([15], Seite 194). Arbeit, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand bilden den Arbeitsprozess. „Der Arbeitsprozess [...] ist zweckmäßige Tätigkeit zur Herstellung von Gebrauchswerten, Aneignung des Natürlichen für menschliche Bedürfnisse, allgemeine Bedingung des Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur, ewige Naturbedingung des menschlichen Lebens“ ([15], Seite 198). Marx betont: „Nicht was gemacht wird, sondern wie mit welchen Arbeitsmitteln gemacht wird, unterscheidet die ökonomischen Epochen. Die Arbeitsmittel sind nicht nur Gradmesser der Entwicklung der menschlichen Arbeitskraft, sondern auch Anzeiger der gesellschaftlichen Verhältnisse, worin gearbeitet wird“ ([15], Seite 195).

Ein wesentliches Kennzeichen von ökonomischen Epochen ist der Stand der Arbeitsproduktivität. Unter der Produktivkraft der Arbeit versteht Marx Folgendes: „Die Produktivkraft der Arbeit ist durch mannigfache Umstände bestimmt, unter anderem durch den Durchschnittsgrad des Geschickes der Arbeiter, die Entwicklungsstufe der Wissenschaft und ihrer technologischen Anwendbarkeit, die gesellschaftliche Kombination des Produktionsprozesses, den Umfang und die Wirkungsfähigkeit der Produktionsmittel, und durch Naturverhältnisse.“ ([15], Seite 54).

Marx stellt heraus, dass jede Entwicklung der Produktivkraft zu einer neuen Arbeitsorganisation in den Produktionsstätten und damit zu neuen Produktionsverhältnissen führt ([16], Seite 22 folgende). Marx unterscheidet zwischen den Produktionsverhältnissen und der Produktionsweise: „In der gesellschaftlichen Produktion ihres Lebens gehen die Menschen bestimmte, notwendige, von ihrem Willen unabhängige Verhältnisse ein, Produktionsverhältnisse, die einer bestimmten Entwicklungsstufe ihrer materiellen Produktivkräfte entsprechen. Die Gesamtheit der Produktionsverhältnisse bildet die ökonomische Struktur der Gesellschaft, die reale Basis, worauf sich ein juristischer und politischer Überbau erhebt, und welcher bestimmte gesellschaftliche Bewußtseinsformen entsprechen. Die Produktionsweise des materiellen Lebens bedingt den sozialen, politischen und geistigen Lebensprozeß überhaupt.“ ([17], Seite 8/9). Und weiter: „In allen Gesellschaftsformen ist es eine bestimmte Produktion, die allen übrigen, und deren Verhältnisse daher auch allen übrigen Rang und Einfluß anweist.“ ([17], Seite 638). Die jeweils vorherrschende Produktionsweise ist somit

die Gesellschaftsordnung, die dem jeweiligen Stand der Produktivkräfte entspricht. Sie bietet den politischen und institutionellen Rahmen für die Herrschaft der Eigentümer der führenden Produktionsform. Im Feudalismus war die Landwirtschaft dominierend und damit der Grundbesitz. Im Kapitalismus ist die Industrieproduktion dominierend und damit der Kapitalbesitz.

3.2 Die erste industrielle Revolution

Vorbemerkung: Wenn im Folgenden einige Erfinder genannt werden, so bedeutet das nicht, dass es keine Vorgeschichte zu jeder einzelnen Erfindung gibt. Wie schon Marx bemerkte, würde „eine kritische Geschichte der Technologie [...] nachweisen, wie wenig irgendeine Erfindung des 18. Jahrhunderts einem einzelnen Individuum gehört.“ ([15], Seite 392, Fußnote 89). Da es mir nicht um eine Technikgeschichte, sondern um die der Entwicklung der Produktivkräfte geht, wird auf die Beschreibung der Entwicklungsetappen der Technikentwicklung verzichtet. Die genannten Jahreszahlen sind meist ein Datum für einen funktionsfähigen ersten Einsatz, danach wurden Verfahren und Maschinen im Praxisbetrieb kontinuierlich verbessert und neue Anwendungen entwickelt.

Am Beispiel der industriellen Revolution, die das Industriezeitalter einleitete, soll veranschaulicht werden, wie sich technische Revolutionen im Industriezeitalter abspielen und wie die technische Entwicklung in einem Bereich eine technische Entwicklung in anderen Industriezweigen und der Gesellschaft insgesamt bewirkt. Die industrielle Revolution fand zuerst in Großbritannien und dort vor allem in der damaligen Leitindustrie, der expandierenden Baumwollverarbeitung statt. Im Jahr 1733 erfand John Kay den „flying shuttle“, das automatische Weberschiffchen, das die Arbeit der Hand des Webers beim Weben ersetzte. Dies ermöglichte, etwa doppelt so viel Tuch in der gleichen Zeit zu erzeugen. Der Webprozess änderte sich, das Weben blieb aber noch Hausindustrie.

Als Folge der gesteigerten Produktivität beim Weben trat eine Garnknappheit auf, da die Spinner nicht genügend Garn für die Weber liefern konnten. Je nach Spinnverfahren war die Arbeit von vier bis zehn Spinnern für die Versorgung eines Webers erforderlich. Dies führte zu Anstrengungen, das Spinnen produktiver zu machen. Um das Jahr 1764 herum baute John Hargreaves die „Spinning Jenny“, bei der die Tätigkeit der Finger beim Spinnen durch einen Automatismus von Zugwalzen ersetzt wurde. Die „Spinning Jenny“ war eine Spinnmaschine für die Hausindustrie, veränderte daher ebenso wenig wie das Weberschiffchen die Produktionsverhältnisse. Im Jahr 1769 erfand Richard Arkwright den „water frame“, eine Flügelspinnmaschine, die für den Wasserantrieb konzipiert war, im Jahr 1771 baute er die erste Spinnfabrik mit Wasserantrieb, die erste Fabrik entstand. Die „Spinning Jenny“ und der „water frame“, konnten nicht alle Garnqualitäten herstellen, im Jahr 1779 erfand Samuel Crompton die halb-

automatische „Mule“, die dies konnte. Das Aufwinden des Garns blieb noch bis ins 19. Jahrhundert Handarbeit. Durch die Mechanisierung des Spinnvorgangs konnte die Anzahl der von einem Antrieb bewegten Spindeln erhöht werden, bereits Ende des 18. Jahrhunderts waren es mehrere Hunderte.

Durch die „Spinning Jenny“ und den „water frame“ wurde nunmehr das Spinnen der Baumwolle produktiver als das Weben, was sich erst nach der technisch komplizierteren Mechanisierung des Webens änderte. Edmond Cartwright stellte im Jahr 1785 einen funktionsfähigen mechanischen Baumwollwebstuhl her, der zunächst nicht profitabler als das Handweben war und nur grobe Gewebe herstellen konnte und sich daher erst nach seiner Weiterentwicklung ab 1820 durchsetzte, weshalb die Zahl der Handweber zunächst noch deutlich anstieg. In seiner ersten Tuchfabrik kam als Antrieb bereits eine Dampfmaschine zum Einsatz. Die Mechanisierung des Spinnens und Webens führten zur Einführung der mechanisierten Produktion von der Baumwollentkörnung bis zum fertigen Tuch. Mitte des 19. Jahrhunderts waren Hausindustrie und Handwerk in der Textilherstellung praktisch verschwunden. Die ackerbauenden Weber und Spinner wurden Fabrikarbeiter. Die Mechanisierung des Webens und Spinnens brachte also folgende Änderungen mit sich:

- Trennung des Arbeiters von seinen Produktionsmitteln
- Trennung der Arbeitsstätte von der Wohnstätte
- Einen Bruch mit den traditionellen Arbeitsgewohnheiten und Arbeitsinhalten, die Disziplinierung durch Maschinentakt und Fabrikordnungen.

Die Trennung des Produzenten von seinen Produktionsmitteln und die Trennung der Selbstversorger von ihrem Land schuf die kapitalistische Gesellschaft, in der sich Lohnarbeit und Kapital gegenüberstehen.

Im Jahr 1788 gab es in Großbritannien bereits 142 Textilfabriken ([18], Seite 65). Von 1764 bis 1794 erhöhte sich die Produktivität der Garnherstellung um das Dreissigfache, die Produktion des Webverfahrens war im Jahr 1850 dreizehnmal höher als im Jahr 1760. Im Jahr 1793 erfand Elie Whitney die „cotton gin“, eine Baumwollentkörnungsmaschine, die die Baumwollfasern von den Samenkapseln trennen konnte, was zuvor in den Südstaaten der USA eine typische Handarbeit von Sklaven war ([19]). Um 1840 waren alle Arbeitsprozesse der Textilherstellung mechanisiert und wurden in einer Textilfabrik durchgeführt. Eine wesentliche Triebkraft aller dieser Erfindungen war wie auch bei späteren die Überwindung von Produktionsengpässen.

Die Revolutionierung der Textilerzeugung förderte technische Entwicklungen in anderen Bereichen wie der Antriebstechnik, dem Maschinenbau, dem Hüttenwesen, der Metallurgie, dem Transportwesen, der Chemie und der Agrarwirtschaft, die eine wachsende Arbeiterschaft und Gesamtbevölkerung versorgen musste. Dies beschrieb Marx so ([15], Seite 404): „Die Umwälzung der

Produktionsweise in einer Sphäre der Industrie bedingt ihre Umwälzung in der anderen." Einige Industriezweige wie der Maschinenbau („machine makers“) entstanden erst in der industriellen Revolution, seine Vorgänger waren die Uhrmacher, Geräte-, Instrumente- und Mühlenbauer. Zunehmend wurde beim Maschinenbau die Verwendung von Metallen statt Holz erforderlich, wodurch sich neue Herausforderungen an die Eisenverhüttung und Eisenbearbeitung ergaben.

Insbesondere war auch eine neue Antriebsenergie erforderlich, die jahreszeitunabhängig war. Dies leistete die von Watt weiterentwickelte Dampfmaschine. Die Dampfmaschine wurde im 18. Jahrhundert vor allem für die Wasserhaltung im Bergbau eingesetzt. Dies war notwendig, weil die bisherige Antriebstechnik nicht mehr ausreichte, die in immer größere Tiefen getriebenen Bergwerksschächte zu entwässern. Oft waren zuvor in den Bergwerken mehr Menschen mit der Wasserhaltung beschäftigt als mit dem Erzabbau ([20], Seite 121). Zum Heben des Grubenwassers genügte die Auf- und Abwärtsbewegung der Einzweck-Dampfmaschine von Thomas Newcomen (1712). Von 1712 bis 1800 wurden etwa 1500 Newcomen- Dampfmaschinen in den Bergwerken aufgebaut ([20], Seite 126). Der Wirkungsgrad dieser Dampfmaschine war mit einem Prozent sehr gering. Bis ins 19. Jahrhundert blieben die Dampfmaschinen Einzelanfertigungen.

Die Erfindungen von James Watt (Patent 1769) verbesserten zum einen den Wirkungsgrad der Dampfmaschinen, seine zusätzliche Entwicklung des Planetengetriebes und der doppelwirkenden Dampfmaschine setzte die Auf- und Abwärtsbewegung des Kolbens in eine kontinuierliche Drehbewegung um. Damit konnte die Watt'sche Dampfmaschine Wasserrad und Windkraft als Antriebskraft ersetzen. Dazu schrieb Marx ([15], Seite 398): „Erst mit Watts zweiter, sog. doppelt wirkender Dampfmaschine war ein erster Motor gefunden, der seine Bewegungskraft selbst erzeugt aus der Verspeisung von Kohlen und Wasser, dessen Kraftpotenz ganz unter menschlicher Kontrolle steht, der mobil und ein Mittel der Lokomotion, städtisch und nicht gleich dem Wasserrad ländlich, die Konzentration der Produktion in Städten erlaubt, statt sie wie das Wasserrad ländlich zu zerstreuen, universell in der Anwendung [...]“ Die Möglichkeit der Drehbewegung erschloss neue Anwendungsgebiete, die ihre Verbreitung förderte. Mit der Entwicklung der Watt'schen Dampfmaschine begann darüber hinaus der Einzug wissenschaftlicher Erkenntnisse in den Maschinenbau, eine Entwicklung, die zur Entstehung neuer Berufe und zu neuen Ausbildungsgängen führte. Ende des 18. Jahrhunderts wurden in 84 Baumwollspinnereien, 28 Gießereien und Schmiedebetrieben Dampfmaschinen betrieben, im Jahr 1810 waren in Großbritannien 5000, im Jahr 1822 bereits 10 000 Dampfmaschinen im Einsatz ([18], Seite 65, 76). Im Jahr 1838 wurden 75 % der Antriebsenergie in der Textilindustrie durch Dampfmaschinen gedeckt ([21], Seite 367).

Die Dampfmaschine war die Antriebsmaschine der Großindustrie, mittlere und kleine Betriebe blieben aus Kostengründen beim Wasserrad. Mit der

Dampfmaschine wurde zum ersten Mal eine stetig arbeitende Kraftmaschine mit beliebig vermehrbarer, überall und ganzjährig verfügbarer Bewegungsenergie geschaffen. Zuvor waren die Mühlenbetriebe von den jahreszeitlich unterschiedlichen Wassermengen abhängig, was zu sommerlichen und winterlichen Stillstandzeiten in der Produktion führte. Die Dampfmaschine beendete die Energie- not der regengelenkten Wasserwirtschaft und den Konflikt zwischen dem Wasser als Transportmedium und als Antriebsenergie, bei dem sich Handel und Industrie gegenseitig das Wasser abgruben. Wichtig wurde die Dampfmaschine auch für die Trinkwasserversorgung der schnell wachsenden Städte und später als Hochdruckdampfmaschine bei dem Lokomotivbau.

Die Verbindung von Dampfmaschine und Werkzeugmaschine förderte die Entstehung von Fabriken und führte zur Konzentration der Produktion in den Städten. Zuvor war man zum Antrieb der mechanisierten Produktion auf Wasserläufe mit genügendem Gefälle angewiesen, die in Großbritannien meist im Inland in ländlicher Umgebung lagen. Marx zitiert die prägnante Aussage: „Die Dampfmaschine ist die Mutter der Industriestädte.“ ([15], Seite 398). So wuchs etwa die Bevölkerung in Manchester vom Jahr 1750 bis 1850 von 20 000 Einwohnern auf 335 000 Einwohner ([20], Seite. 215). Die Ballung der Industrie in den Städten hatte große gesellschaftliche und technische Auswirkungen. Gesellschaftlich, weil die Arbeiter räumlich konzentriert wurden, was ihren Zusammenschluss zu einer Klasse förderte. Technisch, weil im Wohnungs- und Städtebau, der Trinkwasser- und Lebensmittelversorgung, der Kanalisation und Müllabfuhr enorme Infrastrukturmaßnahmen erforderlich wurden, die oft aber erst dann stattfanden, als sich Seuchen und Epidemien, wie Cholera und Typhus, häuften. Vor allem in den schnell wachsenden Industriestädten war die Wohnungssituation der Arbeiterfamilien katastrophal. Billighäuser ohne jegliche sanitäre Einrichtung waren die Regel, oft waren die Häuser auch von mehr als einer Familie belegt. Klar ist, dass die Versorgung der wachsenden Zahl der Industriearbeiterfamilien und der Gesamtbevölkerung eine ständig steigende Produktivität in der Landwirtschaft erforderte.

Vor allem der zunehmende Einsatz von Dampfmaschinen erforderte zunehmende Eisenproduktion, größere Mengen und bessere Qualitäten des Eisens aus der Eisenverhüttung. Um aus Eisenerz schmiedbares Eisen zu gewinnen, sind zwei Prozesse notwendig, zum einen das Schmelzen des Erzes im Hochofen, um die unerwünschten Bestandteile abzuspalten. Das so entstandene Roh- oder Gusseisen ist noch nicht schmiedbar. Durch das sogenannte Frischen mit Sauerstoff wird der Kohlenstoff-, Schwefel- und Phosphorgehalt des Roheisens reduziert, es entsteht schmiedbares Eisen, das durch Hämmern, Walzen oder Pressen in Form von Stabeisen oder Blechen zur Weiterverarbeitung ausgeliefert wird. Die Weiterentwicklung der Eisenverhüttung in Großbritannien im 18. und 19. Jahrhundert basiert wesentlich auf der Ersetzung der Holzkohle durch Steinkohlenkoks und Steinkohle im Hochofen und beim Frischen. Zur Herstellung von

Roheisen verwendete Abraham Darby nach 1710 zum ersten Mal im Hochofen Koks Kohle. „Die Substitution der Holzkohle durch Koks war die richtungsändernde Basis- und Initialinnovation in der Eisenverhüttung. Nun waren die Hochöfen zu klein, das Ofenmaterial zu schlecht, der lederne Blasebalg zu wenig dauerhaft, der Luftdruck zu schwach, die Luftmenge zu gering und die Energiewasserversorgung zu unregelmäßig und ungenügend, die Rohstoffmengen Erz und Kalk zu gering, die Transportkapazität der Packpferde und Karren unzureichend.“ ([20], Seite 132).

Das Gusseisen erlebte seinen Durchbruch, als es gelang, es zum Bau von Teilen von Maschinen und Dampfmaschinen, bei landwirtschaftlichen Geräten und als Baustoff für Brücken und Gebäude einzusetzen. Für die beweglichen Teile im Maschinenbau war das Gusseisen zu spröde. Mehrere Innovationen beim Frischen mit Steinkohle wie Benjamin Huntmans Tiegelgussofen um 1740, Henry Corts Puddelofen um 1766, Henry Bessemers Gebläseofen um 1856 und das Siemens-Martin-Verfahren von 1864 führten dazu, dass Schmiedeeisen preiswert hergestellt werden konnte ([22], Seite 87). Insgesamt wurde in der Eisenverhüttung aus dem Produktionssystem Holzkohle-Wasserrad-Hammer immer mehr ein System Kohle-Dampfmaschine-Walze. Zur Verbreitung von Eisen und Stahl trug die Verbilligung der Herstellung und der wachsende Bedarf im Maschinenbau bei. Wurden im Jahr 1740 noch 15 Tonnen Kohle für die Herstellung einer Tonne Roheisen gebraucht, so waren es im Jahr 1850 2,5 Tonnen, wozu wesentlich die Verwendung von Heißluftgebläsen beitrug ([21], Seite 391). Aus der Eisenverhüttung kamen ebenso wie aus der Textilindustrie Impulse für die Entwicklung der Chemieindustrie. Bei der Verkokung von Steinkohle fiel Teer an, beim Schmelzen des Eisens Gase, die zunehmend für die Schmelzprozesse selbst verwendet wurden oder als Grundstoffe für eine weitere chemische Verarbeitung oder zur Beleuchtung dienten. Außerdem mussten im Hochofen unerwünschte Bestandteile des Eisenerzes wie etwa Kohlenstoff, Phosphor oder Schwefel entfernt werden.

Der Bau von Werkzeug-, Dampf- und Textilmaschinen und später von Lokomotiven und Schienen aus Gusseisen und Stahl erforderte eine immer größere Fertigungsgenauigkeit beim Drehen, Bohren, Fräsen und Hobeln ([18], Seite 75 folgende). Vor allem durch Henry Maudslays Metaldrehbank mit Kreuzsupport und Leitspindel um etwa 1800 wurde eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung von Holz und Metallen erfunden, über die Karl Marx ([15], Seite 406) schreibt. "Diese mechanische Vorrichtung ersetzt nicht irgendein besonderes Werkzeug, sondern die menschliche Hand selbst, die eine bestimmte Form hervorbringt, durch Vorhalten, Anpassen und Richtung der Schärfe von Schneidinstrumenten usw. gegen oder über das Material z. B. Eisen. So gelang es, die geometrischen Formen der einzelnen Maschinenteile mit einem Grad von Leichtigkeit, Genauigkeit und Raschheit zu produzieren den keine gehäufte Erfahrung der Hand des geschicktesten Arbeiters verleihen könnte." Maudslay entwickelte oder verbes-

serte unter anderem noch Maschinen zum Gewindeschneiden und zum Spanen. Mit der Drehbank begann die Maschinisierung der Metall- und Holzbearbeitung, aus der dominierenden Rolle des Hand-Werkzeugs wurde allmählich die führende Rolle des Maschinen-Werkzeugs. Vor der Montage der an der Drehbank hergestellten Maschinenteile war ihre manuelle Endbearbeitung erforderlich. So lange in einem Fertigungsprozess manuelle Nacharbeit erforderlich ist, bleibt dort ein Handwerksanteil bestehen. Im Unterschied zur Textilindustrie erforderte der Maschinenbau qualifizierte Arbeiter. Die Gründung der ersten Maschinenbaubetriebe erforderte kein großes Startkapital, aber eine große handwerkliche Begabung.

Maudslay und seine Schüler begannen auch, die Grundlagen für eine Gewindenormung und andere Standardisierungen zu erarbeiten, die Voraussetzungen für die Massenfertigung von Ersatzteilen der Textilmaschinen waren. Bestrebungen zur allgemeinen Zugänglichkeit von Erfindungen und der Standardisierung von Produkten sind ein ständiges Thema im Verlauf der technischen Entwicklung im Kapitalismus. Das liegt daran, dass technische Neuerungen zunächst in einem Betrieb stattfinden, die sich diese patentieren oder anderweitig schützen lassen, um allein davon zu profitieren. Die Konkurrenz sorgt dafür, dass Neuerungen nicht für immer monopolisiert werden können. Dies geschah in der industriellen Revolution vor allem durch Industriespionage, Abwerbung von Fachpersonal und nicht lizenziertem Nachbau. Immer versucht das Kapital seine Produkte so auszugestalten, dass der Käufer bei Ersatz auf seine Firma angewiesen ist.

Am Beispiel der Durchsetzung der Watt'schen Dampfmaschine soll auf eine Triebkraft technischer Entwicklung hingewiesen werden. Die Watt'sche Dampfmaschine benötigte nur ein Viertel der Energie der Dampfmaschine von Newcomen ([20], Seite 180), von dieser Energieersparnis erhielten Boulton und Watt ein Drittel als Lizenzgebühr. Technischer Fortschritt hat im Kapitalismus wegen der Profitmaximierung immer auch das Ziel, die materiellen Ressourcen so effektiv wie möglich zu nutzen, das heißt Maschinenkosten, Energieverbrauch und Werkstoffeinsatz zu minimieren. Veranschaulichen wir das am Beispiel des Energieverbrauchs. Im 20. Jahrhundert verdrängten dezentrale Verbrennungs- und Elektromotoren die Dampfmaschinen, weil sie einen höheren Wirkungsgrad hatten und damit auch in kleineren Betrieben einsetzbar waren. In der industriellen Produktion hatten die elektrischen Antriebe an jeder einzelnen Maschine eine weitere Folge. Die Transmissionsmechanismen wurden überflüssig, die notwendig waren, um die Drehzahl einer zentralen Dampfmaschine auf die für eine einzelne Maschine erforderliche Drehzahl herunter zu regeln. Der Mechanismus verbrauchte viel Energie durch Reibung und war sehr störanfällig. Am Beispiel des Elektromotors lässt sich das Thema der Materialeinsparung veranschaulichen. Wog ein Drehstrommotor mit einer Leistung von einem Kilowatt im Jahr 1891 noch 88 Kilogramm, so wog er bei gleicher Leistung im

Jahr 1964 nur noch 7,5 Kilogramm, das entspricht einer Gewichtseinsparung von 20 % alle 10 Jahre ([23], Seite 383).

Zwei Aspekte der Industrialisierung sind noch zu erwähnen. Zum einen: Das Transportaufkommen erhöhte sich stark, was in Großbritannien zunächst zu einem Kanalnetz von 4000 Kilometer Länge ([21], Seite 435) und dem Bau von befestigten Straßen führte, und ab 1830 durch den Eisenbahnbau bewältigt wurde. Zum andern: Sie erzeugte in bisher unbekanntem Ausmaß eine Verschmutzung von Wasser, Luft und Böden und war der Beginn der vom Menschen erzeugten Klimawandels. Die dadurch entstehenden Kosten werden nicht vom Kapital getragen, sondern auf die Gesellschaft abgewälzt.

Die Liste sich gegenseitig antreibender und bedingender Erfindungen ließe sich fortsetzen (vergleiche [18], [19], [20], [21]). Dies beschreibt Marx so: „So machte die Maschinenspinnerei Maschinenweberei nötig und beide zusammen die mechanisch-chemische Revolution in der Bleicherei, Druckerei und Färberei. So rief andererseits die Revolution in der Baumwollspinnerei die Erfindung des gin zur Trennung der Baumwollfaser vom Samen hervor, womit erst die Baumwollproduktion auf dem nun erheischten großen Maßstab möglich ward. Die Revolution in der Produktionsweise der Industrie und Agrikultur ernötigte aber auch eine Revolution in den allgemeinen Bedingungen des gesellschaftlichen Produktionsprozesses, d.h. den Kommunikations- und Transportmitteln.“ ([15], Seite 404/405).

Fasst man die wesentlichen Merkmale der industriellen Revolution im Produktionsprozess zusammen, so bestehen sie in der:

- Ersetzung der menschlichen Hand zuerst in der Textilindustrie und danach in der Holz- und Metallbearbeitung bei der Formgebung des Arbeitsgegenstands
- Ersetzung von Wasser-, Windkraft und Holz durch Kohle und Dampfmaschine in der Textilindustrie, dem Maschinenbau und der Eisenverhüttung, was eine schnelle Ausdehnung der Produktion ermöglichte
- Ersetzung von Holz durch Eisen im Maschinenbau, Bau- und Transportwesen.

Mit dem Beginn der maschinellen Produktion änderte sich die Stellung des Arbeiters in der Produktion: „Aus der lebenslangen Spezialität, ein Teilwerkzeug zu führen, wird die lebenslange Spezialität, einer Teilmaschine zu dienen.“ ([15], Seite 445). Und weiter schreibt Marx zum Inhalt der Arbeit: „Selbst die Erleichterung der Arbeit wird zum Mittel der Tortur, indem die Maschine nicht den Arbeiter von der Arbeit befreit, sondern seine Arbeit vom Inhalt. Aller kapitalistischen Produktion, sofern sie nicht nur Arbeitsprozeß, sondern zugleich Verwertungsprozeß des Kapitals, ist es gemeinsam, daß nicht der Arbeiter die Arbeitsbedingung, sondern umgekehrt die Arbeitsbedingung den Arbeiter anwendet, aber erst mit der Maschinerie erhält diese Verkehrung technisch hand-

greifliche Wirklichkeit.“ ([15], Seite 446). Diese Anpassung bedeutet Disziplinierung und Gewöhnung an Gehorsam und Unterordnung, wozu zahlreiche Fabrikordnungen erlassen wurden.

Die Einführung von Maschinen erlaubte es in der industriellen Revolution in großem Maßstab, Kinder Frauen und Ungelernte vor allem in der Textilindustrie und im Bergbau einzusetzen, eine Entwicklung, die sich bis auf die Kinderarbeit in der fordistischen Produktion des 20. Jahrhunderts wiederholte. Um dazu ein paar Zahlen zu nennen: Zu Beginn der Kinderschutzgesetzgebung im Jahr 1835 waren in Großbritannien nur etwa 26 % der Beschäftigten Männer über 18 Jahre, 48 % waren Frauen über 13 Jahre und 13 % Jungen und Mädchen unter 13 Jahre. In der Textilindustrie und im Bergbau wurde die Arbeitszeit für Kinder unter 13 Jahren erst 1833 auf 9 Stunden begrenzt ([21], Seite 486). Die wöchentliche Arbeitszeit betrug zuvor oft 70 bis 80 Stunden. Die physische, gesundheitliche und psychische Belastung der Industriearbeiter war höher als bei der Heimarbeit, so dass sie mit spätestens 45 Jahren „verschlissen“ waren. Aufgrund der hohen Kindersterblichkeit, arbeitsbedingten Krankheiten wie der Silikose, Seuchen wie Cholera und Typhus lag die Lebenserwartung in typischen Industriestädten Großbritanniens um das Jahr 1830 bei unter 20 Jahren ([24], Seite 232]). Diese „Begleiterscheinungen“ der industriellen Revolution sind keine Folgen des technischen Fortschritts, sondern seiner Anwendung im Kapitalismus, dessen Ziel die möglichst profitable Verwertung des eingesetzten Kapitals ist. Von der technischen Seite her bedeutete die Mechanisierung der Produktion eine Ersparnis von menschlicher Arbeit im Produktionsprozess und somit eine Befreiung des Menschen bei der Herstellung der lebensnotwendigen Güter.

Wie Marx analysierte, verdrängt der Einsatz von Maschinen notwendigerweise Arbeiter in den Bereichen, in denen sie eingeführt werden. Als Beispiel kann das „Webersterben“ genannt werden: Waren im Jahr 1788 noch 100 000 Weber beschäftigt und im Jahr 1830 240 000, so waren es im Jahr 1860, bedingt durch die breite Einführung der Maschinenweberei, nur noch 10 000 ([21], Seite 307), Marx schreibt ([15], Seite 414): „Ausschließlich als Mittel zur Verwohlfeilerung des Produkts betrachtet, ist die Grenze für den Gebrauch der Maschinerie darin gegeben, daß ihre eigne Produktion weniger Arbeit kostet als ihre Anwendung Arbeit ersetzt. Für das Kapital jedoch drückt sich diese Grenze enger aus. Da es nicht die angewandte Arbeit zahlt, sondern den Wert der angewandten Arbeitskraft, wird ihm der Maschinengebrauch begrenzt durch die Differenz zwischen dem Maschinenwert und dem Wert der von ihr ersetzten Arbeitskraft.“ Arbeit wird nur dort geschaffen, wo die neuen Produktionsmittel hergestellt werden, dies kann aber prinzipiell die eingesparte Arbeit nicht kompensieren, auch darum, weil die Qualifikation der ersetzten Arbeiter eine andere ist, als diejenige, die zum Bau der Maschinen benötigt wird. Wenn trotz Automatisierung die Anzahl der Arbeiter in dem betroffenen Bereich steigt, liegt das an der aus anderen Gründen ausgeweiteten Produktion. Die zitierte Aussage von

Marx betont außerdem, dass das Profitstreben des Kapitals ein Hindernis für die Einführung technischer Neuerungen ist.

Aus diesem knappen Überblick geht hervor, dass die technologischen Entwicklungen in der industriellen Revolution, beginnend in der Textilindustrie im Endergebnis zu einer revolutionären Änderung der Produktionsprozesse in verschiedenen Industriezweigen führte. Die industrielle Revolution vernichtete die Hausindustrie, an ihre Stelle trat die Produktion in mechanisierten Fabriken. Sie führte zur Bildung von Kapital besitzenden Unternehmern und zu einer lohnabhängigen Arbeiterschaft. Auch die Erwerbstätigenstruktur veränderte sich stark. Waren im Jahr 1760 noch 50% der Erwerbstätigen in der Landwirtschaft beschäftigt, so waren es im Jahr 1851 nur noch 15%. Dementsprechend stieg im gleichen Zeitraum der Anteil der in Industrie, Bergbau, Handel und Transportwesen Beschäftigten von 25% auf 63%, wobei etwa 20% der Beschäftigten in der Textilindustrie arbeiteten ([24], Seite 194 folgende). Innerhalb eines Jahrhunderts hatte sich Großbritannien von einem Agrarstaat zum ersten Industriestaat entwickelt.

In der industriellen Revolution fand sowohl eine technische Revolution als auch eine Revolution der Produktionsverhältnisse und der gesellschaftlichen Herrschaftsverhältnisse, statt. Es ist schwierig, den Zeitraum der industriellen Revolution festzulegen. Um eine grobe Zeitschätzung zu geben, könnte man die Zeitspanne von der Erfindung des Weberschiffchens im Jahr 1733 bis zum „Webersterben“ um 1850 nennen, das ein Kennzeichen des Siegs der Maschinenarbeit ist, also gut 100 Jahre. Manche Autoren nehmen die früher beginnende Agrarrevolution oder sogar die Phase der ursprünglichen Akkumulation von Kapital hinzu und kommen auf längere Zeitspannen. Von Seiten der Entwicklung der Produktivkräfte her sind die genannten gut 100 Jahre ein passender Annäherungswert, weil er die Zeitspanne der ersten Ersetzung von Handarbeit in der Textilindustrie bis zur endgültigen Durchsetzung der mechanisierten Produktion umfasst.

In Großbritannien entstanden die ersten Fabriken weitgehend außerhalb feudaler Strukturen. Die zukünftigen Unternehmer waren davor häufig technisch begabte und interessierte Handwerker aber auch Branchenfremde. In der Textilindustrie war zunächst der Einsatz von Kapital gering. Waren größere Kapitalvorschüsse erforderlich, so wurden sie oft durch Partnerschaften mit bereits etablierten Unternehmen mobilisiert. Ein Beispiel für eine solche Partnerschaft ist die zwischen dem Metallwarenfabrikanten Mathew Bolton und James Watt. Nur im Straßen-, im Kanal- und später im Eisenbahnbau stammte ein nennenswerter Anteil des vorgestreckten Kapitals vom Adel, der dafür Mautgebühren, Zinsen oder Dividenden bekam ([21], Seite 481 folgende). Es gab offensichtlich einen Burgfrieden zwischen der aufkommenden Bourgeoisie und einem Großteil der Grundbesitzer, die die Gewinnung einer wachsenden Hegemonie der Kapitalbesitzer über den Feudaladel ermöglichte. In Frankreich wurde der Feudalis-

mus durch die Französische Revolution besiegt, erst danach begann die Industrialisierung. Mit der Französischen Revolution begann der Eintritt der Massen in die Geschichte. In Deutschland scheiterte der Versuch der bürgerlichen Revolution im Jahr 1848 unter anderem wegen der Furcht des Bürgertums vor den Folgen einer Mobilisierung der Massen. Daraufhin wurde in Deutschland ein Klassenkompromiss zwischen Feudaladel und Industriekapital geschlossen, der erst nach dem zweiten Weltkrieg endgültig überwunden werden konnte. Die Durchsetzung der kapitalistischen Produktionsweise setzt, abhängig von der historischen Situation, offensichtlich keinen gewaltsamen Sturz des Feudalismus voraus. Die Frage nach den Bedingungen zur Ablösung einer überholten Produktionsweise durch eine fortschrittlichere sprengt den Rahmen dieses Artikels.

Die nachholende Entwicklung anderer Länder zum Industriezeitalter verlief oft anders als die Industrialisierung in Großbritannien. In Großbritannien begann die industrielle Revolution in der Konsumindustrie. In der nachholenden industriellen Entwicklung Deutschlands waren vor allem der Eisenbahnbau und die Schwerindustrie dominierend. Die Frage des notwendigen Schwerpunkts bei einer nachholenden Industrialisierung war und ist ein kontrovers diskutiertes Thema beim Aufbau des Sozialismus in der Sowjetunion und in China.

3.3 Schlussfolgerungen aus der ersten industriellen Revolution

In den technologischen Neuerungen der industriellen Revolution können wir ein gemeinsames Prinzip des Industriezeitalters entdecken, das Karl Marx folgendermaßen beschreibt: „Ihr Prinzip, jeden Produktionsprozeß, an und für sich und zunächst ohne Rücksicht auf die menschliche Hand, in seine konstituierenden Elemente aufzulösen, schuf die ganz moderne Wissenschaft der Technologie.“ ([15], Seite 510). Die Grundlagen dafür wurden in der manufakturmäßigen Teilung des Arbeitsprozesses in seine Teilfunktionen geschaffen. Eine solche Zerlegung bietet die Möglichkeit, einzelne Funktionen zu automatisieren. Die Aufteilung des Produktionsprozesses in eine Vielzahl einfacher Bearbeitungsschritte kann auch ohne eine Automatisierung zu einer Effizienzsteigerung der Produktion führen. Die Investitionen in Automatisierungsmöglichkeiten erfolgen im Kapitalismus nur, wenn sie billiger als die ersetzte Arbeitskraft sind. Investitionen werden nur vorgenommen, wenn das Kapital erwartet, dass sich dadurch die Profitmasse erhöht.

Wir haben weiter festgestellt, dass nicht die Art des Antriebs, die Kraft- oder Bewegungsmaschine, den Kern der industriellen Revolution ausmacht, sondern die Werkzeugmaschine, die die Hand des Arbeiters ersetzte: „Alle entwickelte Maschinerie besteht aus drei wesentlich verschiedenen Teilen, der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine. Die Bewegungsmaschine wirkt als Triebkraft des ganzen

Mechanismus. Sie erzeugt ihre eigene Bewegungskraft, wie die Dampfmaschine, kalorische Maschine, elektro-magnetische Maschine usw., oder sie empfängt den Anstoß von einer schon fertigen Naturkraft außer ihr, wie das Wasserrad vom Wassergefäll, der Windflügel vom Wind usw. Der Transmissionsmechanismus, zusammengesetzt aus Schwungrädern, Treibwellen, Zahnrädern, Kiseelrädern, Schäften, Schnüren, Riemen, Zwischengeschirr und Vorgelege der verschiedensten Art, regelt die Bewegung, verwandelt, wo es nötig ihre Form, z.B. aus einer perpendikulären in eine kreisförmige, verteilt und überträgt sie auf die Werkzeugmaschinerie. Beide Teile des Mechanismus sind nur vorhanden, um der Werkzeugmaschine mitzuteilen, wodurch sie den Arbeitsgegenstand anpackt und zweckgemäß verändert. Dieser Teil der Maschinerie, die Werkzeugmaschine, ist es, wovon die industrielle Revolution im 18. Jahrhundert ausgeht.“ ([15], Seite 393).

Zusätzlich zeigt sich, dass die kontinuierliche Steigerung der Produktivität Kennzeichen und Folge des Industriezeitalters ist: „Die moderne Industrie betrachtet und behandelt die vorhandene Form eines Produktionsprozesses nie als definitiv. Ihre technische Basis ist daher revolutionär, während die aller früheren Produktionsweisen wesentlich konservativ war. Durch Maschinerie, chemische Prozesse und andere Methoden wälzt sie beständig mit der technischen Grundlage der Produktion die Funktionen der Arbeiter und die gesellschaftlichen Kombinationen des Arbeitsprozesses um. Sie revolutioniert damit ebenso beständig die Teilung der Arbeit im Innern der Gesellschaft und schleudert unaufhörlich Kapitalmassen und Arbeitermassen aus einem Produktionszweig in den anderen.“ ([15], Seite 510, 511). Nach Marx besteht das Revolutionäre des Industriezeitalters im Vergleich zu früheren Wirtschaftsformationen in der unaufhörlichen Weiterentwicklung der Produktionsprozesse. Sie ist die Folge des immanenten Triebs des Kapitalismus, die Produktivkraft der Arbeit zu steigern ([15], Seite 338). Daher war der Sieg des Kapitalismus ein großer Fortschritt gegenüber der zunehmenden Stagnation des Produktionssystems des Feudalismus, der eine weitere Steigerung der Produktivität zunehmend behinderte.

Das Ziel des technischen Fortschritts ist die möglichst weitgehende Ersetzung von menschlicher Arbeitskraft im Produktionsprozess. „Ein eigentliches Maschinensystem tritt aber erst an die Stelle der einzelnen selbständigen Maschine, wo der Arbeitsgegenstand eine zusammenhängende Reihe verschiedener Stufenprozesse durchläuft, die von einer Kette verschiedenartiger, aber einander ergänzender Werkzeugmaschinen ausgeführt werden.“ ([15], Seite 400). Marx charakterisiert diese Entwicklung als die Verwandlung des Produktionsprozesses in einen wissenschaftlichen Prozess, der sich der Naturkräfte bedient, um die Bedürfnisse des Menschen zu befriedigen. Der breite Einzug der Wissenschaft in Technik und Produktion begann mit dem Aufkommen der Chemie und der Elektrotechnik in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die allmähliche Annäherung begann bereits in der industriellen Revolution, zur notwendigen Vo-

raussetzung technischer Entwicklungen wurde die Wissenschaft im 20. Jahrhundert. Aus den Zitaten wird deutlich, dass Marx den technischen Fortschritt in der Produktion ohne Wenn und Aber begrüßt, weil er den Menschen immer weiter von der Notwendigkeit eintöniger Arbeit für seine Existenzbedürfnisse befreit und ihm damit Zeit für eine allseitige Weiterentwicklung ermöglicht. Wie dargestellt, analysierte Marx, dass die kapitalistische Wirtschaftsform ihrerseits innere Widersprüche besitzt, die die Entwicklung der gesellschaftlichen Produktivkräfte behindern. Deren Zuspitzung kann zur Erkenntnis führen, dass ein Übergang zu einer neuen Produktionsweise objektiv geboten ist, dieser Übergang kann jedoch nur durch die Erringung der politischen Hegemonie durch die fortschrittlichere Klasse gelingen. Die Formen eines solchen Übergangs hängen von der jeweiligen historischen Situation ab.

Die Einführung von Maschinen in die Produktion führt in vielen Bereichen zu geringeren Anforderungen an die Qualifikation der Arbeitskraft. Zu Beginn des Industriezeitalters führte das zu massenhafter Beschäftigung von Kindern und Frauen.

3.4 Fließbandproduktion als zweite industrielle Revolution?

Einleitend ist vorzuschicken, dass das Hochzählen industrieller Revolutionen begrifflich schwammig ist. Durch die im letzten Kapitel beschriebene industrielle Revolution, die die Manufakturperiode ablöste, wurde die moderne Industrie geschaffen. Alle nachfolgenden technischen Revolutionen sind Revolutionen innerhalb des Industriezeitalters. Dennoch bezeichne ich hier auch die industrielle Revolution als erste industrielle Revolution, die weiteren technischen Revolutionen des Produktionsprozesses werden als industrielle Revolutionen hochgezählt – einfach, weil es sich eingebürgert hat.

Übereinstimmung herrscht bei den Historikern weitgehend über Inhalt und Datierung der ersten industriellen Revolution, auch wenn es vereinzelt Meinungen gibt, die der Weiterentwicklung der Dampfmaschine eine höhere Bedeutung zuschreiben als der Ersetzung der Hand des Arbeiters durch Werkzeugmaschinen. Bei der zweiten industriellen Revolution unterscheiden sich die Meinungen über ihren Inhalt und damit auch über ihre Datierung. Manche Historiker setzen sie mit dem verstärkten Aufkommen der chemischen Industrie und der Elektrotechnik Mitte des 19. Jahrhunderts an, andere mit der Einführung des Fließbands in der Automobilindustrie ab 1913 durch Henry Ford in den USA ([25]).

Offensichtlich gab es keine der Mechanisierung des Webens und Spinnens vergleichbare revolutionäre technische Entwicklung, die weitere menschliche Arbeitskraft ersetzte. Mit der chemischen Industrie kam ein neuer Industriezweig auf, der Farben, Dünger, Pharmazeutika, Leuchtgas, Kunststoffe und Kunstfasern, Fotografie und viele andere neue Stoffe und Verfahren entwi-

ckelte. Die Elektrotechnik führte mit dem Elektromotor zu einer dezentralen, der jeweiligen Maschine angepassten Antriebstechnik, die die zentrale Dampfmaschine ersetzte. Seine Verbreitung förderte den Ausbau der Elektrizitätsversorgung und damit die Einführung von elektrischer Beleuchtung, Telekommunikation und vielen anderen elektrischen Geräten. Der Elektromotor verändert ebenso wenig wie die etwa zeitgleich entwickelten Gas- und Verbrennungsmotoren den nachgelagerten Herstellungsprozess. Wie bereits dargestellt, ist es nicht die Kraftmaschine, sondern die Werkzeugmaschine, von der eine industrielle Revolution ausgeht. Die Entwicklung der elektrotechnischen und chemischen Industrie zeigt gleichwohl ein neues Element der weiteren technischen Entwicklung. Beide Industrien waren nicht ohne wissenschaftliche Forschung möglich. So war zum Beispiel die Entwicklung des Rundfunks nur durch physikalische Entdeckungen entstanden. Die Entwicklung der Chemie und der Elektrotechnik förderte die Verzahnung von Wissenschaft und Technik, es entstanden neue Wissenschaftszweige und eine wissenschaftsbasierte Industrie mit eigenen Forschungslaboratorien. Auch in vielen anderen Bereichen wie dem Verkehrswesen, dem Städtebau, dem Bau von schnelleren und präziseren Maschinen oder der Metallurgie gab es viele technische Fortschritte.

Mit der Einführung der Fließbandarbeit in der Automobilindustrie im Jahr 1913 wurde der bisherige industrielle Herstellungsprozess in Einzelschritte zerlegt, die dann von verschiedenen Arbeitern nacheinander ausgeführt wurden. Im Unterschied zur Fließarbeit, bei der das Werkstück zum Beispiel auf Karren zum nächsten Bearbeitungsschritt gefahren wurde, fand der Transport jetzt auf mechanisch angetriebenen Bändern statt, was eine Zeiterfassung und -planung für die einzelnen Arbeitsschritte erforderte. Am eigentlichen Bearbeitungsprozess änderte sich durch die Fließbandarbeit zunächst nichts. Diese Zerlegung war aber Voraussetzung für die Automatisierung, die nach dem zweiten Weltkrieg stattfand. Sie ist vergleichbar mit der Zergliederung der handwerklichen Produktion in der Manufakturperiode, die die industrielle Revolution vorbereitete. Für Marx beginnt „die industrielle Revolution, sobald der Mechanismus dort angewandt (wird), wo von alters her das finale Resultat menschliche Arbeit erheischt“ ([26], Seite 322). Da dies bei der Fließbandproduktion nicht stattfand, kann sie gemäß der Marx'schen Begrifflichkeit nicht als Revolution der Produktivkräfte bezeichnet werden.

Gleichwohl veränderte die Einführung der Fließbandarbeit die industriellen Produktionsprozesse und damit die Produktionsverhältnisse in erheblichen Umfang. Diese geänderten Produktionsverhältnisse werden oft als Fordismus bezeichnet, ein Begriff, der bereits 1924 entstand und von Antonio Gramsci in die marxistische Bewegung eingeführt wurde ([27]). Meist werden diesem Begriff auch Veränderungen der gesellschaftlichen Verhältnisse zugeordnet, die nicht auf die Änderungen der Produktionsprozesse zurückzuführen sind. Dies resultiert daraus, dass Ford in seiner Autobiografie auch seine Vorstellungen zur ge-

gesellschaftlichen Entwicklung propagierte. So schrieb er unter anderem über das „Einvernehmen von Kapital und Arbeit“ und über eine „Art von Wohlstandsbeteiligungsplan“. Der Begriff des Fordismus ist ein Versuch, ein Etikett für gesellschaftliche und politische Entwicklungen zu finden, die zeitgleich mit der Fließbandarbeit stattfanden.

Ein Etikett ist auch die Bezeichnung der Einführung der Fließbandarbeit als „zweite industrielle Revolution“. Es wurde dargelegt, dass die Fließbandarbeit die menschliche Arbeit zergliederte aber nicht ersetzte. Offensichtlich gibt es außerhalb der Marx'schen Begrifflichkeit keine Klarheit darüber, was den Kern einer Revolution der Produktivkräfte ausmacht. Das liegt daran, dass meist nur technologische Aspekte betrachtet werden und nicht ihre Bedeutung für den gesamtgesellschaftlichen Produktionsprozess.

3.4.1 Fordismus und Taylorismus

Henry Ford führte im Jahr 1913 die Fließbandfertigung (assembly line) in seinen Automobilfabriken ein. Zuvor kamen Transportbänder schon in den amerikanischen Schlachthöfen zum Einsatz. Mit der Fließbandfertigung erfolgte eine Zerlegung der Fertigung in einfache Einzelschritte. Was früher die Arbeit von einem Arbeiter war, wurde in Teiloperationen für 29 Arbeiter aufgeteilt, die Gesamtarbeitszeit verringerte sich dabei um 34 % ([28], Seite 9). Dadurch konnte Ford die Preise um 60 % senken und aufgrund seiner Extraprofite die Löhne seiner Arbeiter erhöhen ([2], Seite 210). Die Lohnerhöhungen waren auch darum erforderlich, weil in den USA Arbeitskräftemangel herrschte und jeder, der konnte die Fließbandarbeit mied. Innerhalb weniger Jahre stieg die Produktion des T-Modells auf das Hundertfache. In den USA wurde das Automobil schon vor dem zweiten Weltkrieg unter anderem bei Farmern ein Massenkonsumgut, während es in Westeuropa noch Luxusgut blieb. Das gleiche gilt auch für das Telefon, das in den USA schon vor dem zweiten Weltkrieg ein Massenkonsumartikel wurde, wiederum auch bei den verstreut lebenden Farmern. Anders als in Europa gab es in den USA schon früh einen Markt für verschiedene neue Massenprodukte, wodurch sich ein spezieller amerikanischer Typ von Werkzeugmaschinen entwickelte.

Ford war klar, dass eine Massenproduktion von Gebrauchsgütern jeglicher Art erfordert, dass auch ein Massenkonsum möglich ist, das heißt, dass das Lohnniveau in gewissem Umfang an den Produktivitätsfortschritt gekoppelt werden muss. Wie verbreitet diese Kopplung in den USA außerhalb der Automobilindustrie vor dem zweiten Weltkrieg war, habe ich nicht untersucht. Zu einem Kennzeichen wurde sie in den USA und den westeuropäischen Ländern nach dem zweiten Weltkrieg. Damit konnte sich der Konsum von Massengütern in den USA und Westeuropa durchsetzen. Die Kopplung der Lohnentwicklung an die Produktivitätsentwicklung war eine einmalige, zeitlich begrenzte Phase,

die in allen Industriestaaten in der Mitte der 1970er Jahre endete. Ermöglicht wurde sie durch eine steigende Profitmasse, erzwungen wurde sie durch den nach dem zweiten Weltkrieg erforderlichen neuen Klassenkompromiss, die sich entwickelnde Vollbeschäftigung und die wachsende Stärke der Arbeiterklasse und ihrer Organisationen ([29]).

Bevor die Kennzeichen der fordistischen Produktion beschrieben werden, soll noch auf den Taylorismus als prominenter Schule der in den USA entstandenen Rationalisierungsbewegung eingegangen werden. Als Taylorismus bezeichnet man das von Frederick Winslow Taylor begründete System der Steuerung von Arbeitsabläufen, Arbeitern und Werkzeug auf der Basis von Arbeitsstudien, auch scientific management (wissenschaftliche Betriebsführung) genannt. Damit wurde versucht das die Maschinenentwicklung leitende Prinzip von Effizienz und Wirkungsgrad auf die Fabrikorganisation zu übertragen. Das deutsche Gegenstück zum Taylorismus ist der im Jahr 1924 gegründete REFA-Verband, der Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung. Ziel von Taylorismus, REFA und vergleichbaren Institutionen ist die Rationalisierung von Arbeitsgestaltung und Betriebsorganisation sowie die Normensetzung im technischen Bereich. Die ersten Handwerksmittel waren die Stoppuhr zur Messung der Dauer von Arbeitsschritten und die Zeiterfassungsbögen zu deren Protokollierung ([30]).

Fließbandproduktion und Taylorismus führen zu verwandten Ergebnissen. Beide zergliedern die Arbeitsabläufe in einzelne Arbeitsschritte, um eine Rationalisierung der Produktion zu erreichen. Was bei Ford die Taktung des Fließbands erzwang, waren bei Taylor die auf der Zeiterfassung beruhenden Vorschläge zur Veränderung der Arbeitsmethoden. Beim Taylorismus steht der Gesichtspunkt im Vordergrund, die Produkte durch Änderung der Organisation der Produktion ohne große Investitionen zu verbilligen. Das System der Fließbandarbeit und die daraus resultierenden Veränderungen der Arbeitsorganisation und der Produktionsverhältnisse wird als fordistische Produktion bezeichnet.

3.4.2 Merkmale der fordistischen Produktion

Die wesentlichen Merkmale der fordistischen Produktion sind nach ([31]):

- Massenproduktion und Massenkonsum
- Eine Kopplung der Löhne an den Produktivitätsfortschritt
- Steigerung der Produktivität durch Fließbandarbeit, Serienfertigung, Produktstandardisierung, Rationalisierung und Normierung
- Eingliederung von Ungelernten und Frauen in die Produktion, Einführung der Teilzeitarbeit und Hierarchisierung der Männer- über die Frauenarbeit

- Gliederung der Arbeit in geistige und körperliche, qualifizierte und unqualifizierte monotone Arbeit
- Weiter zunehmende Unterordnung der Arbeitenden unter die Maschinenprozesse
- Verwissenschaftlichung von Technologie, Produktionsprozessen und Betriebsorganisation

Während sich in den USA wesentliche Merkmale der fordistischen Produktion bereits vor dem zweiten Weltkrieg durchsetzten, gab es in den Industriestaaten Westeuropas drei Wellen ([27]). Eine erste von 1924 bis 1929, in der die Konzepte und die Selbstbiografie von Henry Ford breit diskutiert wurden, und Methoden und Regeln zur Normierung, Standardisierung und wissenschaftlichen Betriebsführung entwickelt wurden. Fließbandarbeit war in Westeuropa selten, da es keinen Markt für Massengüter gab. Eine zweite Welle setzte in Deutschland aufgrund der Massenproduktion von Waffen für die Kriegsvorbereitung in der Mitte der 1930iger Jahre ein. Die dritte und nachhaltigste Welle begann in den europäischen Industriestaaten nach dem zweiten Weltkrieg, die mit der zeitweiligen Kopplung der Löhne an die Produktionsentwicklung, der auch in Westeuropa einen Massenkonsum ermöglichte.

Die fordistische Produktion war auch ein neues Herrschaftsinstrument. Zum einen erzwang die Fließbandarbeit eine strenge Arbeitsdisziplin und die Unterordnung der am Fließband Arbeitenden unter den Maschinentakt und die von Spezialisten geplante Arbeitsorganisation. Zum anderen wurde die Arbeiterklasse gespalten in Gelernte und Ungelernte, Männer und Frauen, Deutsche und Ausländer. Der von Ford unterstützte und nach dem 2. Weltkrieg erzwungene Sozialkompromiss stabilisierte den Kapitalismus ebenso wie sein nicht eingehaltenes Versprechen eines ständig zunehmenden krisenfreien Wirtschaftswachstums und Wohlstands. Dies wirkte als eine Art kapitalistische Antwort auf die Systemkonkurrenz mit den sozialistischen Ländern. Große Teile der Arbeiterschaft, der Gewerkschaften und der Marxisten teilten die vom Fordismus hervorgerufene Begeisterung für Technik und auch für Rationalisierung.

Gemäß der Marx'schen Begrifflichkeit der politischen Ökonomie veränderte die fordistische Produktion die Produktionsverhältnisse, ihr fehlt aber der Charakter einer Revolution der Produktivkräfte und der Revolution der Produktionsweise, sie ist eine organisatorische Revolution. So änderte sich zum Beispiel in der Fabrik die Organisation der Arbeit, der Arbeitstakt, die Hierarchie und die betriebswirtschaftliche Organisation, die auch Manager, Einkauf, Vertrieb und Buchführung umfasste. Gesellschaftlich wuchs die Gruppe der Beschäftigten in Handel, Banken und Staat, insbesondere auch der Berufsstand der Ingenieure, der zuvor nicht existierte. Die fordistische Produktion führte zu einer Modifikation der Produktionsverhältnisse, ohne die Herrschaftsverhältnisse anzutasten. Auch qualitative Änderungen der Produktionsverhältnisse sind bei gleichbleibenden Herrschaftsverhältnissen möglich.

Oft wird der Aufbau des Sozialstaats mit der fordistischen Produktion in Zusammenhang gebracht. Mir scheint diese Auffassung falsch. Der Aufbau des Sozialstaats begann nach dem zweiten Weltkrieg in den kriegführenden Ländern bereits vor der breiten Durchsetzung der fordistischen Produktion und entstand aus der Notwendigkeit eines neuen Klassenkompromisses zwischen Kapital und Arbeit. Der Staat spielte in Westeuropa zunächst weitgehend unangefochten eine führende Rolle bei dem Wiederaufbau und der Gestaltung der Wirtschaftsordnung in den Nachkriegsländern. In Westdeutschland war dabei die Schule des Ordoliberalismus prägend, in den meisten anderen westlichen Ländern die von John Maynard Keynes ([29]).

Phasen innerhalb der kapitalistischen Gesellschaft, die sich deutlich durch unterschiedliche Produktionsverhältnisse von früheren unterscheiden, werden oft als gesellschaftliche Betriebsweisen oder Akkumulationsregimes bezeichnet. Beide Begriffe benennen einen für eine gewisse Zeitspanne vorherrschenden Typ von Produktion, Akkumulation und Struktur der gesellschaftlichen Verhältnisse innerhalb des Kapitalismus. Der Begriff des Akkumulationsregimes ist ein Bestandteil der Regulationstheorie ([32]). Ihr Ziel ist es herauszuarbeiten, warum es dem Kapitalismus trotz seiner Krisenhaftigkeit und sozialen Gegensätze gelingt, stabile Phasen wie den Fordismus hervorzubringen. Die Regulationstheorie untersucht vor allem die Instrumente, mit denen das Kapital seine Hegemonie politisch festigt. Der Begriff des Akkumulationsregimes ist also enger als der Begriff der gesellschaftlichen Betriebsweise. Daher ist der Begriff der gesellschaftlichen Betriebsweise, der die Veränderungen der Produktionsverhältnisse bei gleichbleibender Produktionsweise umfasst, besser geeignet.

Für die Erklärung von Stabilitätsphasen der kapitalistischen Herrschaft scheint es mir sinnvoller, auf der einen Seite ökonomisch zwischen Phasen der beschleunigten Akkumulation und Phasen der strukturellen Überakkumulation zu unterscheiden und auf der anderen Seite politisch zwischen Phasen der Stärke und Schwäche der Arbeiterklasse und ihrer Organisationen. Sie hängen miteinander zusammen, sind aber nicht in eins zu setzen. Die Zeitspanne der fordistischen Produktion nach dem zweiten Weltkrieg war sowohl eine Phase der beschleunigten Akkumulation als auch die einer relativ starken Arbeiterklasse. Umgekehrt fiel der Siegeszug des Neoliberalismus seit Mitte der 1970er Jahre ökonomisch mit dem Übergang zur strukturellen Überakkumulation zusammen und politisch mit einer zunehmenden Schwächung der Kampfkraft der Arbeiterklasse.

Angemerkt sei noch, dass inzwischen die standardisierte Massenproduktion in den entwickelten Industriestaaten durch eine flexible Produktion abgelöst wird, sie wurde aber im Rahmen der Globalisierung in die aufstrebenden Industriestaaten verlagert. Vor allem in Fernost findet inzwischen ein Großteil der standardisierten Massenproduktion statt.

4. Basistechnologien am Beispiel des automatisierten Fahrens

Als Einleitung in das Thema „Industrie 4.0“ werden die Entwicklungsschritte zum automatisierten Fahren beschrieben, da sie einfacher zu beschreiben und nachzuvollziehen sind als die Automatisierung der Prozesse in der Produktion. Außerdem ist die Automobilindustrie in einigen Ländern die Leitindustrie, die Einführung von Automatisierungstechniken rund um das Auto sind ein wichtiger Motor für die Automatisierung in anderen Bereichen, dies insbesondere auch, weil es sich um einen Massenmarkt handelt, was dazu führt, dass sich neue Techniken verbilligen. Die eingesetzten technischen Verfahren und Komponenten für die Automatisierung der Industrie und der des Fahrens sind im Prinzip die gleichen.

Schon länger entwickeln und testen zum Beispiel die Internet-Firma Google, Neueinsteiger wie die Firma Tesla oder das Taxiunternehmen Uber und andere, verschiedene Automobilhersteller und Forschungsinstitute sogenannte autonome Fahrzeuge. Tesla ist nicht nur ein Vorreiter der Automatisierung des Fahrens, sondern auch bei der Verwendung des Elektroantriebs in Fahrzeugen. Am Beispiel der Automatisierung des Fahrens lassen sich Verlauf und die zeitliche Dimension der Durchsetzung von Automatisierungstechniken veranschaulichen. Die einzelnen Etappen bis zum vollautomatischen Fahren lassen sich so charakterisieren: menschlicher Fahrer - Fahrassistenz – teilautomatisiertes Fahren – hochautomatisiertes Fahren – vollautomatisiertes Fahren – fahrerloses Fahrzeug. In der ersten Phase der Automatisierung unterstützen technische Systeme wie zum Beispiel Tempomat, Antiblockiersystem, elektronisches Stabilitätsprogramm, Servolenkung, Spurassistent und Abstandswarnung beim Einparken den vollautonomen Fahrer. Beim vollautomatisierten Fahren werden das Auge des Fahrers bei der Erkennung der Verkehrssituation, die Hand des Fahrers beim Lenken und Schalten und der Fuß des Fahrers beim Bremsen, Kuppeln und Gasgeben durch technische Systeme ersetzt.

4.1 Antiblockiersystem, Tempomat und Einparkhilfe

Das Antiblockiersystem hat die Aufgabe, beim Bremsen alle Räder gleichmäßig abzubremsen, damit der Wagen nicht in eine Richtung ausbricht. Ein Sensor ([33]) misst dazu die Raddrehzahlen, eine Steuereinheit sorgt dann dafür, dass der Bremsdruck auf die einzelnen Räder mit Hilfe einer Pumpe so verändert wird, dass die Drehzahl aller Räder gleich wird. Die Pumpe ist in diesem Fall der sogenannte Aktor, der den technischen Prozess so verändert, dass das

vorgegebene Regelungsziel des gleichmäßigen Abbremsens aller Räder erreicht wird.

Zunehmend kommen „smarte Sensoren“ zum Einsatz. Das sind Sensoren, die die Messgrößen nicht mehr ungefiltert an weiterverarbeitende Rechensysteme weitergeben, sondern mittels eingebauter Intelligenz selbst die Aktionen für das nachgeschaltete System vorbereiten. Der Vorteil von smarten Sensoren ist nicht nur, dass sie keine externen Rechner benötigen, darüber hinaus fördern sie die Standardisierung der Verarbeitung der Sensordaten. Das Adjektiv „smart“ vor Begriffen bezeichnet immer, dass in diesen Dingen eine Auswertungsintelligenz eingebaut ist. Immer mehr Messgrößen können durch Sensoren erfasst werden. Sie werden immer kleiner, genauer und preiswerter und kommen so auch in Alltagsgeräten wie etwa den Smartphones zum Einsatz. Sie bestimmen zum Beispiel in den Greifsystemen von Robotern die Kraft, mit der der Roboter einen Gegenstand ergreift ohne ihn fallen zu lassen oder zu zerquetschen. Sensoren sind ein wesentlicher Bestandteil der heutigen Automatisierungsprozesse.

Systeme wie zum Beispiel die Steuereinheit im Antiblockiersystem werden eingebettete Systeme ([34]) genannt. Es handelt sich dabei um spezielle Rechner, meistens Mikrocontroller. Mikrocontroller sind Mikroprozessoren, die auf einem Chip zusätzlich die gesamte Peripherie zur Kommunikation enthalten. Eingebettete Systeme sind Mikrocontroller, die Überwachungs-, Steuerungs-, Regelungs- und auch Kommunikationsfunktionen übernehmen. Manche dieser Funktionen müssen wie die Bremskraftveränderung beim Antiblockiersystem unmittelbar erfolgen, setzen also sehr schnelle Komponenten und Programme voraus. Eingebaute Logiken befinden sich auch in vielen Haushaltsgeräten und Gebrauchsgegenständen. Seit dem Jahr 2009 fördert das BMBF die Entwicklung eingebetteter Systeme mit der ‘national roadmap embedded systems’ ([6]).

Am Beispiel des Tempomats kann die Entwicklung zu einem zunehmend automatisierten System dargestellt werden. Der 1958 von Chrysler eingeführte Tempomat diente dazu, eine vorgegebene Geschwindigkeit bis zur Abschaltung des Tempomats durch den Fahrer beizubehalten. Dazu bedurfte es einer Geschwindigkeitsmessung und einer davon abhängigen Automatik zur Veränderung der Kraftstoffzufuhr. Heutige Abstandsregeltempomaten messen zusätzlich den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und reduzieren die eigene Geschwindigkeit, wenn sich das voranfahrende Fahrzeug verlangsamt. Dazu wird ein Abstandssensor benötigt, der je nach Entfernung über einen Nahbereichsradar und Kameras realisiert wird, und auf der Aktorseite eine elektronisch steuerbare Kraftstoffzufuhr. Das Lenken bleibt bei diesem System noch in der Verantwortung des Fahrers. Beim stärker automatisierten Fahren kommt eine elektronische Bremse hinzu, ein automatisiertes Bremssystem, das bei auftretenden Hindernissen, zum Beispiel bei Annäherung an ein Stauende, ohne Fahrereingriff abbremst (Stauassistent, Kollisionsschutz). Bei jeder Automatisierung müssen einfache und zuverlässige Schnittstellen zwischen Fahrer und Automatik

sowie eine Fahrerüberwachung entwickelt werden, die dem Fahrer die Kontrolle übergeben, wenn die Automatik ihre Grenzen erreicht. Bei Vollautomatisierung müssen die Systeme so ausgereift sein, dass sie in unterschiedlichsten Situationen verlässlich funktionieren.

Da mit dem hochautomatisierten Fahren ab dem Jahr 2020 gerechnet wird ([35]), ergibt sich vom ersten Tempomat bis zur vollständigen Automatisierung des Fahrens ein Zeitraum von etwa 70 Jahren. Die Durchsetzung der technischen Revolutionen der ersten industriellen Revolution hatten, wie beschrieben, ebenfalls den Horizont von Jahrzehnten. Der Begriff der technischen Revolution hat also anders als bei der politischen Revolution nicht den Aspekt einer schnellen Änderung. Wie im Fall der politischen Revolution bezeichnet er aber eine grundlegende Veränderung.

Auch das Beispiel der Einparkhilfe zeigt die allmähliche Entwicklung der Systeme. 1992 wurde die Einparkassistenten mithilfe von Ultraschallsensoren oder Nahbereichsradar eingeführt. Sie arbeiten wechselweise als Sender oder Empfänger und bestimmen so die Entfernung des eigenen Fahrzeugs von anderen Gegenständen. Der Fahrer bleibt vollständig autonom, er kann die Warnsignale ignorieren. Diese Messtechnik ist nur für kurze Entfernungen anwendbar ([35], Seite 54, 55). Neuere Einparkhilfen können neben der Entdeckung einer passenden Parklücke den Einparkvorgang vollständig übernehmen, das heißt die Geschwindigkeitsregelung, das Bremsen und das Lenken, es handelt sich um ein automatisiertes Fahren bei geringer Geschwindigkeit. Auge, Hand und Fuß des Fahrers werden durch Sensoren und Automaten ersetzt.

4.2 Weitere Schritte zum automatisierten Fahren

Wichtige Elemente der sogenannten cyber-physikalischen Systeme wurden bereits genannt: Sensoren, Steuergeräte, Software, Aktoren, Reaktion in Echtzeit. Einen guten Überblick über den Stand und die Zukunft dieser Technologien bieten ([35]), ([6]), [1]) und viele Internetseiten wie zum Beispiel ([36]) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Autonomik ist ein wichtiger Förderschwerpunkt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Einige Gesichtspunkte sind zu ergänzen, vor allem zu der cyber-Komponente. Es handelt sich dabei um die Nutzung von Daten, die nicht vom Fahrzeug erhoben werden können und daher aus externen Quellen zum Beispiel über Funk bereitgestellt werden. Im weit verbreiteten Navigationssystem nutzen wir das US-amerikanische satellitengesteuerte Ortungssystem GPS (general positioning system), das das Fahrzeug ortet und dem Fahrer abhängig von seinem augenblicklichen Ort Informationen über den Weg zum eingestellten Ziel angibt. Außerdem werden weitere Informationen wie Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Staus mitgeteilt. Für das hochautomatisierte Fahren auf Autobahnen ist das

GPS teilweise zu ungenau. Daher wird zusätzlich mit zuvor mit 360 Grad-Laserscannern oder mit Lidar erstellten dreidimensionalen Straßenkarten gearbeitet. Beispiele sind Google Maps oder Nokias Kartendienst HERE, der von Audi, BMW und Daimler aufgekauft wurde. Die Existenz solcher Karten ist Voraussetzung für die Freigabe von Strecken für das hoch automatisierte Fahren. Um die Karten aktuell zu halten, sind Updates über Funk vorgesehen.

Darüber hinaus ist eine Vernetzung von Fahrzeugen mit zentralen externen Rechnern und dezentralen, an der Straße eingebauten Kommunikationssystemen und von Fahrzeugen untereinander im Teststadium (Car-to-X-Kommunikation), um aktuelle Informationen auszutauschen. Dies erfordert schnelle Funkverbindungen mit größerer Bandbreite, die ebenfalls in immer kürzeren Zeitintervallen zur Verfügung stehen. 5G, auch Next Generation Mobile Network genannt, ist ein neuer solcher Standard für die Fernübertragung von Daten, der im Jahr 2020 eingeführt werden soll. Gegenüber dem Standard 4G bietet 5G mit 10 bis 50 Gigabit pro Sekunde ([2], Seite 51) eine um den Faktor 1000 höhere Datenrate, Echtzeitdatenübertragung, Kompatibilität von Maschinen und Geräten und einen stark gesenkten Stromverbrauch ([37]). Damit sind 5G und seine Weiterentwicklung eine wesentliche Voraussetzung für das automatisierte Fahren und das später zu besprechende „Internet der Dinge“. Die Möglichkeit, an jedem Ort Daten aus dem Internet abzurufen, wird häufig als mobiles Internet bezeichnet. Die Kosten für die Übertragung von Daten sind bei Übergang von der zweiten zur dritten Generation des mobilen Internets um 95 % gesunken, beim Übergang von der dritten auf die 4. Generation noch mal um 67 % ([38], Seiten 23, 24). Schätzungen zufolge soll das über Mobilfunk übertragene Datenvolumen zwischen 2014 und 2019 jährlich um 17 % wachsen.

Eine große Rolle spielt die Frage nach der Zuverlässigkeit und Ausgereiftheit der automatisierten Systeme. Das betrifft alle Komponenten, die Sensoren, Aktoren, die dazwischen geschalteten Rechner und ihre Software und die Mensch-Maschinen-Schnittstellen. Es ergeben sich Fragen wie die, welche Systeme mehrfach vorhanden sein müssen, ob die Sensoren zuverlässige Daten liefern, wie die Daten von verschiedenen Sensoren zu einem einheitlichen verlässlichen Bild zusammengeführt werden können und so weiter. Vereinfacht gesagt, geht es um eine zutreffende Situationsinterpretation und eine angepasste Handlungsentscheidung in wechselnden Umgebungen. Da die Verkehrssituation im Stadtverkehr viel komplizierter ist als auf Autobahnen, wird zunächst hauptsächlich auf Autobahnen getestet. Aber auch dort bedarf es einer gut durchdachten Teststrategie. Da nicht alle Situationen vorhergesehen werden können, braucht man eine ausgeklügelte Simulationsstrategie ([35], Seite 72). Dennoch ist davon auszugehen, dass Assistenz- und Automatisierungssysteme die Unfallzahlen auf den Straßen deutlich verringern werden, Fachleute gehen von einer Halbierung aus ([2], Seite 174). Sie haben unter anderem nicht nur die bessere Rundumsicht, sondern auch eine schnellere Reaktionsfähigkeit. Dass Autobahnen die

ersten Straßen sein werden, auf denen automatisiertes Fahren stattfinden wird, hat noch einen weiteren Aspekt: Dadurch können die Kosten des Güterverkehrs auf der Straße gesenkt werden.

Durch die Automatisierung des Fahrens stellen sich wichtige rechtliche und ethische Fragen wie die nach der Haftung, wenn ein Fahrzeug im Automatikmodus einen Unfall verursacht, und generell nach der eingebauten Logik, wenn sie eine Entscheidung trifft, die Folgen für andere hat, etwa, wenn zwischen zwei Übeln zu wählen ist. Bereits das teilautomatisierte Fahren erfordert einen Fahrtschreiber und die Dokumentation der Übergabe vom Fahrer an die Automatik und umgekehrt, wozu eine Überwachung des Fahrers notwendig ist.

Eine weitere wichtige Frage ist die nach der Sicherheit der eingebauten Systeme gegen einen unberechtigten Eingriff von außen. Kann das Fahrzeug so manipuliert werden, dass ein Unbefugter es öffnen und damit wegfahren kann, oder ist es möglich, dass während des Fahrens von außen die Kontrolle über die Steuerungselektronik übernommen werden kann? Diese Art der Sicherheit wird auch Informationssicherheit (cyber security) genannt. Die schon genannte Betriebssicherheit (safety), das heißt die Zuverlässigkeit der eingebauten Systeme und die Datensicherheit (privacy), also der Schutz von persönlichen Daten kommen als Sicherheitsfragen hinzu. Diese Fragen stellen sich nicht nur für Fahrzeuge, sondern für alle Systeme, die elektronische Steuerungs- und Regeleinrichtungen und eine Funk- oder Internetschnittstelle besitzen, insbesondere zum Beispiel für die Strom- und Wasserversorgung und die sonstige Infrastruktur.

Aus diesem auf wenige Beispiele verkürzten Überblick über die Automatisierung des Fahrens lassen sich gewisse Erkenntnisse ableiten:

- Die Basistechnologien für zunehmend automatisiertes Fahren sind schon länger in der Form von Fahrassistenzsystemen vorhanden, die weitere Automatisierung ist daher in wenigen Jahren realisierbar.
- Rechner und ihre Software, Echtzeitdatenverarbeitung, präzise Kartendaten und der Mobilfunk werden beim Fahrzeugbau immer wichtiger. Dies war bisher nicht unbedingt die Hauptkompetenz der Automobilindustrie. Sie befindet sich also in einem grundlegenden Wandel, es gibt neue Kooperationen, aber auch neue Konkurrenten wie Googles driverless car, Tesla, Apple und andere. Statt firmeneigener Einzellösungen für Einzelkomponenten bahnen sich Standardlösungen für die Zentralkomponenten mit der Möglichkeit der Individualisierung von Zusatzkomponenten an. Volkswirtschaftlich spielen die Aspekte des fahrerlosen Warentransports, geringerer Unfallzahlen und geringeren Energieverbrauchs eine Rolle.

Am Beispiel der Automobilindustrie wird die Bedeutung der Konkurrenz von Kapitalen für die Durchsetzung technischer Neuerungen anschaulich. Die Anstrengungen der traditionellen Automobilkonzerne nahmen deutlich zu, als mit

branchenfremden Konzernen wie Google und Tesla ernstzunehmende neue Konkurrenten auftraten. Der Auftritt von Google macht auch einen Teil des technologischen Wandels im Automobilbau sichtbar. Inzwischen ist für den Automobilbau die Entwicklung und Programmierung von Steuer- und Regelungseinrichtungen aller Komponenten ebenso wichtig wie früher die Kompetenz im traditionellen Motorenbau. In ([38], Seite 28) werden als Kosten für eine Vollautomatisierung des Fahrens ein Preis von 6250 € pro Auto angegeben, bis zum Jahr 2030 wird erwartet, dass er sich halbiert.

4.3 Veränderungen in der Automobilindustrie

Die Automobilindustrie ist in vielen kapitalistischen Ländern eine Leitindustrie. Technologische Änderungen im Automobilbau haben daher eine besondere Bedeutung für die Entwicklung der Produktionsprozesse in anderen Produktionszweigen.

Nicht nur wegen der Entwicklung zum automatisierten Fahren steht die Automobilindustrie vor großen Umwälzungen. Aus Gesundheits- und Klimaschutzgründen sind sowohl die Ablösung der Verbrennungsmotoren und die Entwicklung neuer Formen der Mobilität im Individualverkehr und im Gütertransport erforderlich. Nachdem im Jahr 2015 in den USA nachgewiesen wurde, dass VW mit einer betrügerischen Software den Schadstoffausstoß seiner Dieselmotoren im Fahrbetrieb manipulierte, erhöhte sich der öffentliche Druck auf die Automobilhersteller, Alternativen zum Verbrennungsmotor zu entwickeln. Inzwischen ist bekannt, dass praktisch alle Hersteller von Dieselmotoren mit unterschiedlichen Methoden bei den Prüfungen des Schadstoffausstoßes ihrer Dieselmotoren betrogen haben und alle im Zusammenspiel mit den Aufsichtsbehörden und dem Gesetzgeber bei den Verbrauchsangaben der Verbrennungsmotoren. In vielen deutschen Städten werden die von der EU vorgeschriebenen Grenzwerte für Stickstoffdioxide und Feinstaub weit überschritten, weswegen die Organisation „Deutsche Umwelthilfe“ gegen 16 Städte in Deutschland und die EU gegen Deutschland wegen Vertragsverletzung gegen die EU-Grenzwerte klagen, es drohen Fahrverbote für Dieselfahrzeuge in den Innenstädten. Betrugs-skandal und der Verdacht auf Kartellabsprachen werden zur Folge haben, dass auch die automobilhörige Politik irgendwann reagieren muss.

Es ist umstritten, ob der Elektromotor die beste Alternative zum Verbrennungsmotor ist. Der Elektromotor wird jedoch in der Öffentlichkeit meist als einzig brauchbare Alternative dargestellt. Seine Umweltverträglichkeit hängt auch davon ab, wie schnell die Energiewende von fossilen auf regenerative Energien erfolgt. China beschloss im Jahr 2016 eine feste Elektromotorenquote für alle verkauften Fahrzeuge eines Herstellers. Sie soll im Jahr 2019 bereits 10 % des Verbrennungsmotorabsatzes betragen und danach jedes Jahr steigen,

außerdem gibt es Vorschriften, die die Produktion von Autos, die einen festgelegten Verbrauch überschreiten, verbieten. Neben der notwendigen Reduzierung der Luftverschmutzung durch den Verkehr geht es China darum, mit dem technisch einfacheren Elektromotor konkurrenzfähig gegenüber der westlichen Automobilindustrie zu werden und die Investitionen in die Entwicklung eines eigenen konkurrenzfähigen Verbrennungsmotors zu überspringen. Nicht nur beim Elektromotorenbau, sondern auch bei der Entwicklung zum automatisierten Fahren strebt der chinesische Staat eine Technologieführerschaft der chinesischen Industrie an. Inzwischen werden auch in einigen westeuropäischen Ländern Fristen für die Zulassung von Verbrennungsmotoren diskutiert.

Die deutsche Automobilindustrie trifft diese Entwicklung ziemlich unvorbereitet, hatte sie doch durch ihre Lobbyarbeit gehofft, noch lange Autos mit Verbrennungs- und insbesondere mit den lukrativen Dieselmotoren zu produzieren, und hat bisher wenig in alternative Antriebstechniken investiert. Dies wird dadurch deutlich, dass es zum Beispiel keine Planung zur Ladeinfrastruktur von Elektromobilen gibt. Wie sicher sich die deutsche Automobilindustrie über den Erfolg ihrer Lobbyarbeit war, sieht man auch daran, dass ihr bei einem Kernthema der Elektromobilität, der Batterietechnik teilweise das Know-How und die Produktionsstätten fehlen, hier sind Japan, Südkorea, China und die USA führend. Da durch den Trend zur Elektromobilität frühere Kernkompetenzen der Automobilindustrie, wie der Motoren- und Getriebebau, an Bedeutung verlieren, können branchenferme Firmen und Startups wie zum Beispiel die amerikanische Firma Tesla den traditionellen Automobilfirmen Marktanteile abnehmen.

Nach ([39], Seite 23) bestehen Motor und Getriebe eines herkömmlichen Verbrennungsmotors aus etwa 1400 Teilen, bei einem Elektromotor und seiner Kraftübertragung sind es 200 Teile, der Elektromotor selbst besteht aus nur 17 Teilen ([40]). Verbrennungsmotoren benötigen komplexe Motorsteuerungs- und Abgaseinrichtungen, Getriebe und andere Bauteile, die bei Elektromotoren ganz oder teilweise entfallen. Verschleiß und damit Ersatzteile und Wartung sollten daher bei einem Elektromotor deutlich geringer sein. Die Automobilindustrie hatte also eine Reihe von Gründen, warum sie die Einführung des Elektromotors zu verhindern versuchte, und wieder ist es vor allem das Vorhandensein von Konkurrenz, die Stillstand verhindert.

Stärker als die Entwicklung zum automatisierten Fahren wird der Druck zu neuen Antriebskonzepten Automobilindustrie, Werkstätten, Tankstellen, Infrastruktur und den Arbeitsmarkt verändern. Vor allem für die stark spezialisierten Zulieferer der bisherigen Antriebstechnik könnte der Trend zur Elektromobilität oder zur Brennstoffzellentechnik das Aus bedeuten. Daimlerchef Zetsche schätzt, dass für den Bau von Elektromotoren möglicherweise sogar nur noch 10 % der für den Bau von Verbrennungsmotoren erforderlichen Belegschaftsstärke benötigt werden. VW hat im Herbst 2016 eine Strategie zur Elektromobi-

lität und gleichzeitig einen massiven Arbeitsplatzabbau angekündigt. Der Arbeitsplatzabbau soll durch die Reduzierung der Leiharbeit vollzogen werden. Dies mag die Stammbesellschaft besänftigen, ändert aber nichts an der Tatsache eines technologisch bedingten Arbeitsplatzabbaus. Da die Elektromobilität oder eine andere Antriebstechnik keine Automatisierung darstellt, werden ihre Folgen für den Arbeitsmarkt sowie Alternativen zum Elektromotor nicht weiter untersucht.

In jedem Fall ist davon auszugehen, dass der Bau von Elektromotoren oder Wasserstoffmotoren wahrscheinlich nur von einem kleinen Teil der im Bau von Verbrennungsmotoren beschäftigten Arbeitern und Ingenieuren geleistet werden kann, dazu ist die erforderliche Qualifikation zu unterschiedlich. Dies hat zur Folge, dass Mitarbeiter umgeschult und neue Ausbildungsberufe geschaffen werden müssen, was auch für die Reparaturwerkstätten gilt. Natürlich gibt es in Folge stärkerer alternativer Antriebstechnologien ebenfalls Auswirkungen auf die Mineralölindustrie, zudem muss eine Infrastruktur zur Energieversorgung von alternativen Antrieben aufgebaut werden.

Der weitgehende Ersatz einer vorhandenen Technologie durch eine andersgeartete wird als disruptiv bezeichnet, eine Branche verschwindet, eine neue tritt stattdessen auf. Der Ersatz des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor oder eine Brennstoffzellentechnik entspricht dem Ersatz der Wasserkraft durch die Dampfmaschine, der Dampfmaschine durch den Elektromotor oder der Kohle durch Erdöl und Erdgas, der zum Zechensterben ab den 1960er Jahren führte. Derzeit erleben wir als disruptive Technologie den Übergang von einer Stromerzeugung auf Basis von fossiler und atomarer Energie zu regenerativen Energiequellen. Es ist klar, dass die betroffenen Unternehmen und die von ihr beeinflusste Politik versuchen, derartige Strukturwandel hinauszuschieben.

Für die Automobilindustrie stellen sich strategische Fragen. Baut die Automobilindustrie die Elektromotoren und Batterien selbst oder kauft sie sie ein, wenn ja, was bliebe dann noch Aufgabe der Automobilindustrie? Wie bei der Automatisierung des Fahrens gewinnt bei der Entwicklung der Elektromobilität der Erwerb von bisher externem Know-how an Bedeutung. Anders als bei der Automatisierung des Fahrens ist der mit der zunehmenden Elektromobilität verbundene Umbruch keine Folge einer neuen technisch revolutionären Entwicklung, Elektromobile waren zu Beginn des 20. Jahrhundert als Taxen oder Transportfahrzeuge in den Städten dominierend. Sie waren zuverlässiger und umweltfreundlicher als die Verbrennungsmotoren, die Batteriereichweite war damals wie heute ein Problem. Im Grunde waren es die Profitinteressen der Öl- und Automobilindustrie, die im Zusammenspiel mit der Politik bisher alternative Antriebskonzepte im Automobilbau und seit vielen Jahren auch ein Tempolimit auf Autobahnen verhinderten.

Aus Sicht des Kapitalismus ist die Forderung nach Umweltschutz eine außerökonomische Forderung, die Folgekosten der kapitalistischen Produktionsweise

für die Umwelt werden auf die Gesellschaft in Gegenwart und Zukunft abgewälzt. Die eigentlich zu lösende Frage ist die, dass der Individual- und Güterverkehr durch andere Formen der Mobilität und Logistik abgelöst werden muss. Dazu ist eine funktionierende öffentliche Verkehrsinfrastruktur, Carsharing-Angebote, Ausbau von Fahrradwegen, die Reduzierung des Güterverkehrs und andere Maßnahmen erforderlich. Insbesondere könnten eine Preiserhöhung auf den Verbrauch von fossilen Brennstoffen, die Abschaffung der steuerlichen Privilegien für Dieselfahrzeuge, Tempolimits oder eine Maut für Fahrten mit dem PKW in die Innenstadt erheblich wirksamer als Softwareupdates den Schadstoffausstoß des Autoverkehrs verringern. Alle Regierungen in Deutschland seit dem zweiten Weltkrieg förderten aber bisher einseitig den Individualverkehr und kappten die öffentliche Verkehrsinfrastruktur.

Das bisherige Geschäftsmodell der Automobilindustrie wird auch durch das sich ändernde Konsumentenverhalten in Frage gestellt. Vor allem jüngere potentielle Käuferschichten sind mobil, aber auch preisbewusst. Meist ist das eigene Auto inzwischen die teuerste Art, um von A nach B zu kommen. Wer die preiswerteste Art zu reisen sucht, sucht und bucht zunehmend über das Smartphone. Daher versuchen immer mehr Automobilhersteller ein Carsharing-Angebot mit ihren eigenen Fahrzeugen anzubieten. Mit Carsharing-Angeboten wird wie bei einer Fahrkarte im öffentlichen Verkehr eine Dienstleistung verkauft. Die Automobilindustrie steht somit gleichzeitig vor drei Herausforderungen:

- der Ersetzung des Verbrennungsmotors,
- der Automatisierung der Fahrzeuge und ihrer Vernetzung
- der Notwendigkeit, Dienstleistungsangebote zur Mobilität anstelle des Verkaufs von Autos zu entwickeln.

Es sind also tiefgreifende Umbrüche in der Automobilindustrie zu erwarten.

5. „Industrie 4.0“ in den Produktionsprozessen

5.1 Vorbemerkungen

Bei der ersten industriellen Revolution bestand die technische Revolution in der Ersetzung der menschlichen Hand bei der Bearbeitung eines Gegenstands, der Bearbeitungsprozess wurde automatisiert. Verallgemeinert man dies Prinzip, so bedeutet Automatisierung den Ersatz menschlicher Fähigkeiten und Funktionen jeder Art durch technische Prozesse in der Produktion. Das können wie bei dem automatisierten Fahren zum Beispiel Fuß, Hand und Auge sein. Die wesentlichen Schritte bei der derzeitigen Automatisierung industrieller Prozesse bestehen neben der weiteren Ersetzung der Hand bei der Führung des Werk-

zeugs vor allem in der Übernahme von Steuerungs- und Regelungseingriffen bei der Führung von Maschinen, das heißt auch von Denk- und Entscheidungsprozessen durch neu entwickelte Bauteile und Programme.

Steuerungs- und Regelungstechnik sind Teilgebiete der Automatisierungstechnik ([41], [42], [43]). Regelung bedeutet, dass man die zu beeinflussende Regelgröße misst und sie mit dem gewünschten Sollwert vergleicht. Der Regler bestimmt die Abweichung und veranlasst, dass sich die Regelgröße wieder dem Sollwert angleicht. Wesentlich für eine Regelung ist die automatische Rückkopplung von Ist- und Sollwert. Ein frühes Beispiel für eine Regelung war der Watt'sche Fliehkraftregler, der die Stellung einer Drosselklappe in der Dampfzuführungszuleitung einer Dampfmaschine so regelte, dass eine gleichmäßige Drehbewegung beibehalten wird. Ein weiteres Beispiel einer Regelung ist der im vorigen Kapitel beschriebene Tempomat im Auto.

Steuerung bedeutet die gerichtete Beeinflussung des Verhaltens technischer Systeme. Aufgrund von Eingabegrößen analoger oder digitaler Art gibt die Steuerung ein Signal, das eine Aktion auslöst. Ein einfaches Alltagsbeispiel ist ein Bewegungsmelder. Ein Sensor registriert eine Bewegung und schaltet eine Leuchte an. Ein frühes Beispiel für ein Steuerungssystem war der Webstuhl von Jacquard (1805). Mittels Lochkarten wurde der Webstuhl so gesteuert, dass er automatisch ein bestimmtes Muster webte. Nach Austausch der Lochkarten wurde ein anderes Muster gewebt. Jacquard's Webstuhl war damit eine der ersten frei programmierbaren Maschinen ([43]).

Wurde die erste technische Revolution durch die in der Manufakturperiode vorgenommene Zerlegung der handwerklichen Produktion in Einzelschritte vorbereitet, so wurde die weitere Automatisierung der industriellen Massenproduktion durch die mit der Fließbandproduktion erfolgte Zerlegung des Produktionsprozesses in einfache Arbeit und Steuerungs- und Überwachungstätigkeiten vorangetrieben.

Am Beispiel der Automatisierung des Fahrens wurden hier Komponenten vorgestellt, die ursprünglich aus der Automatisierung von Produktionsprozessen stammen. Ihr Einsatz im Auto wurde möglich, als die Rechentechnik so schnell war, dass Aktionen in Echtzeit möglich wurden, was bei Produktionsprozessen nicht immer erforderlich ist. Eine zentrale Rolle bei der Beschleunigung der Automatisierung von Produktionsprozessen spielten wie bei der Automatisierung des Fahrens die im Jahr 1971 entwickelten Mikroprozessoren und Mikrocontroller, die von Sensoren stammende Daten verarbeiten und gemäß der in ihnen eingebauten Logik Handlungsanweisungen an nachfolgende Systeme weitergeben. Diese nachfolgenden Systeme werden oft Aktoren genannt, in der Produktionstechnik auch als Handhabungsgeräte, Manipulatoren oder Effektoren bezeichnet.

Wie bereits angesprochen, besteht der Unterschied zwischen Mikroprozessor und Mikrocontroller darin, dass der Mikroprozessor eine reine Recheneinheit

(CPU central processing unit) auf einem Chip ist, während der Mikrocontroller auf seinem Chip noch weitere Funktionen enthält. Mikrocontroller sind in ihren Funktionen und ihrer Leistung auf ihren speziellen Verwendungszweck ausgerichtet, zum Beispiel in einem Haushaltsgerät, einem Smartphone, beim Motormanagement, in einer CNC- oder einer Handhabungsmaschine. Durch die Ausrichtung auf einen bestimmten Verwendungszweck erfordern sie eine geringere Leistungskapazität und sind daher im Betrieb und der Anschaffung billiger. Kleine Mikrocontroller sind inzwischen bei höheren Stückzahlen inzwischen für unter 1 € zu erhalten ([44]). Nach ([45], Seite 24) befinden sich 98 % der vielen Milliarden Mikrocontroller, die jährlich hergestellt werden, nicht in Computern, sondern in Alltagsgegenständen wie Smartphones, Waschmaschinen, Elektrozahnbürsten oder Hometrainern.

Die Vielfalt der Eingangsgrößen für industrielle Mikroprozessoren und Mikrocontroller ist erheblich umfangreicher als die der in Autos verbauten. Praktisch jede für den Produktionsprozess relevante physikalische und verfahrenstechnische Größe kann von Sensoren gemessen werden und als Eingangssignal des Mikrocontrollers oder Mikroprozessors dienen. Die Anzahl der ausgelösten Aktionen ist in der Produktion ebenfalls vielfältiger. Wichtige Klassen von Handhabungsgeräten in der Produktion sind die numerisch gesteuerten NC/CNC-Maschinen ([46]), die Industrieroboter und die Serviceroboter. Sie unterscheiden sich hauptsächlich durch ihren Einsatzzweck. NC/CNC-Maschinen werden vor allem zur formgebenden Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt, Industrieroboter zur Handhabung von Werkzeugen und Werkstücken, etwa bei Montage, Schweißen, Lackieren und vielem mehr ([47]). Eine neuere Entwicklung sind die Serviceroboter. Dies sind mobile Roboter, die mit Menschen zusammenarbeiten und ihnen zuarbeiten. Im Folgenden soll auf wesentliche Etappen der industriellen Automatisierung eingegangen werden.

5.2 Die Entwicklung der Rechentechnik

Zentrale Bedeutung für die sich beschleunigende Automatisierung von industriellen Produktionsprozessen hatte und hat die Entwicklung von Rechner-technik und Programmen. Sie machte die heutigen elektronischen Steuerungen und Regelungen von Handhabungsgeräten erst möglich. Die Entwicklungsgeschichte kann hier nur skizziert werden, vertiefen kann sich der interessierte Leser zum Beispiel bei Wikipedia. Auch bei den Verweisen beschränke ich mich auf wesentliche Artikel, da sonst der Zitierapparat zu umfangreich würde.

Die Entwicklung der numerisch gesteuerten Maschinen und der elektronischen Rechenmaschinen begann gleichzeitig und hatte denselben Ursprung, nämlich militärische Belange. Der erste elektromechanisch ausgestattete Rechner in den USA, der von 1939 bis 1944 gebaute Mark I, diente für Berechnun-

gen zur Erhöhung der Treffsicherheit von Artilleriegeschossen ([48]). Auch der, mit 18000 Röhren ausgestattete Rechner ENIAC wurde ab 1945 wesentlich für den Bau der Atombombe verwendet ([49], Seite 357 folgende). Die Aufgabe der ersten numerisch gesteuerten Maschinen war es, die Fertigungsgenauigkeit von Flugbomben und Flugzeugen zu verbessern. Die bisherigen Werkzeugmaschinen waren dafür zu ungenau, so dass teure Nacharbeiten erforderlich wurden. Daher entstand die Idee, die von Ingenieuren zuvor errechneten geometrischen Profildaten direkt zur Steuerung der Bearbeitungsmaschinen zu verwenden (NC-Technik) ([49], Seite 411 folgende). Militärischen Zwecken dienten auch die in Deutschland und Großbritannien entwickelten Rechner. Der im Jahr 1941 von Konrad Zuse in Deutschland entwickelte Rechner Zuse Z3 war der erste binär arbeitende programmierbare Rechner.

Im Unterschied zu früheren technologischen Neuerungen erfolgte die Entwicklung der Rechentechnik und der numerisch gesteuerten Maschinen zunächst weitgehend auf Staatskosten. Der Grund dafür war, dass die dazu erforderlichen Investitionskosten über viele Jahre für die zivile Industrie zu hoch waren. Das liegt daran, dass mit zunehmender technischer Entwicklung immer mehr wissenschaftliche Vorarbeit und Grundlagenforschung erforderlich wird, um weitere Fortschritte zu erzielen. Dies bedeutet lange Entwicklungszeiten, die dem Interesse einer schnellen Kapitalverwertung widersprechen. Von daher gewinnt die staatliche Förderung von Technologieentwicklung eine wachsende Bedeutung. Dies zeigte sich auch bei der staatlichen Finanzierung der Raumfahrt und des Kernkraftwerksbaus, die beide ihrerseits die Rechner- und Programmentwicklung forcierten. Kommerzielle Rechner setzten sich erst Ende der 1950er Jahre durch. Im Jahr 1959 betrugen die Monatsmieten mittlerer Rechner, wie des Rechners IBM 650 zwischen 35 000 DM und 80 000 DM, bei Großrechnern waren es bis zu 300 000 DM ([49], Seite 372)

Zunächst sollen wesentliche Etappen der Rechnerentwicklung umrissen werden. Beschrieben werden die Digitalrechner, da sie inzwischen fast alle anderen Rechnertypen verdrängt haben. Auf die zunächst rein mechanisch funktionierenden Rechner folgten ab den 1940er Jahren die elektromechanischen Rechner in Relaistechnik, dann die Röhrenrechner. Ab dem Jahr 1955 setzten sich mit Transistoren bestückte Rechner durch und mit der Entwicklung der integrierten Schaltkreise ab dem Jahr 1958 begann das Zeitalter der Mikroelektronik ([50], [51]). Im Jahr 1971 wurde der erste Mikroprozessor vorgestellt und aus ihm für die Anwendung in Geräten der Mikrocontroller entwickelt ([48]). Integrierte Schaltkreise enthalten auf einem Chip mit Abmessungen von wenigen Millimetern inzwischen mehrere Milliarden Schaltelemente samt ihren elektrischen Verbindungen. Zum Vergleich: der genannte Rechner Mark I hatte eine Frontlänge von 16 Metern und wog 35 Tonnen ([49], Seite 358).

Diese zunehmende Miniaturisierung ermöglichte nicht nur höhere Rechenleistungen, sondern auch den Einbau von Mikroprozessoren und Mikrocontrol-

lern in ganz unterschiedliche Geräte. Die bisherige Erfahrung der Entwicklung der Rechnertechnik ergibt, dass sich etwa alle zwei Jahre die Packungsdichte der Schaltelemente auf einem Chip verdoppelt, wodurch sich in etwa demselben Maß die Leistung erhöht ([45]). Dies ist das sogenannte Moore'sche Gesetz. Besaß der erste Mikroprozessor Intel 4004 im Jahr 1971 etwa 2 300 Transistoren, so besaß 20 Jahre später der Intel 80486 bereits 1,2 Millionen Transistoren und der IBM Power 7 Prozessor 20 Jahre später 1,2 Milliarden Transistoren, was jeweils einer Zunahme um das 1000-fache in 20 Jahren entspricht. Musste der Roboter Shakey in den 1960er Jahren noch mit einem Arbeitsspeicher von 192 Kilobyte auskommen, so hatte der IBM-Rechner Watson im Jahr 2011 bereits einen Arbeitsspeicher von 16 Terabyte, eine Steigerung um das 83-Millionenfache. Auch die Zunahme der Geschwindigkeit der Rechner folgt in etwa dem Moore'schen Gesetz. Konnte der Roboter Shakey etwa 12 000 Rechenoperationen pro Sekunde ausführen, so waren es bei dem IBM-Rechner Watson rund 80 Billionen pro Sekunde ([2], Seite 47). Die derzeit leistungsfähigsten Computer haben Arbeitsspeicher um die 1000 Terabyte und Rechenleistungen von mehr als 18 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde, was der Größenordnung der Leistung des menschlichen Gehirns entspricht ([2], Seite 146). Zum Vergleich: Der genannte MARK-I-Rechner konnte 10 Rechenoperationen pro Sekunde durchführen. Gleichzeitig verbrauchen die Rechner immer weniger Strom pro Operation. Dies erlaubt die Verwendung von Rechnern in Mobilgeräten wie den Smartphones. Rechenleistung wurde damit ohne eine Verbindung zu einem Stromnetz verfügbar. Die wachsende Rechenleistung von Rechnern ohne Stromanschluss und die Fähigkeit der Kommunikation mit dem Internet ermöglicht immer mehr technische Anwendungen in Bereichen ohne ausgebaute Infrastruktur. Das empirische Moore'sche Gesetz führte bisher zu einem exponentiell beschleunigten Wachstum der Rechenleistung und damit der Datenverarbeitung, das von der technischen Seite die sich zunehmend beschleunigende Automatisierung in den Produktionsprozessen und anderen Bereichen der Gesellschaft erklärt. Natürlich stößt die Miniaturisierung auf Basis der bisherigen Technik irgendwann auf physikalische Grenzen. Daher werden alternative Rechnerkonzepte und Rechnerarchitekturen wie zum Beispiel Quantencomputer oder neuromorphe Chips entwickelt, die versuchen, Struktur und Funktionsweise des Gehirns nachzubilden. Außerdem werden andere Materialien zur Chipherstellung erprobt.

Die Kosten für Rechner und ihre Komponenten sind beträchtlich gesunken und sinken weiter. Kostete etwa im Jahr 1980 ein Megabyte Festspeicherplatz noch rund 100 US \$, so waren es 20 Jahre später nur noch einige Zehntel US Cent ([45]). Zugleich wurden die Festplatten kleiner und schneller, was die Speicherung großer Datenmengen ermöglichte und neue Programme zu ihrer Verarbeitung erforderte. Nach ([28], Seite 11) sanken die Kosten pro Rechenoperation im Jahresmittel zwischen 1945 und 1980 um 37 % und zwischen 1980

und 1990 jährlich um durchschnittlich 64 %. Kein anderer Bereich der Technik hat ein so hohes Entwicklungstempo wie die Rechnertechnik und ihr Umfeld.

Zu Beginn der Rechnerentwicklung gab es natürlich weder Programme, Programmiersprachen noch Betriebssysteme. Die gewünschten Rechenoperationen mussten dem Rechner am Anfang als Schaltanweisungen an die verbauten Komponenten mitgeteilt werden. Sie wurden über Lochstreifen eingelesen oder gestöpselt. Im Verlauf der Zeit wurden immer wieder neue Computersprachen, Betriebssysteme, Compiler und Anwenderprogramme entwickelt, die es erlaubten, dem Computer Aufgaben zu übergeben, ohne dass dem Entwickler der Aufbau des Rechners bekannt sein muss. Zur Übersetzung von in höheren, leichter handzuhabenden problemorientierte Programmiersprachen, wie zum Beispiel die in der Programmiersprache Fortran programmierten Anweisungen in die Maschinensprache dienten die Compiler und Assembler. Mit der Entwicklung von Schnittstellenprogrammen wurde es möglich, die Ergebnisse von Konstruktionsberechnungen direkt zur Steuerung von Werkzeugmaschinen zu verwenden, aus der NC-Maschine wurde die CNC-Maschine ([52]).

Die Entwicklung der Rechentechnik beschleunigte die Verzahnung von Wissenschaft und Technik. Seit Ende des 19. Jahrhunderts erhält die Technik wesentliche Impulse von der wissenschaftlichen Forschung oder ist ohne sie kaum mehr möglich. Umgekehrt stellt die Technik Forderungen an die Wissenschaft zur Lösung aufgetretener Probleme. Immer neue und stärker spezialisierte Fachdisziplinen entstanden und entstehen. Für viele Probleme, die nicht mit Formeln zu lösen sind, werden numerische Verfahren entwickelt. Die Entwicklung der Rechentechnik erlaubt immer detailliertere Berechnungen und Simulationen in ständig neuen Anwendungsbereichen. Oft wird für diese Entwicklung der Begriff der wissenschaftlich – technischen Revolution verwendet. Die Verbilligung der Rechner und die Einführung der Arbeitsplatzrechner führten auch zu ihrer Verbreitung im kaufmännischen Bereich, Verwaltung und Logistik, womit eine zunehmende Rationalisierung einherging. In der Büroarbeit begann damit eine ähnliche Entwicklung, wie sie durch die Automatisierung der Produktion stattfand.

Auf zwei Begriffe im Zusammenhang der Entwicklung von Rechentechnik und Rechenprogrammen soll noch eingegangen werden, die unter den Schlagworten „Big Data“ und „Künstliche Intelligenz“, im Englischen Artificial Intelligence (AI), bekannt sind. Hierbei handelt es sich um Rechenprogramme, die bereits in vielen Anwendungen genutzt werden und ein großes Zukunftspotential besitzen.

Unter dem Begriff „Big Data“ versteht man die Datenverarbeitung großer Datenmengen mit Programmen auf Rechnern. Diese Daten können aus verschiedenen Quellen stammen, von verschiedenem Typ, auch unstrukturiert und von unterschiedlicher Güte sein. Ausgewertet werden sie mit dem Ziel, daraus Schlussfolgerungen und Empfehlungen für Handlungen abzuleiten. Ein Beispiel

ist die Auswertung von Sensordaten und extern gesendeten Daten, um ein teilautomatisiertes Automobil zu steuern. Ein weiteres Beispiel ist die Auswertung medizinischer Studien zur Unterstützung einer ärztlichen Diagnose oder von juristischen Datenbanken zur Suche nach Vergleichsfällen. Nach Schätzungen verdoppelt sich das weltweite Datenvolumen alle zwei Jahre ([38], Seite 44 folgende), pro Tag entstehen inzwischen zehnmal mehr Daten als alle Bücher der Welt enthalten ([2], Seite 55). Die riesigen Datenmengen benötigen Programme und schnelle Rechner, um die gewünschten Daten und Muster zu finden, um damit aus „Big Data“ „Smart Data“ zu machen. Um ein Beispiel zu nennen: Das Fernwartungszentrum von Siemens überwacht 7500 Windturbinen weltweit. Jede dieser Windturbinen besitzt zwischen 100 und 300 Sensoren, die pro Tag etwa 200 Gigabyte an Daten erzeugen. Aus diesen Daten sind die relevanten Wartungsdaten herauszufiltern ([2], Seite 223).

Es eröffnet sich das neue Geschäftsfeld der vorausschauenden Wartung und Instandhaltung (Product Lifecycle Management). „Big Data“ Auswertungsprogramme, populär als „Data mining“ (Datenbergbau, [53]) bezeichnet, erlauben es darüber hinaus, zunehmend, Intuition, Erfahrung und Denktätigkeit des Menschen durch Programme zu ersetzen. „Data mining“ Programme können schneller als ein Mensch große Datenmengen auf Muster untersuchen und Empfehlungen vorschlagen. Dem „Data mining“ verwandt ist das Gebiet des maschinellen Lernens. Dabei geht es darum, dass Computerprogramme in von Sensoren gelieferten Daten Muster erkennen und daraus Handlungsanweisungen ableiten ([53]). Maschinelles Lernen ermöglicht es, Roboter außerhalb strukturierter Umgebungen und für Nichttroutinetätigkeiten einzusetzen. So sollen zum Beispiel Serviceroboter ein Werkzeug suchen können und es an einen anderen Ort bringen. „Big Data“ sind nicht nur technische Daten sondern auch die Daten über Personen, die Konzerne wie Facebook, Google, Amazon oder die chinesische Firma Alibaba sammeln und zur Massenmanipulation nutzen.

Programme, die menschliche Urteilskraft ersetzen sollen, sind ein Bestandteil dessen, was unter „Künstlicher Intelligenz“ ([54]) verstanden wird. Dazu gehören auch Gebiete wie die „Expertensysteme“, „Deep learning“-Verfahren, die neuronalen Netze und weitere. An Verfahren der künstlichen Intelligenz wird weltweit an vielen Universitäten und Instituten geforscht, an kommerziellen Firmen sind Internetgiganten wie Google, Amazon, und sein chinesisches Pendant Alibaba, Facebook und Rechner- und Chiphersteller wie IBM oder Intel sowie Softwarefirmen wie Microsoft zu nennen, die eigene Forschungsinstitute betreiben. Im Jahr 2017 wurde in China ein Programm beschlossen, um das Land bis zum Jahr 2030 zum führenden globalen Innovationszentrum für Künstliche Intelligenz zu machen. Verfahren der Künstlichen Intelligenz führen zum Beispiel dazu, dass Roboter immer selbständiger werden und hinzulernen und, dass bei Auswertung persönlicher Daten die Möglichkeit zur Massenmanipulation steigt. Wird das Erfahrungswissen eines Roboters in einer Cloud abgespei-

chert, kann es dazu genutzt werden, andere Roboter anzuleiten. Unter „Cloud-Computing“ ist die Nutzung von Rechenleistung, Daten und Programmen aus dem Netz anstelle des lokalen Computers zu verstehen. Diese Verfahren und Dienste gewinnen mit der wachsenden Digitalisierung und der Auswertung großer Datenmengen immer mehr an Bedeutung ([38], Seite 37 folgende).

Über Verfahren zur „Künstlichen Intelligenz“ wird schon lange geforscht. Was neu ist, dass diese Verfahren aufgrund der immer weiter steigenden Rechnerleistungen inzwischen zur kommerziellen Anwendung kommen, wie zum Beispiel in dem schon erwähnten Rechner Watson bei der medizinischen Diagnostik, zur Steuerung von Servicerobotern oder zur Spracherkennung. Spektakuläre Beispiele für die Anwendung von „Künstlicher Intelligenz“ waren der Sieg eines Schachcomputers im Jahr 1996 über den amtierenden Schachweltmeister Gari Kasparow und der Sieg des Rechners AlphaGo über einen der weltbesten Go-spieler im Jahr 2016. Inzwischen siegen Computer auch beim Pokern. Schachcomputer sind ein Beispiel für das maschinelle Lernen, sie lernen von Spiel zu Spiel hinzu und können sich immer besser auf ihre menschlichen Spielpartner einstellen, die implementierten Algorithmen lernen selbständig. Weitere Beispiele sind Spracherkennungs- und Übersetzungsprogramme, Programme, die Aktienentwicklungen analysieren und Kauf- und Verkaufsprozesse auslösen. 70 % der Finanztransaktionen werden bereits über Algorithmen gesteuert ([2], Seite 272). Einem einfachen Beispiel begegnet man, wenn man bei dem Internethändler Amazon bestellt, denn dann bekommt man Empfehlungen aufgrund früherer Einkäufe oder der Einkäufe anderer Kunden. Inzwischen wird der Begriff „Künstliche Intelligenz“ als Oberbegriff für alle selbstlernende Verfahren verwendet.

Das Beispiel Amazon zeigt auch das kommerzielle Interesse an der Datensammelwut persönlicher Daten und ihrer Auswertung, es geht darum, mehr zu verkaufen. Diese Art der Beeinflussung ist nicht weit entfernt von Manipulationsversuchen, wie wir sie etwa im US-Wahlkampf 2016 kennenlernen konnten, wo Falschmeldungen sich sehr schnell in den sozialen Medien wie Twitter und Facebook verbreiten konnten. Dazu gibt es Computerprogramme, „social bots“ genannt, die dies automatisiert durchführen. Die Methoden schneller Auswertung großer Datenmengen erlauben es nicht zuletzt auch, einen immer lückenloseren Überwachungsstaat aufzubauen. Die chinesische Regierung will bis zum Jahr 2020 ein sogenanntes Citizen Score durchführen. Dann bekommt jeder Chinese ein Punktekonto, das darüber entscheidet, zu welchen Konditionen er einen Kredit erhält, ob er bestimmte Berufe ausüben, wo er wohnen und wohin er reisen darf ([2], S.275).

5.3 Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen und Roboter

Auch wenn es - angetrieben durch die Vollbeschäftigung in den westlichen Industrieländern - bereits ab Mitte der 1950er Jahre Automatisierungsanstrengungen gab, so fand doch der Durchbruch mit der Verbreitung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen und der Industrieroboter statt. Im Folgenden soll näher auf diese Entwicklung eingegangen werden.

Die NC-Technik entstand aus dem Bedürfnis nach höherer Fertigungsgenauigkeit bei der Formgebung von Werkstücken, um Ausschuss- und Nachbearbeitungskosten zu senken und den Materialverbrauch zu reduzieren. Ab dem Jahr 1954 wurden die ersten industriell gefertigten NC-Maschinen gebaut ([14], Seite 511 folgende, [52]). In der Anfangsphase bestand die Steuerung aus fest verdrahteten elektromechanischen Bauteilen wie etwa Relais, Röhren und später Transistoren. Bei Änderungen der gewünschten Form des Werkstücks oder einer Änderung der Werkzeugführung mussten mindestens die Steuerungsprogramme ausgetauscht werden, in der Anfangszeit waren immer Hardwareänderungen erforderlich. NC-Maschinen rechneten sich in der Massenfertigung und dort gibt es sie teilweise auch heute noch.

Etwa ab dem Jahr 1968 erlebte die NC-Technologie durch die Verwendung von integrierten Schaltkreisen und den Mikroprozessoren und Mikrocontrollern ab Mitte der 1970er Jahre einen Durchbruch als CNC-Maschinen, da die Kosten sanken, die Leistungsfähigkeit stieg und Mittel- und Kleinserien günstiger hergestellt werden konnten. Es konnten Programme eingesetzt werden, wie die im Jahr 1969 vorgestellte speicherprogrammierbare Steuerung SPS ([55]) oder die Programmiersprache APT (Automatic Programming for Tools, [23], Seite 477). Dadurch wurde es leichter möglich, die NC-Technik zur Bearbeitung unterschiedlicher Werkstücke und mit unterschiedlichen Werkzeugen zu benutzen. Dies beschleunigte den Siegeszug der CNC-Maschinen, sie wurden zu Mehrzweck-Maschinen. Gefördert wurde dies durch die Entwicklung von automatischen Werkzeugwechslern und Werkzeugschnellspannern. Die Miniaturisierung und Verbilligung von Mikroprozessoren und Mikrocontrollern führte dazu, dass immer mehr Steuerungs- und Regelungstechnik direkt in die Werkzeugmaschinen eingebaut wurde, wodurch die Steuerungs- und Regelungsfunktion über einen externen Rechner entfiel. Es ist dies eine Entwicklung analog zur Einführung des Elektromotors, der die Dampfmaschine als zentrale Bewegungsmaschine verdrängte.

Weitere Automatisierungsschritte führten zu einem flexiblen Fertigungssystem, in dem verschiedene Bearbeitungsverfahren kombiniert werden und das Werkstück automatisch mit einem Materialflusssystem von einem Bearbeitungsschritt zum nächsten transportiert wird. Eine Erweiterung des flexiblen Fertigungssystems besteht darin, dass Informationen von Maschine zu Maschine zum Beispiel mit Funk über den gesamten Fertigungsprozess ausgetauscht werden.

Es handelt sich um eine Art Ford'sches Fließbandsystem, in dem eine Kooperation von Maschinen die Kooperation von Menschen im gesamten Produktionsprozess ersetzt. Ein wichtiger Unterschied zum Ford'schen System besteht darin, dass mit CNC-Maschinen eine Fertigung von kleinen Serien kostengünstig wurde. Auch schnellere Modellwechsel wurden möglich, da die Werkzeugmaschinen leichter an neue Anforderungen angepasst werden konnten. Vom ersten in Massenproduktion gefertigten Automobil, dem T-Modell (1914) hieß es, man könne es in jeder Farbe bestellen, vorausgesetzt, sie sei schwarz. Heute lässt sich zum Beispiel die Ausstattung von Automobilen vom Käufer sehr individuell zusammenstellen. Dies ist ein Beispiel für die inzwischen erreichte Flexibilität der automatisierten Produktion. Im Herbst 2016 ging die Meldung durch die Presse, dass der Automobilhersteller Audi das Fließbandsystem durch Fertigungsinseln mit Teilezulieferung durch Roboter ersetzen will. Nachdem fast 100 Jahre das Fließband Arbeitsweise und Arbeitstakt der Produktion bestimmten, entwickeln sich neue Arbeitsweisen und eine neue Fabrikorganisation. Die Rolle des Menschen bei der automatisierten Produktion besteht vor allem in der Programmierung der Maschinen, der Entwicklung von Handhabungseinrichtungen, Steuerungs- und Regelungssystemen und der Überwachung der automatisierten Produktion. Aus dem eigentlichen Produktionsprozess scheidet er immer mehr aus.

Die Entwicklung der Industrieroboter verlief weitgehend zeitgleich mit der der NC-Maschinen und durchlief dieselben Etappen bei der Entwicklung der Steuerungs- und Regelungstechnik. Im Jahr 1959 wurde der erste Schweißroboter für einfache Aufgaben wie das Punktschweißen entwickelt, im Jahr 1969 wurde der erste Lackierroboter in der Automobilindustrie eingesetzt. Industrieroboter sind in der Regel ortsfest in Käfigen installiert. Die Automobilindustrie ist noch heute der größte Abnehmer von Industrierobotern. In Japan betrug die Roboterichte in der Automobilindustrie im Jahr 2014 ungefähr 1400 Industrieroboter pro 10 000 Arbeiter, in Deutschland etwa 1100, jeder zehnte Arbeitsplatz wird also von Robotern bedient ([56]). Ab dem Jahr 1974 begann sich die Verwendung von Mikrocontrollern und Mikroprozessoren zur Steuerung der Industrieroboter durchzusetzen. Im Jahr 1975 begann die Entwicklung von Montagerobotern, die ab dem Jahr 1980 mit Kameras und weiteren Sensoren ausgestattet wurden.

Führend in der Anwendung von Industrierobotern sind derzeit Japan, Südkorea und Deutschland. Seit dem Jahr 2010 ist die Anzahl der installierten Roboter jährlich um mindestens 7 % gewachsen, zwischen 2017 und 2019 wird ein weltweites jährliches Wachstum um 13 % erwartet ([56]), wobei China mit 25 % des Gesamtabsatzes inzwischen der größte Absatzmarkt ist. Für 2018 wird erwartet, dass China die weltweit größte Zahl an Industrierobotern installiert haben wird. Die chinesische Regierung führt seit längerem eine Technologieoffensive durch, um zu den hochentwickelten Industriestaaten aufzuschließen, weil China inzwischen kein Billiglohnland mehr ist. Dazu hat sie das Programm

„Made in China 2025“ beschlossen, das sich am deutschen Konzept von „Industrie 4.0“ orientiert ([57]). Die größten Hersteller von Industrierobotern und Automatisierungseinrichtungen sind die japanische Firma Mitsubishi, die Schweizer Firma ABB und die japanische Firma Fanuc. In Deutschland stellt unter anderem die Firma Kuka, die im Jahr 2016 von einer chinesischen Firma übernommen wurde, Industrieroboter her.

Ab dem Jahr 1985 begann die Entwicklung von mobilen Industrierobotern, den sogenannten Servicerobotern. Während Industrieroboter ortsfest aufgestellt sind und Menschen von ihrem Aktionsradius abgeschirmt werden, sollen sich Serviceroboter frei bewegen. Sie müssen mit Menschen gefahrlos zusammenarbeiten können, daher wird auch die Bezeichnung kollaborative oder kooperative Roboter („cobots“) gebraucht. Bei Servicerobotern spielen die Sensorik, Beweglichkeit, Lern-, Greif- und Kommunikationsfähigkeit in Echtzeit eine große Rolle. Für die erforderlichen nachgiebigen Materialien und Greifmechanismen werden neue Wissensgebiete geschaffen, die zum Beispiel Erkenntnisse aus der Biologie benutzen. Beispiele für die derzeitige Generation von Servicerobotern sind die Roboter „Baxter“ der Firma Rethink Robotics oder der UR5 von Universal Robotics ([1], Seite 227, [58]). Vor allem eine Eigenschaft ist an diesen und ähnlichen Robotertypen hervorzuheben: Sie müssen nicht programmiert werden, man kann ihnen durch Führung des Arms zeigen, was sie tun sollen (teach in Verfahren). Statt des teuren Programmierers kann das der Arbeiter tun, der durch ihn ersetzt werden oder mit ihm zusammenarbeiten soll. Mit der Entwicklung der Serviceroboter sind mehrere Erwartungen verbunden: So die, dass sie die Verlagerung von Industrie aus Hochlohnländern in Niedriglohnländer stoppen können, weil ungelernte Arbeit von Servicerobotern übernommen werden kann, sie sollen auch den demografisch bedingten Rückgang der Arbeitsbevölkerung ausgleichen. In der Altenpflege wird ebenfalls ein großes Potential für humanoide Serviceroboter gesehen.

Wie bei Computern sinken auch die Preise von Robotern ständig. Kostete im Jahr 2005 ein typischer Schweißroboter noch 182 000 US \$, so waren es im Jahr 2014 133 000 US \$. Bis zum Jahr 2025 sollen die Kosten nochmals um mehr als 20 % sinken ([58]). Größer als der Markt für Industrie- und Serviceroboter ist der Markt für Haushaltsroboter. Wurden im Jahr 2013 178 000 Industrieroboter und 21 000 industrielle Serviceroboter verkauft, so waren es in demselben Jahr 2,7 Millionen Haushaltsroboter ([38], Seite 25, 26).

Wesentliche Fortschritte fanden vor allem in der Beweglichkeit der Roboterarme, der Greiftechnik und ihrer Steuerung statt. Die immer präziseren Bewegungsabläufe von Roboterarmen und Handhabungseinrichtungen werden durch ausgefeilte schnelle Graphik- und Steuerungsprogramme und verbesserte Sensoren erreicht. Wurde zu Beginn der Entwicklung die Bewegung des Roboterarms über drei Achsen gesteuert, so sind es heute teilweise erheblich mehr. Die zunehmende Ausstattung der Roboter mit Sensoren mit verbesserter Mustererken-

nung und die größere Beweglichkeit erlauben es, sie nicht nur bei Routinearbeiten in immer gleicher Umgebung mit fest vorgegebenen Bewegungen einzusetzen, sondern auch in sich ändernden Umgebungen, wo sie der Situation entsprechend reagieren müssen. Ein Fachgebiet, das sich mit derartigen Themen beschäftigt, ist die Mechatronik und die Künstliche Intelligenz. Die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter erfordert neben fortgeschrittenen Sensoren und nachgiebigen Materialien eine Reaktion in Echtzeit und eine Spracherkennung für die Anweisungen von Menschen.

Nach der Darstellung der Automatisierung in der traditionellen Industrieproduktion soll noch auf zwei weitere technische Entwicklungen eingegangen werden, die die Produktion und die Distribution verändern, den sogenannten „3D-Druck“ und die Entwicklung von Transportdrohnen.

3D-Druck ist der populäre Name für additive Fertigungsverfahren, auch generative Fertigungsverfahren genannt ([59]). Gemeinsam ist diesen Prozessen, dass sie mit unterschiedlichen Verfahren – meist mit Lasertechnologie - und mit unterschiedlichen Materialien das gewünschte Endprodukt aus vorher berechneten Geometriedaten Schicht für Schicht aufbauen. Diese Verfahren sind ein Gegenstück zur CNC-Fertigung, in der ein Rohling durch Abtragen in die gewünschte Endform gebracht wird. Die additive Fertigung braucht im Idealfall keine Nachbearbeitung, verbraucht weniger Material und benötigt kaum menschliche Eingriffe. Als Beispiele seien aus dem medizinischen Bereich die Herstellung von Hüftgelenksprothesen oder von Zahnersatz genannt. Die individuelle Situation wird gescannt und daraus der Ersatz berechnet und mit additiven Verfahren erstellt. Für die Lieferung von Ersatzteilen bei nicht mehr produzierten Maschinen und Geräten ergibt sich für den Hersteller die Möglichkeit der geringeren Bevorratung von Ersatzteilen, da sie auf Anforderung additiv aufgebaut werden können. Additive Verfahren beschleunigen die Prototypenfertigung, was schnellere Produktzyklen möglich macht. Insbesondere hat dieses Verfahren bei der Herstellung kleiner Bauteile, komplexer Bauteilgeometrien, der Gewichtseinsparung und bei der Erzeugung von Bauteilen mit speziellen mechanischen Anforderungen Vorteile. Es ist zu erwarten, dass die Bereiche zunehmen, in denen additive Verfahren zum Standard und zur Serienfertigung werden ([38], Seite 31 folgende).

Unbemannte Flugkörper, populär Drohnen genannt, werden schon seit langem für militärische Zwecke entwickelt. Dienten sie erst zur Ausspähung von Zielen, so später auch zu ihrer Ausschaltung. Den Feuerbefehl gibt in der Regel noch der Mensch. Dies könnte aber auch heute schon ein Programm übernehmen, zum Beispiel ein Gesichtserkennungsprogramm für einen Menschen. Derartige autonome Killerroboter sind preiswert, leicht herzustellen und zu bedienen, was die Hemmschwelle für ihren Einsatz senkt. In der zivilen Nutzung sollen unbemannte Flugkörper, Multicopter genannt, vor allem zu einer Umstellung der Logistik in Transport und Produktion dienen. Zunehmend werden Waren

über Internethändler bestellt. Für das Zusammensuchen einer Bestellung werden zum Teil schon Serviceroboter eingesetzt und für die Zustellung werden Multicopter und andere Transportroboter erprobt. Im Produktionsprozess können Multicopter oder Serviceroboter die gerade benötigten Teile liefern. In der Landwirtschaft spielen Multicopter ebenfalls eine wichtige Rolle, zum Beispiel, um Zeitpunkt und Menge des Einsatzes von Dünger und Pestiziden oder den besten Erntezeitpunkt zu ermitteln. Die Digitalisierung der Landwirtschaft („smart farming“, „Landwirtschaft 4.0“) findet bisher relativ wenig Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit.

Abschließend noch zwei Anmerkungen und ein kurzes Resümee: Seit Ende des zweiten Weltkriegs wurden viele weitere technische Neuerungen entwickelt, die bahnbrechend waren, aber nicht zu grundlegenden Veränderungen im Produktionsprozess führten. Als Beispiel sei die Lasertechnik genannt, die beim Messen, Schweißen und Schneiden große technische Fortschritte brachte. Zum Zweiten: Der griechische Philosoph Heraklit schrieb, dass der Krieg der Vater aller Dinge sei. Wir haben im Vorangegangenen gesehen, dass viele der geschilderten technischen Entwicklungen ihren Ausgangspunkt in militärischen Anforderungen hatten. Es waren aber nicht spezifische militärische Besonderheiten, die zu den Entwicklungen führten, sondern die Tatsache, dass für militärische Zwecke immer staatliches Geld zur Verfügung steht.

Resümee: Wie beschrieben hat die gegenwärtige Automatisierungsphase ein besonderes Merkmal. Ersetzten die bisherigen technischen Revolutionen vor allem menschliche Routinetätigkeit, so ermöglichen es die heutigen technischen Möglichkeiten, menschliche Arbeit auch bei Nichtrounetätigkeit zu ersetzen.

5.4 Automatisierung der Produktion nach dem zweiten Weltkrieg

Die Geschichte der bisherigen technischen Revolutionen des Produktionsprozesses haben gezeigt, dass ihr Zeitraum in Jahrzehnten zu bemessen ist. Das liegt wesentlich daran, dass es Zeit braucht, bis sich technische Neuerungen breit durchsetzen und damit die Produktionsverhältnisse verändern. Obige Darstellung der fortschreitenden Automatisierung ergibt, dass wir uns bereits mitten in einer industriellen Revolution befinden, wie Marx sie definiert. Mit der Automatisierung der Produktion ersetzen zunehmend rechnergesteuerte Maschinen zuvor von Menschen durchgeführte Tätigkeiten. Der Kernprozess ist, dass zunehmend Steuerungs- und Regelungsaufgaben in der Produktion von Automaten übernommen werden und daher die Führung der Maschinen immer weniger menschliche Überwachung und Eingriffe benötigt. Der Produktionsprozess wird immer mehr zu einem in sich geschlossenem System miteinander agierender Maschinen. Die in Maschinen eingebauten Sensoren und eingebetteten Systeme übernehmen dabei geistige Tätigkeiten, die früher Menschen in der Produktion

ausübten. Nach meiner Zählweise handelt es sich dabei um die zweite industrielle Revolution. Dennoch wird hier der Begriff „Industrie 4.0“, wenn auch nicht im Sinne einer 4. Industriellen Revolution, benutzt, weil er ein staatlich gefördertes Programm zur Digitalisierung der Produktion und für neue digitale Geschäftsmodelle beinhaltet und allgemeiner Sprachgebrauch ist.

Die Etiketten, die für technologische Innovationen geschaffen werden, entspringen oft Marketingzwecken und haben wenig analytischen Wert. Wie ich herauszuarbeiten versucht habe, gab es zwei Revolutionen der Produktivkräfte in der Neuzeit, die ihrerseits jeweils eine vorbereitende Etappe besaßen:

- Die industrielle Revolution, die die Hand bei der Führung des Werkzeugs ersetzte, wurde durch die Manufakturperiode vorbereitet.
- Die zweite industrielle Revolution, die den Arbeiter bei der Führung der Maschine durch einen Automaten ersetzt, wurde durch die Fließbandproduktion vorbereitet.

Die Produktionsverhältnisse haben sich mit der bisherigen Automatisierung geändert und werden das weiter tun. Nicht nur, weil der Mensch immer weiter aus dem Produktionsprozess heraustritt, ein anderer Aspekt ist ebenfalls wichtig. Die Möglichkeit einer profitablen automatisierten Herstellung von individualisierten Produkten ist eine Abkehr von der früheren standardisierten Massenfertigung. Gefertigt wird zunehmend nach Kundenwunsch, was eine Mengensteuerung möglich macht und damit das Risiko einer Überproduktion senkt. Die „atmende“ Produktion nach Auftragslage hat auch Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt. Denn sie erfordert zum Beispiel die Flexibilisierung der Tarifverträge bezüglich Arbeitszeiten, Leiharbeit, Teilzeitarbeit und vieles mehr. Das früher dominierende Normalarbeitsverhältnis wird zum Auslaufmodell ([29]). Teilweise im Unterschied zu früheren technischen Revolutionen steigen heute die Anforderungen an die Qualifikation für einen großen Teil der in der Produktion beschäftigten Arbeiter. Eine Reihe neuer Berufsfelder ist entstanden, weitere werden entstehen, andere verschwinden. Arbeit für geringer Qualifizierte gibt es häufig nur noch in Dienstleistungsbereichen, die Zusammensetzung und Gliederung der Werkstätigen befinden sich im ständigen Wandel. Insbesondere sinkt durch die Automatisierung auch die Anzahl der in der Produktion beschäftigten Arbeiter, was die Klassenverhältnisse verändert.

Eine weitere Veränderung der Produktionsstrukturen ist schon länger zu erkennen. Wurden früher alle Komponenten des Endprodukts in einem Betrieb gefertigt, so wird inzwischen die Fertigung von Teilprodukten immer mehr in Zulieferbetriebe ausgelagert. Damit sollen Kosten gedrückt werden. Was als Kernkompetenz in einem Unternehmen bleiben muss, ändert sich aber ständig mit der technischen Entwicklung. Manche Ausgliederungen werden inzwischen wieder rückgängig gemacht, weil die ausgelagerten Prozesse sich inzwischen zu Kernkompetenzen entwickelt haben. War früher der Motorenbau die Kernkom-

petenz eines Automobilherstellers und wurden Elektronikbausteine von Zulieferern eingekauft, so kaufen heute Automobilhersteller Firmen, die ihnen für die Entwicklung des automatisierten Fahrens und für die Produktion alternativer Antriebe notwendig sind.

Meine Klassifizierung der gegenwärtigen Automatisierung der Produktion als zweite industrielle Revolution entspricht der Marx'schen Begrifflichkeit der Ersetzung von bisher dem Menschen vorbehaltenen Tätigkeiten durch Maschinen. In den deutschen Konzeptpapieren zu „Industrie 4.0“ wird diese als vierte industrielle Revolution bezeichnet und eine Phase der dritten industriellen Revolution von 1970 bis heute angenommen. Mir erscheint das willkürlich, da es eine kontinuierliche Entwicklung der Automatisierung von etwa 1960 an bis heute gibt ([14], Seite 488 folgende) und die mit dem Programm „Industrie 4.0“ geplanten Neuerungen die sich beschleunigende Fortsetzung der vorhergehenden Entwicklung sind. Wenn man eine neue Etappe seit dem Jahr 1960 herausheben will, so betrifft sie die Einführung von Computern in Verwaltung und Logistik seit etwa 1980. Dies hat den Anstieg der Zirkulationskosten für das Kapital begrenzen können, war aber keine Revolution des Produktionsprozesses ([60], Seite 62). Was sich derzeit ändert, ist die Geschwindigkeit der Einführung neuer Automatisierungstechniken. Das liegt an der Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von Robotern und ihrer Verbilligung. Laut VW kostet die Roboterstunde zwischen 3 und 6 Euro, ein menschlicher Arbeiter knapp 50 Euro die Stunde ([2], Seite. 236).

Eine Entwicklung zu einer neuen gesellschaftlichen Betriebsweise ist derzeit nicht zu erkennen. Es ist eine Situation, die Marx so beschreibt ([15], Seite 496): „Die Umwälzung der gesellschaftlichen Betriebsweise, dies notwendige Produkt der Umwälzung des Produktionsmittels, vollzieht sich in einem bunten Wirrwarr von Übergangsformen:“

5.5 Das Projekt „Industrie 4.0“

Zunächst gilt es zu untersuchen, was die mit „Industrie 4.0“ zusätzlich verbundenen Schlagwörter wie „cyber-physikalisches System“ (CPS), „Internet der Dinge“, „Cloud computing“ oder „smarte Fabrik“ bedeuten.

Der Begriff „Internet der Dinge“ wurde 1999 am MIT (Massachusetts Institute of Technology) im Rahmen der Entwicklung einer firmenübergreifenden RFID-Struktur geprägt ([61]). Die RFID-Technik (RFID Radio frequency Identification) dient vor allem der Lokalisierung von Dingen, zum Beispiel bei der Paketverfolgung, also der Rationalisierung in der Logistik. Diese Technik ist schon länger im Einsatz, wie jeder weiß, der ein Paket erwartet. Es gibt weitere Verfahren, um Daten über kurze Distanzen auszutauschen. Diese Verfahren be-

nötigen weniger Energie als die in Kapitel 4.2 genannten Mobilfunkverfahren und kommen in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz.

Die Ziele des „Internets der Dinge“ gehen aber weiter. Es geht um „smarte Dinge“ und „smarte Fabriken“, die mittels IP-Adressen eindeutig identifizierbar, durch Sensoren wahrnehmungsfähig, durch Mikrocontroller reaktionsfähig und durch Funk oder Internet kommunikationsfähig sind. So kann ein Lackierroboter zum Beispiel den Füllstand seiner Farben ermitteln und eine Nachbestellung veranlassen oder eine Maschine den Bearbeitungszustand eines Werkstücks an die nächste Bearbeitungsstation mitteilen. Damit einher geht ein neues Geschäftsmodell, bei dem das an den Kunden ausgelieferte Produkt während seines ganzen Einsatzes vom Hersteller überwacht und gewartet wird, das sogenannte „Produktlebenszyklusmanagement“, auch „smart services“ genannt. So kann wie beim carsharing eine Dienstleistung verkauft werden anstelle der Maschine, die sie erbringt. Wird zum Beispiel eine elektrische Antriebsleistung benötigt, so rechnet der Hersteller des Elektromotors die Nutzungszeit des Elektromotors und die vorausschauende Wartung ab, anstatt den Elektromotor zu verkaufen (pay per use). Die durch Automatisierung geänderte Produktionslogik erfordert auch eine geänderte Geschäftslogik und führt zu neuen Geschäftsmodellen. Auch andere Geschäftsmodelle ändern sich. Durch die Möglichkeit der Produktion bis zur Losgröße 1 kann der Kunde bis zum tatsächlichen Produktionsbeginn Änderungen an seiner Bestellung vornehmen. Für die Unternehmen verringert sich durch diese Art der Produktion das Risiko einer Überproduktion am Käuferwillen vorbei.

Die Planung von „smarten Fabriken“, ihrer Bestandteile und Produkte soll vorab durch Simulationen auf Computern erfolgen. Es wird ein „digitaler Zwilling“ („digital twin“) der Anlage, der geplanten Prozesse, der Logistik und der Produkte erstellt, wodurch bereits am Modell optimiert werden kann. Auch die „smart services“ sind ein von Sensoren im Produkt informierter „digitaler Zwilling“ eines Produkts, der nach Bedarf eine Wartung von Verschleißteilen veranlasst.

Für das „Internet der Dinge“ ([38], Seite 44 folgende) sind sichere, schnelle und standardisierte Kommunikationsstrukturen notwendig. Bei der Beschreibung des automatisierten Fahrens wurde bereits der zukünftige Mobilfunkstandard 5G genannt, der Kommunikation in Echtzeit mit hohen Datenraten ermöglicht. Die Informations- und Kommunikationstechnik wird immer mehr zur Schlüsseltechnologie bei der weiteren Digitalisierung von Produktion und Gesellschaft. Auch das Cloud-Computing, die Nutzung von Informationen, Programmen und Rechenkapazitäten im Internet gehört dazu. Durch Funkkommunikation und die Anbindung an das Internet wird aus einem Gegenstand ein sogenanntes „cyber-physikalisches System“ und aus dem Produktionsprozess ein „cyber-physikalisches Produktionssystem“. Ein Merkmal dieser Entwicklung ist, dass sich Maschinen und Geräte selbst überwachen und eventuell erforderliche

Maßnahmen zu ihrer weiteren Funktionsfähigkeit selber kommunizieren, wo früher der Mensch beobachten und kommunizieren musste und die entsprechenden Maßnahmen manuell veranlassen musste.

Die Vernetzung und Kommunikation aller Bestandteile des Produktionsprozesses über Internet und Funk ist ein Bestandteil der „smart factory“. Es handelt sich dabei um eine horizontale und vertikale Vernetzung: Beschrieben wurde bereits die vertikale Vernetzung im Produktionsprozess, die von der Konstruktion und Berechnung zur Fertigung, die horizontale besteht in der Kommunikation zwischen den einzelnen Produktionsschritten. Bereits vorhanden, aber in weiterem Ausbaustadium ist der Bereich der Logistik. Veranschaulichen wir das am Beispiel einer Autobestellung: Ein Kunde bestellt ein Modell mit einem bestimmten Motor und Ausstattungspaket a, b, c... und Einzelwünschen x, y, z... . Dieses individuelle Produkt kann nur zu akzeptablen Preisen produziert werden, wenn das Fahrzeug entsprechend der zu verbauenden Teile automatisch zu den passenden Fertigungszellen transportiert wird, wo die Einbauteile automatisiert montiert werden. Die Produktion von Losgröße 1 ist ein Hauptziel von „Industrie 4.0“. Zu solcher Produktion gehört auch, dass das gewünschte Einbauteil zum richtigen Zeitpunkt am gewünschten Ort ist, was eine funktionierende komplexe Logistik in der Produktion voraussetzt.

Der Bereich der Logistik umfasst aber nicht nur die Zulieferung zum Produktionsprozess, seine Organisation und die Berücksichtigung von Kundenwünschen. Dazu gehört auch die Belieferung des Endkunden und die schon erwähnte vorausschauende Wartung bis zur Endnutzung. Mit der zunehmenden Bestellung von Waren über Internethändler verschwindet nicht nur verstärkt der traditionelle Einzelhandel. Der Internethändler benötigt eine ausgeklügelte Lagerlogistik, um die gewünschten Waren zusammenzustellen. Der Transport erfolgt bisher hauptsächlich über die Straße, es ist aber zu erwarten, dass er in Zukunft auch über automatisierte Systeme erfolgt.

Fassen wir die Ziele und Bestandteile des Konzepts von „Industrie 4.0“ zusammen:

- Hauptziel ist die individuelle automatisierte Produktion von smarten Gegenständen. Dazu werden die Geschäftsmodelle und die Logistik so umgestellt, dass die Betreuung des Kunden von der Bestellung bis zur Endnutzung des Gegenstands automatisiert über eingebettete Systeme und Funk- oder Internetkommunikation stattfinden kann. Mit dieser Strategie wollen die hochindustrialisierten Länder der Konkurrenz der aufstrebenden Industriestaaten begegnen, wobei China inzwischen ähnliche Konzepte vorantreibt.

Wie wir gesehen haben, sind die zentralen technologischen Bestandteile bei der Automatisierung des Fahrens und bei „Industrie 4.0“ im Wesentlichen gleich, ihre Vielfalt ist in der Produktion größer. Benötigt werden:

- Schnelle Sensoren für alle prozessrelevanten Größen
- Eingebettete Systeme, die Sensordaten in Echtzeit verarbeiten und automatisch Aktionen veranlassen
- Nutzung von externen Daten, Wissen und Rechenleistung zur Steuerung von Prozessen über schnelle Funksysteme in Echtzeit
- Lern- und Kommunikationsfähigkeit der Systeme
- Standardisierung

Dabei sind Sensoren und eingebettete Systeme schon länger ein Bestandteil der Automatisierung. Relativ neu sind die Entwicklungen zur Vernetzung und Kommunikation von Dingen und Prozessen. Der Zwang zu einer weitergehenden Standardisierung ist Folge der Vernetzung von Produkten unterschiedlicher Hersteller. Angetrieben wird die Verbreitung der neuen Automatisierungstechniken durch die Hoffnung auf Extraprofite aufgrund einer schneller steigenden Produktivität der sie nutzenden Einzelkapitale sowie durch das Vorhandensein von Konkurrenz.

Zum Entwicklungsstand der deutschen Industrie ist anzumerken: Sie ist im Maschinen- und im Industrieroboterbau konkurrenzfähig, bei Servicerobotern eher nicht. Nur teilweise konkurrenzfähig ist die deutsche Industrie in Bereichen, die der Cyberkomponente von „Industrie 4.0“ zuzuordnen sind, wie der Informations- und Kommunikationstechnik und in einigen Bereichen der Softwareentwicklung. Auch bei der Entwicklung von Chips und Prozessoren sind seit langem die USA und die fernöstlichen Technologiestaaten führend.

Wie bei der Elektromobilität und dem autonomen Fahren strebt China auch bei „Industrie 4.0“ und der Künstlichen Intelligenz eine Technologieführerschaft an. Seit dem Jahr 2008 lenkt das chinesische Ministerium für Industrie und Informationstechnologie die Industrie in die von ihr gewünschte Richtung und hat große Fördermittel zur Verfügung. Der riesige Inlandsmarkt erlaubt es, ausländischen Herstellern die eigenen Standards vorzuschreiben und bietet außerdem eine Datenbasis für die Entwicklung für einige Verfahren der „Künstlichen Intelligenz“. Demgegenüber sind die entsprechenden Kompetenzen in Deutschland auf verschiedene Bundesministerien aufgeteilt, die von unterschiedlichen Parteien geführt werden. Es ist den letzten Bundesregierungen nicht einmal gelungen, die in den Koalitionsverträgen vereinbarten Ziele für eine bessere und schnellere Informations- und Kommunikationsstruktur zu erreichen. Mit der weiteren Durchsetzung von „Industrie 4.0“ ist zu erwarten, dass sich die Gewichte bei der Technologieführerschaft zwischen den Industriestaaten verändern.

Wie schon dargelegt, ist „Industrie 4.0“ die Fortsetzung der seit den 1960er Jahren stattfindenden Automation. Das Besondere der beschleunigten Entwicklung der letzten Jahre ist, dass automatische Systeme in immer größeren Berei-

chen anwendbar und preislich immer mehr der menschlichen Arbeitskraft überlegen sind und außerdem komplexere Aufgaben übernehmen können.

6. Mögliche Auswirkungen der Automatisierung auf den Arbeitsmarkt

Im Folgenden wird eine Auswahl von Studien vorgestellt, die versuchen, mögliche Auswirkungen der Automatisierung auf den Arbeitsmarkt zu quantifizieren.

Eine viel zitierte Studie ist die von Frey und Osborne ([28]) für den amerikanischen Arbeitsmarkt. Sie vergleicht den Stand der bei Abfassung des Artikels vorhandenen Automatisierungsmöglichkeiten im Jahr 2010 mit der Klassifizierung der Berufsgruppen des amerikanischen Arbeitsministeriums und den für sie notwendigen Fähigkeiten. Berechnet wird damit eine Automatisierungswahrscheinlichkeit, auch Substituierungspotential genannt, für Berufe unter der Voraussetzung, dass jede technische Möglichkeit der Automatisierung auch durchgeführt wird. In einer gewissen Hinsicht gibt die Studie damit eine Obergrenze an, da es von einer Reihe von Faktoren abhängt, ob eine Automatisierung durchgeführt wird.

Für eine Auswahl von Berufsgruppen ließen Frey und Osborne Robotikexperten beurteilen, ob sie automatisierbar sind und rechneten diese Ergebnisse anhand von Tätigkeitsmerkmalen statistisch auf die restlichen Berufsgruppen hoch. Die Rechenergebnisse ordneten sie drei Gruppen von Substitutionswahrscheinlichkeiten zu, geringe, mittlere oder hohe Wahrscheinlichkeit, wobei sie als hohe Wahrscheinlichkeit definierten, dass mehr als 70 % der Tätigkeiten dieser Berufsgruppe automatisierbar sind. Das Ergebnis war, dass 47 % der US-Berufsgruppen durch Automatisierung stark gefährdet sind. Nicht behandelt werden in der Studie ein möglicher Arbeitsplatzaufbau durch die neuen Technologien.

Betroffen sind nach Frey und Osborne vor allem Berufe in Büros und Verwaltung, Transport und Logistik und Hilfsarbeiter in der Produktion. Derzeit noch nicht automatisierbar sind vor allem Berufe, die kreative oder soziale Intelligenz erfordern, sowie Berufe mit besonderer Wahrnehmungs- und Handhabungsqualität. Bei Letzteren ändert sich aber die Situation mit verbesserten Sensoren, Handhabungseinrichtungen und Programmen, die es erlauben, dass Roboter auch Nichttroutinetätigkeiten übernehmen können. Die Studie weist auch darauf hin, dass Serviceroboter zunehmend Arbeiten im Dienstleistungsbereich übernehmen können, dem Bereich, in dem es in den letzten Jahren den größten Arbeitsplatzaufbau in den USA gab. Die Autoren betonen, dass aus ihrer Analyse keine Prognose über den tatsächlichen Arbeitsplatzabbau ableitbar ist. Für

den technologisch möglichen Arbeitsplatzabbau nennen sie einen Zeitraum von 10 bis 20 Jahren.

Die Methodik von Frey und Osborne wurde von verschiedenen Autoren auf andere Länder übertragen. Für Deutschland gibt es insbesondere die Studien von Bonin ([62]) und Brzeski und Burk ([63]). Beide Studien benutzen die deutsche Berufsqualifikation. Brzeski und Burk schätzen die Wahrscheinlichkeit der durch Automatisierung hoch gefährdeten Berufe auf 59 %, Bonin auf 42 %. Die Verteilung der hochgefährdeten Berufe ist in allen Berichten ähnlich. Um das anschaulicher zu machen, wird die folgende Tabelle von Brzeski/Burk wiedergegeben:

Funktionsklasse	Berufe pro Gruppe	Sozialversicherungspflichtig und geringfügig Beschäftigte	Gefährdete Arbeitsplätze	Wahrscheinlichkeit
Total	1286	37.990.000		
Untersuchte Berufe	369	30.870.000	18.300.000	59 %
Bürokräfte und verwandte Berufe	26	3.500.000	3.000.000	86 %
Hilfsarbeitskräfte	20	3.800.000	3.260.000	85 %
Anlagen- und Maschinenbediener, Montagekräfte	28	4.640.000	3.210.000	69 %
Dienstleistungs- und Verkaufsberufe	30	4.570.000	3.120.000	68 %
Facharbeiter in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei	11	78.000	50.000	64 %
Handwerks- und verwandte Berufe	67	4.1000.000	2.580.000	63 %
Technische und gleichrangige nicht-technische Berufe	72	4.800.000	2.470.000	51 %
Akademische Berufe	91	3.990.000	471.000	12 %
Führungskräfte	24	1.380.000	157.000	11 %

Gemäß dieser Tabelle arbeiten weit mehr als 6 Millionen Arbeitskräfte in hoch gefährdeten Berufen (mehr als 70% der Tätigkeiten automatisierbar).

Die Studie von Bonin ([62]) wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales durchgeführt. Sie analysiert auch die methodischen Beschränkungen der Untersuchung von Frey und Osborne. Ein wichtiger Einwand ist, dass nicht Berufe, sondern Tätigkeiten durch die Automatisierung wegfallen. Die Studie berechnet auf Basis des tätigkeitsbasierten Ansatzes, dass 12 % von Tätigkeiten durch die weitere Automatisierung in Deutschland wegfallen könnten. Diese Betrachtung impliziert, dass sich Berufe mit der durch die Automatisierung wegfallenden Tätigkeiten verändern, aber nicht verschwinden, was zum Teil sicher der Fall sein wird. Die Differenz von 12 % und 42 % in derselben Studie erstaunt dennoch, denn sie beinhaltet, dass die Anzahl automatisierbarer Tätigkeiten innerhalb der Berufe noch gering ist. Eine Erklärung zu diesen sehr unterschiedlichen Zahlen gibt die Untersuchung nicht.

Obiger Tabelle ist zu entnehmen, dass auch Bürokräfte, die zum Teil der Mittelschicht angehören, gefährdet sind. Gemäß dem Schwerpunkt meiner Untersuchung wurde vor allem die Automatisierung von Produktionsprozessen betrachtet, bei der Betrachtung möglicher Arbeitsplatzverluste durch Automatisierung ist natürlich die Gesamtheit der Beschäftigten zu betrachten. Dazu ein Beispiel aus dem Dienstleistungsbereich: Lässt man sich bei einer Bank über eine Geldanlage beraten, so liest der Berater seine Vorschläge von Ergebnissen ab, die ein Programm erstellt hat und empfiehlt die Produkte, an der seine Bank am meisten verdient. Ein umfassenderes Ergebnis kann man auch über ein Vergleichsportal im Internet erreichen, der Portalbetreiber verdient an der Vermittlungsgebühr, wenn man einen seiner Vorschläge auswählt. Der Bankberater ist also überflüssig. Gleiches gilt für viele verwandte Berufe wie zum Beispiel Versicherungsmakler und andere kaufmännische Berufe. Viele Betriebe wickeln inzwischen ihre Geschäftsbeziehungen über eine Software ab, das Bestellwesen durch den Menschen und ähnliche Aufgaben können mehr und mehr entfallen. Eberl ([2], Seite 239 folgende) gibt an, dass inzwischen auch Sportberichte oder die Quartalsberichte von Unternehmen maschinell erstellt werden. In seinem Buch ([2], Seite 241) wird eine Studie des Mc Kinsey Global Institute zitiert, dass in den nächsten zehn Jahren weltweit die Tätigkeit von 110–140 Millionen „Wissensarbeitern“ automatisiert werden könnten, was eine Einsparung von 6 000 Milliarden Euro pro Jahr ergeben würde. In den Dienstleistungsbereichen kann die menschliche Tätigkeit in der Regel sehr schnell durch Programme ersetzt werden, da dies keine teuren Investitionen in mechanische Roboter erfordert. So verwenden Hotlines von Unternehmen zunehmend Sprachroboter, sogenannte „chatbots“, zur Beantwortung von Fragen, Callcenter-Mitarbeiter werden überflüssig.

Es gibt auch Studien, die zu dem Schluss kommen, dass die beschleunigte Automatisierung keine zahlenmäßig bedeutsame Auswirkung auf den Arbeits-

markt haben werde. So würden zwar Tätigkeiten abgebaut, aber sie würden anderweitig kompensiert. Stellvertretend für diese Positionen seien die Studien des Instituts für Arbeit und Beschäftigung (IAB) und der Boston Consulting Group ([58]) genannt. Das IAB hat mehrere Studien zu diesem Thema veröffentlicht ([64], [65], [66]). Diese Studien legen die deutsche Berufsqualifizierung zugrunde und sind daher keine reine Übertragung der Studie von Frey und Osborne auf Deutschland. Sie folgen methodisch Bonin ([63]) darin, dass keine Berufe, sondern Tätigkeiten durch rechnergesteuerte Maschinen ersetzt werden. Die Berechnungen erfolgten auf der Basis der vorhandenen Technik, die Beurteilung der Substitutionswahrscheinlichkeit wurden aber nicht von Experten für Technologie sondern von Experten der Bundesanstalt für Arbeit ([65], Seite 22) durchgeführt. Berücksichtigt wird, dass Berufe mit hohen Beschäftigtenzahlen eher automatisiert werden. Das Ergebnis ist, dass rund 15 % der sozialpflichtigen Beschäftigten einem hohen Substituierungspotential (mehr als 70 %) ausgesetzt sind, was den Ergebnissen von Bonin entspricht. Im IAB-Forschungsbericht ([64]) wird versucht zu quantifizieren, wie viele Arbeitsplätze durch „Industrie 4.0“ geschaffen und wie viele verloren gehen könnten. Demnach würden bis zum Jahr 2030 420 000 Arbeitsplätze verloren gehen und 360 000 ([64], Seite 8) neu geschaffen, es wäre damit eine fast ausgeglichene Bilanz. In ([38], Seite 56) wird eine Studie zitiert, die zu dem Schluss kommt, bis zum Jahr 2025 würden durch „Industrie 4.0“ netto, das heißt nach Abzug der verlorengehenden Arbeitsplätze, 350 000 industrielle Arbeitsplätze geschaffen. Der Kontrast solcher Zahlen zu den Angaben in obiger Tabelle der Studie von Brzeski und Burk ([63]) ist offensichtlich. Oft wird auch argumentiert, frühere industrielle Revolutionen hätten auf längere Sicht nicht zu großem Arbeitsplatzabbau geführt. Solche pauschalen Aussagen ersparen sich Untersuchungen dazu, warum es trotz Rationalisierung zu einem Aufbau der Gesamtbeschäftigung kommen kann. Keiner der Autoren der beschriebenen Studien ist verdächtig, Weltuntergangspanthasien beschwören zu wollen oder ein Apologet der schönen neuen Welt der Automatisierung zu sein. Dennoch dient die eine Studie den Panikmachern, die andere den Propagandisten. Alle Studien heben hervor, dass neue Berufe entstehen werden, andere verschwinden und viele Beschäftigte in andere Berufsfelder wechseln müssen.

Nun soll auf eine aus mehreren Teilstudien bestehende Untersuchung eingegangen werden, die einen anderen Ansatz als die bisher vorgestellten verfolgt. Sie stammt von der Unternehmensberatung Boston Consulting Group aus dem Jahr 2015 ([58]). In ihnen geht es darum, die ökonomischen Anreize abzuschätzen, die eine weitere Automatisierung für die Unternehmen attraktiv machen könnte. Untersucht wurden 21 Industriezweige in 25 Exportnationen.

Die Studie benutzt als Maßstab, dass Firmen dann Roboter einsetzen werden, wenn die Roboterarbeitsstunde etwa 15 % billiger als die menschliche Arbeitsstunde ist. Somit hängt der Robotereinsatz im Wesentlichen ab vom

- allgemeinen Lohnniveau eines Landes
- innerhalb eines Landes vom Lohnkostenanteil in den einzelnen Branchen
- von der Fähigkeit der Roboter, menschliche Tätigkeiten zu ersetzen
- von den Preisen für Roboter, ihrer Programmierung und Wartung.

Gemäß der Studie, die sich auf die Industrie bezieht, sind vor allem die Herstellung von Computern, elektrischen und elektronischen Produkten, Transport und Maschinenbau die Bereiche, in denen am meisten automatisiert werden kann und für die die meisten Roboterinstallationen erwartet werden. Weitere Prognosen der Studie bis zum Jahr 2025 werden cursorisch dargestellt:

- Wachstum der automatisierbaren Aufgaben von derzeit 10 % auf 25 % im Jahr 2025
- Produktivitätswachstum durch Automatisierung um etwa 30 %, Sinken der Lohnstückkosten um 20 % - 30 % je nach Land
- Wachstum des Roboterabsatzes um 10 % pro Jahr. Sinken der Kosten des Robotereinsatzes bis zum Jahr 2025 um mehr als 20 % bei einer gleichzeitigen Steigerung der Leistungsfähigkeit der Roboter um 5 % pro Jahr
- Auf die 5 Länder China, USA, Japan, Deutschland und Südkorea werden bis zum Jahr 2025 etwa 80 % der Roboterbestellungen entfallen. Für Südkorea schätzt die Studie, dass bis zum Jahr 2025 etwa 40 % aller Tätigkeiten automatisiert werden. Die Studie erwartet auch für Indonesien, Taiwan und Thailand eine schnelle Einführung von Robotern. Der Grund ist, dass diese Länder schnell zu den Qualitätsstandards der entwickelten Länder aufschließen wollen, wozu die Roboter helfen sollen.
- Die Einführung von Robotern verbessert die Konkurrenzfähigkeit von Volkswirtschaften. Der Einsatz von billigen Servicerobotern macht es möglich, Fertigungen aus Niedriglohnländern in Hochlohnländer zurückzuholen.

Auch wenn die Boston Consulting Group in ihrer Studie ihre Prognosemethoden nicht beschreibt, so ist davon auszugehen, dass sie das nötige Fachwissen dafür besitzt. Aus der Studie folgt, dass für viele Unternehmen und Volkswirtschaften ein großer Anreiz besteht, die Automatisierung der Produktion voranzutreiben. Aus allen bisher vorgestellten Studien geht hervor, dass hier eine Entwicklung im Gange ist, die trotz des wachsenden Niedriglohnsektors in vielen Ländern nicht aufzuhalten ist.

Zwei Einwände sind gegenüber zu hochgesteckten Erwartungen an die Automatisierungsgeschwindigkeit vorzubringen. Zum Ersten: Seit vielen Jahren wird in den entwickelten kapitalistischen Ländern die Unternehmenspolitik von

Finanzunternehmen bestimmt. Deren meist kurzfristige Renditeerwartungen widersprechen den langfristig orientierten Investitionsentscheidungen für eine Automatisierung. Außerdem ziehen sie Geld aus den Unternehmen ab. Statt dass Gewinne reinvestiert werden, verschwinden sie zu einem großen Teil in den Taschen von Finanzspekulant. Zum Zweiten: In einem früheren Kapitel wurde auf die Zeitgleichheit der Entscheidung für Hartz IV und die Hightech Strategie hingewiesen. Dies ist ein Zeichen der kapitalistischen Widersprüchlichkeit, da der Drang nach niedrigen Löhnen der Entwicklung der Produktivität entgegensteht.

Es gibt weitere Studien zur Auswirkung der fortschreitenden Automatisierung auf den Arbeitsmarkt, die zu anderen Zahlen kommen als die hier vorgestellten. Insgesamt liegen die Zahlen zu möglichen Arbeitsplatzverlusten durch die fortschreitende Automatisierung so weit auseinander, dass man schlussfolgern muss, dass darüber keine seriösen Angaben gemacht werden können, weshalb dazu prinzipielle Überlegungen notwendig sind. Dennoch sind in vielen Studien übereinstimmende Tendenzen erkennbar. Zum einen: Während es bei früheren Produktivkraftrevolutionen darum ging, qualifizierte Arbeit durch einfache zu ersetzen, ist mit der weiteren Entwicklung auch der Ersatz von mittel und höher qualifizierter Arbeit abzusehen. Gleichzeitig steigt der Bedarf an anders und hoch qualifizierter Arbeit. Außerdem steigen die Anforderungen an die Arbeitskräfte, mit dem sich beschleunigendem technischen Wandel mitzuhalten. Zum anderen: Bisher wuchs der Dienstleistungsbereich kontinuierlich und konnte teilweise den Arbeitsplatzabbau in der Produktion kompensieren. Nun ist er ebenfalls von der Automatisierung betroffen und könnte tendenziell schrumpfen. Abschließend ist zu den Studien noch zu bemerken, dass sie auf den gegebenen technischen Möglichkeiten der Automatisierung bei ihrer Abfassung beruhen und sich daher mit jedem weiteren Fortschritt die technisch möglichen Substitutionspotentiale erhöhen. Die tatsächliche Einführung einer Automatisierung ist von ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig.

Aus marxistischer Sicht ist zur zunehmenden Automatisierung der Produktion zunächst festzustellen, dass jeder technische Fortschritt, der menschliche Arbeitskraft ersetzen kann, zu begrüßen ist, da er den Menschen von Arbeit befreit. Die Frage ist, welche Auswirkungen dies im Kapitalismus hat. Wie schon dargestellt, wird im Kapitalismus nur automatisiert, wenn dies billiger als die eingesparte Arbeit ist. Diesen Wettlauf scheint der Mensch in immer mehr Bereichen nicht mehr gewinnen zu können. Schon Marx beschäftigte sich mit den auch zu seiner Zeit verbreiteten Kompensationstheorien und schrieb dazu ([15], Seite 466): „Obwohl die Maschinerie notwendig Arbeiter verdrängt in den Arbeitsbereichen, wo sie eingeführt wird, so kann sie dennoch eine Zunahme von Beschäftigung in anderen Arbeitszweigen hervorrufen. Diese Wirkung hat aber nichts gemein mit der sogenannten Kompensationstheorie. Da jedes Maschinenprodukt, z.B. eine Elle Maschinengewebe wohlfeiler ist als das von ihm ver-

drängte gleichartige Maschinenprodukt, folgt als absolutes Gesetz: Bleibt das Gesamtquantum des maschinenmäßig produzierten Artikels gleich dem Gesamtquantum des von ihm ersetzten handwerks- oder manufakturmäßig produzierten Artikels, so vermindert sich die Gesamtsumme der angewandten Arbeit.“ Und nochmals Marx zum grundsätzlichen Verhältnis von Maschine zur Arbeit: „Die Maschine wird als Arbeitsmittel sofort zum Konkurrenten des Arbeiters selbst. Die Selbstverwertung des Kapitals durch die Maschine steht im direkten Verhältnis zur Arbeiterzahl, deren Existenzbedingung sie vernichtet. Das ganze System der kapitalistischen Produktion beruht darauf, daß der Arbeiter seine Arbeitskraft als Ware verkauft. Die Teilung der Arbeit vereinseitigt diese Arbeitskraft zum ganz partikularisierten Geschick, ein Teilwerkzeug zu führen. Sobald die Führung des Werkzeugs der Maschine anheimfällt, erlischt mit dem Gebrauchswert der Tauschwert der Arbeitskraft. Der Arbeiter wird unverkäuflich, wie außer Kurs gesetztes Papiergeld.“ ([15], Seite 454).

Auch wenn durch Automatisierung mehr Arbeitsplätze abgebaut werden als durch sie geschaffen werden, so bedeutet das nicht automatisch, dass damit der Arbeitsmarkt schrumpfen muss. Denn die Entwicklung des Arbeitsmarkts hängt im Kapitalismus vor allem von der Akkumulationsdynamik des gesamtgesellschaftlichen Kapitals ab. Dies wird zum Beispiel beim Blick auf die Wirtschaftsgeschichte Deutschlands nach dem zweiten Weltkrieg deutlich:

Das durchschnittliche Produktivitätswachstum nach dem zweiten Weltkrieg betrug in Westdeutschland durchschnittlich 4 % pro Jahr, wobei die Steigerung in den beiden Nachkriegsjahrzehnten am größten war. Es wurde bald Vollbeschäftigung erreicht, die im Bergbau und in der Landwirtschaft freigesetzten Arbeitskräfte wurden schnell in den Arbeitsmarkt integriert und zusätzlich noch Gastarbeiter aus anderen europäischen Ländern angeworben. Dies änderte sich nach der Weltwirtschaftskrise 1974/1975, als es im Aufschwung nicht mehr gelang, die in der Krise freigesetzten Arbeitskräfte wiederaufzunehmen. Trotz Senkung der Jahresarbeitszeit, Frühverrentungen und anderen Maßnahmen stieg die Massenarbeitslosigkeit in Deutschland bis zum Jahr 2005 deutlich an. Auch das Wachstum des Dienstleistungssektors, der inzwischen rund 70 % aller Arbeitnehmer beschäftigt, konnte den Arbeitsplatzabbau in der verarbeitenden Industrie nicht ausgleichen. Der Abbau der Arbeitslosigkeit seit 2005 hat mehrere Gründe. Hauptsächlich basiert er auf der erfolgreichen Exportoffensive der deutschen Wirtschaft nach der Einführung des Euro. Die gestiegene Wettbewerbsfähigkeit wiederum basiert auf der Senkung der Lohnstückkosten durch Reallohnsenkung, Ausweitung des Niedriglohnbereichs, dem Anwachsen der Teilzeitarbeit und anderer Formen atypischer Beschäftigung sowie der Abwertung des Euros seit seiner Einführung. Seit der Krise 1974/1975 wurden schrittweise die sozialen Errungenschaften der Nachkriegszeit rückgängig gemacht.

Der Unterschied zwischen dem Charakter der Wirtschaftsentwicklung bis zur Mitte der 1970er Jahre und der danach besteht darin, dass davor eine beschleu-

nigte Akkumulation des Kapitals stattfand, während danach eine strukturelle Überakkumulation von Kapital vorherrschte. Bei einer beschleunigten Akkumulation findet ein überzyklischer Aufbau der produktiven Beschäftigung statt. Dies ist so lange möglich, wie der Einsatz von Kapital für Produktionsmittel und Arbeitskräfte noch eine steigende Profitmasse abwirft, die den Fall der Profitrate kompensiert. Bei einer strukturellen Überakkumulation von Kapital ist dies nicht mehr der Fall, so dass hauptsächlich Ersatzinvestitionen vorgenommen werden, die die Produktion weiter rationalisieren ([29]).

Aus der dargestellten Entwicklung lässt sich folgern, dass sich die durch Automatisierung freigesetzten Arbeitskräfte nur in einer Phase der beschleunigten Akkumulation des Gesamtkapitals leicht in den Arbeitsmarkt integrieren lassen. Die Wiedereingliederung ist heute aus zwei Gründen schwieriger als in der Nachkriegszeit: Zum einen, weil die Spezialisierung der Arbeit größer geworden ist, weshalb es vor der Aufnahme einer neuen Tätigkeit in der Regel einer längeren Umschulung bedarf. Zum Zweiten, weil der Dienstleistungssektor, der bisher zusätzliche Arbeitsplätze schuf, zunehmend selbst von Rationalisierungsmaßnahmen betroffen ist. Die zentrale Frage ist aber, ob und wie das Kapital einen Weg in eine neue Phase der beschleunigten Akkumulation finden kann, durch die neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Eine weitere Schlussfolgerung ist, dass nicht die Entwicklung der Technologie ursächlich für eine endgültige alternativlose Freisetzung von Arbeitskräften ist, sondern die Wachstumshemmnisse der kapitalistischen Produktionsweise.

Die grundsätzliche Herangehensweise an das Thema lässt über die generelle Aussage hinaus, dass Automatisierung mehr Arbeitsplätze vernichtet als schafft, keine zahlenmäßige Prognose zu den Folgen der Automatisierung zu. Einige Maßnahmen zur Milderung der Auswirkungen durch die fortschreitende Automatisierung sind offensichtlich: Arbeitszeitverkürzung bei vollem Lohnausgleich, Umschulung der freigesetzten Beschäftigten, Aufbau eines öffentlichen Beschäftigungssektors und höhere Löhne, damit die wachsende Warenproduktion konsumiert werden kann. Die Wirtschaft hofft, dass sich die deutsche Exportoffensive unendlich fortsetzt und so möglicherweise auch Automatisierungsoffer beschäftigen kann. Diese Exportoffensive führt außerdem zur Deindustrialisierung in den importierenden Ländern, es werden dort, statt in Deutschland, Arbeitnehmer freigesetzt. Dies ist eine Strategie, die den Profitinteressen des deutschen Kapitals dient und nur auf Kosten der deutschen Arbeitnehmer möglich wurde und ist ([29]). Dass Wirtschaft und Staat die negativen Folgen der weiteren Automatisierung auf den Arbeitsmarkt befürchten, zeigt unter anderem die Debatte über eine Maschinensteuer, das heißt eine Teilhabe der Gesellschaft an dem Produktivitätsfortschritt durch Automatisierung und die Debatte über ein Grundeinkommen. Die Debatte über ein Grundeinkommen wird auch darum geführt, um den Widerstand gegen die Folgen der Automatisierung abzuschwächen.

Abschließend sollen zwei bisher noch nicht angesprochene Aspekte der Automatisierung erwähnt werden. Auf den ersten sei anhand eines Beispiels eingegangen. Mit der Automatisierung einher geht die weitere Auflösung des Normalarbeitsverhältnisses. Wie das Beispiel der „Crowdworker“ zeigt, ist Flexibilität gefordert. Es handelt es sich dabei um zeitlich begrenzte Aufgaben, die von Unternehmen auf Internetplattformen angeboten werden. Die Plattform „Clickworker“ hat 700 000 Mitglieder, das heißt Menschen, die dort ihre Arbeit freiberuflich weltweit anbieten. Natürlich gibt es dort keinen Mindestlohn und keine Sozialversicherungsbeiträge. Nach einer Studie der Böckler-Stiftung ([67]) beträgt der Monatslohn der nebenberuflich tätigen Crowdworker 326 € im Monat, der der hauptberuflichen 1503 € im Monat.

Zum zweiten Aspekt: Die zunehmende Digitalisierung der Produktionsprozesse erfordert neue Kompetenzen und neue Berufsbilder. Dem muss eine sich ständig modernisierende Ausbildung Rechnung tragen und es ist angesichts des Tempos der technischen Entwicklung ein lebenslanges Lernen erforderlich. Die Notwendigkeit verstärkter Ausbildung wird zwar diskutiert, bei den Bildungsausgaben rangiert Deutschland aber unterhalb des Durchschnitts der OECD-Länder. Auch hinkt die Modernisierung von Ausbildungsgängen in der Regel dem technischen Fortschritt deutlich hinterher.

Abschließend noch eine Anmerkung: In diesem Jahr ist der 150. Jahrestag der Herausgabe des ersten Bands des Kapitals. Die hier vorgenommene Analyse der Revolutionen der Produktivkräfte zeigt meiner Meinung nach, dass die von Marx entwickelte Methodik nach wie vor ein geeignetes Rüstzeug zur Analyse des gegenwärtigen Kapitalismus bietet.

7. Betrachtungen zum Verhältnis zwischen der Revolution der Produktivkräfte und der politischen Revolution

Die im vorangegangenen Kapitel vorgestellten Studien über mögliche Folgen der derzeitigen industriellen Revolution auf den Arbeitsmarkt haben ergeben, dass sie einen Sprengsatz für ein reibungsloses Weiterbestehen der kapitalistischen Produktionsweise in sich bergen. Daher soll abschließend die Frage erörtert werden, ob die Entwicklung der Produktivkräfte ein Stadium erreichen kann, das ihre Weiterentwicklung im Kapitalismus unmöglich macht. Ein Wissenschaftler, der diese Position vertrat, war Jürgen Kuczynski. Da Auffassungen, dass der Kapitalismus aufgrund seiner inneren Widersprüchlichkeit zusammenbrechen muss nicht selten waren, soll diese Frage stellvertretend anhand seiner Ausführungen diskutiert werden. Jürgen Kuczynski war ein bedeutender Historiker und Wirtschaftswissenschaftler. Eines seiner Hauptwerke ist die 40 Bände umfassende „Geschichte der Lage der Arbeiter unter dem Kapitalismus“. In ([68]) untersucht er die Wechselwirkung von Produktivkräften und Produktions-

verhältnissen. Der Band enthält auch kritische Bemerkungen und Ergänzungen von Wolfgang Jonas zu seinen Ausführungen.

Auf Seite 90 zitiert Jürgen Kuczynski aus MEW Band 13: „Auf einer gewissen Stufe ihrer Entwicklung geraten die materiellen Produktivkräfte der Gesellschaft in Widerspruch mit den vorhandenen Produktionsverhältnissen oder, was nur ein juristischer Ausdruck davon ist, mit den Eigentumsverhältnissen, innerhalb deren sie sich bisher bewegt hatten. Es tritt dann eine Epoche sozialer Revolution ein. Mit der Veränderung der ökonomischen Grundlage wälzt sich der gesamte Überbau langsamer oder rascher um.“

Die von Jürgen Kuczynski thematisierte Frage lautet zugespitzt, ob die Produktionskräfte ab einem gewissen Entwicklungsstand zu ihrer Weiterentwicklung eine politische Revolution gegen das bestehende System erfordern, was einen Automatismus von Produktivkraftentwicklung und politischer Revolution bedeuten würde. In dieser Zuspitzung würde das vermutlich kein Marxist vertreten, jedoch waren solche Vorstellungen verbreitet. Jürgen Kuczynski legt eine solche Automatik durch seine Argumentation und Zitatauswahl nahe. Es ist anerkennenswert, dass er seine Thesen derart zugespitzt hat, dass sie zur Diskussion herausfordern, die Klarheit seiner Positionen erleichtert die Formulierung von Gegenpositionen.

Marx und Engels haben immer wieder eine Gleichrangigkeit des sogenannten subjektiven und objektiven Faktors betont, das heißt, dass die ökonomischen Verhältnisse entwickelt genug sein müssen, dass ihre weitere Entwicklung durch die gesellschaftlichen Herrschaftsverhältnisse dauerhaft behindert wird und dass es politische Kräfte gibt, die die vorhandene Gesellschaft als Ganzes überwinden wollen. Ein Zitat soll zeigen, dass Marx nicht von einem solchen Determinismus ausgeht ([3], Seite 38): „Diese vorgefundenen Lebensbedingungen der verschiedenen Generationen entscheiden auch, ob die periodisch in der Geschichte wiederkehrende revolutionäre Erschütterung stark genug sein wird oder nicht, die Basis alles Bestehenden umzuwerfen, und wenn diese materiellen Elemente einer totalen Umwälzung, nämlich einerseits die vorhandenen Produktivkräfte, andererseits die Bildung einer revolutionären Masse, die nicht nur gegen einzelne Bedingungen der bisherigen Gesellschaft, sondern gegen die bisherige „Lebensproduktion“ selbst, die „Gesamttätigkeit“, worauf sie basierte revolutioniert – nicht vorhanden sind, so ist es ganz gleichgültig für die praktische Entwicklung, ob die *Idee* dieser Umwälzung schon hundertmal ausgesprochen ist – wie die Geschichte des Kommunismus dies beweist.“ Diese Gegenüberstellung soll nicht besagen, dass Marx und Engels keine widersprüchlichen Ansichten vertreten hätten. Dennoch wird ihr grundsätzlicher Zweifel an einem mechanischen Determinismus zwischen Produktivkraftentwicklung und sozialer Revolution deutlich.

Bevor ich die Argumentation Jürgen Kuczynskis näher behandle, will ich kurz auf den Begriff der Gesetzmäßigkeit eingehen. Dieser hat je nach Untersu-

chungsgegenstand einen unterschiedlichen Grad von Verbindlichkeit. Am striktesten sind Gesetze in Teilen der klassischen Physik, wie der Mechanik. Ein Gegenstand bewegt sich bei Vorhandensein von Schwerkraft immer in die Richtung des Gravitationszentrums und nicht einmal zu ihm hin und ein anderes Mal von ihm weg. Es gilt ein Ursache-Wirkungsprinzip, ein Determinismus, der bei gleicher Ausgangssituation immer zu denselben Ereignissen führt. Schon bei der Vorhersage des Wetters, das ebenfalls physikalischen Gesetzen folgt, gibt es diese Form der Zwangsläufigkeit nicht mehr und erst recht nicht in allen Bereichen, die sich mit lebendigen Objekten beschäftigen. Insbesondere für Menschen gilt die Notwendigkeit einer bestimmten Reaktion auf eine Situation nicht. Marx spricht daher bei gesellschaftlichen Entwicklungen von Tendenzen. Er meint damit, dass es eine innere Logik für eine bestimmte Entwicklungsrichtung gibt, sie aber nur eintritt, wenn sie durch bewusstes gesellschaftliches Handeln durchgesetzt wird.

Stellen wir die Argumentationskette von Jürgen Kuczynski dar. Er benennt vier Revolutionen der Produktivkräfte bis zu den 1970er Jahren. Die erste Etappe setzt er von 1540–1640 an, die zweite von 1760–1860, die dritte, die elektrotechnische Revolution, ab 1860, die vierte in der Jetztzeit von dem Jahr 1970 an. Jürgen Kuczynskys zweite Etappe ist die, die normalerweise als 1. industrielle Revolution bezeichnet wird. Jürgen Kuczynski charakterisiert die einzelnen Etappen so ([68], Seite 97): „Die erste Revolution erzwingt die Erschaffung kapitalistischer Verhältnisse und einer kapitalistischen Gesellschaft. Die dritte Revolution erzwingt die Schaffung sozialistischer Produktionsverhältnisse und einer sozialistischen Gesellschaft. Die zweite Revolution ersetzt die Hand bei der Führung der Werkzeuge durch die Maschine. [...] Die vierte Revolution ersetzt die Hand bei der Führung der Maschine durch elektronische Steuerung.“ Und weiter auf Seite 99: „Man versteht die ungeheuerliche Bedeutung der zweiten und der vierten Revolution. Die zweite legt die Grundlage dafür, daß zum ersten Male in der Geschichte der Menschheit infolge der Steigerung der Produktivität die Werktätigen die Gesellschaft in die Hand nehmen können – die erste Voraussetzung für den Sozialismus als erster Phase des Kommunismus. Die vierte schafft den Kommunismus, in dem der Reichtum an Zeit, die nicht für die „Notwendigkeiten“ gearbeitet wird, gemessen wird. Beide Revolutionen können nur stattfinden in Gesellschaftsordnungen, die durch die erste und dritte Revolution geschaffen wurden [...].“

Es würde zu weit führen, Jürgen Kuczynskis Aussage zu untersuchen, ob sich die kapitalistische Gesellschaft in Großbritannien bereits vor der industriellen Revolution herausgebildet hat. Sicher gab es dort bereits im Feudalismus Produktionsverhältnisse, wie sie für den Kapitalismus typisch sind, wie etwa die Lohnarbeit in der Manufaktur, der Heimarbeit und der Landwirtschaft. Ich bin der Meinung, dass die Lohnarbeit erst mit der breiten Durchsetzung der industriellen Revolution vorherrschend wurde und zu einer neuen Gesellschaftsordnung

führten. Die Elemente einer neuen Produktionsweise und Gesellschaftsordnung entstehen immer im Schoß der alten Gesellschaft, wie dies Marx im Zitat des nächsten Abschnitts darstellt.

Jürgen Kuczynskis Standpunkt ist, dass Revolutionen der Produktivkräfte erst nach einer gesellschaftlichen Revolution möglich sind, und diese bei einem gewissen Stand der Produktivkräfte unvermeidlich ist. Dazu zitiert er auf Seite 107 Lenin: „Die Technik des Kapitalismus *wächst* mit jedem Tag mehr und mehr über die gesellschaftlichen Bedingungen *hinaus*, die die Werktätigen zur Lohnsklaverei verdammt.“ Und Jürgen Kuczynski merkt dazu an: „Ja, diese Produktivkraft wächst über die gesellschaftlichen Bedingungen hinaus, empört sich gegen seine Produktionsverhältnisse und erzwingt ihre revolutionäre Umwandlung!“ Diese Aussage steht im Gegensatz zu der Aussage von Marx zu diesem Thema: „Eine Gesellschaftsformation geht nie unter, bevor alle Produktivkräfte entwickelt sind, für die sie weit genug entwickelt ist, und neue höhere Produktionsverhältnisse treten nie an die Stelle, bevor die materiellen Existenzbedingungen derselben im Schoß der alten Gesellschaft ausgebrütet sind.“ ([17], Seite 9). Wir wissen inzwischen, dass automatisierte Produktion mit elektronischer Steuerung durchaus unter kapitalistischen Verhältnissen möglich ist, und es gibt keinen Grund anzunehmen, dass sich das grundsätzlich ändert. Der Kapitalismus besitzt offensichtlich ein größeres Krisen- und Konfliktlösungspotential, als sich mancher Marxist erhofft. Dies kann auch für die gesellschaftlichen Folgen der Automatisierung möglich sein. In der Geschichte des Marxismus hat es immer wieder Phasen gegeben, in denen die Marxisten den ökonomischen und gesellschaftlichen Entwicklungsgrad der vorhandenen Gesellschaft überschätzten, was sich auch in den Diskussionen über den Charakter von durchzuführenden politischen Revolutionen und der dafür erforderlichen Bündnispartner niederschlug. Umgekehrt stellt sich aber auch die Frage, wie Revolutionen, die eine alte Gesellschaftsordnung trotz gering entwickelter Produktivkräfte stürzen konnten, einen Weg zum Sozialismus beschreiten können.

Die von Jürgen Kuczynski aufgeworfene Frage ist von großer Bedeutung, denn durch die Automatisierung spitzen sich tatsächlich die Verhältnisse zwischen den Produktivkräften und den Produktionsverhältnissen zu. Folgt man einem simplifizierten Gedankenmodell, so ist in einer flächendeckenden vollautomatisierten Produktion so gut wie kein Arbeiter mehr beschäftigt. Für das Kapital verringert sich damit die Möglichkeit, sich Mehrwert anzueignen, was jedoch Zweck und Grundlage der kapitalistischen Produktion ist. Falls keine Ersatzarbeitsplätze geschaffen werden können, sinkt die zahlungsfähige Nachfrage und dem Staat fehlen Steuereinkünfte. Auch wenn eine solchermaßen vereinfachte Situation nicht eintreten wird, so zeigt das Gedankenmodell doch, dass die Möglichkeiten für einen ewigen Fortbestand der kapitalistischen Produktionsweise beschränkt sind, so wie das bei früheren Produktionsweisen auch der Fall war.

Marx sagt dazu ([69], Seite 593): „Das Kapital ist selbst der prozessierende Widerspruch [dadurch], daß es die Arbeitszeit auf ein Minimum zu reduzieren strebt, während es andererseits die Arbeitszeit als einziges Maß und Quelle des Reichtums setzt. Es vermindert die Arbeitszeit daher in der Form der notwendigen, um sie zu vermehren in der Form der überflüssigen; setzt daher die überflüssige in wachsendem Maß als Bedingung – *question de vie et de mort* – für die notwendige. Nach der einen Seite hin ruft es also alle Mächte der Wissenschaft und der Natur wie der gesellschaftlichen Kombination und des gesellschaftlichen Verkehrs ins Leben, um die Schöpfung des Reichtums unabhängig (relativ) zu machen von der auf sie angewandten Arbeitszeit. Nach der andren Seite will es diese so geschaffnen riesigen Gesellschaftskräfte messen an der Arbeitszeit und sie einbannen in die Grenzen, die erheischt sind, um den schon geschaffnen Wert als Wert zu erhalten. Die Produktivkräfte und gesellschaftlichen Beziehungen – beides verschiedene Seiten der Entwicklung des gesellschaftlichen Individuums – erscheinen dem Kapital nur als Mittel und sind für es nur Mittel, um von seiner bornierten Grundlage aus zu produzieren. In fact aber sind sie die materiellen Bedingungen, um sie in die Luft zu sprengen. [...]. *Wealth [...]* ist disposable time außer der in der unmittelbaren Produktion gebrauchten für jedes Individuum und die ganze Gesellschaft“. Für Marx ist also die Entwicklung der Widersprüche eine materielle Bedingung, um die kapitalistische Herrschaft in die Luft zu sprengen, erzwingt den Wechsel aber nicht. Dazu ist eine Revolutionierung der Mehrheit der Bevölkerung erforderlich, die die gesamten bisherigen Lebensbedingungen in Frage stellt.

Jürgen Kuczynski konstatiert demgegenüber einen Determinismus zwischen der Revolution der Produktivkräfte und einer politischen Revolution – das eine nicht ohne das andere. Dieser Determinismus widerspricht auch den historischen Erfahrungen. Die erste Revolution unter Führung einer kommunistischen Partei fand nicht in einem der am weitesten entwickelten kapitalistischen Länder statt, sondern im rückständigen Russland. Für Russland und die nachfolgenden Revolutionen unter der Führung von kommunistischen Parteien sind zwei historische Gegebenheiten besonders auffällig:

1. Sie fanden als Folge von Kriegen bei einer durch den Krieg geschwächten Zentralgewalt der alten Ordnung statt. Die Revolutionierung der Massen erfolgte weitgehend aufgrund von kriegsbedingtem Hunger und der Forderung nach Frieden.
2. Sie fanden in gering entwickelten Ländern mit zahlenmäßig dominierender Bauernschaft bei weitgehend fehlendem Eigentum der kleinen Bauern an Grundbesitz statt. So waren auch die Forderungen der Bauern ein wesentlicher Bestandteil der revolutionären Programme. Bourgeoisie und Proletariat waren schwach entwickelt.

Zum ersten Punkt schreibt Eric Hobsbawm ([70], Seite 78/79): „Revolution war das Kriegskind des 20. Jahrhunderts. [...] Nur die USA tauchten aus den

Weltkriegen in beinahe dem gleichen Zustand auf, in dem sie in sie eingetreten waren – nur etwas gestärkt. Für alle anderen Staaten bedeutete das Ende der Kriege: Umsturz.“ Nach dem ersten Weltkrieg verschwanden in allen besiegten Ländern die Monarchien, auch in den Siegerländern entstanden soziale Unruhen. Das Kriegselend war eine wesentliche Triebkraft für die Revolutionierung der Massen. Es war das Verdienst der kommunistischen Partei unter der Führung Lenins, dass sie unter der Parole „Brot, Frieden, Land“ Arbeiter und Bauern zum Sturz der alten Ordnung gewinnen konnte und die Macht trotz Diktatfriedens, Konterrevolution und ausländischer Intervention behaupten konnte. Das Beispiel der russischen Revolution zeigt, dass es keinen Automatismus zwischen dem Entwicklungsstand der Produktivkräfte und einer erfolgreichen Revolution unter Führung einer kommunistischen Partei gegen die bisherige Ordnung gibt.

Zum zweiten Punkt: Nach den gängigen Vorstellungen der kommunistischen Bewegung gab es aufgrund der Rückständigkeit Russlands keine Grundlage für eine sozialistische Revolution. Im Unterschied zu Jürgen Kuczynskis Ausführungen wurde sie also nicht dadurch erzwungen, dass die Produktivkräfte über die gesellschaftlichen Verhältnisse hinausgewachsen waren. Dies bedeutet aber auch, dass der Versuch unter diesen Bedingungen den Sozialismus aufzubauen sehr schwierig oder sogar kaum möglich ist

Auch Lenin war sich über die Einschätzung des Charakters der russischen Oktoberrevolution von 1917 nicht sicher und ging lange davon aus, dass sie nur erfolgreich sein könne, wenn sie von einer sozialistischen Revolution in einem weiter entwickelten kapitalistischen Staat wie etwa Deutschland unterstützt würde. Der Charakter der russischen Revolution wird im Buch von Alfred Schröder und Heiner Karuscheit untersucht ([71]).

Aufgrund anderer historischer Bedingungen stellt sich die Frage des Wegs zur Errichtung einer sozialistischen Gesellschaft heute anders als zur Zeit der russischen Oktoberrevolution. Zum einen spielt die Bauernschaft in den kapitalistischen Ländern keine Rolle mehr, zum anderen war die Schwächung der alten Ordnung durch einen Krieg eine besondere historische Situation. Diese Form der Schwächung einer Gesellschaftsordnung kann natürlich keine notwendige Voraussetzung für den Übergang zu einer sozialistischen Gesellschaft sein. Der Zerfall der meisten ‚realsozialistischen‘ Staaten hat darüber hinaus die Frage aufgeworfen, ob die dort praktizierte Planwirtschaft der kapitalistischen Produktionsweise überlegen ist. Als ‚realsozialistische‘ Staaten werden die bisher nach einer Revolution unter Führung einer kommunistischen Partei entstandenen Staaten bezeichnet. Dass eine staatlich gelenkte Wirtschaft und Gesellschaft sehr erfolgreich sein kann, zeigt das Beispiel der Volksrepublik China. Historisch gesehen, waren Planwirtschaften erfolgreicher Bestandteil bei der Industrialisierung vorindustrieller Gesellschaften. Bezüglich China wird kontrovers diskutiert, ob China ein sozialistischer oder ein kapitalistischer Staat ist, da dort auf der einen Seite kapitalistische Betriebe vorhanden sind und andererseits die

Wirtschaft stark staatlich reguliert wird, was nach einer Aufhebung des Privateigentums an den Produktionsmitteln im Sozialismus der Fall sein wird.

In diesem Aufsatz habe ich vor allem versucht, den technologischen Inhalt der gegenwärtigen Revolution der Produktivkräfte zu beschreiben. Als politische Schlussfolgerung ergibt sich, dass der Entwicklungsstand der Produktivkräfte eine neue Gesellschaftsform ermöglicht und erforderlich werden lässt. Ermöglicht, weil er erlaubt, dass der Mensch immer mehr aus dem Produktionsprozess heraustreten kann. Da dieser Prozess bei kapitalistischer Produktionsweise zu einer systematischen Arbeitslosigkeit führen muss, die bei den gegebenen Herrschaftsverhältnissen auch bei einer Rückkehr zu einer beschleunigten Akkumulation schwer zu kompensieren ist, werden die Diskussionen über die Zukunft des kapitalistischen Wirtschaftssystems zunehmen.

In diesem abschließenden Kapitel wurde ansatzweise die Frage diskutiert, ob die Entwicklung der Produktivkräfte im Kapitalismus irgendwann zu einem Stillstand kommen muss, wenn sich keine höhere Gesellschaftsform entwickelt. Dafür gibt es meiner Meinung nach keine stichhaltigen Belege. Zusammenfassend bleibt: Die Widersprüche des Kapitalismus behindern die Entwicklung der Produktivkräfte, der Übergang zum Sozialismus kann aber nur durch eine politische Revolution erfolgen.

8. Literatur

- [1] Kurz, Constance; Rieger Frank: Arbeitsfrei. Eine Entdeckungsreise zu den Maschinen, die uns ersetzen. Goldmann Verlag. 2015.
- [2] Eberl, Ulrich: Smarte Maschinen. Wie künstliche Intelligenz unser Leben verändert. Carl Hanser Verlag. 2016.
- [3] Bundesministerium für Forschung und Bildung: Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland. <https://www.hightech-strategie.de>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [4] Bundesministerium für Forschung und Bildung: Bericht der Bundesregierung. Zukunftsprojekte der Hightech-Strategie (HTS Aktionsplan). https://www.bmbf.de/pub/HTS_Aktionsplan.pdf. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [5] Bundesministerium für Forschung und Bildung: Bildung und Forschung in Zahlen 2016. <http://www.datenportal.bmbf.de/portal/de/brochure.html> (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [6] Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: >agenda CPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical-Systems. Eva Geisberger/Manfred Broy (Hrsg.). Acatech Studie. März 2012. <http://www.acatech.de/de/publikationen/empfehlungen/acatech/detail/artikel/aca>

tech-studie-agenda.acps-integrierte-forschungsagenda-cyber-physical-systems.html. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[7] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Forschung und Bildung. <http://www.plattform-i40.de/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[8] Die Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft: <http://www.forschungsunion.de/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[9] acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: <http://www.acatech.de/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[10] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Digitale-Welt/Mittelstand-Digital/mittelstand-4-0,did=717448.html> und www.mittelstand-digital.de. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[11] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen. https://www.bmbf.de/pub/Industrie_4.0.pdf. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

Siehe auch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Von der Idee zum Markterfolg. <http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen.html>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017) und <http://www.produktionsforschung.de/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[12] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Zukunftsbild „Industrie 4.0“. <https://www.bmbf.de/publikationen/?L=1>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[13] Wikipedia: Geschichte der Produktionstechnik. https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Produktionstechnik. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[14] Spur, Günter: Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen. Carl Hanser Verlag. München Wien. 1991.

Siehe auch: Wikipedia; Computer-integrated manufacturing. https://de.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated_manufacturing. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[15] Marx, Karl: Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Buch1: Der Produktionsprozeß des Kapitals. Marx Engels Werke Band 23. Dietz Verlag Berlin. 1972.

[16] Marx, Karl, Engels, Friedrich: Die deutsche Ideologie. Marx Engels Werke Band 3. Dietz Verlag. Berlin. 1981.

[17] Marx, Karl: Zur Kritik der politischen Ökonomie. Marx Engels Werke Band 13. Dietz Verlag Berlin. 1961.

- [18] Mommertz, Karl Heinz: Bohren, Drehen und Fräsen. Geschichte der Werkzeugmaschinen. Rowohlt Taschenbuch Verlag. Reinbek bei Hamburg. August 1981.
- [19] Bohnsack, Almut: Spinnen und Weben: Entwicklung von Technik und Arbeit im Textilgewerbe. Rowohlt Taschenbuch Verlag. Reinbek bei Hamburg. Juni 1981.
- [20] Selmeier, Franz: Eisen, Kohle und Dampf. Die Schrittmacher der industriellen Revolution. Rowohlt Taschenbuch Verlag. Reinbek bei Hamburg. November 1984.
- [21] Paulinyi, Akos; Troitzsch, Ulrich: Mechanisierung und Maschinisierung. 1640 bis 1840. Propyläen Technikgeschichte Dritter Band. Ullstein Buchverlage GmbH. Berlin. Propyläen Verlag. 1997.
- [22] Henseling, Karl Otto: Bronze, Eisen, Stahl. Bedeutung der Metalle in der Geschichte. Rowohlt Taschenbuch Verlag. Reinbek bei Hamburg. Oktober 1981.
- [23] Buchheim, Gisela; Sonnemann, Rolf (Herausgeber): Geschichte der Technikwissenschaften. Edition Leipzig. 1990.
- [24] Paulinyi, Akos: Die industrielle Revolution: Die Entstehung des Fabrikssystems in Großbritannien. Aufsatz in: Geschichte der Arbeit. Herausgeber Helmut Schneider. Ullstein Sachbuch. Mai 1983.
- [25] Wikipedia: Zweite industrielle Revolution. https://de.wikipedia.org/wiki/Zweite_industrielle_Revolution. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [26] Marx, Karl: Marx an Engels. 18. Januar 1863. Marx Engels Werke Band 30. Dietz Verlag Berlin. 1974.
- [27] Hachtmann, Rüdiger: Fordismus. <https://docupedia.de/zg/Fordismus>. (zuletzt eingesehen am 24.06. 2017).
- [28] Frey, Carl Benedict; Osborne, Michael A.: The future of unemployment: How susceptible are jobs to computerization? http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf. September 17, 2013. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [29] Schlegel, Martin: Staatsverschuldung. Finanzmarktkrise, Eurozonenkrise und die langfristige Entwicklung der Staatsverschuldung und ihre Ursachen. MASCH Skripte. <http://archiv.neue-impulse-verlag.de/veroeffentlichungen/masch-skripte.html> (zuletzt eingesehen am 24.06. 2017).
- [30] Wikipedia: Taylorismus. <https://de.wikipedia.org/wiki/Taylorismus>. (zuletzt eingesehen am 24.06. 2017). Siehe auch Wikipedia: REFA. <https://de.wikipedia.org/wiki/REFA>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[31] Hachtmann, Rüdiger; von Saldern, Adelheid: „Gesellschaft am Fließband“. Fordistische Produktion und Herrschaftspraxis in Deutschland.

<http://www.zeithistorische-forschungen.de/2-2009/id%3D4509>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

Siehe auch: Adelheid von Saldern; Rüdiger Hachtmann: Das fordistische Jahrhundert: Eine Einleitung. <http://www.zeithistorische-forschungen.de/2-2009/id%3D4508>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[32] Wikipedia: Regulationstheorie.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Regulationstheorie>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[33] Wikipedia: Sensor. <https://de.wikipedia.org/wiki/Sensor>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[34] Wikipedia: Eingebettetes System.

https://de.wikipedia.org/wiki/Eingebettetes_System. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[35] Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO: Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen – Industriepolitische Schlussfolgerungen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. 18.11.2015.

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/hochautomatisiertes-fahren-autobahnen-industriepolitische-schlussfolgerungen.html>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[36] Bundeswirtschaftsministerium für Wirtschaft und Energie: Autonomik.

<http://www.autonomik.de/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[37] Wikipedia: Next Generation Mobile Networks.

https://de.wikipedia.org/wiki/Next_Generation_Mobile_Networks. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[38] ECONOMIX Research & Consulting: Arbeitsmarkt 2030. Digitalisierung der Arbeitswelt. Fachexpertisen zur Prognose 2016. Im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. München. Juli 2016.

<http://www.zew.de/publikationen/arbeitsmarkt-2030-digitalisierung-der-arbeitswelt/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[39] Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO: Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkung der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung. (ELAB). Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO:

[http://wiki.iao.fraunhofer.de/index.php/Elektromobilit%C3%A4t_und_Besch%C3%A4ftigung_-_Wirkungen_der_Elektrifizierung_des_Antriebsstrangs_auf_Besch%C3%A4ftigung_und_Standortumgebung_\(ELAB\)](http://wiki.iao.fraunhofer.de/index.php/Elektromobilit%C3%A4t_und_Besch%C3%A4ftigung_-_Wirkungen_der_Elektrifizierung_des_Antriebsstrangs_auf_Besch%C3%A4ftigung_und_Standortumgebung_(ELAB)). (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

- [40] Wikipedia: Elektromotor. <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>. (zuletzt eingesehen am 24.06. 2017).
- [41] Wikipedia: Steuerungstechnik. <https://de.wikipedia.org/wiki/Steuerungstechnik>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [42] Wikipedia: Regelungstechnik. <https://de.wikipedia.org/wiki/Regelungstechnik>. (zuletzt eingesehen am 24.06. 2017).
- [43] Wikipedia: Automatisierungstechnik. <https://de.wikipedia.org/wiki/Automatisierungstechnik>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [44] Wikipedia: Mikrocontroller. <https://de.wikipedia.org/wiki/Mikrocontroller>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [45] Mattern, Friedemann: Die technische Basis für das Internet der Dinge <http://people.inf.ethz.ch/mattern/publ.html>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [46] Wikipedia: Computerized Numerical Control. https://de.wikipedia.org/wiki/Computerized_Numerical_Control. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [47] Linnemann, Heinrich: Robotertechnik. <http://docplayer.org/11140215-Robotertechnik-aus-drucktechnischen-gruenden-leere-folie.html>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [48] Wikipedia: Computer. <https://de.wikipedia.org/wiki/Computer>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [49] Braun, Hans-Joachim; Kaiser, Walter: Energiewirtschaft Automatisierung Information seit 1914. Propyläen Technikgeschichte Fünfter Band. Ullstein Buchverlage GmbH. Berlin. 1997. Propyläen Verlag.
- [50] Wikipedia: Transistor. <https://de.wikipedia.org/wiki/Transistor>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [51] Wikipedia: Integrierter Schaltkreis. https://de.wikipedia.org/wiki/Integrierter_Schaltkreis. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [52] Historische Entwicklung der NC/CNC Technik. www.helmut-richter.de/didaktik/cnc01.pdf. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [53] Wikipedia: Data-Mining. <https://de.wikipedia.org/wiki/Data-Mining>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).
- [54] Wikipedia: Künstliche Intelligenz. https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliche_Intelligenz. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[55] Wikipedia: Speicherprogrammierbare Steuerung.
https://de.wikipedia.org/wiki/Speicherprogrammierbare_Steuerung. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[56] PricewaterhouseCoopers AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft: Roboter im deutschen Maschinenbau. November 2016. <https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/assets/pwc-studie-roboter-im-deutschen-maschinenbau.pdf>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[57] Mercator Institute for China Studies: Industrie 4.0. Deutsche Technologie für Chinas industrielle Aufholjagd? www.merics.org/sites/default/files/2017-09/China_Monitor_23_Industrie40_DE.pdf. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

Siehe auch: Wübbecke, Jost; Meissner, Mirjam; Zenglein, Max J.; Ives, Jaqueline; Conrad, Björn: Made in China 2025 The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries. <https://www.stiftung-mercator.de/de/publikation/merics-papers-on-china-made-in-china-2025/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[58] Boston Consulting Group: The robotics revolution. The next great leap in manufacturing. September 2015. https://circabc.europa.eu/sd/a/b3067f4e-ea5e-4864-9693-0645e5cbc053/BCG_The_Robotics_Revolution_Sep_2015_tcm80-197133.pdf. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[59] Verein Deutscher Ingenieure: Statusbericht Additive Fertigungsverfahren. September 2014. <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/produktion-und-logistik/fachbereiche/produktionstechnik-und-fertigungsverfahren/fa105-fachausschuss-additive-manufacturing/handlungsfelder-additive-fertigung/>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[60] Krüger, Stephan: Entwicklung des deutschen Kapitalismus 1950-2013. VSA Verlag. Hamburg. 2015.

[61] Mattern, Friedmann; Flörkemaier, Christian: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. <https://people.inf.ethz.ch/mattern/publ.html>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[62] Bonin, Holger; Gregory, Terry; Ziehran, Terry: Endbericht. Kurzexptise 57. Übertragung der Studie von Frey und Osborne (2013) auf Deutschland. Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
<http://www.bmas.de/DE/Service/Medien/Publikationen/Forschungsberichte/Forschungsberichte-Arbeitsmarkt/forschungsbericht-fb-455.html>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[63] Brzeski, Carsten; Burk, Inga: Die Roboter kommen. Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt. Economic Research. 30. April 2015. ING DiBa, <https://www.ing-diba.de/pdf/ueber-uns/presse/publikationen/ing->

[diba-economic-research-die-roboter-kommen.pdf](#) (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[64] Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft.

<http://www.iab.de/185/section.aspx/Publikation/k151019301>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[65] Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland.

<http://www.iab.de/185/section.aspx/Publikation/k151209302>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[66] Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: In kaum einem Beruf ist der Mensch vollständig ersetzbar.

<http://www.iab.de/194/section.aspx/Publikation/k151209304>. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[67] Leimeister, Jan Marco; Durward, David; Shkodran, Zogaj: Crowdworker in Deutschland. Eine empirische Studie zum Arbeitsumfeld auf externen Crowdsourcing-Plattformen. Hans Böckler Stiftung. Study Nr. 323. Juli 2016.

https://www.boeckler.de/pdf/p_study_hbs_323.pdf. (zuletzt eingesehen am 24.06.2017).

[68] Kuczynski, Jürgen: Vier Revolutionen der Produktivkräfte. Theorie und Vergleiche. Akademie Verlag. Berlin. 1975.

[69] Marx, Karl: Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie. Dietz Verlag Berlin. 1974.

[70] Hobsbawm, Eric: Das Zeitalter der Extreme. Weltgeschichte des 20. Jahrhunderts. Deutscher Taschenbuch Verlag. München. 2009.

[71] Schröder, Alfred; Karuscheit, Heiner: Das Revolutionsjahr 1917. Bolschewiki, Bauern und die proletarische Revolution. VSA Verlag. Hamburg. 2017.

Siehe auch Aufsätze zur Diskussion Nummer 84: 1917 Die Februarrevolution, Juli 2017 und Aufsätze zur Diskussion Nummer 85: 1917 Die Oktoberrevolution, Dezember 2017. https://kommunistische-debatte.de/?page_id=874. (zuletzt eingesehen am 20.01.2018).