

7 Szenario 3: Industrie 4.0 – Der EU-Weg setzt sich durch

7.1 Szenario-Motivation

Mit Blick auf die digitalen Plattformen für das große Publikum wurden in Deutschland und Europa die Zeichen der Zeit überwiegend zu spät erkannt und Chancen nicht konsequent genutzt. Dadurch ist in diesem Bereich – speziell im Vergleich zu den führenden Plattformen in den USA und China – ein großer Rückstand entstanden, der nur schwer – wenn überhaupt – aufzuholen ist. Zwar werden sich auch in Zukunft immer wieder neue Chancen eröffnen und die Erfolgsgeschichten aus dem Silicon Valley finden auch hierzulande immer mehr Gehör, doch bleibt es ein langer und schwieriger Weg.

Gerade vor dem Hintergrund dieser Erfahrungen geht das vorliegende Szenario davon aus, dass im Feld der Industrie 4.0 sämtliche deutschen und europäischen Akteure alles daransetzen werden, um sich eine weltweit führende Position zu erarbeiten. Das Ziel besteht darin, heutige wirtschaftliche Stärken in der industriellen Wertschöpfung einschließlich der zugehörigen Dienstleistungen in zukünftige Stärken in einem digitalen, industriellen Wirtschaftsumfeld umzumünzen und weiterzuentwickeln. Weil sich das zugehörige Innovations- und Wirtschaftssystem durch eine hohe Heterogenität, Diversität und Spezialisierung auszeichnet, mit der deutsche Akteure gut vertraut sind, liegt heute eine vergleichsweise noch recht offene Ausgangssituation vor (vgl. BMWi, 2019a). Diese gute Ausgangsposition wurde im folgenden Szenario bis zum Jahr 2035 konsequent genutzt. Wir befinden uns also nun gedanklich im Jahr 2035. Als notwendige Zwischenschritte wurden die Ziele aus dem „Leitbild 2030 für Industrie 4.0“ weitgehend erreicht (vgl. ebenda).

7.2 Schlüsseltechnologien

Im Jahr 2035 ist Industrie 4.0 in Deutschland bei den Unternehmen, die Produkte für den Weltmarkt fertigen und zugehörige Dienstleistungen anbieten, in der Breite umgesetzt und zeigt sich mit folgenden Facetten:

In den Prozess der *Produktentwicklung* werden Kunden, unterschiedliche Engineering-Disziplinen, Engineering-Services einschließlich Techno-

logie-Lieferanten, Communitys (z. B. Open Source-Software, Open Design, Open Innovation, Crowdsourcing), Engineering-Werkzeug-Lieferanten und Provider von Kollaborationsplattformen einbezogen. Dabei können alle erforderlichen Kompetenzen (auch außerhalb des Unternehmens) ad hoc eingebunden werden. Engineering-Prozesse werden durchgängig gestaltet und durch eine geeignete Engineering-Werkzeuglandschaft unterstützt (vgl. BMWi, 2016, S. 24).

Durchgängige digitalisierte Datenketten, die auch als *Virtuelles Produkt* bezeichnet werden, ermöglichen die Kollaboration entlang aller Wertschöpfungsschritte vom Engineering bis zur Produktion. Aufgrund der Datendurchgängigkeit werden für die Produktion notwendige Anforderungen (z. B. Programmier- und Projektieraufgaben) sowie die Aufwände für die Nutzerführung automatisch generiert (vgl. BMWi, 2016, S. 22).

Das durchgängige und dynamische *Engineering von Anlagen* geht von einem integrierenden Anlagenmodell aus, das während der gesamten Lebensdauer der realisierten Anlage alle Vorgänge aus Engineering, Betrieb und Service der Anlage abbildet. Enthalten sind auch Randbedingungen, Kontextinformationen, mögliche Varianten, denkbare und getroffene Engineering-Entscheidungen sowie deren potenzielle und reale Auswirkungen, wodurch in Summe häufige und kurzfristige Änderungen von Anlagen unter Einbeziehung von Partnern möglich werden (vgl. BMWi, 2016, S. 26).

In *wandlungsfähigen Fabriken* wird eine Fertigung schnell und unter Umständen auch weitgehend automatisiert umgebaut, sowohl im Hinblick auf geänderte Fertigungskapazitäten als auch geänderte Fertigungsfähigkeiten. Dabei kommen intelligente und interoperable Module zum Einsatz sowie standardisierte Schnittstellen zwischen diesen Modulen (vgl. BMWi, 2016, S. 11).

Industrie 4.0 wird auch geprägt durch neue *Mensch-Technik-Interaktion* in der Produktion. Dies umfasst u. a. die physische Assistenz durch Fähigkeitsverstärker, kontextbasierte Assistenz bei der Diagnose von technischen Störungen, ortsbezogene Wartungs- und Planungsassistenz, mobile, personalisierte und situationsadaptive Lernsysteme sowie interaktive Werkzeuge für die flexible Einsatzplanung (vgl. BMWi, 2016, S. 20). Dabei spielen auch Technologien wie die *virtuelle Realität (VR)* und *erweiterte Realität (AR)* eine wichtige Rolle.

Die Realisierung der *auftragsgesteuerten Produktion* bedeutet, dass sich Produktionsfähigkeiten autonom und automatisiert über die eigenen Fabrikgrenzen hinaus vernetzen, um eine Optimierung der Produktion im Hinblick auf Kunden- und Marktanforderungen zu erreichen. Dies bedeu-

tet Flexibilität und Dynamik bei der Einbindung von externen Produktionsstätten in den Produktionsablauf zur Optimierung von Produktionsketten und umfasst auch die automatisierte Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung zur Einbindung aller benötigten Fertigungsschritte und Produktionsmittel (auch von extern) in den Produktionsablauf (vgl. BMWi, 2016, S. 10).

Realisiert ist auch eine *selbstorganisierende, adaptive Logistik*, die die gesamte Wertschöpfungskette der horizontalen Integration umfasst: Intralogistik, adaptive Distributionslogistik mit Zuliefer- und Auslieferprozessen des Supply Chain Managements sowie Endkundenlogistik für das auszuliefernde Produkt. Die echtzeitorientierte Informationsverfügbarkeit ermöglicht das Zusammenspiel aller Akteure der inter- und extralogistischen Wertschöpfung. Diese Form der Logistik reagiert flexibel auf wechselnde Produktionsanforderungen, Systemausfälle und Kundenprioritäten. Sie bindet zudem autonom agierende Transportfahrzeuge und Verladeeinrichtungen in die Prozessausführung ein (vgl. BMWi, 2016, S. 14).

Durch die Entwicklung der selbstorganisierenden, adaptiven Logistik – zunächst in der Intralogistik und dann in immer mehr Bereichen der Extralogistik – ist es in Deutschland auch zu einem allgemeinen Schub für das *autonome Fahren* im gewerblichen Kontext gekommen, von dem letztlich ebenfalls die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen für private Nutzer profitiert.

Value Based Services nutzen Prozess- und Zustandsdaten als Rohstoff für weitere Geschäftsmodelle und Dienstleistungen. Service-Plattformen sammeln und analysieren – ggf. als Intermediäre – Daten aus der Nutzung von Produkten oder Produktionseinheiten und bieten auf dieser Basis bedarfsgerechte individuelle Services an (vgl. BMWi, 2016, S. 16).

Ausgelieferte Produkte weisen *Transparenz und Wandlungsfähigkeit* auf. Dabei werden automatisch durch geeignete Kommunikationsmodule in den Produkten nutzungs- und zustandsbezogene Daten über ausgelieferte Produkte erhoben zur Optimierung von Geschäftsprozessen, für neue Geschäftsmodelle, individualisierte „After Sales Services“, wie zustandsbasierte Wartung bis hin zur dynamischen Anpassung von Produkteigenschaften. Dazu gehört auch die bedarfsgerechte und ggf. temporäre Freischaltung einzelner Funktionalitäten (vgl. BMWi, 2016, S. 18).

Insgesamt wird auch die Umsetzung der *Kreislaufwirtschaft* unterstützt. Dabei werden Materialien in geschlossenen Zyklen gehalten, mit dem Ziel Abfall grundsätzlich zu vermeiden. Neue Geschäftsmodelle wie z. B. „Product as a Service“ führen dazu, dass Hersteller im Besitz der Materialien/Rohstoffe bleiben und nach Ablauf der Nutzungsphase Produkte zur

Aufbereitung und Weiterverwendung zurückerhalten. In kollaborativen Design- und Engineering Prozessen wird die einfache Zerlegung („Design for Disassembly“) und Wiederverwertung in weitere Lebenszyklen bereits mitgedacht. „Product-Passports“ beinhalten Herstellungs-, Montage-, Nutzungs- und Recycling-Informationen des Produkts bzw. einzelner Komponenten und werden vom intelligenten Produkt verwaltet. Die adaptive Logistik schließlich ermöglicht eine effiziente „Reverse Logistics“, wodurch Produkte dem Hersteller oder einem Recycler zurückgeführt werden (vgl. BMWi, 2016, S. 19).

An verschiedensten Stellen spielen dabei automatisierte und autonome Systeme sowie Künstliche Intelligenz eine maßgebliche Rolle. Produktionssysteme agieren unter Wahrung der vom Menschen gesetzten Grenzen autonom und intelligent und weisen sog. Self-X-Fähigkeiten auf wie Selbstdiagnose, Selbstoptimierung, Selbstwartung usw. Es ist immer deutlicher geworden, dass sich Anwendungen von KI im industriellen Kontext deutlich von Konsumenten-Anwendungen unterscheiden. So stehen in industriellen Zusammenhängen andere Datentypen, wie Zeitreihen und Eventdaten, im Vordergrund, während Bilddaten nur für einige spezielle Anwendungen relevant und Text- und Sprachdaten von untergeordneter Bedeutung sind. In Deutschland ist es gelungen, neue KI-Ansätze und maschinelle Lernverfahren hervorzubringen, die auch bei geringen Datenmengen sehr leistungsfähig sind und sich leicht auf einzelne Applikationen eines Produktionssystems übertragen lassen (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2019; BMWi, 2019b). Auf diesem Wege hat sich Deutschland trotz großer Konkurrenz in einer wichtigen Nische im Bereich der KI als Technologieführer etablieren können.

Dementsprechend nutzen deutsche Unternehmen die Cloud- und KI-Dienste der globalen Plattformen selten, sondern greifen bevorzugt auf europäische Alternativen zurück und gehen strategische Partnerschaften mit führenden europäischen Partnern ein. Es hat sich eine Koexistenz einer Vielzahl vernetzter *Plattformen* von Infrastruktur-Anbietern, endkundenspezifischen Plattformen und Branchen-Plattformen herausgebildet. Außerdem sind in Deutschland einzelne Plattformen mit globaler Reichweite im Bereich Industrie 4.0 entstanden.

Der Einsatz von *Mobilfunk nach dem Standard 5G*¹⁸³ ermöglicht Anwendungen in Echtzeit, hohe Verlässlichkeit, hohe Datenraten und die Anbindung einer großen Zahl von Sendern und Empfängern. Durch 5G wurden kabellose Schnittstellen implementiert, die bspw. eine räumliche

183 und perspektivisch 6G.

Trennung von Produktionsautomation (z. B. Roboter) und Steuerungseinheit und damit letztlich eine Steuerung aus der Cloud erlauben (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2018a).

7.3 Schlüsselfaktoren

Datenschutz, IT- und Informationssicherheit waren von Anfang an bei der Entwicklung von Industrie 4.0 wesentliche Grundpfeiler, gerade auch um das Vertrauen und die Akzeptanz der sicherheitsbewussten Industrieunternehmen zu gewinnen. Datenschutz und Security „by design“ und „by default“ wurde stets gefordert und konsequent umgesetzt. Dies wurde begleitet durch einen zunehmenden Einsatz von Ordnungskräften, die auf den Cyberraum spezialisiert sind, so dass ein vergleichbares Niveau an Rechtssicherheit und Strafverfolgung erreicht wurde wie auch außerhalb des Cyberraums. In der Summe wurde und wird dadurch sichergestellt, dass Daten geschützt sind, dass sie nur transparent verwendet werden und die verschiedenen Akteure jederzeit souverän entscheiden können, wofür die Daten genutzt werden können, wofür nicht und wann sie vergessen werden sollen (vgl. BMWi, 2019a).

Die Digitalisierung mit individuellen Produkten und Dienstleistungen verschärft den in westlichen Gesellschaften seit langem bestehenden Trend zur *Individualisierung* und treibt den Übergang in eine *granulare Gesellschaft* (vgl. Kucklick, 2014) weiter voran. Industrie 4.0 mit ihren datengetriebenen Geschäftsmodellen passt sehr genau zu diesen allgemeinen Entwicklungen. Maximierung des Kundennutzens durch individuelle Produkte und Dienstleistungen sowie Lösungsorientierung stehen nun an erster Stelle und haben die Produktzentrierung als vorherrschendes Paradigma industrieller Wertschöpfung abgelöst (vgl. Kucklick, 2014).

Gerade die weltumspannenden, industriellen Wertschöpfungsnetze stehen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht im Kontrast zu der Reichweite und Wirkmacht nationaler Regulierung. Die deutsche Politik hat dieses Spannungsverhältnis aufgegriffen und in ihrem Handeln primär den Industrie- und Wirtschaftsstandort Deutschland adressiert, dabei aber Offenheit und Kooperationsbereitschaft für Partner in Europa und der Welt betont. Eine abgestimmte, gemeinsame *europäische Vorgehensweise* wurde als erfolgsentscheidend erkannt und ist letztendlich gelungen (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2018b). Dabei war letztlich die Einsicht wesentlich, dass das volle Potential der Digitalisierung in der Industrie umso besser genutzt werden kann, je mehr Akteure eingebunden sind.

Aufgrund der Vielfalt und Diversität der cyber-physischen Systeme¹⁸⁴ im industriellen Kontext war allen Beteiligten sehr früh klar, dass nur das Prinzip der *Interoperabilität* eine ausreichende Reichweite und Vernetzung vielfältigster Partner über Unternehmens- und Branchengrenzen gewährleisten kann. Dementsprechend wurde darauf hingewirkt, dass sich alle Partner eines Ökosystems zu einem hohen Maß an Interoperabilität bekennen und gleichermaßen dazu beitragen. Im Gegenzug erlaubt die Interoperabilität von Strukturen und Schnittstellen sowohl Herstellern als auch Kunden die unbeschränkte Teilhabe an digitalen Wertschöpfungsnetzen – dieser Mehrwert hat letztlich im Laufe der Zeit die meisten Akteure überzeugt und zur Zusammenarbeit bewegt (vgl. BMWi, 2019a).

Die Integration von Einzel- zu Systemlösungen in Industrie 4.0 basiert zu großen Teilen auf der Entwicklung von *Standards*. Sie stellen – insbesondere in der Form offener Standards – somit eine Basis für Interoperabilität dar. Auch durch branchenübergreifende Referenzarchitekturen und die Etablierung einer Verwaltungsschale als digitalem Abbild der realen Welt im Digitalen ist es Deutschland gelungen, die Entwicklung breit akzeptierter Standards voranzutreiben (vgl. BMWi, 2019a).

Das hervorragende *Bildungsniveau* der Belegschaften konnte im Laufe der Jahre gehalten und ausgebaut werden. Das lebensbegleitende Weiterlernen wurde durch zahlreiche Weiterbildungsmöglichkeiten bedarfsgerecht gefördert. Auf sich verschiebende Kompetenzbedarfe („Skill-Shift“) wurde – besonders auch in der betrieblichen Bildung – flexibel und zeitnah reagiert zum Teil durch modulare Formen der digitalen, beruflichen Aus- und Weiterbildung (vgl. BMWi, 2019a). Auch in der Hochschulbildung wurde auf neue Bildungsbedarfe im Zusammenhang mit Industrie 4.0 schnell und passgenau reagiert. Die Verschränkung etablierter Studiengänge mit neuen IT-Inhalten ist gut gelungen. Dabei spielten immer öfter auch neue Formen der Selbstbildung auf allen Qualifikationsniveaus eine Rolle.

Leitmotiv des Übergangs zu Industrie 4.0 war der Gedanke des *Wirtschaftens und Arbeitens in globalen, digitalen Ökosystemen*. Damit ist gemeint, dass ehemals fest definierte Wertschöpfungsketten abgelöst wurden durch flexible, hochdynamische und weltweit vernetzte Wertschöpfungsnetzwerke mit völlig neuen Arten der Kooperation, für die der Begriff eines Ökosystems am passendsten ist. Damit die Rahmenbedingung der Datenökonomie in Einklang mit den Anforderungen einer sozialen Marktwirtschaft gebracht werden konnten, wurde das Bild offener Ökosysteme verwendet

184 Zum Begriff der cyber-physischen Systeme vgl. Acatech (2011).

(vgl. BMWi, 2019a). In solchen Ökosystemen besteht Vielfalt so wie in natürlichen, biologischen Ökosystemen, die zu einem Wettbewerb um Ressourcen führt und eine beständige Suche nach ungenutzten Nischen aller Akteure am Markt unterstützt. Die erforderliche Neuausrichtung der Wirtschafts- und Innovationspolitik auf das Wirtschaften in digitalen Ökosystemen ist den staatlichen Akteuren in Deutschland im Großen und Ganzen gut gelungen. Dies umfasste auch das Verständnis der Regeln, nach denen Start-ups entstehen und wachsen. Mit dem Blick darauf, dass Ökosysteme unter Monokulturen leiden, sind in Deutschland und Europa eigene Varianten von Start-up-Ökosystemen entstanden, die europäische Werte verkörpern und mit der sozialen Marktwirtschaft grundlegend verträglich sind und überdies gut zu Industrie 4.0 passen.

Industrie 4.0 ist es im sozialpartnerschaftlichen Dialog gelungen, signifikante Beiträge zur weiteren Verbesserung der Arbeitsbedingungen in Deutschland zu erzielen. Die erfindungsreiche Ausrüsterindustrie zusammen mit einer international wettbewerbsfähigen Anwenderindustrie hat mittels Industrie 4.0 zum weiterhin kontinuierlichen Ausbau des (bereits hohen) Beschäftigungsniveaus beigetragen. Multiplikations- und Spillover-Effekte haben sich auf andere Branchen positiv ausgewirkt.

Zwar wurden einige Berufe im Übergang zu Industrie 4.0 vollständig ersetzt und die Anforderungsprofile vieler verbleibender Berufe änderten sich, doch die Weiterqualifikation und Weitervermittlung in neue Tätigkeiten nach einem Verlust des Arbeitsplatzes gelang aufgrund der insgesamt positiven Dynamik sehr gut.

Durch Industrie 4.0 haben sich im industriellen B2B-Geschäft die Möglichkeiten der Arbeit aus dem Homeoffice erweitert und auch den Bereich der industriellen Produktion erreicht. Dazu hat auch beigetragen, dass Remote-Service-Angebote stark ausgebaut wurden (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2020). In diesem Zuge hat sich auch grenzüberschreitende Telearbeit allmählich zu einem relevanten Teil des deutschen Arbeitsmarktes entwickelt.

In der Summe hat der Übergang zu Industrie 4.0 die deutsche *Wettbewerbsfähigkeit* und *Kooperationsfähigkeit* substanziell erhöht.

Dies hat seitens der beteiligten Unternehmen besonders in der Anfangsphase des Übergangs einige Investitionen erfordert. Allerdings war es vielen schnell klar, dass ohne Investitionen in Industrie 4.0 die Gefahr bestanden hätte, im Wettbewerb unterzugehen. Neben der Steigerung der Produktivität hat auch die Aussicht auf zusätzliche Erlöse durch neue digitale Geschäftsmodelle aufgrund von Industrie 4.0 die *Investitionsbereitschaft* deutlich erhöht. Gerade auch der starke industrielle Mittelstand hat nach

anfänglicher Skepsis stark investiert. Die öffentliche Hand hat über viele Jahre kontinuierlich in den Aufbau der digitalen Infrastruktur investiert und konnte dadurch mitgestalten, dass diese Infrastruktur allen Teilnehmern gleichermaßen offen zugänglich ist und ohne Einschränkungen zur Verfügung steht und somit Fairness im Zugang garantiert. Dabei wurde durchgängig auch auf deren Resilienz geachtet.

Der Übergang zu Industrie 4.0 stellte einen *gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozess* dar. Es zeigte sich, dass neben den engen Kooperationen auf Ebene der Unternehmen auch die Beteiligung und Mitbestimmung aller Akteure erfolgsentscheidend war. Dies umfasste sozialpartnerschaftliche Dialoge in einzelnen Betrieben ebenso wie die Diskussion gesamtgesellschaftlicher Fragen in Bezug auf die Nutzung digitaler Technologie und KI im Alltag. Der Leitgedanke der Souveränität betonte dabei die Freiheit aller Akteure am Markt von Unternehmen, über Mitarbeiter zum Einzelnen und seinen Kaufentscheidungen (vgl. BMWi, 2019a). Nicht zuletzt auch um Marktchancen möglichst groß zu gestalten, wurde durch Maßnahmen zur digitalen *Inklusion* (etwa „Design for all“) sichergestellt, dass jede Person an der digitalen Wirtschaft und Gesellschaft teilhaben kann.

Die *ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit* als Eckpfeiler der gesellschaftlichen Wertorientierung steht im Einklang mit Industrie 4.0. In sozialer und ökonomischer Hinsicht leistet eine zukunfts- und wettbewerbsfähige Industrie wesentliche Beiträge für Wohlstand und Lebensqualität jedes Einzelnen. Mit Blick auf ökologische Nachhaltigkeit und den Klimaschutz hat Industrie 4.0 es ermöglicht, die Ressourceneffizienz zu verbessern, Stoffkreisläufe über den gesamten Produktlebenszyklus zu schließen und durch serviceorientierte Geschäftsmodelle die Materialintensität des Wirtschaftens insgesamt zu reduzieren (vgl. BMWi, 2019a).

7.4 Wirkungsanalyse Szenario 3

Dieser Abschnitt enthält eine Übersicht von betrachteten möglichen Wirkungen, die das Eintreten von Szenario 3 haben könnte. Die Reihenfolge der aufgeführten Wirkungen innerhalb der einzelnen Abschnitte entspricht Relevanz-Einschätzungen aus einem Expertenworkshop beginnend mit den Wirkungen, die am häufigsten als relevant eingeschätzt wurden. Am Ende der Abschnitte finden sich aus Gründen der Vollständigkeit jeweils „Weitere Wirkungen“, die zwar in Betracht gezogen, aber als nicht besonders relevant eingeschätzt wurden.

7.4.1 Wirtschaftsstruktur / Unternehmen und Wettbewerb

Szenario 3 ist dadurch gekennzeichnet, dass Wertschöpfung zunehmend weniger innerhalb einzelner Unternehmen oder linearer Wertschöpfungsketten stattfindet, sondern immer stärker in Netzwerken und digitalen Ökosystemen¹⁸⁵ in der Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen (vgl. Obermaier, 2019, S. 4). Dazu trägt auch die Logistik bei, die eine Vernetzung über (Fabrik-)Grenzen hinaus unterstützt etwa durch den Einsatz von adaptiver und längerfristig auch autonomer Logistik-Systeme.

Der Wertschöpfungsanteil des verarbeitenden Gewerbes am gesamten BIP bleibt in D gegen den internationalen Trend auf hohem Niveau. Dazu trägt auch eine Rückverlagerung der Produktion aus Billiglohnländern nach Deutschland bei. Die enge Verzahnung von Industrie- und Dienstleistungssektor in Deutschland bleibt bestehen und wird durch neue Geschäftsmodelle noch intensiviert (vgl. Obermaier, 2019, S. 12).

Weil IT-Unternehmen sehr erfahren bei Geschäftsmodellinnovationen sind, können den etablierten Industrieunternehmen aus ihnen starke Wettbewerber erwachsen (vgl. Obermaier, 2019, S. 43).

Industrie 4.0 kann zu einer wachsenden technologischen Kluft in der deutschen Betriebslandschaft zwischen Vorreitern und Nachzüglern führen (vgl. ZEW, 2018, S. 106).

Monopolisierungstendenzen sind im Zusammenhang von Industrie 4.0 nicht so ausgeprägt wie bei B2C. Es ist aber unklar, ob und wenn ja zu welchem Zeitpunkt es zu einem „Umkippen“ in der Zukunft kommen könnte z. B. durch Marktconvergenzen (vgl. BMWi, 2019c, S. 50).

185 „2.1. *What is the difference between an online platform and a digital ecosystem? (...) online platform is distinct from a digital ecosystem, which is a broader concept that can include online platforms. Digital ecosystems are combinations of interoperating applications, operating systems, platforms, business models and/or hardware, and not all components of the ecosystem must be owned by the same entity. In fact, a digital ecosystem may involve thousands of different businesses. (...) Components within digital ecosystems are often linked through data, which may be collected or used differently by each component. Shared use of data within an ecosystem helps it to function better and creates opportunities to expand the ecosystem while engaging customers more deeply. Ecosystems can offer users ease of use, convenience, and a familiar look and feel with which they may grow comfortable. However, ecosystems have varying degrees of openness towards competitors and third parties. Opening up to competitors may create benefits from shared network effects across firms. (...) Alternatively, some ecosystem operators limit interoperability with hardware and/or software owned by other entities.*“ (OECD, 2019, S. 22).

Namhafte Unternehmen bzw. bekannte Weltmarktführer haben Vorteile, um Vertrauensprobleme bei der Plattformgründung zu überwinden (vgl. Haucap, Kehder und Loebert, 2020, S. 8) – insofern besteht eine gute Ausgangsposition für Deutschland. Dieser Faktor bedeutet aber auch generelle Vorteile für Großunternehmen.

Vermehrtes Homeoffice – z. B. auch möglich durch Fernwartung und dergleichen - wird den Immobilienmarkt beeinflussen.

7.4.2 Produktivität und Wachstum

Kurzfristig werden geringe Produktivitätszuwächse durch die Umstellung auf Industrie 4.0 erwartet, und zwar aufgrund des damit verbundenen hohen Investitionsbedarfs. Mittel- bis langfristig sollte es zu bedeutenden Produktivitätszuwächsen mit nennenswertem Wirtschaftswachstum kommen. Es besteht das Potenzial enormer Steigerungen der Prozesseffizienz industrieller Wertschöpfung (vgl. Obermaier, 2019, S. 4).

Positive volkswirtschaftliche Wirkungen entstehen durch Transaktionskostenreduktion, Verbundeffekte und Open Innovation sowie eine positive Wirkung auf die Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe für Nutzer von B2B-Plattformen. Über solche Plattformen werden primär Dienstleistungen oder Produkt-Dienstleistungs-Kombinationen vertrieben (vgl. BMWi, 2019c, S. 57).

Zum Produktivitätsparadoxon:

„Studien mit einem späteren Betrachtungszeitraum (weisen) überwiegend positive Effekte von IT-Investitionen auf die Produktivität nach. Ursächlich hierfür sind insbesondere Verzögerungen durch Lernkurveneffekte, Mismanagement in Form inadäquater IT-Nutzung und das Fehlen von zur IT-Investition komplementären Faktoren.“ (Obermaier, 2019, S. 557).

Es ist aber festzustellen, dass entsprechende Produktivitätseffekte teilweise schwierig zu messen sind.

Weitere Wirkungen zu diesem Kriterium

Wenn vor allem große Unternehmen Industrie 4.0 umsetzen und KMU eher zögern, können Wirkungen auf der Makroebene verborgen bleiben (vgl. ZEW, 2018, S. 106ff.), weil es dann dazu kommen könnte, dass es überwiegend Verschiebungen von Nachzüglern zu Vorreitern gibt.

7.4.3 Beschäftigung und Einkommen

Durch Industrie 4.0 könnte es zu wachsender Beschäftigungs- und Lohnungleichheit kommen (vgl. ZEW, 2018).

Industrie 4.0 könnte Auswirkungen auf die Arbeitsqualität haben. Konkret ist eine Vielfalt an neuen Szenarien und neuen beruflichen Rollen denkbar: Selbstbestimmter Beschäftigter, „Feuerwehr“, Gestalter der zukünftigen Produktions- und Arbeitswelt durch Entwicklung, Programmierung und Anpassung, Problemlöser, Ausführender in neu entstehenden Tätigkeitsfeldern, eher fremdgesteuerter Ausführender, Crowd-worker, Kollege von Robotern bzw. autonomen Systemen usw. Veränderungen sind möglicherweise einschneidend, da sie die aus der ersten industriellen Revolution bekannten Formen der Arbeitsorganisation stark verändern (vgl. Neuburger, 2019, S. 589).

Es werden schwach positive Gesamtbeschäftigungseffekte erwartet:

„Die insgesamt positiven Beschäftigungseffekte gehen mit insgesamt steigenden Löhnen einher. Entsprechend sinkt auch die Arbeitslosenquote.“ (ZEW, 2018, S. 106)

Es wird erwartet, dass die in den nächsten fünf Jahren geplanten Technologieinvestitionen zu einem weiteren leichten Rückgang der Arbeitslosigkeit führen werden.

7.4.4 Nachhaltigkeit und Weitere Wirkungen

Es sind wesentliche Beiträge von Industrie 4.0 für die Implementierung der Kreislaufwirtschaft möglich auch durch Konzepte wie Product-as-a-Service-Angebote (PaaS), Upcycling-Strategien, Verbesserung der Ressourceneffizienz und bei der Nutzung von virtualisierten beziehungsweise digitalisierten Komponenten, Systemen und Prozessen für nachhaltigere Inbetriebnahmen und Probebetriebe (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2019, S. 9).

Die Akzeptanz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für Industrie 4.0 könnte unterschiedlich ausfallen je nach Form der betrieblichen Umsetzung und weiterer Faktoren (vgl. Ullrich et al., 2019, S. 565; Plattform Industrie 4.0, 2019).

Weitere Wirkungen zu diesem Kriterium

Durch etwaige Industrie 4.0 ermöglichte Kooperation mit China könnte für

„Deutsche Akteure (ein) Reputationsschaden entstehen, wenn z. B. ihre Produkte für die Entwicklung von Überwachungs- und Rüstungstechnologie in China genutzt werden.“ (Merics, 2020, S. 49).

7.5 Handlungsoptionen Szenario 3

Dieser Abschnitt enthält eine Übersicht von betrachteten Handlungsoptionen, die beim Eintreten von Szenario 3 sinnvoll erscheinen könnten. Die Reihenfolge der aufgeführten Handlungsoptionen innerhalb der einzelnen Abschnitte entspricht Relevanz-Einschätzungen aus einem Expertenworkshop beginnend mit den Optionen, die am häufigsten als relevant eingeschätzt wurden. Am Ende der Abschnitte finden sich aus Gründen der Vollständigkeit jeweils „Weitere Handlungsoptionen“, die zwar in Betracht gezogen, aber als nicht besonders relevant eingeschätzt wurden.

Der politisch gewünschte, forcierte Ausbau des Breitbandnetzes sollte mit Blick auf die Relevanz für die Realisierung von Industrie 4.0 als eine kritische Infrastruktur betrachtet werden. Dabei geht es nicht nur um die Netzstabilität bzw. -sicherheit, sondern auch um eine verlässliche Übertragungsgeschwindigkeit und/oder ggf. Echtzeitfähigkeit, die für eine erfolgreiche Verbreitung von Industrie 4.0 als erfolgskritisch angesehen werden kann.

Um Industrie 4.0 in der Breite voranzutreiben, sollte gezielt die Digitalisierung in KMUs gefördert werden, wie es in bestimmten Programmen schon geschieht.

Konflikte mit bestehenden regulatorischen Rahmenbedingungen sollten frühzeitig identifiziert und dann adressiert werden. Ggf. ist es nötig, bestehende Regulierungen an die Besonderheiten der Plattformökonomie bzw. von Industrie 4.0 anzupassen: konkrete Handlungsempfehlungen (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2021a).

Fachkräfteengpässe im Zusammenhang mit Industrie 4.0 müssen erkannt und adressiert werden (vgl. ZEW, 2018).

Die Mobilität zwischen den schrumpfenden und wachsenden Arbeitsmarktsegmenten ist zu fördern, um so einer Beschäftigungs- und Lohnungleichheit entgegenzuwirken (vgl. ZEW, 2018).

Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 ist eine spezifische plattformorientierte Industriepolitik zu entwickeln, das bedeutet, dass die Wirtschaftspolitik auf digitale Ökosysteme ausgerichtet werden soll.

In der Wettbewerbspolitik sind strukturelle Veränderungen auf Monopolisierungstendenzen zu beobachten. Ggf. ist das Wettbewerbsrecht auf die Besonderheiten der Plattformökonomie bzw. Industrie 4.0 anzupassen (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2021b).

Weitere Handlungsoptionen

Genossenschaftliche B2B-Plattformen könnten das Vertrauensproblem bei der Gründung von B2B-Plattformen lösen (vgl. Haucap, Kehder und Lobe, 2020, S. 9).

Mit multi- und transdisziplinären Förderprogrammen (vgl. BMWi 2019c, S. 62) sollten neue Technologien mit Bezug zu Industrie 4.0 gefördert werden (vgl. ZEW, 2018).

7.6 Literaturverzeichnis Szenario 3

- Acatech (2011), *Cyber-Physical Systems: Innovationsmotoren für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*, Springer: Berlin, Heidelberg.
- BMWi (2016), Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0. Ergebnispapier, verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.pdf?__blob=publicationFile&cv=8; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- BMWi (2019a), Leitbild 2030 für Industrie 4.0 – Digitale Ökosysteme global gestalten, verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Leitbild-2030-f%C3%BCr-Industrie-4.0.pdf?__blob=publicationFile&cv=10; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- BMWi (2019b), Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“, verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&cv=12; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- BMWi (2019c), Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland, verfügbar unter: <https://vdivde-it.de/system/files/pdfs/industrie-4.0-volks-und-betriebswirtschaftliche-faktoren-fuer-den-standort-deutschland.pdf>; abgerufen am: 01. Juni 2022.

- Haucap J., C. Kehder und I. Loebert (2020), B2B-Plattformen in Nordrhein-Westfalen: Potenziale, Hemmnisse und Handlungsoptionen. DICE Consult, Gutachten, verfügbar unter: https://www.wirtschaft.nrw/sites/default/files/documents/gutachten_b2b-plattformen.pdf; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Kucklick, C. (2014), *Die granulare Gesellschaft – Wie das Digitale unsere Wirklichkeit auflöst*, Ullstein: Berlin.
- Merics (2020), Chinas Digitale Plattformökonomie: Eine Bestandsaufnahme im Kontext von Industrie 4.0 – Herausforderungen und Chancen für deutsche Akteure, verfügbar unter: <https://merics.org/de/studie/chinas-digitale-plattform-oekonomie-eine-bestandsaufnahme-im-kontext-von-industrie-40>; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Neuburger, R. (2019), Der Wandel der Arbeitswelt in einer Industrie 4.0, in: Obermaier, R. (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation*, Springer: Wiesbaden, S. 589-608.
- Obermaier, R. (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation*, Springer: Wiesbaden.
- OECD (2019), An Introduction to Online Platforms and Their Role in the Digital Transformation, verfügbar unter: <https://www.oecd.org/innovation/an-introduction-to-online-platforms-and-their-role-in-the-digital-transformation-53e5f593-en.htm>; abgerufen am: 15. Juni 2022.
- Plattform Industrie 4.0 (2018a), MGP – Mobil Gesteuerte Produktion/5G für Digitale Fabriken, verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/mobil-gesteuerte-produktion.pdf?__blob=publicationFile&v=7; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Plattform Industrie 4.0 (2018b), Common List of Scenarios, verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/plattform-i40-und-industrie-du-futur-scenarios.pdf?__blob=publicationFile&v=5; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Plattform Industrie 4.0 (2019), Themenfelder Industrie 4.0, Forschungsbeiträge der Plattform Industrie 4.0, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/acatech-themenfelder-industrie-4-0.html>; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Plattform Industrie 4.0 (2020), Zehn Thesen zur Zukunft digitaler Geschäftsmodelle für Industrie 4.0 in der Post-Corona-Ökonomie, verfügbar unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Corona_Thesen.pdf?__blob=publicationFile&v=5; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Plattform Industrie 4.0 (2021a), IP-Recht und Datenhoheit – wie das Recht Schritt hält, Ergebnispapier, 2. Auflage, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/IP-Recht.html>; abgerufen am: 1. Juni 2022.
- Plattform Industrie 4.0 (2021b), Industrie 4.0 – Kartellrechtliche Betrachtungen, Ergebnispapier, 2. Auflage, verfügbar unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Kartellrechtliche-Betrachtungen.html>; abgerufen am: 1. Juni 2022.

- Ullrich, A., G. Vladova, C. Thim und N. Gronau (2019), Organisationaler Wandel und Mitarbeiterakzeptanz. Vorgehen und Handlungsempfehlungen, in: Obermaier, R. (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation*, Springer: Wiesbaden, S. 565-587.
- ZEW (2018), Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. Forschungsbericht, verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/10419/179119>; abgerufen am: 1. Juni 2022.