ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Beckert, Bernd et al.

Working Paper

Beiträge zur Analyse der Digitalisierung aus Innovationsperspektive

Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, No. 68

Provided in Cooperation with:
Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI

Suggested Citation: Beckert, Bernd et al. (2020) : Beiträge zur Analyse der Digitalisierung aus Innovationsperspektive, Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, No. 68, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, https://doi.org/10.24406/publica-fhg-301323

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/227585

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Fraunhofer ISI Discussion Papers *Innovation Systems and Policy Analysis* Nr. 68

ISSN 1612-1430

Karlsruhe, Dezember 2020

Beiträge zur Analyse der Digitalisierung aus Innovationsperspektive

Bernd Beckert, Lorenz Erdmann, Alexander Feidenheimer,

Matthias Gotsch, Henning Kroll, Andreas Röß, Torben Schubert

Karlsruhe, Fraunhofer ISI

Dieses Fraunhofer ISI Discussion Paper besteht aus vier Aufsätzen, die im Rahmen eines internen Forschungsprojekts am Fraunhofer ISI entstanden sind (SEF Digitalisierung 2019-2020):

1. Veränderung von Innovationsprozessen durch die Digitalisierung: Die neue Rolle der Nutzer (Bernd Beckert)
2. Auswirkungen der Digitalisierung auf Umweltschutz und ökologische Nachhaltigkeit (Matthias Gotsch)
3. Messung des gesamtwirtschaftlichen Impacts der Digitalisierung (Henning Kroll, Alexander Feidenheimer und Torben Schubert)
4. Warum die Innovationsforschung ein explizites KI-Verständnis braucht (Lorenz Erdmann und Andreas Röß)

Weitere Beiträge, die aus dem Digitalisierungsprojekt entstanden sind:

Martin, Nicholas; Matt, Christian; Niebel, Crispin; Blind, Knut (2019): How Data Protection Regulation Affects Startup Innovation. In: Information Systems Frontiers, 21/6: pp. 1307–1324.

Som, Oliver; Dachs, Bernhard; Lerch, Christian; Kroll, Henning et al. (2019): Additive Manufacturing Technology in European Manufacturing Industry – Empirical Insights on Diffusion and Determinants of Use. Paper presented at the R&D Management Conference 2019, June 17-21 2019, Paris, France.

Horvat, Djerdj; Kroll, Henning; Jäger, Angela (2019): Researching the Effects of Automation and Digitalization on Manufacturing Companies' Productivity in the Early Stage of Industry 4.0. In: Procedia Manufacturing 39, pp. 886–893.

Inhalt

1 Veränderung von Innovationsprozessen durch die Digitalisierung: Die neue Rolle der Nutzer (Bernd Beckert) **1**

1.1 Einleitung und Fragestellung 1

1.2 Konzeptualisierung von Nutzerrollen und Innovationsprozessen 2

1.2.1 Stufen der Beteiligung von Nutzern 2

1.2.2 Stufen der Öffnung von Innovationsprozessen 4

1.3 Nutzerrollen und Innovationsprozesse in sechs Bereichen 5

1.3.1 Informations- und Kommunikationstechniken 6

1.3.2 Industrielle Produktion 7

1.3.3 Gesundheit 7

1.3.4 Bioökonomie 8

1.3.5 Graphen 9

1.4 Fazit: Gleichzeitigkeit unterschiedlicher Öffnungs- und Beteiligungsstufen 10

Literatur 14

2 Auswirkungen der Digitalisierung auf Umweltschutz und ökologische Nachhaltigkeit. Eine qualitative Untersuchung in drei ausgewählten Anwendungsfeldern (Matthias Gotsch) **17**

2.1 Einführung 17

2.2 Entwicklung eines Bewertungsschemas zur Beurteilung der Auswirkungen 17

2.2.1 Direkte Effekte 19

2.2.2 Indirekte Effekte 19

2.2.3 Systemische Effekte 20

2.3 Untersuchung ausgewählter Anwendungsfelder 21

2.3.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft 21

2.3.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie 21

2.3.3 Digitalisierung der Mobilität 22

2.4 Vorschläge zu umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Anwendungsfeldern ... 22
2.4.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft ... 22
2.4.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie ... 23
2.4.3 Digitalisierung der Mobilität ... 25
2.5 Zusammenfassung und Ausblick ... 26
Literatur ... 28

3 Messung des gesamtwirtschaftlichen Impacts der Digitalisierung (Henning Kroll, Alexander Feidenheimer, Torben Schubert) **... 33**
3.1 Einleitung ... 33
3.2 Wirkungspfade zwischen Digitalisierung und Impact ... 35
3.3 Relevante Indikatoren zur Messung von Digitalisierungseffekten ... 38
3.4 Modellierung gesamtvolkswirtschaftlicher Effekte der Digitalisierung ... 40
3.5 Zusammenfassung und Empfehlungen ... 41
Literatur ... 43

4 Warum die Innovationsforschung ein explizites KI-Verständnis braucht (Lorenz Erdmann, Andreas Röß) **... 63**
4.1 Einleitung ... 63
4.1.1 Warum befassen sich die Akteure des Innovationssystems heute so intensiv mit KI? ... 63
4.2 Paradigmen der KI-Entwicklung ... 64
4.2.1 Wie wird der Terminus 'Künstliche Intelligenz' verwendet? ... 64
4.2.2 Drei zentrale KI-Entwicklungsparadigmen als Differenzierungsmöglichkeit ... 65
4.3 Grundlegende Veränderungen durch KI ... 67
4.3.1 KI verändert die Agency im Mensch-Technik-Gefüge ... 67
4.3.2 KI macht die Natur und ihre Wahrnehmung künstlicher ... 68

4.3.3 Die Versprechen der Megamaschine und ihre Einlösung 69

4.4 Die grundlegenden Veränderungen im Spiegel der drei Entwicklungsparadigmen 70

Literatur 71

1 Veränderung von Innovationsprozessen durch die Digitalisierung: Die neue Rolle der Nutzer

(Bernd Beckert)

1.1 Einleitung und Fragestellung

Die Digitalisierung ermöglicht, dass Nutzerinnen und Nutzer eine immer wichtigere Rolle im Innovationsgeschehen spielen. Darüber sind sich Innovationsforschung und Managementliteratur einig. Allerdings ist unklar, wie weit die Öffnung von Innovationsprozessen bereits vorangeschritten ist, ob sie alle Bereiche oder nur einige betrifft und ob es sich gar um eine zwangsläufige Entwicklung handelt. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, wie sich neue Beteiligungs- und Öffnungsprozesse in vier ausgewählten Innovationsfeldern konkret gestalten.

Konzepte des User-Involvements, der User-Producer-Co-Creation oder auch der Lead-User stellen die Nutzer ins Zentrum des Innovationsgeschehens (siehe z. B. von Hippel 2005; Bogers et al. 2010; Wang et al. 2012 oder Breschi et al. 2017). Dabei entsteht vielfach der Eindruck, dass Nutzer generell, in allen Branchen, im Business-to-Business-Bereich ebenso wie im Endkundenbereich zu zentralen Innovationsträgern werden. Von Hippel sieht im Fortschreiten des User-Involvements in den verschiedenen Branchen eine ansteigende Bewegung, die früher oder später alle erfassen wird: "Users of products or services – both firms and individual consumers – are increasingly able to innovate for themselves" (von Hippel 2005, S. 1 zitiert in Bogers et al. 2010, S. 869).

Die Hervorhebung der Bedeutung von Nutzern und Anwendern im Innovationsgeschehen suggeriert, dass andere Innovationsarten, insbesondere die institutionalisierten, zurückgedrängt werden und entsprechend an Bedeutung verlieren. Dieser Beitrag versteht sich als eine Art "Reality Check" dieser Aussage und bezieht sich auf jene Bereiche, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Competence Center "Neue Technologien", "Innovations- und Wissensökonomie" und "Politik und Gesellschaft" des Fraunhofer ISI seit Jahren forschen und publizieren. Es handelt sich um folgende Technologie- und Themenbereiche:

- Informations- und Kommunikationstechniken,
- Industrielle Produktion,
- Gesundheit,
- Bioökonomie und
- Graphen.

Entsprechend lautet die Fragestellung dieser Untersuchung: Wie haben sich die Hersteller-Nutzer-Beziehungen in den genannten Bereichen in letzten Jahren verändert und welches sind die jeweils dominanten Innovationmodi?

Um diese Fragen zu beantworten, wurden für diese Studie sechs Fallstudien ausgearbeitet, die sich hauptsächlich auf die Expertise der entsprechenden Expertinnen und Experten am Fraunhofer ISI stützen.

1.2 Konzeptualisierung von Nutzerrollen und Innovationsprozessen

In diesem Abschnitt werden zunächst die Befunde der Innovationsforschung im Hinblick auf die Bedeutung der Nutzer im Innovationsgeschehen sowie im Hinblick auf Kooperationsmodi in der Unternehmens-FuE dargestellt. Der erste Bereich bezieht sich auf die Nutzer, der zweite auf die Hersteller, bzw. auf Unternehmen. Beide Bereiche hängen miteinander zusammen, sind aber nicht deckungsgleich.

Die Befunde werden als Entwicklungsmodelle dargestellt, die aus jeweils vier Stufen bestehen. Auf der jeweils höchsten Stufe kommt den Nutzern eine zentrale Rolle im Innovationsgeschehen zu, sei es als "Co-Creators" neuer Produkte oder Dienstleistungen, sei es in Form von "Amateur-Communities", die etablierten Unternehmen neue Herangehensweisen aufzeigen.

1.2.1 Stufen der Beteiligung von Nutzern

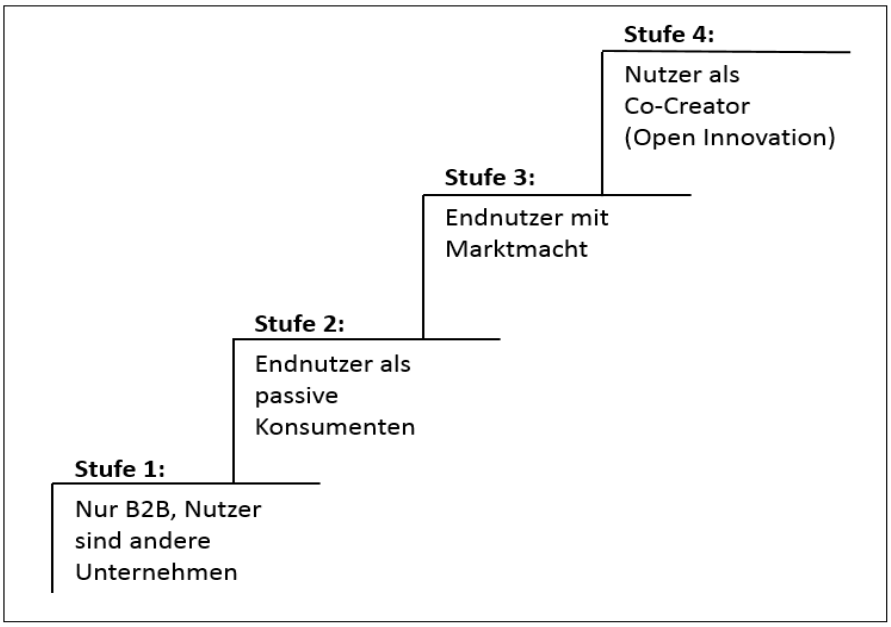
Die Rolle der Nutzerinnen und Nutzer im Innovationsgeschehen wurde in der Vergangenheit unterschiedlich konzeptualisiert. Eine Sichtung der einschlägigen Literatur legt die Unterscheidung von vier Stufen nahe (Abbildung 1-1).

Auf Stufe 1 spielen Endnutzer noch gar keine Rolle im Innovationsprozess. Neuerungen werden innerhalb von Unternehmen entwickelt und umgesetzt. Eine Quelle von Innovationen sind andere Unternehmen (Business-to-Business), mit denen ein enger Austausch besteht, sei es aufgrund enger Lieferanten-Zuliefererbeziehungen oder aufgrund von Konkurrenzbeziehungen. Dass auf Stufe 1 nicht Nutzer vorkommen, sondern B2B-Beziehungen, erscheint zunächst wie ein logischer Bruch, denn im weiteren Verlauf spielt B2B keine Rolle mehr. Der Grund für diese eigentümliche Konzipierung von Stufe 1 ist die Skepsis im Hinblick auf Innovationsimpulse von Konsumenten, wie sie Lundvall in seinem berühmten Aufsatz "Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to national systems of innovation" von 1993 formuliert hat: "One reason for this restriction is that ´needs´ is a fuzzy concept when private consumers are involved. Another is that private consumers are seldom actively involved in the interactive

process of innovation" (Lundvall 1993, S. 280f): Da Endnutzer oftmals keine rationalen Entscheidungen treffen, sondern sich von Angeboten verführen lassen, bzw. irrationalen Impulsen folgen, fallen sie für Lundvall als Gegenstand der Analyse zunächst aus.

Auf den Stufen 2 und 3, die auf jüngeren Innovationskonzepten basieren (z.B. Kuhlmann und Arnold 2001; Edquist 2005; Krüger et al. 2010; Deloitte 2019) treten Endnutzer zunehmend als Impulsgeber für Innovationen in den Blick.

Abbildung 1-1: Stufen der Beteiligung von Nutzern in Innovationsprozessen



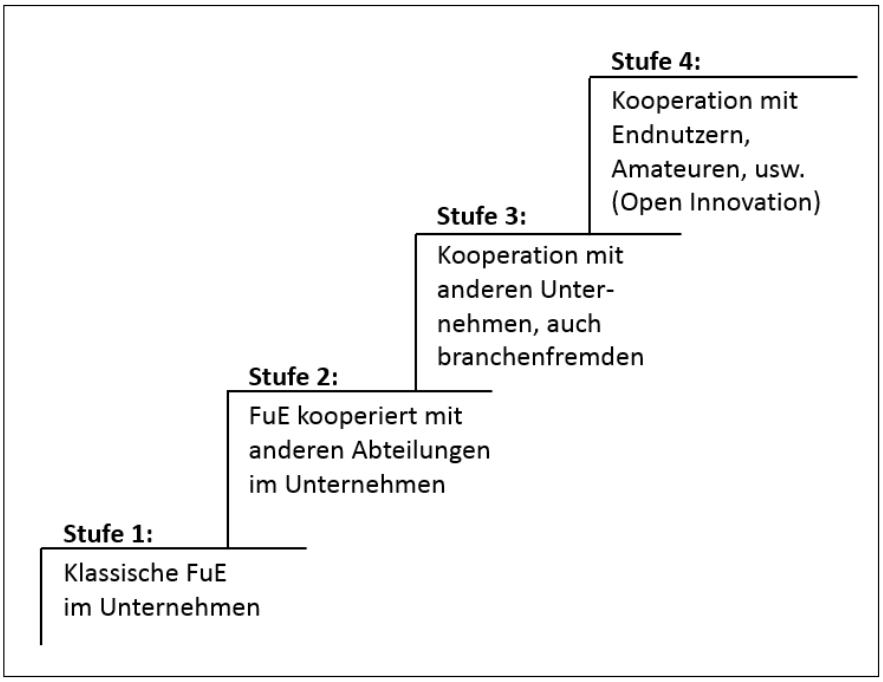
Quelle: Eigene Darstellung

In Stufe 4 sind schließlich alle Ansätze zusammengefasst, die Nutzerinnen und Nutzer als Innovationstreiber in den Mittelpunkt stellen. Dies stellt die höchste Stufe des "User-Involvements" im Innovationsprozess dar. In den entsprechenden Studien geht es um "Creative Consumers" (Berthon et al. 2007), "Customers as innovators" (Douthwaite et al. 2019), "Lead user" (von Hippel 2005) oder um "Co-Creators", z. B. im Kontext von Living Labs (siehe z. B. Mulder et al. 2015). Nutzerinnen und Nutzer können dabei vorhandene Produkte modifizieren, damit sich diese besser in ihren individuellen Verwendungskontext einpassen. Oder sie entwickeln selbst neue Produkte, Inhalte oder Dienstleistungen für spezifische Bedarfe, die von etablierten Unternehmen bisher nicht gesehen wurden. Im Extremfall ist der Innovationsprozess vollständig an die Nutzer ausgelagert, welche ihre eigenen Produkte entwickeln, während die Unternehmen lediglich Werkzeuge für die Produktion und den Vertrieb zur Verfügung stellen (vgl. Warnke et al. 2016, S. 7).

1.2.2 Stufen der Öffnung von Innovationsprozessen

Während sich die Entwicklung der Nutzerkonzepte als eine der zunehmenden Aktivierungen der Nutzer im Innovationsprozess darstellt, kann die Entwicklung der Unternehmens-FuE als eine Öffnungsbewegung gesehen werden. Beginnend mit der klassischen FuE, die hauptsächlich interne Quellen und etablierte Forschungskooperationen mit Universitäten und Forschungsinstituten nutzt, öffnet sich die Unternehmens-FuE für vielfältige interne und externe Akteure und nimmt zunehmend heterogene Impulse, Bedarfe und Anforderungen von diesen neuen Akteuren auf. Die Entwicklung von einer stark strukturierten Unternehmens-FuE zu einem flexiblen Open-Innovation-Regime kann als 4-stufiger Prozess dargestellt werden (Abbildung 1-2).

Abbildung 1-2: Stufen der Öffnung von Innovationsprozessen



Quelle: Eigene Darstellung

Auf Stufe 1 steht die klassische FuE im Mittelpunkt des Innovationsgeschehens: Unternehmen beauftragen ihre jeweilige FuE-Abteilung damit, neue Produkte oder Dienstleistungen zu entwickeln. Hierbei kann es sich um Weiterentwicklungen existierender Angebote handeln oder um gänzlich neue Aktivitäten.

In Stufe 2 öffnet sich die klassische FuE für Anregungen und Anforderungen aus anderen Abteilungen (Business Units) des Unternehmens, wie z. B. der Produktion, dem Vertrieb, dem Marketing oder der IT-Abteilung (intrafirm cooperation, siehe z. B. Luca und Athuahene-Gima 2007 oder Iferd und Schubert 2017). Dezentrale FuE wird oft mit der

Produktpflege, mit Produktanpassungen oder der Weiterentwicklung bestehender Produktlinien in Zusammenhang gebracht (Häußermann et al. 2018, S. 53ff). Sie kann aber auch grundlegend neue Aktivitäten anstoßen, dann nämlich, wenn entsprechende Ideen aus dem Vertrieb oder aus der IT-Abteilung an die zentrale FuE herangetragen werden.

Die Kooperation mit anderen Unternehmen (interfirm cooperation) stellt Stufe 3 in der Öffnung des Innovationsprozesses dar. Oftmals handelt es sich hierbei um Kooperationen zwischen Zulieferern und Herstellern oder zwischen Firmen und Dienstleistern. Innovationen entstehen insbesondere durch branchenübergreifende Kooperationen. In der Literatur wird unterschieden zwischen "Outside-In-Innovationen", bei denen vorhandene Lösungen aus einer anderen Branche in adaptierter Form auf die eigene Branche übertragen werden und "Inside-Out-Innovationen", bei denen Unternehmen nach Anwendungsfeldern für eigene Lösungen außerhalb der eigenen Branche suchen (vgl. Neef und Glockner 2015; Robers et al. 2013).

Stufe 4 beinhaltet schließlich die Kooperation mit Endkunden, Nutzern, Amateuren, User Groups, Communities im Sinne des Open-Innovation-Modells (Chesbrough, Vanhaverbeke und West 2006). Auf dieser Stufe entstehen neue Produkte und Dienstleistungen in einem interaktiven Prozess zwischen Unternehmen und Nutzern, wobei die Initiative prinzipiell von beiden Akteuren ausgehen kann und unterschiedliche Konstellationen bei der Umsetzung von Neuerungen denkbar sind (siehe z. B. Bogers et al. 2010; Wang et al. 2012 sowie Dahlander und Gann 2010).

"Kooperationen mit Endnutzern" als höchste Stufe der Öffnung der Unternehmens-FuE entspricht weitgehend der höchsten Stufe des User Involvements bei der Konzeptualisierung der Nutzer als Co-Creators (s. o.). Hier wie dort werden die Nutzerinnen und Nutzer als zentrale Innovationstreiber gesehen, die andere Innovationmodi zunehmend verdrängen.

1.3 Nutzerrollen und Innovationsprozesse in sechs Bereichen

In den folgenden Abschnitten wird analysiert, wie weit dieser Prozess in ausgewählten Technologie- und Politikfeldern tatsächlich vorangeschritten ist. Aufgrund der Heterogenität der Bereiche muss dabei u.a. geklärt werden, wer Hersteller und wer Kunde ist, und wodurch sich ihre Beziehungen auszeichnen. Anschließend wird nach Veränderungen in diesen Beziehungen gefragt und es werden Hinweise auf eine gestiegene Bedeutung von Kunden bzw. Nutzern gesammelt. Anschließend wird eine Einschätzung vorgenommen, auf welcher Stufe der Beteiligung bzw. Öffnung sich der jeweilige Bereich befindet (dominanter Innovationsmodus).

1.3.1 Informations- und Kommunikationstechniken

Im Bereich Informations- und Kommunikationstechniken sollen hier die drei Teilbereiche Open-Source-Software, digitale Plattformen sowie Medienunternehmen/Content Provider betrachtet werden. Dabei zeigt sich, dass die Öffnung der Innovationsprozesse für neue Akteure und vor allem für die Nutzer sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Während der Bereich der Open-Source-Software-Entwicklung als Vorbild für offene Innovationsprozesse schlechthin gilt, bei dem die späteren Nutzer nicht nur ihre Ideen einbringen, sondern diese auch selbst umsetzen, dominiert in den Bereichen digitale Plattformen und Medienunternehmen das klassische FuE-Modell.

Interessanterweise hat sich im Internetbereich eine Umdeutung der Rolle der Nutzer ereignet, welche eher mit Schließungs- als mit Öffnungsprozessen einhergeht. Denn in der Frühphase der Internetentwicklung waren die Nutzer die zentralen Treiber von Innovationen – sowohl in technischer als auch in inhaltlicher Sicht. In der heutigen Internetökonomie, in der die großen Plattformbetreiber die Innovationsprozesse dominieren, sind Nutzer zwar weiterhin von großer Bedeutung, allerdings treten sie vorwiegend als Konsumenten und Datenlieferanten in Erscheinung. Dabei existiert das frühe Innovationsmodell in einigen Nischen weiter – dominiert wird das Innovationsgeschehen aber von den großen Plattformbetreibern und ihrem weitgehend geschlossenen Innovationsmodell. Öffnungsprozesse sind hier lediglich im Hinblick auf die Ausweitung ihres Daten- und Geschäftsmodells auf andere Anwendungsbereiche, wie z. B. Robotik, Smart Homes, Smart Health, autonomes Fahren usw. zu beobachten.

Kennzeichnend für das Innovationsgeschehen im Bereich der digitalen Plattformen ist darüber hinaus ein asymmetrisches Machtverhältnis zwischen Anbietern und Nutzern: Wegen der großen Verbreitung der digitalen Plattformen und ihrer zunehmenden Bedeutung für das alltägliche Leben ist eine Abkopplung faktisch nicht mehr möglich. In wie weit Politik und Regulierung in der Lage sind, diese Monopolisierungstendenzen einzufangen und z. B. Datenbestände in irgendeiner Form zu vergemeinschaften, damit in Zukunft wieder offenere Innovationsmodelle möglich werden, ist derzeit unklar.

Im Bereich der Medienunternehmen hat die Digitalisierung zu einem enormen Anpassungsdruck geführt, der nicht zuletzt von Nutzern getrieben wird, die eigene Inhalte erstellen oder hoch spezialisierte Medienangebote nachfragen. Hier hat die Digitalisierung zu einer Aktivierung der Nutzer und zu vielfältigen Format-Innovationen geführt. Entsprechend haben Medienunternehmen ihre FuE-Prozesse stärker für die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer geöffnet und neue, nutzerzentrierte Modelle ausprobiert. Über all diesen Versuchen steht jedoch das Großthema der Medienunternehmen, nämlich die Frage, wie die Zahlungsbereitschaft für digitale Angebote erhöht werden kann.

1.3.2 Industrielle Produktion

Im Bereich der industriellen Produktion lässt sich beobachten, dass Innovationsimpulse zunehmend von externen Partnern, von Dienstleistern, Zulieferern oder Kunden kommen. Die Quellen für Innovationen sind vielfältiger geworden, neue Produkte und Dienstleistungen werden immer weniger ausschließlich Inhouse entwickelt. Die Digitalisierung spielt hier eine wichtige Rolle, weil sich die Such- und Transaktionskosten verringert haben und KMU externes Know-how aufnehmen können, auf das sie früher keinen Zugriff hatten.

Organisatorisch spielt die interne FuE jedoch weiterhin eine wichtige Rolle. Insbesondere bei Unternehmen, die ihre FuE mit anderen Abteilungen vernetzen sind mehr Innovationsaktivitäten zu beobachten als bei anderen Unternehmen.

Der Einfluss der Kunden auf den Innovationsprozess ist im Bereich der industriellen Produktion beschränkt. Endkundenpräferenzen wirken sich indirekt auf den Produktionsprozess aus, zum einen, weil der Wunsch nach individualisierten Produkten sich in einer höheren Variantenvielfalt niederschlägt, die entsprechend organisiert werden muss und zum anderen, weil die Erwartungen der Kunden im Hinblick auf Produktkonfiguration, Serviceunterstützung, einfacher Bestellung und schneller Verfügbarkeit gestiegen sind. Und obwohl es bereits eine Reihe innovativer Unternehmen gibt, die sich das digitale Paradigma zu eigen gemacht haben, befinden sich viele kleinere und mittlere Produktionsunternehmen bei der Einführung digitaler Technologien und Prozesse in einer frühen Phase.

Während die Öffnung von Innovationsprozessen im Sinne von Open Innovation im Produktionsbereich voranschreitet und insbesondere bei den Kooperationsbeziehungen zu sichtbaren Veränderungen geführt hat, zeigen sich gleichzeitig deutlich die Grenzen der Öffnung: Nämlich dort, wo sensitives Produktions- und Produktwissen mit Kooperationspartnern oder gar mit Wettbewerbern im Sinne einer Sharing Economy geteilt werden soll. Hier zeigt sich, dass Unternehmen ihre erarbeiteten Wettbewerbsvorteile nicht frei zur Verfügung stellen wollen, auch wenn aus dem geteilten Know-how letztlich ein besseres Produkt entwickelt werden könnte. Nach der Logik der Unternehmen verlieren diese ihren Wettbewerbsvorsprung, wenn sie ihr Know-how preisgeben. Entsprechend wenig Akzeptanz wird das Modell einer Sharing Economy bei Unternehmen im produzierenden Gewerbe erhalten.

1.3.3 Gesundheit

In allen drei betrachteten Bereichen des Gesundheitssystems (Pharma, Medizintechnik, Gesundheits-Apps) gibt es Hinweise auf die gestiegene Bedeutung von Nutzern im Innovationsprozess. Sowohl im Bereich der professionellen Nutzer als auch im Bereich der Laiennutzer spielen Bottom-up-Entwicklungen, d. h. Innovationsimpulse, Eigen- und

Mitentwicklungen von Nutzern eine immer größere Rolle. Verantwortlich hierfür ist zum einen, dass die Nutzer durch digitale Technologien heute eher in der Lage sind, eigenes Know-how aufzubauen und eigene Anwendungen zu entwickeln und zum anderen, dass die Unternehmen sich Nutzern gegenüber stärker geöffnet haben, weil sie merken, dass sie die Nutzer brauchen, um passfähige Produkte in einem komplexer werdenden Markt- und Nutzungsumfeld zu entwickeln.

Durch die Digitalisierung können sich Nutzerinnen und Nutzer besser vernetzen und sie finden auch die passenden Hersteller leichter, mit denen sie ihre Produktidee umsetzen können. Allerdings sind die Rahmenbedingungen für Nutzer-Innovationen und die Veränderungsimpulse, die sie auslösen können, in den drei Bereichen sehr unterschiedlich.

Die großen institutionellen Akteure (BMG, Selbstverwaltung, Pharmaunternehmen usw.) tun sich gegenwärtig noch schwer mit der Öffnung für User-Innovationen. Dies hängt unter anderem mit der auf Beständigkeit angelegten Versorgungsinfrastruktur, den Zulassungs- und Erstattungsvorgaben und der aufwändigen Medikamentenentwicklung zusammen. Die im Bereich Medizintechnik tätigen KMU können dagegen agiler auf Impulse von Nutzerinnen und Nutzern reagieren und sie können an eine Tradition der kooperativen Entwicklung von medizintechnischen Produkten anknüpfen. Das stärkste User Involvement ist im Bereich der Gesundheits-Apps zu verzeichnen, denn dort können Nutzer mit relativ geringem Aufwand eigene Ideen umsetzen und vermarkten.

In allen drei Bereichen spielt die Digitalisierung eine zentrale Rolle, wenngleich mit unterschiedlichen Stoßrichtungen. Diese reichen von der besseren Organisation von Patientengruppen über das Internet über die Verknüpfung digitaler Patienten- und Forschungsdaten für eine bessere Diagnose bis hin zum Empowerment von Patienten gegenüber ihren Ärzten. Auf der anderen Seite können z. B. Gesundheits-Apps als reine Marketingmaßnahmen für bestimmte Medikamente, Therapien oder zur Image-Verbesserung von Krankenkassen genutzt werden, was das Innovationspotenzial digitaler Technologien entsprechend limitiert.

1.3.4 Bioökonomie

Biobasierte Produkte herzustellen, die ähnliche Funktionalitäten wie herkömmlich erzeugte Produkte haben, ist ein komplexer Prozess, der entsprechende FuE-Kapazitäten sowohl auf Seiten der Grundstofferzeuger als auch auf Seiten der Anwenderunternehmen erfordert. Hier finden sich durchweg große bis sehr große Unternehmen, deren FuE weitgehend traditionell organisiert ist. Dies bedeutet, dass neue Produkte und Verfahren auf eigenen Versuchsanlagen und mit punktueller Unterstützung durch universitäre und außeruniversitäre Forschung entwickelt werden.

Wichtiger Innovationstreiber für die Bioökonomie ist die Politik, die von den Herstellern einen höheren Anteil an biobasierten Produkten fordert.

"Kunden" in unserem Sinne sind die "Brandowner", d. h. die Verpackungsindustrie, Abfüller, Hersteller von Plastikprodukten usw., die die chemische Industrie dazu bewegen können, neue, biobasierte Grundstoffe zu entwickeln. Die enge Kooperation zwischen Nutzern und Anbietern ist zwar Voraussetzung für die erfolgreiche Substitution in Einzelprojekten. Grundsätzlich lassen sich hier jedoch keine systematischen Öffnungen im Hinblick auf mehr Nutzerbeteiligung finden. Vielmehr ist das Innovationsgeschehen durch bekannte Kooperationsdefizite zwischen den Akteuren auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette geprägt.

Obwohl die Bioökonomie im Wesentlichen ein B2B-Bereich ist, spielen auch Endkunden eine gewisse Rolle: Durch ihre Kaufentscheidungen und ihre Forderungen an die Politik nach mehr Nachhaltigkeit entscheiden sie mit darüber, ob sich bioökonomische Innovationen durchsetzen oder nicht.

1.3.5 Graphen

Endnutzer, die eigene Entwicklungen, Anforderungen oder Bedarfe in den Innovationsprozess einbringen und ihn damit spezifisch umgestalten, existieren im Bereich Graphen derzeit nicht. Graphen ist eine Materialinnovation, die sich in einer frühen Phase befindet. Zwar sind vielfältige Hoffnungen und Erwartungen mit dem neuen Material verbunden und die Liste potenzieller Anwendungsfelder ist lang. Allerdings konnten sich bisher noch keine industriellen Wissens- und Wertschöpfungsketten etablieren.

Dabei handelt es sich bei Graphen um einen reinen B2B-Bereich, "Hersteller" sind Unternehmen, die Graphen in unterschiedlichen Ausführungen produzieren. Potenzielle "Nutzer" sind Komponentenhersteller, Teileproduzenten, Zulieferer, Integratoren bzw. OEMs, wobei die Funktionalität des Produkts im Vordergrund steht und die Tatsache, dass an bestimmten Stellen Graphen zum Einsatz kommt, an Bedeutung verliert, je weiter der komplexe Produktionsprozess voranschreitet.

"Graphen" ist ein stark forschungsgetriebenes Thema, das seine wesentliche Dynamik aus der Forschung an Universitäten und Forschungseinrichtungen bezieht. Damit aus der Spitzenforschung auch Anwendungen entstehen, hat die Europäische Kommission 2013 das Graphen-Flagship gestartet und finanziell entsprechend ausgestattet. Im Flagship wird sowohl wissenschaftliche Exzellenz als auch wirtschaftliche Verwertbarkeit gefordert, ein Zielkonflikt, der durch verschiedene neue Formate, wie z. B. Roadmaps, "Value Chain Workshops" oder "Spearhead-Projekte" unter Führung von Industriepartnern aufgelöst werden soll.

Das Flagship-Projekt übernimmt die Rolle einer zentralen Plattform, über die die komplexen Transferprozesse von der Forschung in die industrielle Anwendung angestoßen und koordiniert werden sollen. Diese Prozesse funktionieren deshalb noch nicht von selbst, weil das Thema Graphen neu, komplex und äußerst wissensintensiv ist und Unternehmen bei diesem Thema nicht auf vorhandene Forschungs- und Transfernetzwerke zurückgreifen können.

Das klassische Koordinationsproblem, das entsteht, weil Forscher nicht wissen, welche Anforderungen die Unternehmen haben und umgekehrt, die Unkenntnis der Unternehmen über neue technischen Möglichkeiten, existiert im Bereich Graphen in besonders prägnanter Weise. Normalerweise ist die unternehmensinterne FuE dafür zuständig, neue Technologien mit Relevanz für das eigene Unternehmen zu identifizieren und Prozesse einzuleiten, wie diese in existierende Geschäftsbereiche und Produktionsverfahren integriert werden können. Im Falle von Graphen fehlt es jedoch an entsprechenden Prozessen. Deshalb sind im Flagship-Projekt die großen Unternehmen Hauptadressaten von Formaten wie z. B. den "Value Chain Workshops", in denen die Anforderungen von Nutzern und Herstellern abgeglichen werden sollen. Die Innovationspolitik übernimmt damit eine zentrale Funktion der Unternehmens-FuE.

Und während "User Involvement" in unserem Sinne hier nicht stattfindet, könnte man von einem moderierten Beteiligungsprozess potenziell betroffener Nutzer, d. h. von Unternehmen auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen sprechen. Denn um Graphen erfolgreich in Komponenten zu integrieren, müssen die Materialhersteller von den Komponentenherstellern wissen, welche Spezifikationen das Material haben muss und umgekehrt müssen die Komponentenhersteller die Anforderungen der Integratoren kennen. Am Ende steht ein angestrebter Zusatznutzen, der durch Graphen-unterstützte Komponenten und Produkte erzielt werden kann. Dies kann eine höhere Reichweite bei Elektrofahrzeugen sein, eine schnelle Energiebereitstellung für Gabelstapler, eine effizientere Wasserreinigung, ultra-schnelle Schalter für die Datenkommunikation oder eine größere Spektralbreite bei Kameras und Sensoren.

1.4 Fazit: Gleichzeitigkeit unterschiedlicher Öffnungs- und Beteiligungsstufen

Die Analyse der verschiedenen Technologiefelder hat eine Vielzahl von Hinweisen auf Öffnungsprozesse und neue Kooperationsmodelle ergeben. In vielen Bereichen spielen Nutzerinnen und Nutzer inzwischen eine wichtige Rolle im Innovationsprozess. Ein entscheidender Faktor sind dabei neue Informations- und Beteiligungsmöglichkeiten, die durch das Internet möglich geworden sind. Das Internet ist auch im übertragenen Sinn

eine Voraussetzung für neue Öffnungs- und Beteiligungsentwicklungen: Weil die Nutzerinnen und Nutzer Erfahrungen aus der Internet-Recherche, dem Online-Shopping und der mobilen Internetnutzung (transparent, aktuell, personalisiert, schnell verfügbar) als Erwartungen an andere Bereiche herantragen (z. B. an den Gesundheitsbereich), müssen sich diese auf die neuen Nutzeranforderungen einstellen. Darüber hinaus sind Innovationsprozesse in den letzten Jahren komplexer geworden – z. T., weil komplexe neue Technologien eingeführt wurden, z. T., weil die zunehmende Vernetzung der Akteure vielfältige Abstimmungsprozesse erfordert.

In allen hier untersuchten Bereichen konnten entsprechend Hinweise für neue Nutzerbeteiligungen gefunden werden (Tabelle 1-1). Allerdings zeigt sich ein uneinheitliches Bild: Nicht in allen Bereichen zeigen sich die neuen Beteiligungsformen in gleicher Weise und Stärke.

Tabelle 1-1: Nutzerbeteiligung und dominanter Innovationsmodus in den ausgewählten Bereichen

Untersuchte Bereiche	Hinweise für Nutzer-beteiligungen	Dominanter Innovationsmodus
Informations- und Kommunikationstechniken		**Stufe 4:** Kooperation mit Endnutzern, aber teilweise Stufe 1: Klassische FuE
Open-Source-Software	+++	
Digitale Plattformen	++	
Content Provider	++	
Industrielle Produktion		**Stufe 3:** Branchenübergreifende Kooperation und teilweise Stufe 4: Kooperation mit Endnutzern
B2B	+	
B2C	++	
Gesundheit		**Stufe 3:** Branchenübergreifende Kooperation und teilweise Stufe 2: FuE-Kooperation mit Business Units
Pharmaindustrie	+	
Medizintechnik	++	
Gesundheits-Apps	+++	
Bioökonomie		**Stufe 1:** Klassische FuE, aber im kleineren B2C-Bereich deutliche Öffnung von Innovationsprozessen Richtung der User (Stufen 2 und 3)
B2B	+	
B2C (Vertical Farming, Bio-Hacker, Hobby-Produzenten, -imker, -brauer usw.)	++	
Graphen	+	**Stufe 1:** Klassische FuE
Forschungs- und Innovationspolitik	+	**Entspricht Stufe 3:** Branchenübergreifende Kooperation

Quelle: Eigene Darstellung

Die am stärksten vom "User Empowerment" betroffenen Innovationsprozesse finden sich in den Bereichen Open-Source-Software und bei den Gesundheits-Apps. Bei der Bioökonomie und bei Graphen sind die Hinweise auf Nutzerbeteiligungen im Sinne von Open Innovation dagegen eher spärlich und auch in der Forschungs- und Innovationspolitik gibt es bisher nur wenige empirische Hinweise auf Veränderungen.

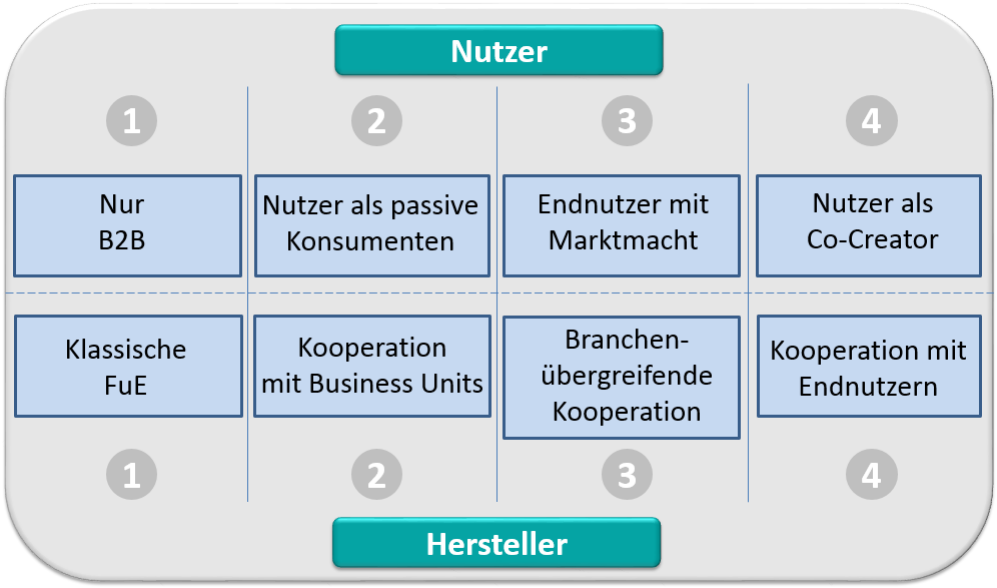
Betrachtet man den jeweils dominanten Innovationsmodus in den untersuchten Bereichen, so bestätigt sich der Eindruck einer heterogenen Situation: Während in der Bioökonomie und bei Graphen – ebenso wie in Teilen der Informations- und Kommunikationstechnologie – die klassische FuE der dominante Innovationsmodus ist, finden sich in der industriellen Produktion und im Gesundheitsbereich mit Stufe 3 vor allem die branchenübergreifende Kooperation als dominanter Modus. Dabei sind die Tendenzen jeweils unterschiedlich: Die industrielle Produktion tendiert teilweise zu Stufe 4, und der Gesundheitsbereich tendiert eher zu Stufe 2, d. h. zu einer Kooperation mit anderen Abteilungen innerhalb des Unternehmens.

Die höchste Stufe von Open Innovation (Stufe 4), auf die sich laut Vertretern des Konzepts künftig alle Innovationsprozesse hin ausrichten, findet sich in dieser Untersuchung nur im Bereich der Informations- und Kommunikationstechniken – und hier lediglich im Feld der Open-Source-Software.

Tatsächlich ist das Bild aber eher von Gleichzeitigkeiten geprägt. Die Fallstudien legen die Schlussfolgerung nahe, dass es sich bei Open Innovation nicht um ein einheitliches und alle Branchen und Bereiche überformendes Entwicklungsmodell handelt, sondern dass Nutzerbeteiligungs- und Öffnungsprozesse sehr unterschiedlich gelagert sein können und dass sie keineswegs zwangsläufig sind.

Vor diesem Hintergrund erscheint das Stufenmodell wie es in Kapitel 1.2 vorgestellt wurde, als unangemessen: Statt mit einer einheitlichen Aufwärtsbewegung haben wir es eher mit Stadien der Beteiligung und Kooperation zu tun, die sich in beide Richtungen entwickeln können (Abbildung 1-3).

Abbildung 1-3: Gleichzeitigkeit statt Aufwärtsentwicklung: Darstellung unterschiedlicher Nutzerrollen und Kooperationsmöglichkeiten im Innovationsprozess



Quelle: Eigene Darstellung

In Anlehnung an Schlögel (2003) könnte man von einer simultanen "Kopräsenz des Differenten" sprechen (Schlögel 2003, S. 49). Denn während sich etablierte Innovationsplayer unterschiedlich stark für User-Innovationen öffnen, können User-generierte Innovationen wieder in etablierte Kontexte zurückfinden, indem z. B. Start-ups gegründet oder innovative Akteure in bestehende Unternehmen integriert werden.

Literatur

Berthon, P.R.; Pitt, L.F.; McCarthy, I.; Kates, S.M. (2007): When customers get clever: Managerial approaches to dealing with creative consumers, *Business Horizons,* 50, S. 39-47.

Bogers, M.; Afuah, A.; Bastian, B. (2010): Users as Innovators: A Review, Critique, and Future Research Directions, *Journal of Management*, 36(4), S. 57-875.

Breschi, R.; Freundt, T.; Orebäck, M.; Vollhardt, K.. (2017): The expanding role of design in creating an end-to-end customer experience. Berlin: McKinsey&Company Operations.

Deloitte (2019): Verantwortung als Chance: das Transformationsthema Sustainability. Vom Nebenschauplatz zum Unternehmensziel: warum nachhaltiges Wirtschaften heute so dringlich ist – und wie die Umsetzung am besten gelingt. Abrufbar unter https://www2.deloitte.com/de/de/pages/risk/articles/sustainability-transformation.html (zuletzt geprüft am 19.09.2019).

Douthwaite, B.; Keatinge, J.D.H.; Park, J.R. (2001): Why promising technologies fail: the neglected role of user innovation during adoption, *Research Policy*, 30(5), S. 819-836.

Chesbrough, H.; Vanhaverbeke, W.; West, J. (Hrsg.) (2006) *Open Innovation: Researching a New Paradigm*. Oxford: Oxford University Press.

Dahlander, L.; Gann, D.M. (2010): How open is innovation?, *Research Policy*, 39, S. 699-709.

Edquist, C. (2005): Systems of Innovation. Perspectives and Challenges. In: Fagerberg, J.; Mowery, D.C.; Nelson, R.R. (Hrsg.): *The Oxford Handbook of Innovation*. New York: Oxford University Press, S. 181-208.

Iferd, Y.; Schubert, T. (2017): *Governing Innovation Projects in Firms. The Role of Competition between Innovation Projects and Interdepartmental Collaboration*, Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, Nr. 56. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Lundvall, B.-Å. (1993): User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. In: Foray, D.; Freeman, C. (Hrsg.): *Technology and the Wealth of Nations*. London: Pinter, S. 277-300. (geht zurück auf: Lundvall, B.-Å. (1988): Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to national systems of innovation. In: Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, G.; Soete, L. (Hrsg.): Technology and Economic Theory, London: Pinter, S. 349-369.)

Luca, L M. De; Atuahene-Gima, K. (2007): Market knowledge dimensions and cross-functional collaboration: Examining the different routes to product innovation performance. *Journal of Marketing*, 71, S. 95-112.

Häußermann, J.J.; Heidingsfelder, M.L.; Muschner, A.; Schroth, F.; Sinell, A.; Zimmermann, K.; Nick, A. (2018): *Open Transfer: Ergebnisse des BMBF-geförderten Verbundprojektes zu Wissenschaft-Wirtschaft-Kooperationen in den Branchen Mikroelektronik, Optik sowie Mobilität und Verkehr*. Berlin: Fraunhofer Center for Responsible Research and Innovation und WZB.

Krüger, W., von Schubert, B.; Wittberg, V. (2010): Unternehmerische Nachhaltigkeit als Leitmotiv in einer neuen Wirtschaftsordnung. In: Krüger W., von Schubert, B.; Wittberg, V. (Hrsg.): *Die Zukunft gibt es nur einmal!* Wiesbaden: Gabler.

Kuhlmann, S.; Arnold, E. (2001): *RCN in the Norwegian Research and Innovation System.* Background Report No. 12 in the evaluation of the Research Council of Norway. Karlsruhe, Brighton: Fraunhofer ISI, Technopolis.

Mulder, I.; Van Doorn, F.; Stappers, P.J. (2015): Co-creation in Context: The User as Co-creator Approach. In: Streitz, N., Markopoulos, P. (Hrsg.): Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions. DAPI 2015. *Computer Science* 9189 (Lecture Notes). Cham: Springer.

Neef, A.; Glockner, H. (2015): *Cross Industry Innovation*. Whitepaper. Köln: Z-Punkt.

Robers, D.; Heidenreich, S.; Weber, B.; Albrecht, A.; Baermann, M.; zum Felde, Y.; Gerhards, U.; Grobusch, H. (2013): *Innovationstreiber Kooperation.* Chancen für den Mittelstand. Köln: European Business School und DLR.

Schlögel, K. (2003): I*m Raume lesen wir die Zeit: Über Zivilisationsgeschichte und Geopolitik.* München: Hanser.

von Hippel, E. (2005): *Democratizing innovation*. Cambridge, MA: MIT Press.

Warnke, P.; Koschatzky, K.; Dönitz, E.; Zenker, A.; Stahlecker, T.; Som, O.; Cuhls, K.; Güth, S. (2016): *Opening up the innovation system framework towards new actors and institutions,* Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 49. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Wang, Y.; Vanhaverbeke, W.; Roijakkers, N. (2012): Exploring the impact of open innovation on national systems of innovation – A theoretical analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, 79, S. 419-428.

2 Auswirkungen der Digitalisierung auf Umweltschutz und ökologische Nachhaltigkeit. Eine qualitative Untersuchung in drei ausgewählten Anwendungsfeldern

(Matthias Gotsch)

2.1 Einführung

Die mit dem digitalen Wandel einhergehenden Veränderungen haben ohne Zweifel auch relevante Auswirkungen auf die Themenfelder Umwelt und Nachhaltigkeit und werden hier zukünftig vielfältige Relevanz erlangen. Ob und inwieweit die Digitalisierung dabei insgesamt zu einer Belastung für die Umwelt oder im Gegenteil vielmehr zu einer Umweltentlastung führen kann, ist mit dem derzeitigen Kenntnisstand jedoch nicht seriös abschätzbar. Eine genauere Analyse der Chancen und Herausforderungen des digitalen Wandels unter Umweltgesichtspunkten sollte dementsprechend zeitnah erfolgen, um den digitalen Wandel aus umweltpolitischer Sicht nicht nur passiv zu begleiten, sondern vielmehr auch aktiv beeinflussen zu können.

Um die Auswirkungen genauer analysieren und bewerten zu können, müssen jedoch zunächst passende Bewertungsschema entwickelt werden. Der vorliegende Beitrag stellt die Weiterentwicklung eines solchen Bewertungsschemas vor und zeigt erste Ergebnisse für drei ausgewählte Themenfelder. Der vorliegende Beitrag zeigt auf, in welchen Handlungsfeldern die größten Chancen und Potenziale der Digitalisierung, beispielsweise für Effizienzgewinne oder Klimaschutzziele, liegen und wo es sich folgerichtig lohnt, tiefergehende quantitative Analysen durchzuführen, um darauf aufbauend weiterführende Strategien und Positionen zu entwickeln.

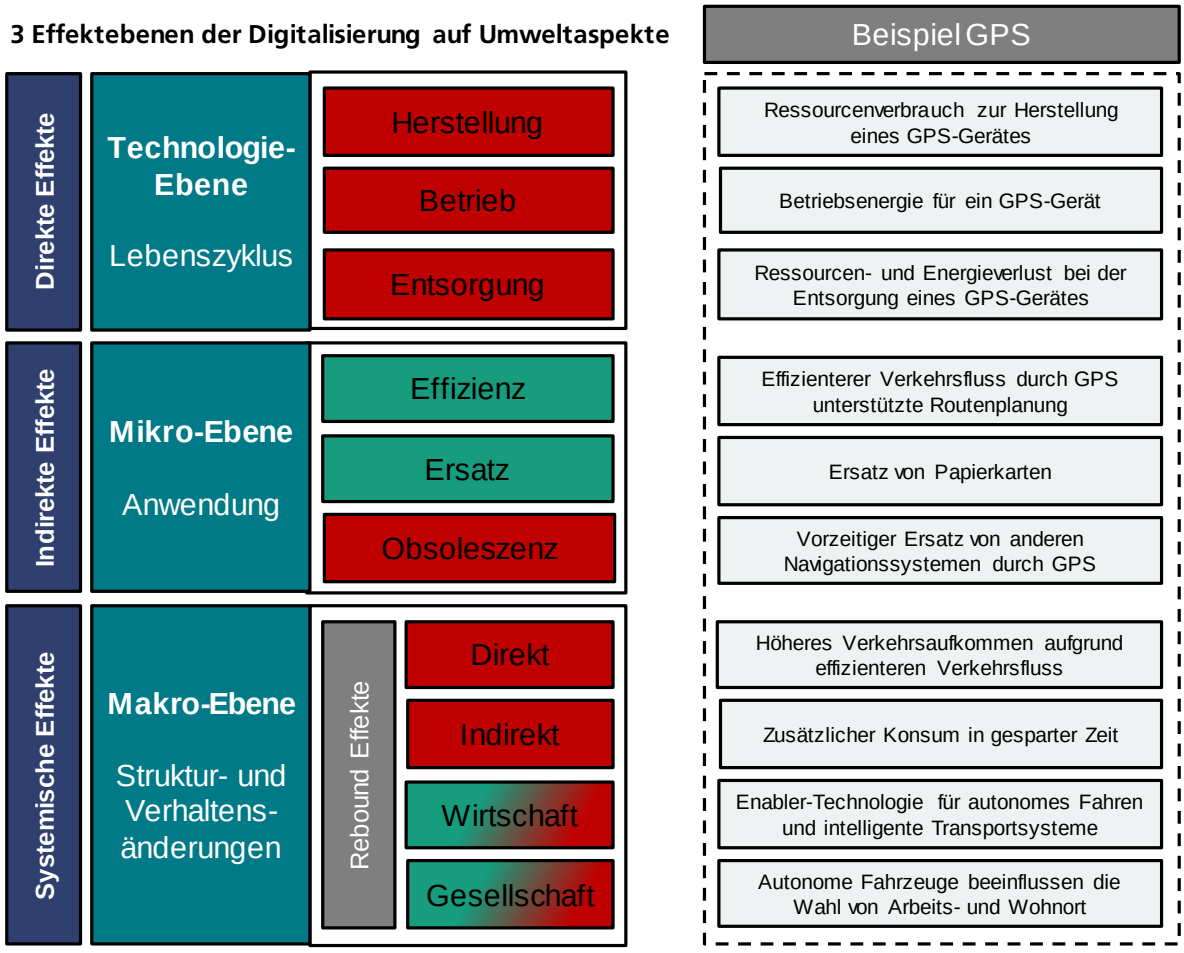
2.2 Entwicklung eines Bewertungsschemas zur Beurteilung der Auswirkungen

Für den Umweltschutz steht eine strukturierte Analyse der Auswirkungen des digitalen Wandels derzeit noch aus. Nur punktuell wird bei der Diskussion digitaler Neuerungen auch auf mögliche Umweltvorteile dieses Wandels verwiesen, zum Beispiel mit Blick auf mögliche Effizienzsteigerungen durch automatisiertes Fahren im Straßenverkehr oder mit Blick auf die zunehmende Integration erneuerbarer Energien ins Stromnetz. Außerdem wird seit längerem unter dem Stichwort "Green IT" die Energieeffizienz und Umweltfreundlichkeit von IT-Produkten selbst betrachtet. Es fehlt aber bisher eine Systematisierung der Fragestellungen und Perspektiven, die im Hinblick auf die ökologischen,

ökonomischen und sozialen Chancen und Risiken des digitalen Wandels und bezüglich des Zusammenhangs des digitalen Wandels mit Umweltinnovationen eine Rolle spielen.

Zur detaillierteren Bewertung des Potenzials hinsichtlich der Bildung von Umwelteffekten wird das nachfolgend abgebildete Bewertungsschema (Abbildung 2-1) ausgestaltet. Dieses Bewertungsschema unterteilt die umweltrelevanten Effekte der Digitalisierung in drei Kategorien Direkte, Indirekte und Systemische Effekte), die im Folgenden einzeln vorgestellt werden.

Abbildung 2-1: Die drei Effektebenen der Digitalisierung hinsichtlich Umweltaspekten



Quelle: Fraunhofer ISI in Anlehnung an Horner et al. (2016), Berkhout und Hertin (2004), Hilty et al. (2006), Williams (2011), Rattle (2010). Anmerkungen: Drei Effektebenen der Digitalisierung hinsichtlich Umweltaspekte (erläutert am Beispiel GPS); Rot: Vermutete negative Effekte; Grün: Vermutete positive Effekte

2.2.1 Direkte Effekte

Die erste Ebene bezieht sich auf die direkten Effekte, die sich aus Herstellung, Betrieb und Entsorgung von IKT-Komponenten ergeben; also der Umweltbelastung, die sich über den gesamten Lebenszyklus der Komponenten sammelt. Im Zusammenhang mit der Digitalisierung betrifft das vor allem Hardware in Form von Server- und Netzinfrastrukturen, elektronische Endgeräte, aber auch kleine Sensoren und Messstellen für das Internet of Things. Eng mit den Betriebskosten der Hardware verknüpft sind Softwareanwendungen. Sie ergänzen den bei Hardware relevanten Faktor Energiekosten pro Recheneinheit, um den Faktor benötigte Recheneinheiten zur Lösung. Der Betrieb von rechenintensiven Algorithmen kann daher eine nicht zu vernachlässigende Größe werden.

Im Gegensatz dazu hat bei der Hardware der Verbrauch von Rohstoffen, insbesondere von kritischen Metallen, bei der Herstellung und der Verlust bzw. die vorzuziehende Rückgewinnung bei der Entsorgung einen besonderen Stellenwert. Grundsätzlich ist die Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Elektro- und Elektronikgeräten in den meisten Fällen mit Zusatzkosten verbunden, die nicht durch den Wertstoffertrag allein gedeckt werden können. Jedoch konnten z. B. erste Abschätzungen für Indium zeigen, dass der Verkaufspreis der Produkte aufgrund der geringen Gehalte an kritischen Metallen nur unwesentlich erhöht werden müsste, um eine Indium-Rückgewinnung zu finanzieren. Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt zur Reduktion der Umweltbelastung durch die von der digitalen Transformation induzierte wachsenden Anzahl an IKT-Komponenten bietet die nachhaltige Gestaltung von IKT. Durch sie können zukünftige Umweltbelastungen durch die direkten Effekte zusätzlicher IKT-Komponenten abgemindert werden. Ansatzpunkte sind hier beispielsweise die Reduktion von kritischen Metallen in den Komponenten, Reduktion der Betriebskosten oder ein von vornherein nachhaltigeres Design, welches die Rückgewinnung von wichtigen Rohstoffen bei der Entsorgung ermöglicht. Unzweifelhaft ist auch, dass die Umweltwirkung der Betriebskosten stark vom Anteil erneuerbarer Energien in der Energieerzeugung abhängt.

2.2.2 Indirekte Effekte

Den direkten Kosten aus der ersten Ebene werden Effizienzgewinne und positive Ersatzwirkungen auf einer zweiten Effektebene gegenübergestellt. Zusammen mit möglichen Obsoleszenzeffekten, also vorzeitiger Veraltung noch funktionstüchtiger Komponenten, stellen sie die indirekten Effekte dar, die sich durch die Anwendung von neuen Technologien ergeben. Folgt man aktuellen Diskussionen über die Digitalisierung, werden diese Effekte im Zusammenhang mit der Digitalisierung zu einer Art "Heilsbringer" für die ökologische Nachhaltigkeit stilisiert. Entsprechend haben sich die zugehörigen

Sammelbegriffe zu Anwendungsfällen, wie z. B. Smart City oder Industrie 4.0, an prominenter Stelle in den Fundus aktueller wissenschaftlicher und politischer Diskussionen eingefügt.

Unabhängig von diesen Schlagwörtern und wenig konkreten Sammelbegriffen wird jedoch insbesondere das technische Potenzial, Rohstoffe einzusparen, den Energieverbrauch zu senken, analoge Formate durch digitale zu ersetzen (Dematerialisierung) und dadurch nicht nur Zeit und Kosten einzusparen, sondern auch die Umweltbelastung nachhaltig zu verringern, von zahlreichen Akteuren als sehr groß eingeschätzt. Die Einführung von Digitalisierungstechnologien wäre unter dieser Betrachtung in vielen Fällen zu empfehlen.

2.2.3 Systemische Effekte

Mehrere Autoren (Horner et al. 2016; Hilty et al. 2006; Williams 2016) stellen mit ihrem Modell jedoch in Frage, dass der Vergleich von positiven indirekten Effekten zu negativen direkten Effekten allein ausreichend ist, um Prognosen über die Wirkung des digitalen Wandels zu erstellen. Insbesondere aus ökologischer Sicht sind weitere Faktoren zu beachten. Allen voran die Rebound- bzw. Rückkopplungseffekte, die sich aus der Anwendung direkt, indirekt bzw. wirtschafts- oder gesellschaftsweit ergeben. Direkte Reboundeffekte beziehen sich auf das Konsumverhalten im betrachteten Anwendungsfeld, wohingegen sich die indirekten Reboundeffekte mit der Wirkung hinsichtlich zusätzlicher (komplementärer) Güter und Dienstleistungen befassen. Beiden Effekten wird in der Literatur eine negative Wirkung zugeordnet. Diese wird damit begründet, dass Effizienzgewinne durch Mehrkonsum aufgrund fallender Preise ausgeglichen werden, was letztendlich zu einer schlechteren Umweltsituation führen kann (vgl. Horner et al. 2016). Entscheidender Faktor über die direkte Rückwirkung ist aus Sicht der Produzenten, ob Effizienzgewinne im Produktionsprozess zu reduzierten Preisen führen, und aus Sicht der Konsumenten, wie abhängig von Preiselastizität und Konsumstruktur auf sinkende Preise reagiert wird (vgl. Erdmann und Hilty 2010; Erdmann 2011). Darin liegt auch ein großer Konflikt der ökonomischen und ökologischen Ziele hinsichtlich der Bewertung von Digitalisierungsthemen begründet. Mehrkonsum ist aus wirtschaftlicher Sicht positiv zu betrachten, während er aus ökologischer Sicht zu vermeiden ist. Nur wenn sich Nachhaltigkeit der zusätzlich konsumierten Güter, also eine nachhaltigere Konsumstruktur einstellt, kann der Mehrkonsum abgemildert werden.

Die wichtigste Stellung in dieser Logik haben wirtschafts- und gesellschaftsweite Effekte, da in ihnen das Potenzial für eine systemische Transformation hin zu nachhaltigem Konsum- und Produktionsverhalten gesehen wird. Allerdings sind auch negative Auswirkungen denkbar. Wirtschaftsweite Reboundeffekte treten beispielsweise auf, wenn sich durch

die IKT-Einführung Synergieeffekte in anderen Wirtschaftsbereichen ergeben, die zu Wachstumseffekten oder strukturellen Veränderungen führen. Innerhalb der Gesellschaft beziehen sich strukturelle Änderungen auf eine allgemeine Verschiebung der individuellen Präferenzen von Menschen und sozialen Institutionen (vgl. Horner et al. 2016).

2.3 Untersuchung ausgewählter Anwendungsfelder

Im Rahmen des Projektes "Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen" wurden für drei ausgewählte Anwendungsfelder Stakeholderdialoge durchgeführt. Die Kern-Ergebnisse dieses Prozesses lassen sich dabei wie folgt zusammenfassen.

2.3.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft

Bei der Digitalisierung in der Landwirtschaft sind bei den indirekten Effekten deutliche Effizienzgewinne und positive Auswirkungen auf die Umwelt (wie z. B. weniger Pestizideinsatz notwendig) zu erwarten. Auch die systemischen Effekte zeigen ein enormes Potenzial für den Umweltschutz. Zum einen lassen sich Stoffeinträge reduzieren und Betriebsprozesse optimieren, zum anderen wirkt sich die präzisere, auf besserer Datenbasis fundierten Bewirtschaftung positiv auf die Ökologie des landschaftlichen Umfelds aus. Zudem zeigt sich ein positives Transformationspotenzial hinsichtlich nachhaltiger Betriebs- und Konsumstrukturen. Negative systemische Effekte der Digitalisierung der Landwirtschaft können sich dann einstellen, wenn ausschließlich Großbetriebe die kapitalintensive Umrüstung finanziell stemmen können und damit die vielen KMU, gerade auch im Ökolandbau, relativ schlechter gestellt werden.

2.3.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie

Bei einer Untersuchung der möglichen Anwendungsfälle von Lösungen auf Basis der Blockchain-Technologie zeigt sich, dass die Auswirkungen auf systemischer Ebene aufgrund der vielseitigen Anwendbarkeit und Ausgestaltbarkeit schwer abzuschätzen sind. Aus wirtschaftlicher Perspektive stellt die Blockchain-Technologie eine Enabler-Technologie dar, die ganze Wertschöpfungsprozesse optimieren und gesamtwirtschaftliche Auswirkungen haben kann. Beispielsweise können Smart Contracts als plattformübergreifender Standard zur Buchungsabwicklung eingesetzt werden und so die Realisierung geteilter Mobilitätskonzepte unterstützen. Weiterhin können durch eine verbesserte Transparenz der Lieferkette ein nachhaltiges Konsumverhalten und damit der Anteil nachhaltig produzierter Güter gefördert werden. Denkbar sind jedoch auch negative direkte Reboundeffekte, da durch eine effizientere Abwicklung des Handels und bei Buchungen sich auch Produktion und Konsum erhöhen können. Entsprechend ist die Gesamtwirkung durch die Blockchain-Technologie nicht zu prognostizieren. Werden

weitere Fortschritte hinsichtlich der Senkung des Energieverbrauchs durch verbesserte Konsensmechanismen erzielt, können Smart Contracts als transparenter Standard für den Austausch im Internet of Things Einzug in viele Bereiche erhalten.

2.3.3 Digitalisierung der Mobilität

Die Digitalisierung der Mobilität, insbesondere automatisiertes Fahren, zeigt ein ambivalentes Bild. Zwar können deutliche Effizienzgewinne durch automatisierte Fahrzeuge und durch Vernetzung einzelner Fahrzeuge untereinander erreicht werden. Dem stehen jedoch negative direkte Reboundeffekte auf systemischer Ebene gegenüber, die durch die Kostenreduktion des Straßenverkehrs verursacht werden. Dies könnte zu einer Verschiebung des Modal Splits zu Lasten des Schienenverkehrs und damit zu Lasten der Umwelt führen. Auch auf wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Ebene können sich weitreichende Effekte in beide Richtungen ergeben. Mit der steigenden Vernetzung sind neue geteilte Mobilitäts-Konzepte mit Car-/Bike-/Ridesharing in Verbindung mit dem ÖNV denkbar, die zunehmend den motorisierten Individualverkehr ersetzen könnten. Zusammen mit einem deutlich höheren Komfort kann so auch die Wohnortwahl beeinflusst werden. Es werden größere Entfernungen in Kauf genommen, wodurch das Verkehrsaufkommen wieder steigt, der ländliche Raum jedoch wieder an Attraktivität gewinnt. Eine genauere Wirkungsabschätzung der gegenläufigen systemischen Effekte auf die Umwelt und der zentralen Steuergrößen wäre erstrebenswert.

2.4 Vorschläge zu umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Anwendungsfeldern

Im Folgenden werden die wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen zu den drei Bereichen, in denen Stakeholderdialoge durchgeführt wurden, komprimiert vorgestellt.

2.4.1 Digitalisierung in der Landwirtschaft

Die Digitalisierung des Ackerbaus in landwirtschaftlichen Flächen ist in Deutschland bereits vergleichsweise weit fortgeschritten. Wichtig, um auch aus Umweltsicht einen positiven Beitrag, z. B. zu mehr Boden- und Wasserqualität, erreichen zu können, wären dabei insbesondere folgende Entwicklungen, die es zu unterstützen gilt:

- Digitalisierung und Vernetzung des Landmaschinenparks mit hybriden Daten-Clouds (z. B. herstellerübergreifende Plattformen, in welche sowohl privat erhobene als auch öffentlich generierte Daten einfließen);
- Optimierter Einsatz von Betriebsmitteln in zeitlicher Hinsicht (u. a. Bestimmung eines geeigneten Düngezeitpunkts) und räumlicher Hinsicht (u. a. Anpassung an lokale Bedingungen);

- Bewirtschaftung mit miniaturisierten Feldrobotern: Biologisch wirtschaftende Betriebe bekommen mit der rein mechanischen Unkrautbekämpfung durch Feldroboter eine wesentliche Erweiterung ihrer stark begrenzten Möglichkeiten der Unkrautbekämpfung.

Konkrete umweltpolitische Maßnahmen, die sich aus den genannten Entwicklungen ergeben, sollten dann insbesondere die folgenden sein:

- Digital Farming fördert unter den jetzigen Rahmenbedingungen eher eine Optimierung bestehender landwirtschaftlicher Prozesse. Einen ökologischen Strukturwandel der Landwirtschaft wird die Digitalisierung alleine weder auslösen, noch wesentlich beschleunigen. Ohne politische Interventionen und damit einhergehende kontroverse Auseinandersetzungen kann eine Agrarwende nicht eingeleitet werden. Es wird deshalb empfohlen, einen solchen Prozess auf Bundesebene unter Beteiligung anderer Ressorts anzustoßen.
- In den Haltungen zur proaktiven Umweltregulierung der digitalisierten Landwirtschaft einschließlich der Einschreibung der agrarökologischen Schutzziele in digitale Algorithmen zeigen sich unterschiedliche Stakeholder-Positionen deutlich. Im Hinblick auf umweltpolitische Weichenstellungen wird jedoch vielmehr empfohlen, die gute landwirtschaftliche Praxis unter dem Blickwinkel der neuen Möglichkeiten und Grenzen der Digitalisierung, einschließlich Algorithmen, konsequent fortzuentwickeln und ihre Anwendung und Einhaltung effektiv zu erfassen.
- Mit fortschreitender Digitalisierung ergeben sich bessere Möglichkeiten, die Einhaltung von Ordnungsrecht (z. B. Düngemittelausbringung) und eine zielgemäße Verwendung von Fördermitteln (z. B. Durchführung von Ausgleichmaßnahmen) effizient sicherzustellen (z. B. durch Satellitenkontrolle statt Vor-Ort-Kontrolle). Es wird insbesondere empfohlen, zu prüfen, öffentliche raum- und umweltbezogene Daten (z. B. Schutzgebiete) in hybriden und herstellerübergreifenden Daten-Clouds zur Verfügung zu stellen, damit landwirtschaftliche Betriebe sie beim Ackerbau zur automatisierten Erfüllung staatlicher Anforderungen (z. B. Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen und Erfüllung von Dokumentationspflichten aus Pflanzenschutzmittelgesetzen und Düngeverordnung) und zur Honorierung darüber hinaus gehender Umweltschutzleistungen (z.B. Schaffung von dynamischen Anreizwirkungen für den Umweltschutz in der Fördermittelvergabe) nutzen können.

2.4.2 Anwendungen der Blockchain-Technologie

Insbesondere drei Alleinstellungsmerkmale sprechen für den Einsatz von sogenannten "Distributed Ledger Technologies" (DLT), wie z. B. der Blockchain-Technologie: Unabhängigkeit von zentralen Instanzen als Intermediäre; Nicht-Manipulierbarkeit; Sicherheit. Die Blockchain-Technologie ermöglicht somit durch dezentrale Authentifizierungs-, Dokumentations- und Abrechnungsmechanismen insbesondere dort Anwendungen, wo Etablierung von zentralen Plattformen durch einzelne Anbieter nicht gelingt.

Insbesondere mit Hilfe der Blockchain-Technologie umgesetzte Smart Contracts sind dabei von großem Interesse. Smart Contracts sind vordefinierte gemeinsame Regeln, welche in einem Multiparteiensystem mit einem unveränderlichen Register, automatisch geprüft und ausgeführt werden. Vorteil von Smart Contracts ist, dass Transaktionskosten marginal, gleichzeitig aber Ergebnisse und Informationen unveränderbar sind. Es wird also möglich, auch ganz kleine Verträge, Festlegungen, Transaktionen und Abrechnungen von Cent-Beträgen unter ökonomisch sinnvollen Gesichtspunkten durchzuführen.

Zu beachten sind dabei aber auch die steigenden Energiebedarfe, da dezentrale Technologien mehr Energie als zentrale Datenbanklösungen benötigen. Folgende umweltpolitischen Maßnahmen lassen sich in Bezug auf die Blockchain-Technologie damit formulieren:

- Blockchain-Pilotanwendungen ermöglichen und begleiten sowie Experimentierfelder fördern. Mögliche Anwendungsfälle von Blockchain-Lösungen, die insbesondere Umweltentlastungen versprechen, werden in folgenden Bereichen gesehen: Dezentrale Energieerzeugung und Energieeinspeisung; Intermodale Lösungen aus dem Bereich Mobility as a Service (MaaS); Dokumentation und Transparenz von Lieferketten.
- Die Transparenz der Lieferkette kann durch sogenannte digitale Zwillinge (beispielsweise umgesetzt durch eine Blockchain-Lösung) unterstützt werden. Derart ließe sich der ökologische Fußabdruck einer Ware transparent ableiten und die Endkonsumenten erhielten vollumfängliche Informationen über die Ware, die sie als Grundlage ihrer Konsumentscheidung verwenden könnten. Durch gesetzliche Vorgaben könnte das Vorhalten und die Weitergabe derartiger Informationen über die Rohstoff-Gewinnung und sämtliche anschließende Veredelungsprozesse verpflichtend werden.
- Diese rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für Blockchain-Lösungen sollten, um insbesondere auch länderübergreifende Lieferketten abdecken zu können, in internationalen Vereinbarungen verbindlich geregelt werden.
- Für momentan ausschließlich in Papierform rechtlich gültige Dokumente sollten digitale Standards, wie digitale Urkunden und digitale Inhaberwertpapiere sowie digitale Versicherungen des Handelsgutes etabliert werden, was Papierdokumentation und -transport überflüssig machen würde.
- Auf der Basis der Blockchain-Technologie sollte von staatlicher Seite die Realisierung eines intermodalen digitalen ökologischen Tickets unterstützt werden, welches unterschiedlichste Mobilitätsdienstleister vereint und aus Kundensicht intermodale Mobilität von Endpunkt zu Endpunkt einer jeden Reise vereinfachen und nutzerfreundlich gestalten würde. Das einheitliche intermodale Ticketsystem könnte die ökologischen Kosten der Mobilität transparent machen und Anreize bieten, die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen.

2.4.3 Digitalisierung der Mobilität

Der Mobilitätssektor befindet sich derzeit in einer Phase des Umbruchs. Neue, individuelle Mobilitätslösungen erfahren an Bedeutung. Gleichzeitig nehmen die Zulassungszahlen für Pkw und ihr Modalanteil nicht ab.

Der Beitrag des Mobilitätssektors zur Erreichung der Klimaschutzziele kann und muss über unterschiedliche Wege erfolgen:

- Steigender Anteil Elektrofahrzeuge bei PKW,
- Bau von Oberleitungen für LKW an Autobahnen,
- Digitalisierung bzw. "Smart Mobility".

Die Digitalisierung der Mobilität bietet einen möglichen Hebel für eine umweltfreundliche Verkehrswende. Durch die zunehmende Verbreitung von leistungsfähigen mobilen Endgeräten werden Konzepte wie Car- und Bikesharing, Ridesharing und Rideselling erst möglich. Auf dem Weg zum automatisierten und vernetzten Fahren ist bereits die Stufe des hochautomatisierten Fahrens erreicht.

Auch für die Massenverkehrsträger Bahn und ÖPNV bieten die neuen Technologien Chancen., wie z. B. eine bessere Organisation komplexer Mobilitätsketten mit stärkerer Flexibilisierung und Optimierung; Effizienzsteigerung durch eine bessere Verknüpfung von unterschiedlichen Verkehrsmitteln, verbunden mit einfacheren Abrechnungsmöglichkeiten; Kundenfreundlichere Services (ein Ticket für die gesamte Strecke – verkehrsträgerübergreifend und Verkehrsverbund- und grenzüberschreitend).

Entscheidend ist, wie die technologischen Lösungen ausgestaltet und insbesondere welche rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen bestehen oder gesetzt werden. Hierzu könnten die folgenden umweltpolitischen Maßnahmen entscheidend beitragen:

- Um gegenüber dem motorisierten Individualverkehr bestehen zu können, muss eine Stärkung der Öffentlichen Verkehre erfolgen. Ein Gesamtansatz aus mehreren aufeinander abgestimmten Verkehrsmitteln (Fernbahn, ÖPNV, On-Demand Kleinbus-Systeme, CarSharing) kann durchaus mit der Attraktivität automatisierter Pkw in Privatbesitz konkurrieren und sollte aufgebaut sein, bevor automatisierte Pkw für private Haushalte im Massenmarkt etabliert sind.
- Ein einheitliches intermodales Ticketsystem (siehe obige Handlungsempfehlung zur Blockchain-Technologie) könnte aus Kundensicht eine intermodale Mobilität von Endpunkt zu Endpunkt einer jeden Reise vereinfachen und nutzerfreundlich gestalten. Zudem wäre es in der Lage die ökologischen Kosten der Mobilität transparent zu machen und Anreize zu bieten, die aus ökologischen Gesichtspunkten optimierte Mobilitätsform zu wählen.

- Wenn umweltfreundliche Mobilität das oberste Ziel ist und der motorisierte Individualverkehr daher reduziert werden soll, dann müssen (neben der Stärkung der Öffentlichen Verkehre) aber auch neue Mobilitätsangebote entsprechenden Entwicklungsraum erhalten und sollten nicht durch Maßnahmen, die ausschließlich dem Schutz des klassischen ÖPNV dienen, eingeschränkt werden. Die Verknüpfung des ÖPNV mit neuen innovativen Mobilitätsangeboten sollte folglich in Experimentierfeldern erprobt werden. Auf diese Weise entstehen Beispiele zur anschaulichen Demonstration digital unterstützter Intermodalität.
- Effizienzvorteile durch fahrerloses und vernetztes Fahren (wie z. B. Eco Driving; optimierte Routen; verbesserter Verkehrsfluss) ergeben sich nur dann, wenn der zukünftige Besetzungsgrad der Fahrzeuge das Niveau des heutigen Besetzungsgrads privater Pkw deutlich übersteigt. Es sollten insofern mit hoher Priorität Maßnahmen und Anreizsysteme entwickelt werden, um den Besetzungsgrad der Fahrzeuge zu erhöhen. Eine Unterstützung der Verbreitung geteilter automatisierter und vernetzter Verkehrsmittel durch staatliche Behörden wäre sinnvoll. Eine Entwicklung intelligenter Roadpricing-Systeme (Maut) mit Berücksichtigung der Fahrleistung und insbesondere dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge wäre eine denkbare Möglichkeit hierzu.

2.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Kern-Ergebnisse lassen sich dabei abschließend wie folgt zusammenfassen: Grundsätzlich führen die direkten Effekte der Digitalisierung immer zunächst zu einem steigenden Material- und Energiebedarf und damit zu einer höheren Umweltbelastung. Ihnen gegenüber stehen jedoch die indirekten Effekte der Effizienzgewinne und positiven Ersatzwirkungen, die mal mehr, mal weniger Relevanz entfalten können. Jedoch können hier auch teilweise negative Obsoleszenzeffekte von Bedeutung sein. Die auf der dritten Ebene angesiedelten strukturellen Effekte können die positiven Wirkungen der Effizienzgewinne bzw. Ersatzwirkungen durch systemische Transformationen verstärken oder aber auch entgegenwirken und dadurch insgesamt zu einer schlechteren Umweltsituation führen.

Bei einer übergreifenden Betrachtung lässt sich somit erkennen, dass insbesondere Effekte auf der zweiten und dritten Ebene ausschlaggebend sind. Um folglich positive strukturelle Effekte erzielen zu können, müssen die politischen Rahmenbedingungen passfähig sein und entsprechende Anreize gegeben werden. Die in Zukunft noch detaillierter aufzudeckenden Effekte können dann Aufschluss über Ansatzpunkte für rahmenpolitische Maßnahmen geben. Ansonsten könnte z. B. eine durch Digitalisierung ermöglichte höhere Materialeffizienz, durch in Folge auftretende Reboundeffekte, ausschließlich zu einer Kostensenkung, Mehrproduktion, Preisverfall und Konsumanstieg führen. Es sind zudem gesamtgesellschaftliche systemische Verhaltensänderun-

gen, beispielsweise hin zu einer stärkeren Suffizienz notwendig, um die Digitalisierungsgewinne auch im Sinne einer positiven Umweltwirkung realisieren zu können. Grundsätzlich gilt es dabei zu beachten, dass es sich bei den getroffenen Ergebnissen nur um eine Momentaufnahme handelt, die unter Umständen zeitnah einer Veränderung unterworfen ist, was der Dynamik des Sektors geschuldet ist.

Bezüglich der angesprochenen politischen Rahmenbedingungen wurden im vorherigen vierten Abschnitt die wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen zu drei ausgewählten Bereichen (Landwirtschaft, Blockchain, Mobilität) zusammengefasst und Empfehlungen ausgesprochen, wie im Sinne einer umweltentlastenden Wirkung, politisch zu verfahren wäre.

Literatur

Erdmann, L., Hilty, L.M. (2010): Scenario analysis: exploring the macroeconomic impacts of information and communication technologies on greenhouse gas emissions, *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), S. 826-843.

Fraunhofer ISI (2011): Reduktion der Treibhausgasemissionen des Verkehrs: integrierte FuE- und Politik-Szenarien für 2020 und 2050. Europäische Kommission, FP7. Online verfügbar unter: http://www.ghg-transpord.eu/.

Fraunhofer ISI (2015): LivingRAIL - Vision for Living Environments and Railways until 2050. Europäische Kommission, FP7. Online verfügbar unter: http://www.livingrail.eu/.

Hilty, L.M.; Arnfalk, Peter; Erdmann, Lorenz; Goodman, Jams; Lehmann, Martin; Wäger, Patrick A. (2006): The relevance of information and communication technologies for environmental sustainability - a prospective simulation study, *Environmental Modelling & Software*, 21, S. 1618–29.

Horner, N.C.; Shehabi, A.; Azevedo, I.L. (2016): Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology, *Environmental Research Letters*, 11(10), 103001.

Rattle, R. (2010): *Computing Our Way to Paradise? The Role of Internet and Communication Technologies in Sustainable Consumption and Globalization*. Rowman & Littlefield.

Williams, E. (2011): Environmental effects of information and communications technologies, *Nature*, 479(7373), S. 354.

3 Messung des gesamtwirtschaftlichen Impacts der Digitalisierung

(Henning Kroll, Alexander Feidenheimer, Torben Schubert)

3.1 Einleitung

Digitalisierungsprozesse werden sowohl in der wissenschaftlichen als auch in der öffentlichen Debatte als zentrale Voraussetzung für die zukunftsorientierte Organisation industrieller Produktionsprozesse und deren Einbettung in produktive Modelle der Leistungserbringung diskutiert. In einer immer stärker auf Dienstleistungen hin orientierten Wirtschaft wird der zukünftige Erhalt der nationalen Wettbewerbsfähigkeit stärker als bisher einerseits von der Integration digitaler Lösungen in etablierte wirtschaftliche Prozesse abhängen, andererseits aber auch davon, inwieweit es gelingt, die durch die Verfügbarkeit neuer Technologien gebotenen Möglichkeiten kreativ zur Entwicklung gänzlich neuer Modelle der Leistungserbringung zu nutzen und in Folge wirtschaftlich in Wert zu setzen.

Als sogenannte Basistechnologien (General Purpose Technologies, Bresnahan und Trajtenberg 1996) verändern digitale Technologien bereits heute nicht nur Produktions- (z.B. smart factories), Finanzierungs- (z.B. Crowdfunding), Distributions- (z.B. Logistik), und Preisbildungsprozesse (z.B. Plattformökonomie), sondern werden auch die der Innovationsgenerierung unterliegenden Wissensprozesse über die stärkere Einbindung von Nutzerdaten von Grund auf erneuern. Hinzu kommt, dass die Kombination der Potenziale unterschiedlicher digitaler Technologien die Schaffung gänzlich neuer Geschäfts- und Wertschöpfungsmodelle bereits ermöglicht hat und in naher Zukunft verstärkt ermöglichen wird. Unternehmen, denen es zurzeit gelingt, sich im Bereich der Generierung bzw. der kreativen Nutzung digitaler Technologien von ihren Wettbewerbern abzusetzen, werden kurz- bis mittelfristig wirtschaftlich deutlich erfolgreicher sein.

Auf volkswirtschaftlicher Ebene verbindet sich mit der einsetzenden Digitalisierung aller Lebensbereiche für zahlreiche Länder, hierunter insbesondere emerging economies, die Hoffnung, sich über die gesteigerte Konkurrenzkraft digitaler Vorreiterunternehmen, aber auch die Etablierung digitaler Leitmärkte, global neu positionieren und durch eine stärkere nationale Verortung von Wertschöpfung und hochqualifizierter Beschäftigung ökonomische Vorteile realisieren zu können. Auch die Vereinigten Staaten haben sich in dieser Hinsicht herausragend positioniert. Für zahlreiche Europäische Länder, darunter nicht zuletzt Deutschland, hingegen verbindet sich mit der Digitalisierung eine erhebliche Herausforderung, da sie etablierte Grundlagen technologischer Wettbewerbsfähigkeit, auf denen bisheriger Wohlstand beruhte, in Frage stellt und eine Neuaufstellung erfor-

dert. Dies betrifft sowohl die Reorganisation ganzer Wertschöpfungsketten, in denen Europas Industrienationen lange gut positioniert waren, als auch den Wandel wirtschaftlich relevanter Lösungen selbst, die in immer stärkerem Ausmaß digitale Komponenten beinhalten, zu denen etablierte Anbieter des Endproduktes teils nur wenig beitragen können.

Vor diesem Hintergrund sind mit Blick auf die zukünftige Messung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen der Digitalisierung, die in diesem Beitrag behandelt werden soll, vor allem zwei zentrale Fragen von Bedeutung:

Erstens, welche grundsätzlichen Annahmen lassen sich über die Wirkungspfade treffen, über die das Verfügbarwerden neuer, digitaler Technologien auf die volkswirtschaftliche Entwicklung einwirkt. Die Entwicklung eines solchen Verständnisses ist für die Auswahl relevanter Indikatoren für zukünftige Analysen von zentraler Bedeutung. Dies betrifft sowohl mögliche Indikatoren zur Messung initial notwendiger "produktiver Interaktionen" (d.h. Aktivitäten, ohne die die Entfaltung von Impacts logisch nicht vorstellbar ist; relevant als unabhängige Variable) (Spaapen und van Drooge, 2011) als auch Indikatoren zur Bestimmung relevanter Outputs und Outcomes auf Vorstufen zum abschließenden Beitrag zu Wachstums-, Wohlfahrts-, oder auch Nachhaltigkeitszielen.

Zweitens, welche ökonometrischen Modelle unter Berücksichtigung bereits bekannter Charakteristika des Digitalisierungsprozesses in Unternehmen geeignet sein könnten, zumindest jene volkswirtschaftlichen Effekte der Digitalisierung valide abzuschätzen, die sich aus nicht grundsätzlich strukturverändernden, nicht-disruptiven Innovationen ergeben. In den Blick zu nehmen sind hierbei insbesondere bereits vorliegende Erkenntnisse zum zeitlichen Verlauf von Digitalisierungsprozessen sowie jene, dass diese mit Transaktionskosten einhergehen und sich finale, monetarisierbare Effekte meist erst nach dem schrittweisen und über Zwischenstufen vermittelten Einsetzen von Verhaltensänderungen manifestieren.

Noch immer bleiben viele vorliegende Ansätze zur Abschätzung volkswirtschaftlicher Wirkungen von Digitalisierungsprozessen zu unklar und ihre Ergebnisse entsprechend uneindeutig. Vor diesem Hintergrund versucht dieser Beitrag daher durch Betrachtungen zu den obenstehenden Kernfragen unser Verständnis zu erweitern und grundsätzliche Perspektiven zu validieren.

Eine nicht unwesentliche Herausforderung in diesem Zusammenhang bleibt, dass sowohl der Begriff der Digitalisierung als auch ihre Auswirkungen einer genauen Definition bedürfen, die aber insgesamt noch immer zu selten erfolgt (Kroll et al. 2018). Durch ihren Charakter als General Purpose Technology wirken digitale Technologien auf alle Bereiche der Vorbereitung, Erstellung und Verwertung wirtschaftlicher Leistungen, sodass, je

nach Ansatzpunkt, aus der Anwendung im Kern sehr vergleichbarer Technologien wirtschaftlich wie gesellschaftlich völlig unterschiedliche Ergebnisse resultieren können. Diese Perspektiven anhand vorliegender Motivationen, relevanter Anwendungsfelder und beabsichtigter Effekte zu strukturieren ist Zielsetzung des folgenden, ersten Unterkapitels.

3.2 Wirkungspfade zwischen Digitalisierung und Impact

Wie für neue Schlüsseltechnologien typisch, ergeben sich aus grundsätzlichen Erkenntnissen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie nicht nur vielfältige neue Produkte, sondern auch eine noch deutlich größere Anzahl von Möglichkeiten, diese zu unterschiedlichen Zwecken einzusetzen. Bereits mehrfach wurde gezeigt, dass sich die von der Digitalisierung zu erwartenden Ergebnisse nicht zuletzt aus der Zielrichtung ihres Einsatzes ergeben (Horvat et al. 2019; Kroll et al. 2017).

Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, nicht nur die zum Einsatz kommenden Technologien selbst differenziert darzustellen, sondern auch die bestehenden funktionalen Ebenen des Wirtschaftsprozesses, auf denen sie zum Einsatz kommen und auf diese Weise gesamtgesellschaftlich Nutzen entfalten. Somit ist bei der Betrachtung des volkswirtschaftlichen Impacts von Digitalisierung auf drei Ebenen zu differenzieren:

Erstens, auf Ebene der Technologien selbst. Wenngleich viele digitale Technologien grundsätzlich in verschiedenen Anwendungsbezügen zum Einsatz gebracht werden können, haben z.B. softwareseitige Basistechnologien andere Potentiale, Wirtschaft und Gesellschaft zu verändern als dies bei komplexeren, spezifischeren, und damit anwendungsnäheren Technologien (z.B. Industrie 4.0) der Fall ist.

Zweitens, auf Ebene der Prozesse bzw. wirtschaftlichen Funktionsbereiche, in denen sie zum Einsatz kommen. Diese Ebene definiert die allgemeine Zielsetzung, mit der digitale Technologien eingesetzt werden. Stärker als die Technologie selbst verweist der Kontext ihrer Anwendung dabei meist bereits auf potenzielle Wirkungen in unterschiedlichen Bereichen, dies betrifft v.a. kurz- und mittelfristig messbare Outputs und Outcomes.

Drittens, auf Ebene der Wirkungen. Auch hier ist es entscheidend, die Effekte der Digitalisierung in hinreichender Breite, andererseits aber auch unter Berücksichtigung der konkret angestrebten Analyseperspektive zu erfassen. Neben direkten Wirkungen auf Produktivität und Effizienz werden zahlreiche weitere Parameter im Wirtschaftssystem, durch Digitalisierungsprozesse beeinflusst werden. Des Weiteren bestehen in aller Regel darüberhinausgehende Wirkungen auf nicht unmittelbar produktionsrelevante, gesellschaftliche Prozesse, die insofern auch ökonomisch von Bedeutung sind, als dass sie das Nutzerverhalten maßgeblich mit beeinflussen.

Vor diesem Hintergrund entfalten sich die sozioökonomischen Impacts zunehmender Digitalisierung entlang von Wirkungspfaden (Pathways), die das technische Potenzial einer Technologie mit ihrem tatsächlichen Einsatz und in Folge einer Reihe unmittelbarer Wirkungen verbinden (Outputs, Outcomes), die darüber hinaus weitere, systemische Folgewirkungen entfalten können (finale Impacts) (Douthwaite 2003; Donovan und Hanney 2011). Selbst wenn eine abschließende Modellierung u.U. nicht alle dieser Zwischenschritte abbilden kann, ist ein Bewusstsein über den Zusammenhang zwischen first and second order effects für die Aufstellung geeigneter Modelle – wie in anderen Bereichen – zentral (Schubert und Kroll 2016).

Konzeptionell zentral hierbei ist, dass sich in einem ersten Schritt (fast) jede digitale Technologie in unterschiedlichen Bereichen anwenden lässt, und in einem zweiten jede dieser Anwendungen Wirkungen in unterschiedlichen Bereichen entfaltet.

Hieraus ergibt sich die doppelte Notwendigkeit, einerseits die potentielle Vielfalt möglicher Auslöser, Mediatoren und Zielbereiche von Wirkungen klar zu erkennen, um andererseits konkrete Analysen hinreichend schärfen und relevante Aussagen über Wirkungen treffen zu können.

In diesem Zusammenhang lassen sich zzt. vor allem vier Trends beobachten, deren gesamtgesellschaftliche Wirkungen genauer und auf geschärfter begrifflicher Grundlage analysiert werden können (vgl. in der Anlage Kroll et al. 2018):

- Digitalisierung des Innovationsprozesses,
- Digitalisierung des Produktionsprozesses,
- Digitalisierung der Wertschöpfungskette,
- Digitalisierung von Kommerzialisierung und Marketing.

Mindestens auf dieser mittleren Ebene bedürfen zukünftige Untersuchungen zur Herstellung begrifflicher Klarheit und analytischer Relevanz eine klare Positionierung hinsichtlich erwarteter Wirkungen. Zur Etablierung robuster Kausalitäten sollten erklärende Variablen auf dieser mittleren Ebene definiert werden.

Dies führt hinsichtlich der Etablierung zukünftiger Messungen volkswirtschaftlicher Effekte von Digitalisierungsprozessen zu drei zentralen Schlussfolgerungen hinsichtlich einer zu treffenden Auswahl an Indikatoren:

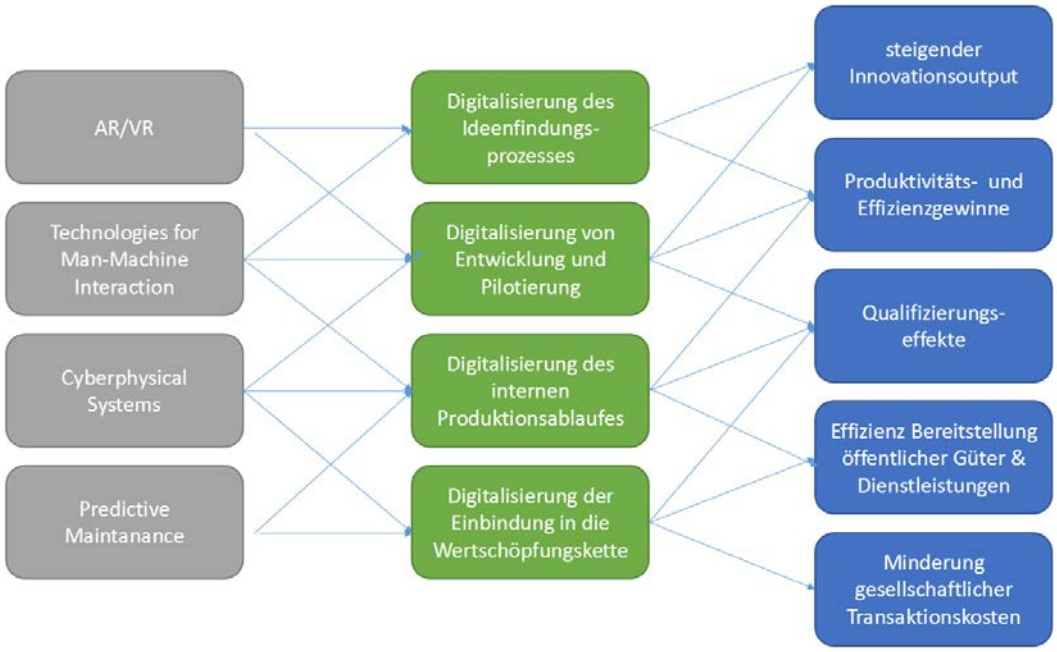
Fazit 1.1: Die zu betrachtenden Technologien müssen technologisch eindeutig und damit messbar benannt werden. Die Erfassung der Nutzung verschiedener Technologien kann dabei sinnvoll sein, analytisch wenig hilfreich ist hingegen – zumindest in der Anlage – die Erfassung bloßer Grade der Digitalisierung.

Fazit 1.2: Mit der Nutzung der erfassten Technologien ist in jedem Fall, mindestens grundsätzlich, ihr Anwendungszusammenhang zu erfassen. Erst durch ihr Zusammenwirken mit bestimmten wirtschaftlichen Prozessen wird der Einsatz digitaler Technologien klar definiert und analytisch fassbar.

Fazit 1.3: Aufgrund des systemischen Zusammenhanges und der vielfältigen, teils auch unintendierten Wirkungsrichtungen des Einsatzes digitaler Technologien, sollten zukünftige Studien auch impactseitig klar definierte Analyseperspektiven einnehmen. Zwar ist es aufgrund der Vielzahl möglicher Effekte hilfreich, mehr als einen Effekt zu prüfen, allerdings sollten die jeweiligen Perspektiven in sich eindeutig definiert sein.

Die untenstehende Abbildung stellt diesen Zusammenhang schematisch dar.

Abbildung 3-1: Wirkungspfade zwischen Digitalisierung und Impact



Quelle: Eigene Darstellung

Drei Beispiele für Wirkungszusammenhänge

Vor diesem Hintergrund lässt sich anhand von drei Beispielen exemplarisch veranschaulichen, wie sich ein Untersuchungsdesign auf Ebene von Technologie, Einsatzfeld und Wirkungsbereich analytisch klar strukturieren lässt.

Ein erstes Bespiel bildet der Einsatz neuer AR/VR Technologien sowie neuer Technologien im Bereich Mensch-Maschine Interaktion im Kontext der Digitalisierung des Ideenfindungs- bzw. Innovationsprozesses. Von diesem Hintergrund sind bereits kurzfristig,

ohne Zweifel, steigende Innovationsoutput- und Qualifizierungseffekte zu erwarten. Die Erzielung von Produktivitäts- und Effizienzgewinnen in der Produktion ist dagegen weder zwangsläufig beabsichtigt, noch erscheint sie auf kurze Sicht leicht realisierbar.

Ein zweites Beispiel bildet die Einführung cyberphysikalischer Systeme sowie die flächendeckende Umsetzung von predictive maintanance in der Produktion. Diese Form der Digitalisierung zielt sehr direkt auf die Erzielung von Produktivitäts- und Effizienzgewinnen und ist daher auch recht unmittelbar an diesen messbar. Gewisse Qualifikationseffekte sind als Voraussetzung der Umsetzung wahrscheinlich, positive Auswirkungen auf Innovationskapazität denkbar, aber nicht direkt angestrebt.

Ein drittes Beispiel bildet die Einführung neuer Plattformtechnologien sowie cyberphysikalischer Systeme in Marketing und Vertrieb sowie in der Organisation von Wertschöpfungs- und Logistikketten. Diese, zurzeit vielleicht wirkmächstigste Form der Digitalisierung, mindert Informations- und Transaktionskosten und erhöht damit selbst dann die Effizienz und Effektiviät der Bereitstellung von Gütern, wenn die Produktivität der Unternehmen selbst unverändert bliebe.

3.3 Relevante Indikatoren zur Messung von Digitalisierungseffekten

Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine Liste von Indikatoren, die sich in die Bereiche "Aktivitäten", "Outputs and Outcomes" und "Impacts" gliedern lassen:

Aktivitäten

- Uptake relevanter digitaler Technologien im Unternehmenssektor
  - im internen FuE Prozess,
  - im offenen FuE Prozess (open innovation),
  - im unmittelbaren Produktionsprozess,
  - zur Vernetzung von Zulieferer, Produzent und Kunden,
  - im Bereich Nachfrageanalyse, Marketing und Vertrieb.

Outputs and Outcomes
(first order effects, Unternehmens- bzw. Organisationsebene)

- Innovationsquote im Unternehmenssektor (Produktinnovation),
- Innovationsquote im Unternehmenssektor (Prozessinnovation),
- Innovationsquote im Unternehmenssektor (Marketinginnovation),

- Umsatzssteigerungen,
- Effizienz- und Profitabilitätsgewinne,
- Qualifikationseffekte,
- Netzwerkeffekte
  - Öffnung des Innovationsprozesses,
  - Verbreiterung des Netzes and Zuliefererbeziehungen,
  - Verbreiterung des Netzes and Kundenbeziehungen.

Impacts
(second order effects, gesamtwirtschaftliche Ebene)
(entlang der Nachhaltigkeitsdimensionen)

- ökonomische Nachhaltigkeitsziele
  - Stabliität und Nichtverlagerung der Unternehmenspopulation,
  - Wohlfahrtsgewinne,
  - Produktivitätsgewinne.
- ökologische Nachhaltigkeitsziele
  - Ressourceneffizienz,
  - Energieeffizienz.
- gesellschaftliche Nachhaltigkeitsziele
  - Einkommensverteilung,
  - Beschäftigungseffekte nach Qualifikationsgruppen.

Fazit 2.1: Die Vielfalt der im Zusammenhang mit der Digitalisierung bestehenden Wirkzusammenhänge begründet eine Vielzahl potenziell relevanter Messgrößen, die in einzelnen Untersuchungen nicht sinnvoll zu integrieren ist. Umso wichtig bleibt die Positionierung jedweder Untersuchung (sowie v.a. ihrer Schlussfolgerungen) im systemischen Gesamtzusammenhang.

Fazit 2.2: Mittelfristig erscheint es wünschenswert, im akademischen wie politischen Diskurs die in jeder Hinsicht erheblichen gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der Digitalisierung auf alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen in vergleichbarer konzeptioneller Tiefe und empirischer Robustheit abzubilden.

3.4 Modellierung gesamtvolkswirtschaftlicher Effekte der Digitalisierung

Während der positive Wettbewerbseffekt auf Ebene einzelner Unternehmen zumindest mittelfristig einigermaßen gut dokumentiert werden kann, fehlen Untersuchungen zu den Auswirkungen unternehmerischer Digitalisierungsprozesse auf der Makroebene noch weitestgehend. Etwaige positive bzw. möglichweise auch negative Effekte des zunehmenden Einsatzes digitaler Technologien auf die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit ganzer Nationen ist daher also nicht hinreichend empirisch belegt.

Grundsätzlich ist hierbei zu berücksichtigen, dass aus der empirischen Beobachtung, dass Unternehmen vom Einsatz digitaler Technologien profitieren können, nicht automatisch folgt, dass sich dieser Effekt auch auf der aggregierten, makroökonomischen Ebene beobachten lässt. Der Grund ist, dass die Makroeffekte von Digitalisierung nicht einfach als aufsummierte Effekte auf der Mikroebene einzelner Unternehmen angesehen werden können. So haben Dosi (1988) und Janger et al. (2018) darauf hingewiesen, dass die Schaffung und Nutzung neuer Technologien (hier: digitaler Technologien) komplexe über den Wettbewerbsmechanismus induzierte Ressourcenallokations- und letztlich Distributionseffekte verursachen. Insbesondere führt die Nutzung einer überlegenen Technologie durch ein bestimmtes Unternehmen dazu, dass dieses Unternehmen relativ zu den Konkurrenten wettbewerbsfähiger wird und daher tendenziell schneller wächst, um die steigende Nachfrage bedienen zu können. Es werden also Produktionsfaktoren, genauso wie vermutlich letztlich Gewinne hin zu den digitalen Technologien nutzenden Unternehmen verschoben. Unternehmen, die digitale Technologien (noch) nicht verwenden, werden mittelfristig an Wettbewerbskraft verlieren. Dieser Umverteilungseffekt ist volkswirtschaftlich durchaus gewollt, da Produktionsfaktoren (Arbeit, Kapital, usw.) hin zu produktiveren Nutzungen verschoben werden. Es wird aber dennoch klar, dass auf makroökonomischer Ebene den positiven Effekten, die sich für die digitalen Unternehmen manifestieren, die negativen Effekte der nicht-digitalen Unternehmen gegenübergestellt werden müssen. Erst wenn der Saldo aus positiven und negativen Effekten positiv ist, kann von makroökonomischen Rückflüssen ausgegangen werden.

Fazit 3.1: Eine systematische empirische Messung der Effekte von Digitalisierung auf makroökonomischer Ebene erfordert empirische Modelle, die indirekte Effekte über Veränderungen von Wettbewerbsintensitäten und Diffusionsprozessen mitberücksichtigen. Daher sind interdependente Mehrgleichungsmodelle Eingleichungsmodellen vorzuziehen.

Wie sich die saldierten makroökonomischen Effekte entwickeln, ist dabei eng verwoben mit einer temporalen Komponente. Wie in der Vergangenheit empirisch gezeigt wurde, setzen die Effekte der Einführung relevanter Basistechnologien gesamtwirtschaftlich

meist mit Verzögerung ein (David 1991). Selbst, wenn sich deren positive Effizienzeffekte relativ zügig einstellen, ist davon auszugehen, dass negative Redistributionseffekte erst mit Zeitverzug auftreten, weil sich Angebot und Nachfrage auf ein neues Gleichgewicht einstellen müssen. Ferner können Diffusionsprozesse bei der Nutzung digitaler Technologien, die vor allen Dingen zwischen den Unternehmen in verwandten Branchen wahrscheinlich sind, diese Gleichgewichte fortwährend dynamisch ändern. Um auch die volkswirtschaftlichen Effekte der Nutzung digitaler Technologien zu beurteilen, bedarf es damit geeigneter Modelle, die diese zeitliche Dynamik explizit mitberücksichtigen.

Auf Grundlage eines theoretischen Impactmodells (wie z.B. in Abschnitt 3.2 dargestellt) würden zukünftige empirisch-ökonometrische Messmodelle auf regionaler bzw. nationaler Ebene geeignete Indikatoren zur Nutzung digitaler Technologien auf Unternehmensebene aufgreifen und diese in Bezug zur regionalen Wirtschaftsleistung, Beschäftigung oder anderen Impactindikatoren setzen, um Kausaleffekte zu bestimmen (vgl. Schubert und Kroll 2016). Aufgrund der erwähnten Zeitabhängigkeit dieser Effekte muss ein solches Modell allerdings deren zeitliche Evolution empirisch miterfassen, im Idealfall sogar die Auswirkungen von Diffusionsprozessen und Wettbewerbsveränderungen direkt mit modellieren. Ein solches Modell könnte dann z.B. aus drei interdependenten Strukturgleichungen bestehen, die sich schematisch in einem vektorautoregressiven Prozess erster Ordnung (VAR1) wie folgt darstellen lassen:

$$X_t = AX_{t-1} + BZ_t + \epsilon$$

wobei $X_t = (Output_t, Digitalisierung_t, Wettbewerb_t, Diffusion_t)$, Z_t weitere Kontrollvariablen und ϵ randomisierte Störterme sind. Das besondere eines VAR-Modells ist dabei, dass sich nicht nur direkte Effekte der Digitalisierung auf Output wie in Eingleichungsimpactmodellen (Kroll und Schubert 2016), sondern auch indirektere mediierte Effekte berechnen lassen. Ferner können über causal orderings nicht nur die reduzierte Form des VAR-Modells sondern über Cholesky-Zerlegungen auch die Strukturparameter errechnen lassen, sodass Kausaleffekte zumindest prinzipiell identifiziert sind.

Fazit 3.2: Ein Impactmodell für die Nutzung digitaler Technologien muss zeitabhängig sein, weil sowohl die zu Grunde liegenden Wettbewerbsprozesse also auch technologische Diffusionsprozesse sich über die Zeit entfalten.

3.5 Zusammenfassung und Empfehlungen

Aus analytischer Perspektive unterstreichen unsere Ausführungen, dass es sich bei den verschiedenen, aktuell zu beobachtenden Digitalisierungsaktivitäten keinesfalls um Werte an sich handelt, sondern um unterschiedliche Mittel, die zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt werden.

Unter Steuerungsgesichtspunkten ist es dabei zentral, Wirkungsanalysen eindeutig auf klar definierte Zielsetzungen hin auszurichten (z.B. Erhöhung der Innovationsquote vs. Effizienzverbesserung), da die zu analysierenden Aspekte der Digitalisierung je nach angestrebtem Impact sehr unterschiedlich ausfallen können.

Gleichzeitig kann es erforderlich sein, das gesamthafte Ausmaß aller ökonomischen Auswirkungen unterschiedlichster Digitalisierungsprozesse auf volkswirtschaftlicher Ebene zu erfassen. Hierzu zeigen unsere Ausführungen, dass solche Zusammenhänge erst im Zeitverlauf, über verschiedene Diffusionsprozesse wirksam werden.

Aus politischer Perspektive ergibt sich hieraus erstens, dass beim aktuellen Fortschritt des gesamtgesellschaftlichen Digitalisierungsprozesses nicht mehr nur "Digitalisierung" an sich gefördert, sondern klar definierte Zielsetzungen in den Blick genommen werden sollten, die sich mittels spezifischer Digitalisierungsanstrengungen erreichen lassen. Zweitens zeigen sie, dass die Erfolgsmessung nicht zeitlich unmittelbar erfolgen kann, da Digitalisierung komplexe, strukturverändernde Wirkungen hat. Angesichts des zu erwartenden Zeitverzugs kann mit der verstärkten Umsetzung neuer politischer Maßnahmen nicht bis zum Vorliegen entsprechender Bewertungen gewartet werden.

Literatur

Bresnahan, T.F.; Trajtenberg, M. (1996). "General purpose technologies: ‘engines of growth’?", *Journal of Econometrics, Annals of Econometrics*, 65, S. 83–108

David, P. (1991). Computer and dynamo: The modern productivity paradox in a not-too-distant mirror. *Technology and Productivity: The Challenge for Economic Policy*. OECD, Paris, S. 315–347

Donovan, C.; Hanney, S. (2011). The 'Payback Framework' explained. *Research Evaluation*, 20(3), 181–183. DOI: https://doi.org/10.3152/095820211X13118583635756

Dosi, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation, *Journal of economic literature*, S. 1120-1171.

Douthwaite, B.; Kuby, T.; van de Fliert, E.; Schulz, S. (2003). Impact pathway evaluation: An approach for achieving and attributing impact in complex systems. *Agricultural Systems*, 78(2), 243–265. DOI: https://doi.org/10.1016/S0308-521X(03)00128-8

Horvat, D., Kroll, H., Jäger, A. (2019): Researching the Effects of Automation and Digitalization on Manufacturing Companies' Productivity in the Early Stage of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 39, S. 886-893.

Janger, J.; Schubert, T.; Andries, P.; Rammer, C.; Hoskens, M. (2017). The EU 2020 innovation indicator: A step forward in measuring innovation outputs and outcomes?, *Research Policy,* 46(1), S. 30-42.

Kroll, H.; Horvat, D.; Copani, G.; van de Velde, E.; Simons, M.; Jäger, A.; PourAbdollahian, G.; Wastyn, A.; Naumanen, M. (2017): *Dynamising the Uptake of Advanced Manufacturing Technologies in European Industries,* 8 Proposals for Policy Action. Position Paper. Karlsruhe, Fraunhofer ISI.

Kroll, H.; Horvat, D.; Jäger, A. (2018): *Effects of automatisation and digitalisation on manufacturing companies' production efficiency and innovation performance.* Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 58. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Schubert, T.; Kroll, H. (2014): Universities' effects on regional GDP and unemployment: The case of German, *Papers in Regional Science,* 95 (3), S. 467-489, DOI: 10.1111/pirs.12150

Spaapen, J.; van Drooge, L. (2011). Introducing 'productive interactions' in social impact assessment. *Research Evaluation*, 20(3), S. 211–218.

4 Warum die Innovationsforschung ein explizites KI-Verständnis braucht

(Lorenz Erdmann, Andreas Röß)

4.1 Einleitung

4.1.1 Warum befassen sich die Akteure des Innovationssystems heute so intensiv mit KI?

Künstliche Intelligenz (KI) ist nichts Neues. In den letzten Jahren haben die Zunahme der Leistungsfähigkeit der Computer-Hardware und der Verfügbarkeit sehr großer Datenbestände entscheidend zur Verbesserung der Musteranalyse und Mustererkennung in Datensätzen beigetragen. Beim maschinellen Lernen (ML) verändern sich die digitalen neuronalen Netze als Folge der Interaktion mit der Umgebung. Das Potenzial von ML zur Entscheidungsunterstützung ist von digitalen Plattformunternehmen erkannt und in maßgeschneiderte Internet-Inhalte und -Services umgesetzt worden. Internet-User und Zivilgesellschaft haben hierauf uneinheitlich reagiert: von der Begrüßung der neuen Services bis hin zur kritischen Beobachtung von algorithmischer Entscheidungsfindung (vgl. u.a. AlgorithmWatch). Die Bundesregierung hat im November 2018 ihre *Strategie Künstliche Intelligenz* vorgelegt (Bundesregierung 2018), in der neben induktiver Musteranalyse und Mustererkennung (1) auch Deduktionssysteme / maschinelles Beweisen (2), wissensbasierte Systeme / Expertensysteme (3), Robotik / autonome Systeme (4) und intelligente multi-modale Mensch-Maschine-Interaktionen (5) adressiert werden. Einige dieser Teilgebiete wurden zuvor unter Bezeichnungen wie "Big Data", "Smart Systems" oder "Industrie 4.0" gefördert, weshalb Kritiker im Zusammenhang mit KI von einem neuen Marketing-Begriff sprechen (Daum 2019; Schröter 2019). Auch in der Fraunhofer Gesellschaft zeigt sich anhand der Entwicklung der Bezeichnungen von KI-bezogenen Institutionen das Streben einerseits nach Professionalität und andererseits nach öffentlicher Resonanz.[1] In all diesen gesellschaftlichen Auseinandersetzungen geht es um die Deutung des Wesens, der Reichweite und der Ausgestaltung von KI im weitesten Sinne.

In der Debatte zum Verhältnis von Technosphäre und den planetaren Grenzen wird gemutmaßt, dass aus KI und dem Zeitalter des Anthropozän eine transformative Gemengelage entstehen könnte (Braidotti 2019), beziehungsweise dass wir uns an einem Sattelpunkt befänden, auf dem sich das Internet der Dinge (IoT), Smart Systems und Industrie 4.0 als Lock-In für die Zukunft erweisen könnten (Rosol 2019). Ausgehend vom

1 Zum Beispiel wurde die Fraunhofer-Allianz Big Data im Jahr 2019 in Fraunhofer-Allianz *Big Data und Künstliche Intelligenz* umbenannt.

Innovationssystemansatz (Arnold et al. 2001) und einem erweiterten Akteursverständnis (Warnke et al. 2016) stellt sich aus Innovationsforschungssicht die Frage, als welche Art von Innovationsgegenstand verschiedene KI-Entwicklungen gefasst werden und inwieweit KI grundlegend neuartige Wirkungen hervorruft. Dieser Essay soll zur Klarheit und Differenzierung im KI-Begriffswirrwahr beitragen sowie in Technikfolgenabschätzung und Innovationsforschung bislang nur wenig thematisierte grundlegende Veränderungen von Mensch-Technik-Umwelt-Beziehungen durch KI-Anwendungen beleuchten und damit zum Agenda-Setting beitragen.

4.2 Paradigmen der KI-Entwicklung

Die Diskussion über die Begrifflichkeit 'Künstliche Intelligenz‘ ist vielschichtig und kontrovers. Im Folgenden werden zunächst verschiedene Diskussionsstränge referiert, die anschließend zu drei verschiedenen Entwicklungsparadigmen zusammengefasst werden.

4.2.1 Wie wird der Terminus 'Künstliche Intelligenz' verwendet?

Ursprünglich wurde der Terminus 'Künstliche Intelligenz' so im Verhältnis zur natürlichen Intelligenz verwendet wie das künstliche Hüftgelenk im Verhältnis zum natürlichen Hüftgelenk (Sturm und Gundlach 2013). Im ‚Computermodell des Geistes‘ stellt der Mensch ein datenverarbeitendes System mit Sitz der Datenverarbeitung im Gehirn dar, was die grundsätzliche Simulierbarkeit kognitiver Prozesse auf Computern begründete (Besold und Kühnberger 2013a). Schließlich gelang es, Grundzüge der Funktionsweise neuronaler Netze im Gehirn zu entschlüsseln und einige dieser Lernregeln auf Computern zu implementieren (Besold und Kühnberger 2013b). Die Funktionsweise des menschlichen Gehirns ist jedoch trotz einiger Fortschritte immer noch weitgehend unverstanden, was die Möglichkeiten der Nachahmung kognitiver Prozesse durch KI beschränkt. Kognitive Kompetenzen können in evolutionären Prozessen jedoch auch ohne Verständnis von kulturell übertragenen Informationen und Zusammenhängen entstehen (Dennett 2018).

Der Begriff der 'Intelligenz' ist umstritten. Während der konstruktivistische Ansatz von einer prinzipiellen Unbestimmbarkeit von Intelligenz ausgeht, was sie ist, was sie ausmacht, wie sie zustande kommt oder funktioniert (Daum 2019), fasst die Kognitionswissenschaft mit Intelligenz die Fähigkeiten, Probleme zu lösen und Intelligenztests erfolgreich zu absolvieren (Stephan und Walter 2013). Reduziert auf diese Auffassung kann KI Intelligentes hervorbringen, auch ohne kognitive Prozesse zu simulieren (Schmid 2013). Die Ansicht, Intelligenz sei auf Informationsverarbeitung im Gehirn beschränkt gilt inzwischen als überholt und ist unter anderem um körperliche, situative, emotionale und motivationale Aspekte der Intelligenz erweitert worden (Stephan und Walter 2013).

Grundsätzlich neigen Menschen dazu, nicht nur Tiere und Pflanzen (Dennett 2018), sondern auch Technik zu anthropomorphisieren. ‚Computer' hießen früher die Menschen, die Rechenaufgaben manuell ausführten (Ceruzzi 2012). Heute sprechen die Menschen mit dem Lautsprecher Amazon Echo über seine Oberfläche Alexa, so als ob es sich dabei um einen Menschen handelte (Daum 2019). Anstelle von ‚Künstlicher Intelligenz' wird auch von 'kleiner Intelligenz' gesprochen, denn KI erledigt bislang nur Aufgaben, die beim Menschen als einzelne Kompetenzen bezeichnet werden; KI verfügt aber nicht über das breite menschliche Problemlösungsrepertoire (Schröter 2019). Für die der KI übertragenen Aufgaben ist menschliche Intelligenz oft nicht notwendig oder geeignet.

4.2.2 Drei zentrale KI-Entwicklungsparadigmen als Differenzierungsmöglichkeit

Die öffentliche Debatte um KI springt meist zwischen zwei Polen. Zum einen werden alarmierende Einzelfälle wie Entscheidungsdilemmata beim autonomen Verfahren bemüht und zum anderen wird 'die KI' als eine undurchschaubare mächtige Entwicklung präsentiert, die zu einer neuen Stufe der Evolution führen würde. Für die Innovationsforschung und -politik ist es hilfreich, wesentliche Entwicklungsparadigmen zu unterscheiden, um gezielt und sachbezogen agieren zu können. Aus der Analyse der Verwendung des Begriffs 'Künstliche Intelligenz' lassen sich drei wesentliche Entwicklungsparadigmen identifizieren und KI-Anwendungsfeldern zuordnen.

Das Problemlösungsparadigma

Ein technisches System wird dann als intelligent bezeichnet, "wenn es selbstständig und effizient Probleme lösen kann" (Mainzer 2016). Das selbstständige und effiziente Lösen von Problemen durch KI bezeichnen wir als Problemlösungsparadigma. Selbstständig sind diese Systeme insofern, als ihre Operationsweise in Software hinterlegt ist, die das Zusammenspiel von Sensorik, Datenverarbeitung und Aktorik effizient reguliert („AI – formerly known as software"). Hierbei erfolgt keine Bezugnahme auf die menschliche Intelligenz oder auf unbeabsichtigte Nebenfolgen. Zentrale KI-Anwendungsfelder unter diesem Problemlösungsparadigma sind beispielsweise die integrierte Energiewende (Vogel 2019), die öffentliche Verwaltung (Opiela et al. 2018), die Humangenomik[2], oder aber Roboter und autonome Systeme in verschiedenen Einsatzszenarien. Beispiele für letzteres sind Staubsaugerroboter im Privatleben, Mensch-Roboter-Kooperationen in kontrollierten Anwendungsszenarien im Arbeitsleben sowie, für den Einsatz in offenen

2 vgl. u.a. Projekt *Deepen Genomics* (https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/neue-technologien/projekte/deepen_genomics.html)

Umgebungen, einzelne unbemannte Fahrzeuge oder schwarmintelligente Verbünde mit extern vorgegebenen Missionen.

Das Mensch-als-Maßstab-Paradigma

Im Mensch-als-Maßstab-Paradigma wird KI so entwickelt, dass sie selbständig und effizient Aufgaben erledigen kann, die normalerweise menschliche Intelligenz erfordern (Lenzen 2002).[3] Wesentliche Unterschiede zum Problemlösungsparadigma sind der Bezug zur menschlichen Intelligenz und die Erledigung von konkreten alltagsweltlichen Aufgaben. Jenseits der Simulation kognitiver Leistungen wird eine Verbesserung der kognitiven Leistungen der KI über diejenigen des Menschen hinaus (Erweiterung, Übertreffen, etc.) angestrebt. Zentrale KI-Anwendungsfelder unter diesem Mensch-als Maßstab-Paradigma sind das Affective Computing (Erkennen und Erzeugen von Affekten und Emotionen), die Simulation natürlicher Sprache (Analysieren und Erzeugen von Sprache und Text), die Bilderkennung und -erstellung, Extended Reality (Wahrnehmung und Erweiterung von Informationen im Raum) und Digitales Enhancement (Modifikation kognitiver Prozesse).

Das Evolutionsparadigma

Seed-AI bezeichnet ein "KI-System mit der Fähigkeit, sich selbst zu verbessern" (Mainzer 2016). Im Vergleich zur natürlichen Evolution könnte eine solche KI-Evolution viel schneller verlaufen. Grundsätzlich sind emergente Phänomene einer Koevolution von *Seed-AI* und Kultur zwar denkbar, aber kaum antizipierbar. Im Evolutionsparadigma werden nicht wie im Problemlösungsparadigma konkrete Probleme absichtsvoll gelöst, sondern durch Variation und Selektion von Varianten den veränderten Umweltbedingungen angepasste Kompetenzen etabliert (Dennett 2018). Im Evolutionsparadigma agiert KI mit dem Potenzial, qualitativ neue Erkenntnisse zu generieren, aber mit unbekannten Nebenwirkungen (Horn und Bergthaller 2019: S. 90, 92). Mögliche zentrale KI-Anwendungsfelder unter diesem Evolutionsparadigma sind KI-unterstützte wissenschaftliche Disruptionen (z.B. Entschlüsselung des Lebens, fundamental neue Materialien) und emergente Phänomene aus dem Zusammenspiel von dezentral implementierter KI (*Edge AI*), Hyperkonnektivität im Internet of Everything (IoE) und KI-basierter Big Data Gesellschaft.

3 'Starke KI' steht für KI mit gleichen oder dem Menschen überlegenen intellektuelle Fertigkeiten (Bundesregierung 2018), A*rtificial General Intelligence* für KI, die die Bandbreite des menschlichen Problemlösungsrepertoires überschreitet und Superintelligenz allgemein für eine KI, die menschlicher Intelligenz in verschiedener Hinsicht überlegen ist (Mainzer 2016).

4.3 Grundlegende Veränderungen durch KI

Chancen und Risiken von KI werden öffentlich ausgiebig diskutiert. Hierbei nehmen einzelne Themen wie die Auswirkungen von KI auf den Arbeitsmarkt, Datenschutzaspekte und die Macht einzelner Akteure in der Datenökonomie einen großen Raum ein. KI verändert jedoch auch unsere überlieferten Selbstverständnisse, (1) was das Menschsein und Zusammenleben ausmacht, (2) was Menschen mit ihren Artefakten verbindet und (3) wo Menschen in ihrer natürlichen Umwelt stehen.[4] Im Folgenden stehen solche grundlegenden Veränderungen von Mensch-Technik-Umwelt-Beziehungen durch KI im Vordergrund, die teilweise in Philosophie und Forschung gesehen werden, in Technikfolgenabschätzung und Innovationsforschung aber kaum thematisiert werden. Aus dieser Analyse haben wir drei zentrale Stränge grundlegender Veränderungen identifiziert:

4.3.1 KI verändert die Agency im Mensch-Technik-Gefüge

Der Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT) zufolge war es schon immer eine Täuschung, Handlungsfähigkeit allein dem menschlichen Akteur zuzuschreiben. Die ANT versucht, den klassisch unterstellten Dualismus zwischen menschlichen Akteuren und nicht-menschlichen Akteuren aufzuheben und *Handlungen als Assoziationen zwischen Technik und Mensch* zu verstehen (vgl. Latour 2005). In den Diskursen rund um die Entwicklung von KI-Systemen wird die Vorstellung eines rein instrumentellen Charakters dieser Technologien bereits unterlaufen:

1. Insbesondere KI-Anwendungen in Form von Autonomen Systemen bergen das Potential, Handlungsfähigkeit und Souveränität neu zu verteilen. Ob eine zunehmende Delegation von bestimmten Tätigkeiten an Autonome Systeme einen grundlegenden Wandel im Mensch-Technik Verhältnis auslöst, ist davon abhängig, wie stark solche Systeme *Handlungsoptionen im Vorfeld* bereits *selektieren und strukturieren*. In diesem Falle verschiebt sich die Agency zugunsten der KI-Systeme, Menschen werden durch KI aktiviert und die Handlungsmöglichkeiten der menschlichen Akteure werden eingeschränkt.
2. KI-Systeme können einzelne genuin menschliche Fähigkeiten simulieren. Die FuE-Gebiete des *Natural Language Processing* (NLP) und der *Computational Creativity* erzeugen u.a. gesprochene bzw. geschriebene sprachliche Artefakte. Der Hörer bzw. die Hörerin in einem digital vermittelten Sprechakt oder der Leser bzw. die Leserin eines digital codierten Schriftstückes weiß dann nicht, ob es sich um eine menschliche Urheberschaft oder um ein durch KI konstruiertes Artefakt handelt

4 Vgl. u.a. Projekt *Gemeinwohlorientierung im Zeitalter der Digitalisierung: Transformationsnarrative zwischen Planetaren Grenzen und Künstlicher Intelligenz; gefördert vom Umweltbunesamt* (https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/foresight/projekte/KI_Transformation.html).

oder nicht. Diese *Nicht-Unterscheidbarkeit* zwischen technischer und menschlicher Urheberschaft kann unser Vertrauen in Technik und Menschen grundlegend ändern.

3. Dass technischen Objekten, wie z.B. durch KI verbesserten humanoiden Robotern, menschliche Eigenschaften zugesprochen werden, bedeutet in einer generalisierten Form die zunehmende *Anthropomorphisierung* von Technik durch KI-Anwendungen. Insbesondere das *Affective Computing* steht für eine KI-Entwicklungslinie, die menschliche Emotionen erkennen sowie selbst auf emotionale Weise auf die User reagieren und damit – in ihrer ambitioniertesten Form – Bedürfnisse nach emotionalem Austausch durch Mensch-Technik-Interaktion simulieren oder gar ersetzen kann.

4.3.2 KI macht die Natur und ihre Wahrnehmung künstlicher

Hellmut Plessner hat "**Das Gesetz der natürlichen Künstlichkeit**" (Schöpfung künstlicher Welten) als ein zentrales Merkmal der *conditio humana* ausgemacht (Plessner 2003). Im Zusammenspiel mit anderen digitalen Technologien sprechen einige KI-Anwendungen dafür, dass sich dieses Verhältnis zwischen Natürlichkeit und Künstlichkeit weiter in Richtung des Künstlichen verschieben und sich die menschliche Spezies schleichend an den fortschreitenden Verlust der tatsächlichen Natur gewöhnen wird (*Environmental Generational Amnesia)* (Kahn 2011):

1. Autonome Systeme ermöglichen es, bislang *unerschlossene Gebiete* nutzbar zu machen. Hierzu zählen Roboterflotten zur Aufforstung von Wüsten und zur Reinigung der Meere von Müll ebenso wie autonome Systeme zur Rohstoffgewinnung in der Tiefsee und zur Produktion im Weltraum. Dadurch wird die *frontier* des menschlichen Handelns auf lebensfeindliche Gebiete ausgedehnt, wobei die Wildnis als Gegenspieler zur zivilisierten Welt verschwindet und sich die Erde und der Weltraum als reparierbare und quasi unerschöpfliche Produktionsfaktoren im Bewusstsein der Menschen verankern könnten.

2. Das maschinelle Lernen aus realweltlichen Datensätzen ist eine Schlüsseltechnologie für die Anwendung von digitalen Technologien *in und am menschlichen Körper* wie zum Beispiel Gehirn-Computer-Schnittstellen und Wearables zur digitalen Selbstvermessung. Der digital durchdrungene Mensch gehört im Vergleich zum herkömmlichen Menschen stärker der künstlichen Welt und weniger der natürlichen Welt an.

3. Durch Augmented Reality und Virtual Reality verbringen Menschen immer mehr Zeit in technisch vermittelten Umgebungen. KI-unterstützte Datenanalysen vermitteln zwischen der echten Umgebung, ihrer digitalen Repräsentation und Erweiterung, und menschlicher *Wahrnehmung*. Indem jegliche natürliche und künstliche Umgebung durch digitale Schnittstellen wahrnehmbar gemacht und selektiv erweitert wird, wird "Das Gesetz der natürlichen Künstlichkeit" radikal weitergeführt.

4.3.3 Die Versprechen der Megamaschine und ihre Einlösung

Unterstützt durch dezentral eingesetzte KI im IoE steigen Vielfalt und Ausmaß der Mensch-Technik-, der Technik-Technik- und der Technik-Umwelt-Kommunikationen. Die daraus entstehende *Megamaschine* wird mit großen Versprechungen versehen, wobei aber im Auge zu behalten ist, dass sich die *Aushandlungsarenen* für die Gestaltung der Lebenswelt erheblich verändern. Die Delegation der Entscheidungshoheit von der Techniknutzung an das Technikdesign, die Phantasie des KI-gestützten Erdsystem-Managements anstelle der politischen Aushandlung und die Verstetigung bestehender Praktiken im Zuge der Realweltreproduktion durch ML stellen die Innovationsforschung vor neue Aufgaben:[5]

1. Die unzähligen Verknüpfungen von Objekten, Organisationen, Menschen und anderen Lebewesen in einer hyperkonnektiven Welt sind für einen Großteil der Menschheit nicht durchschaubar (Friedrich 2012). In jedem Gerät im IoE und auf jedem Server der digitalen Plattformökonomie kann ML stattfinden. Diese *Undurchschaubarkeit* vermag dazu führen, dass sich Menschen von den vernetzten Systemen abwenden und damit bisherige Mensch-Technik-Interaktionen ersetzen. Dies bedeutet, dass der Mensch immer seltener in Echtzeit in die Prozessausführung operativ eingreift.
2. Die Vision des IoE wird vom *Versprechen eines KI-gestützten Erdsystem-Management-Systems* flankiert (World Economic Forum et al. 2018), das sich entweder realisieren lässt oder aber als Illusion entpuppen wird. In ersterem Falle würden gezielte Transformationen unterstützt, im letzteren Falle würden die evolutionären Dynamiken überwiegen und den Gestaltungsanspruch der Menschheit für die Welt und die tatsächlichen Bemühungen in die Irre führen.
3. Auch unvollständige und widersprüchliche Daten gehen in die Erkennung von Mustern in Datensätzen durch KI mit ein und tragen zur Prognose künftiger Einzelereignisse bei. Ihre Eignung wird durch den *Realweltabgleich* beurteilt (Królikowski et al. 2017). Beim unüberwachten ML verändert sich die Software in Interaktion mit der Realwelt ohne menschliches Eingreifen, während beim Reinforcement Learning die Aufgabensetzung in einer Schleife von Verwerfen und Weitermachen immer wieder extern angepasst wird.

5 Vgl. die Projekte *Ethical and Societal Implications of Data Science* (https://e-sides.eu/) und *EuDEco* (http://data-reuse.eu/).

4.4 Die grundlegenden Veränderungen im Spiegel der drei Entwicklungsparadigmen

Die in diesem Essay vorgenommenen begrifflichen Differenzierungen der drei Entwicklungsparadigmen von KI sollen einen Beitrag zur Versachlichung des öffentlichen Diskurses über KI leisten. Die eher aus der Philosophie stammenden Einschätzungen zu grundlegenden Veränderungen von Mensch-Technik-Umwelt-Beziehungen verweisen auf in Technikfolgenabschätzung und Innovationsforschung bislang nur wenig thematisierte Aspekte transformativen Wandels.

Aus den oben ausgeführten unterschiedlichen KI-Entwicklungsparadigmen folgen auch unterschiedliche Einschätzungen des Transformationspotenzials von KI-Anwendungen und die Möglichkeit diese steuernd zu gestalten. Während das Evolutionsparadigma von einer sich verstärkenden Eigendynamik von KI-Systemen ausgeht, die mit zunehmender Weiterentwicklung weniger Spielraum für externe Eingriffe lässt, gehen die anderen Paradigmen von einer erweiterten Möglichkeit der Steuerung aus. Zugleich ist bei der Analyse der Transformationspotenziale und damit der antizipierten Chancen und Risiken stets das Zusammenspiel zwischen intendierter Entwicklung der Technik auf der einen und der eigendynamischen Entwicklung der Technologie im Zusammenspiel mit konkreten sozialen Nutzungskontexten und individuellem Nutzungsverhalten auf der anderen Seite zu berücksichtigen. Die Praxis von KI-Systemen, das heißt die konkrete Einbettung solcher Systeme in Handlungskontexte, ist daher - neben einer begrifflichen Perspektive - entscheidend für eine adäquate Einschätzung der Transformationspotenziale und grundlegenden Veränderungen von Mensch-Technik-Umwelt-Beziehungen.

Literatur

Arnold, E.; Kuhlmann, S.; van der Meulen, B. (2001): *A Single Council. Evaluation of the Research Council of Norway*. Hg. v. Technopolis.

Besold, T.R.; Kühnberger, K.U. (2013a): Kognition als Symbolverarbeitung: das Computermodell des Geistes. In: Stephan, A.; Walter, S. (Hrsg.): *Handbuch Kognitionswissenschaft.* Stuttgart: Metzler, S. 156–163.

Besold, T.R.; Kühnberger, K.U. (2013b): Konnektionismus, neuronale Netze und parallel distributed processing. In: Stephan, S.; Walter, S. (Hrsg.): *Handbuch Kognitionswissenschaft*. Stuttgart: Metzler, S. 164–169.

Braidotti, R. (2019): Zoe/Geo/Techno-Materialismus. In: Klingan, K.; Rosol, C. (Hrsg.): *Technosphäre*. Berlin: Matthes & Seitz (Bibliothek 100 Jahre Gegenwart).

Bundesregierung (2018): *Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung*. Stand: November 2018.

Ceruzzi, P.E. (2012): Computing. A concise history. Cambridge, Mass: MIT Press (MIT Press essential knowledge series). Online verfügbar unter http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=463391.

Daum, T. (2019): *Die Künstliche Intelligenz des Kapitals. Originalveröffentlichung,* Erstausgabe, 1. Auflage. Hamburg: Edition Nautilus (Nautilus Flugschrift).

Dennett, D.C. (2018): *From bacteria to Bach and back. The evolution of minds. Fist published as a Norton paperback*. New York, London: W. W. Norton & Company.

Lenzen, M. (2002): *Natürliche und künstliche Intelligenz. Einführung in die Kognitionswissenschaft.* Frankfurt/Main: Campus-Verl. (Campus-Einführungen). Online verfügbar unter http://www.sub.uni-hamburg.de/ebook/ebook.php?act=b&cid=955

Mainzer, K. (2016): Künstliche Intelligenz - Wann übernehmen die Maschinen? Berlin, Heidelberg: Springer (Technik im Fokus). Online verfügbar unter http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/2112686.

Rosol, C. (2019): 1948. In: Klingan, K.; Rosol, C. (Hrsg.): *Technosphäre*. Berlin: Matthes & Seitz (Bibliothek 100 Jahre Gegenwart).

Schmid, U. (2013): Künstliche-Intelligenz-Forschung. In: Stephan, A.; Walter, S. (Hrsg.): *Handbuch Kognitionswissenschaft*. Stuttgart: Metzler, S. 44–46.

Schröter, W. (2019): Auf dem Weg zum "mitbestimmten Algorithmus". Warum der Begriff "KI" nicht als "künstliche" sondern nur als "kleine" oder "keine Intelligenz" ausgeschrieben werden sollte. In: latenz. Journal für Philosophie und Gesellschaft, Arbeit und Technik, Kunst und Kultur (Hg.): Der Künstliche Mensch. Menschenbilder im 21. Jahrhundert, Bd. 04. Unter Mitarbeit von Irene Scherer und Welf Schröter. Mössingen-Talheim: talheimer (04), S. 109–116.

Stephan, A.; Walter, S. (Hg.) (2013): *Handbuch Kognitionswissenschaft.* Stuttgart: Metzler.

Sturm, T.; Gundlach, H. (2013): Zur Geschichte und Geschichtsschreibung der kognitiven Revolution - eine Reflexion. In: Stephan, A.; Walter, S. (Hrsg.): *Handbuch Kognitionswissenschaft.* Stuttgart: Metzler, S. 7–21.

Warnke, P.; Koschatzky, K.; Dönitz, E.; Zenker, A.; Stahlecker, T.; Som, O.; Cuhls, K.; Güth, S. (2016): *Opening up the innovation system framework towards new actors and institutions,* Fraunhofer ISI Discussion Papers No. 49). Karlsruhe; Fraunhofer ISI.