
IASS FACT SHEET 1/2020

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

Potsdam, April 2020



Grüne digitalisierte Wirtschaft?

Herausforderungen und Chancen für die Nachhaltigkeit

Grischa Beier, Kerstin Fritzsche, Stefanie Kunkel, Marcel Matthess, Silke Niehoff, Malte Reißig, Verena van Zyl-Bulitta

Die Digitalisierung schafft neue Produktions- und Konsummuster und verändert nahezu jeden Bereich der Wirtschaft. Dabei ist der zunehmende Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) mit der Hoffnung auf ökonomische Entwicklungschancen und umweltfreundlichere Produktion verbunden. Die sozialen und ökologischen Auswirkungen des digitalen Wandels in der Wirtschaft sind derweil erst in Ansätzen verstanden. Vor allem zu den Umwelteffekten ist wissenschaftlich belastbares Datenmaterial rar. Erste Trends lassen sich jedoch bereits ablesen. Ob es gelingt, den digitalen Wandel der Wirtschaft mit den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung in Einklang zu bringen, ist ungewiss und hängt entscheidend von der Gestaltung der digitalen Transformation auf nationaler und internationaler Ebene ab.



Die digitalisierte Wirtschaft

Digitale also rechnerbasierte Technologien – wie etwa Roboter, Cloud Computing, Künstliche Intelligenz (KI), das Internet der Dinge und digitale Plattformen – spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der globalen Wirtschaft. Dies führt dazu, dass neue Sektoren und Geschäftsmodelle entstehen und sich Arbeits-, Produktions- und Konsummuster über verschiedenste Wirtschaftszweige hinweg wandeln. Eine klare begriffliche Abgrenzung dieser dynamischen, durch die Digitalisierung geprägten Wirtschaftslandschaft gestaltet sich schwierig. Wenngleich nicht absolut trennscharf, lassen sich dabei jedoch grob drei Elemente unterscheiden (siehe Abbildung 1).

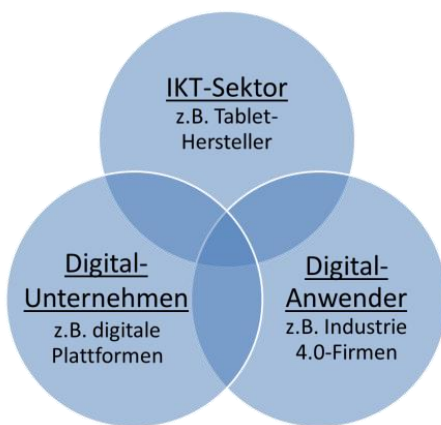


Abbildung 1: Drei Elemente der digitalisierten Wirtschaft

Ein Kernelement der durch die Digitalisierung bereits transformierten Wirtschaft – oder kurz „digitalisierten Wirtschaft“ – ist der Sektor der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT-Sektor), der technologische Infrastruktur, Hardware und Software bereitstellt und somit erst digitale Vernetzung ermöglicht. Sogenannte „Digital-Unternehmen“ umfassen als zweites Element all jene Unternehmen, deren Wertschöpfungsmodell fundamental auf der Nutzung von IKT beruht, z. B. digitale Plattform-Unternehmen wie etwa Amazon oder Alibaba. Die „Digital-Anwender“ wiederum umfassen Unternehmen in Sektoren außerhalb der bereits genannten, also beispielsweise Wirtschaftszweige wie Landwirtschaft oder Maschinen-

bau, die digitale Technologien, Prozesse und Geschäftsmodelle vornehmlich zur Ergänzung und Weiterentwicklung ihres bestehenden Wertschöpfungsmodells einsetzen. Ein Beispiel dafür ist die Zusammenarbeit von Google mit Volvo und Audi zur Entwicklung eines integrierten Infotainment-Systems für den Automobilbereich, das auf dem Open-Source Betriebssystem „Android“ von Google basiert. Dieses Beispiel zeigt auch, dass die Grenzen zwischen den drei Elementen der digitalisierten Wirtschaft mit der fortschreitenden Digitalisierung zunehmend verschwimmen.

Nachhaltigkeitsauswirkungen der digitalisierten Wirtschaft

Die Digitalisierung in der Wirtschaft lässt sich durch drei prägnante Veränderungsprozesse charakterisieren: die Veränderung von Informationsflüssen, von Ressourcenflüssen und von Wertschöpfungsmodellen. Aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen und einer unterschiedlichen Durchdringung der Wirtschaft unterscheiden sich die sozialen und ökologischen Auswirkungen dieser Veränderungsprozesse in Industrie-, Entwicklungs- und Schwellenländern. Im Folgenden werden Fragen und Zielkonflikte der nachhaltigen Gestaltung einer digitalisierten Wirtschaft anhand der drei Veränderungsprozesse beschrieben und mit Beispielen und Fakten unterlegt.

Veränderung von Informationsflüssen

Die digitalisierte Wirtschaft ist von Veränderungen der Informationsflüsse geprägt. Im Jahr 2018 gab es fast zweieinhalbmals so viele vernetzte Geräte wie Menschen auf der Erde, 2025 sollen es neunmal so viele sein (Safaei et al., 2017; Cisco, 2020). Diesen Trend haben einige IKT- und Digital-Unternehmen erfolgreich genutzt. Waren im Jahr 2008 noch fünf Erdgas- und Mineralölunternehmen aber nur ein Unternehmen der digitalisierten Wirtschaft unter den zehn größten Unternehmen

weltweit, haben nur zehn Jahre später die sieben großen IKT- und Digital-Unternehmen die Liste der Top 10 fast gänzlich für sich eingenommen.

In der Industrie sind diese veränderten Informationsflüsse mit dem Konzept der „Industrie 4.0“ verbunden. Diese soll die Wirkmechanismen des Internets auch für die Digital-Anwender in der Fertigung nutzbar machen. Dies geschieht, indem Informationen zwischen allen am Produktionsprozess beteiligten Akteuren ausgetauscht und diese sowohl untereinander als auch mit ihren Kund*innen und Nutzer*innen digital vernetzt werden. Dafür werden Fabriken, Fertigungssysteme und Produkte informationstechnisch vernetzt, um kontinuierlich Informationen auszutauschen (vgl. Abbildung 2). Ein Ziel dieser Vernetzung ist es, global verteilte Produktionsprozesse effizienter und flexibler zu koordinieren. In der Konzeption und Interpretation von Industrie 4.0 finden ökologische Verbesserungen jedoch kaum Berücksichtigung (Beier et al., 2020).

Offen ist, ob die digitale Vernetzung hilft, die Umweltauswirkungen von Unternehmensaktivitäten entlang der Wertschöpfungskette durchgängig zu erfassen. Hier könnte die

Digitalisierung des betrieblichen Nachhaltigkeitsmanagements einen wichtigen Beitrag leisten. Mit Hilfe von digitalen Technologien könnte dafür die Qualität und Verfügbarkeit von Daten (etwa maschineller Material- und Energieverbrauch) auf Produkt- und Prozessebene verbessert werden. Einheitliche Standards zur Datenerhebung im Rahmen des Nachhaltigkeitsmanagements können zudem die Vergleichbarkeit von Umweltdaten über Sektoren- und Ländergrenzen hinweg ermöglichen. Eine derart verbesserte Datenlage hilft nicht nur der Transparenz, sondern kann Berechnungen des ökologischen Fußabdrucks verbessern und damit die Entwicklung neuer ressourcenschonender Produkte unterstützen (Agez et al., 2020).

Wo immer jedoch nicht ausschließlich mit Maschinendaten, sondern auch mit personenbezogenen Daten gearbeitet wird, stellt sich die Frage nach deren Schutz. Die damit verbundenen Herausforderungen zu bewältigen, wird immer drängender, denn der globale Datenverkehr nimmt weiterhin rasant zu. Zur Einordnung dieser Datenzunahme kann das Volumen des globalen Internet Protocol Verkehrs dienen: Dieser ist von 100 GB am Tag im Jahr 1992 auf 46 000 GB pro Sekunde im Jahr 2017 gestiegen (UNCTAD, 2019). Die

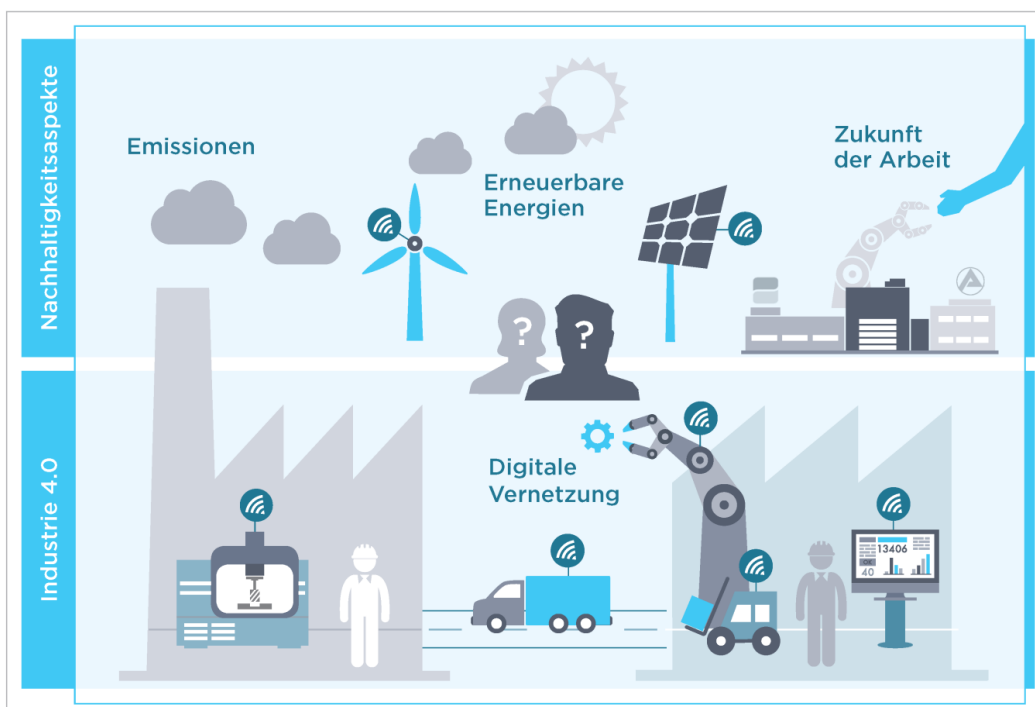


Abbildung 2: Industrie 4.0 und beispielhaft ausgewählte Nachhaltigkeitsaspekte

umfassende digitale Vernetzung wirtschaftlicher Prozesse wird dieses Datenvolumen zukünftig weiter steigen lassen.

Veränderung von Ressourcenflüssen

Es wird erwartet, dass der Bedarf an Rohstoffen wie Lithium, Kobalt, Kupfer, Tantal, Wolfram, Gold und seltenen Erdmetallen aufgrund des verstärkten Einsatzes von IKT weiter steigt. Die Deutsche Rohstoffagentur geht davon aus, dass die Nachfrage nach den Metallen wie etwa Lithium, Dysprosium/Terbium und Rhenium auf das Doppelte der Primärproduktion (Stand 2013) steigen könnte. Diese erhöhten Bedarfe werden auch durch Digital-Unternehmen und -Anwender verursacht. Um bspw. die Datenerhebung und -analyse im Kontext von Industrie 4.0 zu ermöglichen, müssen alle beteiligten Fertigungssysteme mit Sensorik, Aktoren, Prozessoren und Kommunikationstechnik nachgerüstet oder durch moderne Systeme ersetzt werden. Viele der für diese Technologien benötigten Materialien können bisher jedoch nicht wirtschaftlich aus Altgeräten wiedergewonnen werden. Für viele „Zukunftstechnologien“, wie beispielsweise Glasfasertechnik und RFID, wird bis 2035 kein Recyclingpotenzial gesehen (Marscheider-Weidemann et al., 2016). Die Rohstoffe für IKT stammen zudem zu weiten Teilen aus Entwicklungs- und Schwellenländern, wo sie unter hohen ökologischen Kosten und oft unmenschlichen Arbeitsbedingungen abgebaut werden.

Andererseits besteht die Hoffnung, dass die Digitalisierung in der Wirtschaft – und hier besonders der industriellen Produktion – durch Effizienzsteigerung und die Schließung von Ressourcenkreisläufen („Circular Economy“) Ressourcen schonendere Wirtschaftsweisen unterstützen kann. Ob sich hier eine für die Umwelt positive Netto-Bilanz ergibt, ist derzeit jedoch fraglich.

Eine zunehmend digitalisierte Wirtschaft benötigt zudem nicht nur Rohstoffe, sondern auch sehr viel Energie. Besonders energieintensiv sind dabei Systeme mit Künstlicher Intelligenz (KI), die in der digitalisierten Wirtschaft zunehmend zum Einsatz kommen. So kann der CO₂-Fußabdruck für das Training eines KI-Systems 284 Tonnen CO₂e und somit das Fünffache der Lebenszeitemissionen eines durchschnittlichen Autos betragen (Strubell, Ganesh, & McCallum, 2019).

Die prognostizierten Energiebedarfe für die weltweite Nutzung von IKT bis 2030 variieren je nach Studie, sehen jedoch meist einen leichten bis starken Anstieg voraus (siehe Abbildung 3). Ein Großteil der Studien geht dabei einerseits von einem Rückgang oder einer Stagnation des Energiebedarfs von IKT-Endgeräten durch Effizienzsteigerungen aus (Andrae & Edler, 2015; Hintemann & Clausen, 2016; Stobbe et al., 2015). Andererseits wird angenommen, dass der Energiebedarf von Datenzentren und Netzwerk-Infrastrukturen aufgrund wachsender Datenmengen und der Auslagerung von Prozessen in die Cloud steigt (Andrae, 2019a; Richard et al., 2017). Der Energiebedarf von Datenzentren wird jedoch mittlerweile geringer prognostiziert als noch in 2015, da technologische Entwicklungen (wie z. B. Hyperscaling) zu großen Effizienzgewinnen geführt haben (Mesanet et al., 2020). Entscheidend für die zukünftige Gesamtenergiebilanz von IKT wird daher das Verhältnis von Effizienzsteigerungen von Datenübertragung und -speicherung gegenüber der Zunahme an Datenverkehr sein (Andrae, 2019b; IEA, 2017). Unsicherheiten für diese Prognosen ergeben sich etwa durch zukünftige technologische Innovationen (z. B. Quantencomputer) sowie die zukünftige Entwicklung der IKT-Nutzung in Ländern des globalen Südens.

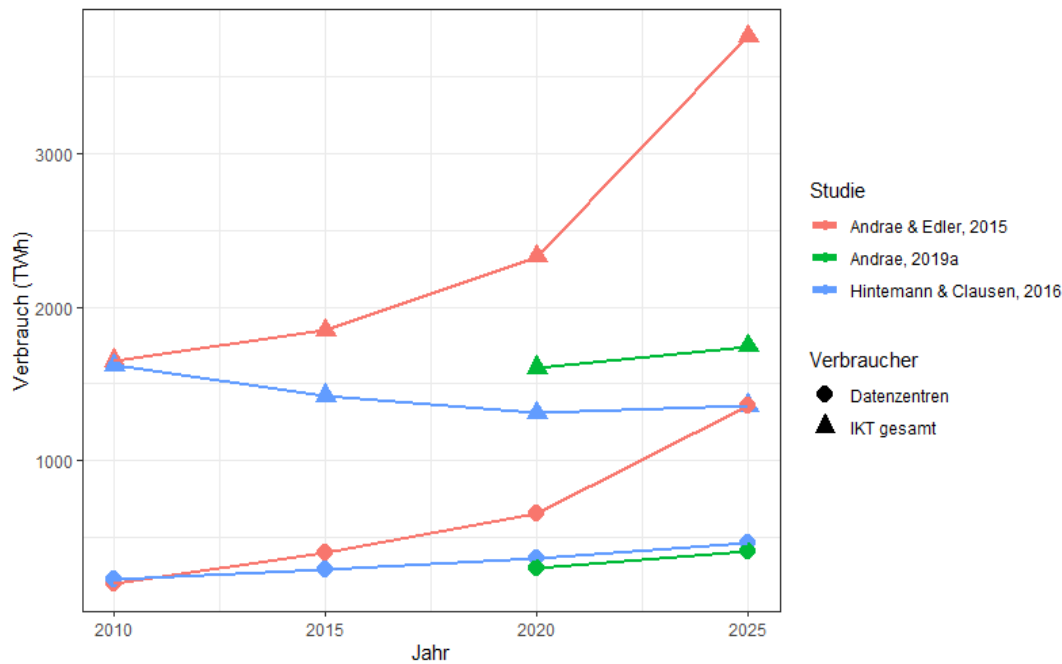


Abbildung 3: Elektrizitätsbedarf für IKT gesamt und Datenzentren

Ein wichtiger Impuls, um den wachsenden Energieverbrauch durch IKT umweltverträglicher zu gestalten, sind die selbstgesteckten Ziele großer IKT- und Digital-Unternehmen wie Apple, Google und Microsoft, zukünftig 100 Prozent erneuerbare Energie zu nutzen, insbesondere wenn dies durch den Zubau eigener Kapazitäten erfolgt. Auch können Produktionsprozesse durch Digitalisierung in energetischer Hinsicht optimiert werden. So wird in der Robotik daran gearbeitet, dass Roboter Aktionen nicht wie bisher so schnell wie möglich, sondern nur so schnell wie nötig durchführen. Dieser Ansatz konnte in einer Untersuchung Energieeinsparungen von bis zu 30 Prozent erzielen (Riazi et al., 2016). Die Digitalisierung der Wirtschaft ermöglicht es zudem, das Zusammenspiel verschiedener Industrien ökologisch symbiotisch zu gestalten (van Capelleveen, Amrit, & Yazan, 2018). Mit Blick auf den Einsatz erneuerbarer Energien auf Unternehmensebene soll zum Beispiel die produktionsseitige Flexibilität von Industrie 4.0 mit der hohen Volatilität erneuerbarer Energien in Einklang gebracht werden (Scharl & Praktijnjo, 2019). Produktionsprozesse könnten somit so getaktet werden, dass ihr Energiebedarf am größten ist, wenn erneuerbare Energie in hohem Maße und zu günstigen Preisen verfügbar ist. Dazu müssen digitale Technologien auch einen nahtlosen

Informationsfluss zwischen digitalisierter Wirtschaft und Energiesektor in Echtzeit ermöglichen.

Ob solche Ansätze den Mehrbedarf an Rohstoffen und Energie für die Ausrüstung mit und den Betrieb von digitalen Technologien in der Wirtschaft kompensieren können, ist wissenschaftlich bisher nicht belegt. Die Realisierung von Potenzialen und die Vermeidung negativer Feedbacks, sogenannter Rebound-Effekte, hängen dabei auch von der Schaffung adäquater Anreize, Rahmenbedingungen und Verpflichtungen seitens der Politik ab.

Veränderung von Wertschöpfungsmodellen

Mit der Digitalisierung der Wirtschaft entstehen auch neue Wertschöpfungsmodelle, die sich insbesondere auf die Vernetzung von Marktteilnehmern und die Nutzung großer Datenmengen zur Optimierung wirtschaftlicher Prozesse stützen. Diese Wirtschaftsbereiche werden daher oft als Plattform- oder Datenökonomie bezeichnet.

Die Umweltauswirkungen digitaler Wertschöpfungsmodelle hängen in hohem Maße von der Energie- und Ressourcenintensität der dafür genutzten Technologien ab sowie

vom Energiemix, mit dem diese betrieben werden. Zudem weisen Studien darauf hin, dass Plattformen für den Online-Handel mit ihren breiten Angeboten von Produkten und Dienstleistungen, günstigen Preisen und einfachen Bezahlmethoden Treiber für steigenden Konsum sein könnten (Kahlenborn et al., 2018). Damit könnten sie nicht-nachhaltigen Konsummustern weiter Vorschub leisten. Allerdings haben sich in den letzten Jahren ebenfalls Plattformen etabliert, die sich auf nachhaltig hergestellte Produkte spezialisieren, ihre Kunden zu bewusstem Konsum anhalten oder mit ihren Gewinnen nachhaltige Projekte unterstützen und somit ein Umdenken voranbringen wollen. Ein Beispiel für nachhaltigkeitsbezogene digitale Geschäftsmodelle ist die Suchmaschine „Ecosia“. Das Unternehmen lässt mit einem Teil seiner Einnahmen neue Bäume pflanzen, um damit einen Beitrag zum Schutz des Klimas zu leisten. Solche Geschäftsmodelle bilden bisher allerdings eine relativ kleine Nische.

Doch auch ohne eine explizite Nachhaltigkeitsagenda sind manche Geschäftsmodelle der digitalisierten Wirtschaft in Bezug auf ihre möglichen Umwelteffekte interessant. Ein Beispiel dafür ist das „Sharing“ im Mobilitätsbereich, also die gemeinsame Nutzung von Autos, Fahrrädern oder anderen Fahrzeugen über Online-Plattformen. So kamen Studien zu dem Ergebnis, dass in Städten, in denen Car-Sharing-Angebote verfügbar waren, die Zahl privat genutzter Autos abnahm (Martin & Shaheen, 2016; Giesel & Nobis 2016). Auch haben manche Studien Netto-Einsparungen von klimaschädlichen Emissionen durch Car-Sharing festgestellt (Martin & Shaheen 2011). Generell sind die Auswirkun-

gen von Sharing auf die Umwelt jedoch ambivalent, denn dadurch werden nun u. a. viele Fahrten per Auto zurückgelegt, die sonst mit öffentlichen Verkehrsmitteln absolviert würden.

Nicht nur in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit wirft die digitalisierte Wirtschaft Herausforderungen auf. Problematisch sind unter anderem auch die Arbeitsbedingungen vieler Beschäftigter und Selbstständiger bei Digital-Unternehmen wie z. B. Social-Media-Plattformen, Online-Händlern und Lieferdiensten sowie Plattformen, die Aufträge für Dienstleistungen und „Mikro-Aufgaben“ vermitteln. Geringe Bezahlung, hohe, teils internationale Konkurrenz um Aufträge, mangelnde soziale Absicherung und körperliche wie psychische Beeinträchtigungen sind nur einige wenige der Belastungen, denen Arbeitnehmer*innen in diesen Bereichen der digitalisierten Wirtschaft ausgesetzt sind.

Gleichzeitig sind die Chancen der digitalisierten Wirtschaft global höchst ungleich verteilt. Ein Grund dafür ist der fehlende Zugang zum Internet und anderen digitalen Technologien in vielen Ländern des Globalen Südens. So liegt der durchschnittliche Anteil von Internet-Nutzer*innen an der Gesamtbevölkerung in Sub-Sahara-Afrika und Südasien mit rund 25 Prozent in 2017 weit unter dem globalen Durchschnitt von rund 50 Prozent (siehe Abbildung 4). Doch erst ab einer Rate von 30 Prozent ergeben sich wirtschaftlich nutzbare Netzwerkeffekte (Gillwald 2017). Zudem gibt es oftmals ein Manko an passenden Online-Angeboten, um Nutzer*innen aus dem Globalen Süden einen adäquaten Mehrwert bieten zu können.

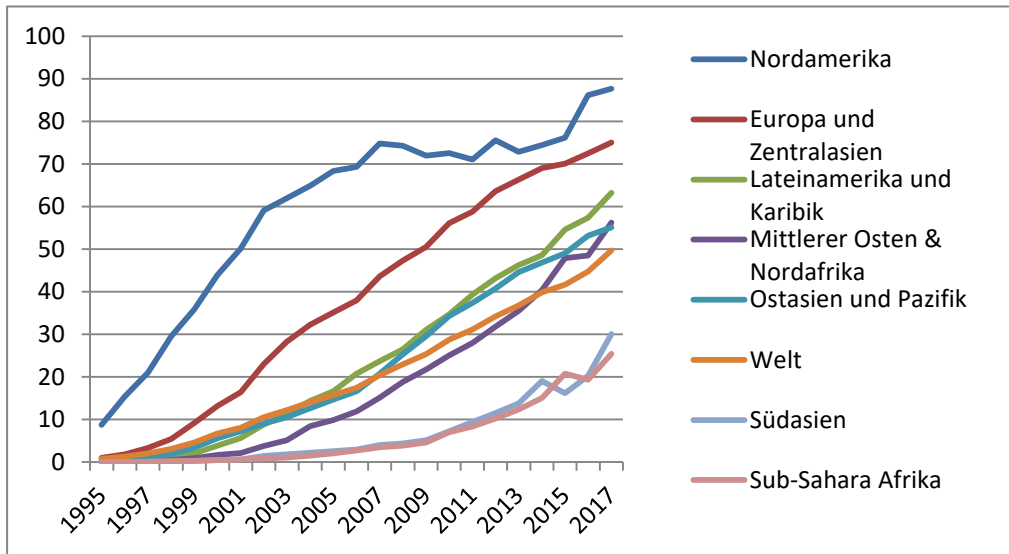


Abbildung 4: Anteil der Bevölkerung, die das Internet nutzt nach Region (in %).

Quelle der Daten : World Development Indicators / International Telecommunication Union, World Telecommunication/ICT Development Report and database.

Durch Netzwerkeffekte ergibt sich wiederum in vielen Fällen ein „Winner-takes-it-all“-Effekt, sprich, einzelne oder einige wenige Anbieter digitaler Dienstleistungen setzen sich auf dem Markt durch und schaffen eine Umgebung, die es für Nutzer*innen kostspielig und unattraktiv macht, alternative Anbieter auszuprobieren. Neue Unternehmen haben es damit in bestimmten Bereichen schwer, sich am Markt zu etablieren, solange sie keine wesentlichen Verbesserungen gegenüber bestehenden Plattformen anbieten oder neue Zielgruppen ansprechen.

Dadurch erklärt sich zum Teil auch die geographische Polarisierung, die in Bezug auf Unternehmen der Plattform-Ökonomie global beobachtet werden kann: 90 Prozent des Marktkapitalisierungswertes der 70 größten digitalen Plattformen der Welt entfallen auf China und die USA (UNCTAD, 2019), die beiden Länder, die bereits sehr früh eine führende Rolle im IKT-Sektor sowie bei den Digital-Unternehmen eingenommen haben. Der Anteil Europas liegt bei nur vier Prozent – der von Afrika und Lateinamerika zusammen bei nur einem Prozent (UNCTAD, 2019). Auch vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach einer gerechten Teilhabe von Entwicklungsländern an den Möglichkeiten der Digitalisie-

rung. Zudem werfen die skizzierten Markt-Imbalancen zunehmend Konflikte um die Frage auf, wem die Daten gehören, die von den Nutzer*innen einer Plattform gesammelt werden. Viele Entwicklungs- und Schwellenländer vertreten die Position, dass Daten, die durch ihre Bürger*innen erzeugt werden, im eigenen Land gespeichert und dort der digitalen Wertschöpfung zugutekommen sollten.

Fazit

Die Herausforderung einer nachhaltigen Gestaltung der digitalisierten Wirtschaft und ihrer unterschiedlichen Elemente liegt aber nicht allein in einer sozial-ökologischen Ausrichtung von Infrastrukturen, Technologien und Geschäftsmodellen. Vielmehr gilt es, ein global gerechtes, sozial-ökologisches System für die Entwicklung der Digitalisierung zu schaffen, in der alle Länder und ihre Bevölkerungen von den Chancen der Digitalisierung profitieren können. Potential für Netto-Energie- und Materialeinsparungen ist dabei gegeben, aber es muss als zentrale Gestaltungsaufgabe der Unternehmen und der Regulierungsbehörden wahrgenommen und umgesetzt werden.

Herausforderungen für die Gestaltung der digitalisierten Wirtschaft

- *Die aktuelle Gestaltung der digitalisierten Wirtschaft dient der Fortsetzung eines auf Output-Wachstum abzielenden Wirtschaftssystems, in welchem soziale und ökologische Nachhaltigkeit eine untergeordnete Rolle spielt.*

Um die digitalisierte Wirtschaft nachhaltig zu gestalten, muss ein schwieriger Spagat bewältigt werden. Dort, wo positive sozioökonomische Auswirkungen durch die digitalisierte Wirtschaft auftreten, sind gleichzeitig nachteilige Umwelteffekte zu erwarten, wie zum Beispiel steigende Ressourcenverbräuche. Häufig werden Effizienzgewinne, die durchaus einen positiven Effekt auf die Umwelt haben könnten, durch eine wachsende Gesamtnachfrage und somit wachsenden Gesamtverbrauch konterkariert. Dieser Zielkonflikt ist historisch gut belegt: Wachsende Produktions- und Konsumstandards durch ökonomische Entwicklung haben trotz Effizienzsteigerungen in bisher allen Ländern der Welt zu einer höheren absoluten Umweltbelastung (zum Beispiel CO₂ Emissionen) geführt. Ob Digitalisierung dazu beitragen kann, diesen Trend umzukehren, ist fraglich. Eine vertiefte wissenschaftliche Analyse der Chancen und Risiken für Nachhaltigkeit der digitalisierten Wirtschaft in spezifischen Länderkontexten (Beier, Niehoff, Ziems, & Xue, 2017) und die bessere Kommunikation zwischen Wissenschaft, Praxis und Politik, etwa durch transdisziplinäre Forschungsansätze, können zu einem besseren Verständnis der Herausforderungen beitragen (Fritzsche, Niehoff, & Beier, 2018). **Damit die nachhaltige Gestaltung der digitalisierten Wirtschaft gelingen kann, sollten in den nationalen und der internationalen Debatte das Wohl von Mensch und Umwelt in den Vordergrund gerückt werden und eine konsequente Ausrichtung der Digitalisierung an den UN-Nachhaltigkeitszielen erfolgen.**

- *Die Gestaltung einer nachhaltigeren digitalisierten Wirtschaft muss global gedacht werden.*

Die wirtschaftlichen Chancen durch die digitalisierte Wirtschaft sind zu Ungunsten von Entwicklungs- und Schwellenländern verteilt. Die digitalisierte Wirtschaft in Industrieländern hat im Kontext einer international vernetzten Güter- und Dienstleistungsindustrie Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft in Entwicklungs- und Schwellenländern. Ungleiche Kräfteverhältnisse zwischen Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern manifestieren sich zusehends. Dominante Akteure, vor allem aus den USA und China, haben eine privilegierte Rolle, um kritische digitale Infrastrukturen zu schaffen, als Marktführer ihre Produkte in Entwicklungs- und Schwellenländern zu verbreiten und durch Regelsetzung den Zugang zu Daten und Informationen einzuschränken. Dadurch entstehen neue Konflikte, bspw. um die Rahmenbedingungen für Online-Handel und die Wertschöpfung aus Daten. **Die digitalisierte Wirtschaft muss daher verstärkt hinsichtlich der Frage diskutiert werden, wie sie gerechte Chancen für Entwicklungs- und Schwellenländer entfalten kann.**

Quellen:

- Agez, M., Wood, R., Margni, M., Strømman, A. H., Samson, R., & Majeau-Bettez, G. (2020). Hybridization of complete PLCA and MRIO databases for a comprehensive product system coverage. *Journal of Industrial Ecology*.
- Andrae, A. S. G. (2019a). Comparison of Several Simplistic High-Level Approaches for Estimating the Global Energy and Electricity Use of ICT Networks and Data Centers. *International Journal*, 5, 51.
- Andrae, A. S. G. (2019b). Projecting the chiaroscuro of the electricity use of communication and computing from 2018 to 2030. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25103.02724>
- Andrae, A. S. G., & Edler, T. (2015). On global electricity usage of communication technology: trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117–157.
- Beier, G., Niehoff, S., Ziem, T., & Xue, B. (2017). Sustainability aspects of a digitalized industry—A comparative study from China and Germany. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4(2), 227–234.
- Beier, G., Ullrich, A., Niehoff, S., Reißig, M., & Habich, M. (2020). Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120856. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120856.
- Cisco Annual Internet Report (2018–2023) (2020), from <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>.
- Fritzsche, K., Niehoff, S., & Beier, G. (2018). Industry 4.0 and Climate Change—Exploring the Science-Policy Gap. *Sustainability*, 10(12), 4511.
- Giesel, F., & Nobis, C. (2016). The impact of carsharing on car ownership in German cities. *Transportation Research Procedia*, 19, 215–224.
- Gillwald, A. (2017). Beyond Access: Addressing Digital Inequality in Africa. Hg. v. Center for International Governance Innovation und Chatham House (Paper Series, 48).
- Hintemann, R., & Clausen, J. (Eds.). 2016. *Green Cloud? The current and future development of energy consumption by data centers, networks and end-user devices*: Atlantis Press.
- IEA (2017). *Digitalization and Energy*. Paris: International Energy Agency.
- Kahlenborn, W., Keppner, B., Uhle, C., Richter, S., & Jetzke, T. (2018). *Die Zukunft im Blick: Konsum 4.0: Wie Digitalisierung den Konsum verändert* Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. Dessau: Umweltbundesamt.
- Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L., Angerer, G., et al. (2016). *DERA Rohstoffinformation: Rohstoffe für die Zukunftstechnologien 2016: Auftragsstudie*.
- Martin, E. W., & Shaheen, S. A. (2011). Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1074–1086. <https://doi.org/10.1109/tits.2011.2158539>
- Martin, E. W., & Shaheen, S.A. (2016): Impacts of Car2go on vehicle ownership, modal shift, vehicle miles traveled, and greenhouse gas emissions: an analysis of five North American cities. *White Paper*, S. 1–26.

- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984–986.
- Riaz, S., Bengtsson, K., Bischoff, R., Aurnhammer, A., Wigström, O., & Lennartson, B. (2016). Energy and peak-power optimization of existing time-optimal robot trajectories. In 2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (pp. 321–327).
- Richard, P., Limbacher, E.-L., & Engelhardt, T. (2017). Analyse der mit erhöhtem IT-Einsatz verbundenen Energieverbräuche infolge der zunehmenden Digitalisierung: Status Quo und Prognosen. dena-Metastudie.
- Safaei, B., Monazzah, A. M. H., Bafroei, M. B., & Ejlali, A. (2017). Reliability side-effects in Internet of Things application layer protocols. In 2017 2nd International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS) (pp. 207–212). IEEE.
- Scharl, S., & Praktijnjo, A. (2019). The Role of a Digital Industry 4.0 in a Renewable Energy System. *International Journal of Energy Research*, 43(8), 3891–3904.
- Stobbe, L., Proske, M., Zedel, H., Hintemann, R., Clausen, J., & Beucker, S. (2015). "Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland". Study for the German Federal Ministry for Economy and Energy (BMWi), Berlin.
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. arXiv preprint arXiv:1906.02243.
- UNCTAD (2019). Digital Economy Report 2019: Value creation and capture-Implications for developing countries. Geneva: UNCTAD.
- van Capelleveen, G., Amrit, C., & Yazan, D. M. (2018). A literature survey of information systems facilitating the identification of industrial symbiosis. In *From Science to Society* (pp. 155–169). Springer.

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) e. V.

Das IASS forscht mit dem Ziel, Transformationsprozesse hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzuzeigen, zu befördern und zu gestalten, in Deutschland wie global. Der Forschungsansatz des Instituts ist transdisziplinär, transformativ und ko-kreativ: Die Entwicklung des Problemverständnisses und der Lösungsoptionen erfolgen in Kooperationen zwischen den Wissenschaften, der Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft. Ein starkes nationales und internationales Partnernetzwerk unterstützt die Arbeit des Instituts. Zentrale Forschungsthemen sind u.a. die Energiewende, aufkommende Technologien, Klimawandel, Luftqualität, systemische Risiken, Governance und Partizipation sowie Kulturen der Transformation. Gefördert wird das Institut von den Forschungsministerien des Bundes und des Landes Brandenburg.

IASS Fact Sheet April 2020

Institute for Advanced Sustainability Studies e. V. (IASS)

Berliner Straße 130
14467 Potsdam
Tel: +49 (0) 331-28822-340
Fax: +49 (0) 331-28822-310
E-mail: media@iass-potsdam.de

www.iass-potsdam.de

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren:

Grischa.Beier@iass-potsdam.de
Kerstin.Fritzsche@iass-potsdam.de

Redaktion:

Sabine Letz und Jonas Brandhorst

ViSdP:

Prof. Dr. Ortwin Renn
Geschäftsführender Wissenschaftlicher Direktor

DOI: 10.2312/iass.2020.017

