

»» Digitalisierung und Klimaschutz im Spannungsfeld: Warum eine nachhaltige Ausrichtung der Digitalisierung wichtig ist

Nr. 341, 3. August 2021

Autorin: Anke Brüggemann, Telefon 069 7431-1736, anke.brueggemann@kfw.de

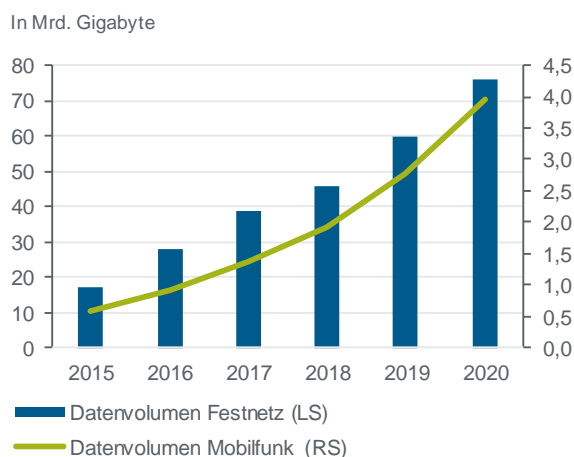
Aus Klimagesichtspunkten ist die Digitalisierung äußerst ambivalent. Einerseits kommt digitalen Technologien eine bedeutende Rolle bei der Umsetzung der Energie-, Verkehrs- und Wärmewende zu – sei es zur besseren Integration von fluktuierenden Erneuerbaren Energien in den Strommarkt oder bei der Hebung von Energieeffizienzpotenzialen durch den Einsatz smarterer Mess-, Regelungs- und Steuerungstechnik. Andererseits führt die zunehmende Digitalisierung selbst zu steigendem Energie- und Ressourcenverbrauch und damit Treibhausgasemissionen (THG). Dies ist das zentrale Ergebnis einer von KfW Research beauftragten Studie, in der das Öko-Institut und das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) die Wechselwirkungen zwischen den beiden Megatrends Digitalisierung und Klimaneutralität vertiefend analysiert haben. Das Forschungskonsortium schätzt, dass gegenwärtig 8 bis 9 % des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland auf die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) entfallen. Der Treibhausgasausstoß durch die Digitalisierung in Deutschland wird aktuell auf mindestens 34 Mio. Tonnen CO_{2e} pro Jahr taxiert. Neben den Emissionen aus der IKT-Nutzung wurden hier auch die Emissionen aus der Herstellung der digitalen Endgeräte und Infrastruktur mit einbezogen. Rein rechnerisch entspricht dies einem Anteil von gut 4 % aller gegenwärtigen THG-Emissionen in Deutschland.

Das Gelingen der digitalen Transformation in der Wirtschaft ist von enormer Bedeutung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und zur Erschließung neuer Wachstumsfelder. Gleichzeitig soll Deutschland bis 2045 klimaneutral werden. Beim Vorantreiben der Digitalisierung müssen daher Klimaschutzaspekte von Anfang an mitbedacht werden. Dabei bedarf es sowohl für die Mobilisierung der Chancen der Digitalisierung für den Klimaschutz als auch für die Eindämmung negativer Umwelteffekte politischer Leitplanken. Wichtige Ansatzpunkte zur Minderung von THG-Emissionen im Digitalsektor sind die Steigerung der Energieeffizienz von IKT-Endgeräten und Rechenzentren, die Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT-Geräten, die Forcierung der Kreislaufwirtschaft im Bereich der IKT, die Entwicklung effizienter Software sowie der Einsatz von Erneuerbaren Energien für die Stromversorgung von IKT-Infrastruktur.

Megatrend Digitalisierung ...

Die Digitalisierung hält Einzug in nahezu allen Lebens- und Arbeitsbereichen der Gesellschaft, und es ist unbestritten, dass die Bedeutung digitaler Technologien und Geschäftsmodelle noch weiter zunehmen wird – auch mit Blick auf die Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Die Entwicklung ist geprägt durch eine zunehmende Vernetzung einer immer größeren Anzahl von digitalen Endgeräten und Nutzern, wachsende Datenmengen, den zunehmenden Einsatz Künstlicher Intelligenz sowie steigende Rechen- und Speicherkapazitäten. Der digitale Wandel in Deutschland spiegelt sich etwa in stark wachsenden Datenübertragungsmengen im Fest- und Mobilfunknetz wider. Laut Angaben der Bundesnetzagentur hat sich allein zwischen 2015 und 2020 die jährliche Datenübertragung durch Breitbandanschlüsse im Festnetz mehr als vervierfacht, im Mobilfunk sogar versiebenfacht (Grafik 1). Im Zuge der Coronapandemie haben digitale Technologien in Deutschland einen zusätzlichen Bedeutungsschub erhalten. Das veränderte Nutzungsverhalten der Verbraucher während der Pandemie führte im Jahr 2020 zu einem sprunghaften Anstieg des Datenvolumens (+27 % im Festnetz, +44 % im Mobilfunk) – insbesondere getrieben durch das Streamen von Filmen, Online-Computerspiele, Homeoffice und Videokonferenzen.

Grafik 1: Entwicklung des Datenvolumens in Festnetzen und Mobilfunk



Quelle: Bundesnetzagentur (Jahresbericht 2020); Daten für Deutschland

... trifft auf Megatrend Klimaneutralität

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis spätestens 2045 klimaneutral zu sein, d. h. ab dann sollen netto keine Treibhausgasemissionen (THG) mehr emittiert werden. Bis zum Jahr 2030 soll der THG-Ausstoß zunächst um mindestens

65 % gegenüber 1990 gesenkt werden (Stand 2020: -41 %). Digitalen Technologien werden beim klimagerechten Umbau zentraler wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Bereiche, wie etwa Energieversorgung, Industrie, Verkehr und Wohnen, eine hohe Bedeutung beigemessen. Gleichzeitig ist die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) aber selbst für einen steigenden Anteil des Energie- und Ressourcenverbrauchs weltweit verantwortlich. Schätzungen gehen davon aus, dass im Jahr 2020 zwischen 1,8 und 3,2 % der weltweiten THG-Emissionen auf die Herstellung, Nutzung und Entsorgung digitaler Endgeräte und Infrastrukturen (Rechenzentren, Telekommunikationsnetze) zurückzuführen sind.¹ Wäre die IKT ein Staat, stünde sie damit an fünfter Stelle in der Liste der größten Emittenten weltweit, knapp vor Japan.

Vor diesem Hintergrund hat KfW Research eine Studie beim Öko-Institut und dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) in Auftrag gegeben, die die Wechselwirkungen zwischen den beiden Megatrends Digitalisierung und Klimaneutralität vertiefend analysiert. Im Fokus der Studie stehen sowohl die Chancen der Digitalisierung für die Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele in Deutschland als auch die Risiken, die aus dem IKT-bedingten Mehrausstoß von Treibhausgasen resultieren. Darüber hinaus werden Ansatzpunkte zur Erschließung von THG-Minderungspotenzialen in der Informations- und Kommunikationstechnologie näher beleuchtet. Die zentralen Ergebnisse dieser Studie, ergänzt durch eigene Analysen von KfW Research, werden im Folgenden kompakt dargestellt.²

Digitale Technologien sind wichtiger Baustein bei der Umsetzung der Energie-, Verkehrs- und Wärmewende

Die Studie beschreibt konkrete Anwendungsbeispiele digitaler Technologien für die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Gebäude und Industrie, die ein großes Potenzial zur Verringerung von THG-Emissionen entfalten können. Exemplarisch näher beleuchtet wurden u. a. virtuelle Kraftwerke, Videokonferenzen im beruflichen Kontext, die serielle Sanierung von Gebäuden unter Verwendung digitaler Technologien sowie Maßnahmen zur automatisierten Flexibilisierung der industriellen Stromnachfrage in Abhängigkeit der Netzbelastung (siehe Infobox).

Infobox: Digitale Anwendungsbeispiele mit erwarteten positiven Klimaschutzeffekten³

Virtuelle Kraftwerke (VK)

Ein virtuelles Kraftwerk ist ein Zusammenschluss von dezentralen Einheiten im Stromnetz, die über ein gemeinsames Leitsystem koordiniert werden. Die dezentralen Einheiten können Stromproduzenten – wie Biogas, Windkraft- oder Photovoltaikanlagen –, Stromverbraucher oder Stromspeicher sein. Zweck des VK ist die gemeinsame Vermarktung von Strom und Flexibilität aus dem Schwarm der aggregierten Anlagen. So können sie einen wichtigen Beitrag zur Integration von fluktuierenden Erneuerbaren Energien in den Strommarkt und zur Stabilisierung des Stromnetzes leisten. Ferner fördern sie die Integration kleiner dezentraler Anlagen, die so aktiv am Markt agieren können. In Deutschland gibt es bereits Anbieter virtueller

Kraftwerke, die EEG-Anlagen Dritter zusammenschließen und für diese die Direktvermarktung übernehmen.

Videokonferenzen im beruflichen Kontext

Videokonferenzen können lange Dienst- und Geschäftsreisen substituieren und damit in erheblichem Umfang zur Einsparung von THG-Emissionen beitragen. Eine Beispielrechnung zeigt, dass der Ersatz von vier (Präsenz) Fachveranstaltungen pro Jahr durch virtuelle Konferenzen den individuellen CO₂-Fußabdruck für Konferenzteilnahmen um ca. 94 % mindert (Reduktion von 88,6 auf 5,6 kg CO_{2e}). Angenommen wurde bei den Präsenzveranstaltungen eine Pkw-Anfahrt zum Bahnhof mit 10 km und eine Bahnreise im Fernverkehr mit 300 km (jeweils eine Wegstrecke). Wenn für den Konferenzbesuch anstelle der Bahnfahrt ein Inlandsflug ersetzt würde, wären die THG-Minderungspotenziale noch größer. Allein die Anreise per Flugzeug würde gut eine halbe Tonne CO_{2e} pro Jahr ausmachen.

Serielle Sanierung von Gebäuden

Die serielle Sanierung ist ein Konzept, bei dem die energetische Modernisierung von Gebäuden durch eine Vereinheitlichung von Prozessen in Planung, Produktion und Umsetzung sowie den Einsatz moderner Digitaltechnologien erfolgt. Grundlage für die Planung der Sanierung ist ein 3D-Scan des Gebäudes. Danach werden die Bauelemente – Fassade, Dach, Haustechnik – basierend auf Ansätzen aus der Fertigbaubranche passgenau industriell vorgefertigt. Es wird erwartet, dass die serielle Sanierung ein hohes Potenzial zur Reduktion der Sanierungskosten aufweist und damit ein wichtiger Beitrag zur Steigerung der Sanierungsrate und -tiefe geleistet werden kann. Das Konzept der seriellen Sanierung wurde in den Niederlanden entwickelt, wo bereits ca. 5.000 serielle Sanierungen durchgeführt wurden. In Deutschland wurde Anfang 2021 ein erstes Pilotprojekt im Zuge der energetischen Modernisierung eines Wohnblocks in Hameln abgeschlossen.

Flexibilisierung der industriellen Stromnachfrage (Lastmanagement, Demand-Side-Management)

Die Umgestaltung des Strommarktes auf Erneuerbare Energien erfordert neben der geänderten Bereitstellung der Energie auch eine flexiblere Nutzung, die in einer gewissen Bandbreite auf das fluktuierende Angebot an Erneuerbarer Energie im Markt reagieren kann. Der Industriesektor ist hier eine relevante Größe. Durch gezielte Anpassung und Steuerung der Stromnachfrage mithilfe digitaler Technologien kann beispielsweise der Chemiesektor einen wichtigen Flexibilitätsbeitrag bei entsprechenden netzseitigen Anreizen leisten. Viel versprechende Flexibilitätsoptionen sind hier die Hybridisierung der Wärmeerzeugung (Wechsel zwischen strom- und gasbetriebener Wärmeerzeugung), elektrisch beheizte Wärmespeicher sowie die Herstellung/Nutzung strombasierter synthetischer Brenngase (z. B. grüner Wasserstoff). Die wirtschaftlichen Anreize sind allerdings bislang zu gering, um dem Lastmanagement in Deutschland einen größeren Stellenwert zu verschaffen.

Eine umfassende und konsistente Quantifizierung der THG-Minderungspotenziale durch die Digitalisierung liegt bislang nicht vor. Die Bandbreite berechneter Potenziale in der Literatur ist aufgrund unterschiedlicher Annahmen und methodischer Herangehensweisen groß. Herausforderungen und Fallstricke sind u. a. die Festlegung geeigneter Referenzszenarien sowie die Schätzung der erwarteten Marktdurchdringung der jeweiligen digitalen Anwendungen. Darüber hinaus werden Reboundeffekte (Mehrkonsum aufgrund IKT-bedingter Einsparungen von Geld oder Zeit) sowie Induktionseffekte (Mehrkonsum aufgrund gesteigerter Optionen durch digitale Technologien), die Einsparerfolge schmälern können, nur selten in den Studien berücksichtigt.⁴ Zudem wählen die meisten Fallstudien systematisch Anwendungsfälle mit positivem THG-Reduktionspotenzial aus und vernachlässigen Anwendungsfälle mit Potenzial zur Erhöhung der THG-Emissionen. Dazu gehören beispielsweise Digitalanwendungen mit den Schwerpunkten Unterhaltung und Komfortsteigerung.

Trotz aller methodischer Unsicherheiten leisten die vorliegenden Potenzialstudien einen wichtigen Beitrag bei der Identifizierung von digitalen Technologien, die bei der Transformation Richtung Klimaneutralität eine bedeutende Rolle einnehmen dürften. Eine jüngst veröffentlichte Studie, die im Auftrag des Digitalverbands Bitkom erstellt wurde, sieht in den folgenden digitalen Anwendungsbereichen die größten Netto-THG-Minderungspotenziale für Deutschland unter Berücksichtigung des THG-Fußabdrucks der eingesetzten digitalen Technologien:⁵

- **Energie:** Maßgebliche Technologien im Energiesektor sind zum einen Smart Grids – intelligente Stromnetze, bei denen Stromerzeuger, Netzbetreiber, Stromverbraucher und Strom speichernde Komponenten mittels IKT untereinander vernetzt sind, und sich so in Echtzeit über ihren aktuellen Betriebszustand, Energieverbrauch und Energiebedarf austauschen können. Dadurch wird eine effizientere Steuerung und Ausnutzung der Stromnetze ermöglicht. Zudem können dezentral angesiedelte erneuerbare Energiequellen besser in das Netz integriert werden. Zum anderen werden große Einsparpotenziale bei der digitalen Überwachung von Erneuerbare Energien Anlagen (z. B. Windkraftanlagen) erwartet, wodurch Ausfälle durch vorausschauende Wartung vorgebeugt und die Anlagenauslastung erhöht werden kann.
- **Verkehr:** Bedeutende Hebel zur THG-Minderung im Verkehr sind intelligente Systeme zur Optimierung des Verkehrsflusses sowie smarte Logistikkonzepte, bei denen mittels IKT Frachtrouten optimiert und Leerfahrten vermieden werden. Auch digitale Anwendungsbereiche wie Sharing Mobility, mobiles Arbeiten, der Ersatz von Geschäftsreisen durch Videokonferenzen sowie Telemedizin könnten einen maßgeblichen Beitrag zur Reduzierung der Verkehrsbelastung und somit des Kraftstoffverbrauchs leisten.
- **Gebäude:** Im Bereich der Smart Home-Systeme bietet die Nutzung digitaler Technologien zur automatischen und bedarfsgerechten Steuerung von Heizungstechnologien

erhebliche kurzfristig realisierbare Energieeinsparpotenziale. Auch in großen Büros und Geschäftshäusern können digitale Lösungen zur Anwendung kommen, die Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung je nach Wetterbedingungen, Nutzungsverhalten oder Anzahl der anwesenden Personen automatisch regeln.

- **Industrie:** Eine viel versprechende Technologie in der Industrie liegt in der Automatisierung der Produktion, bei der Anlagen, Maschinen, Werkstücke und ihre Bauteile miteinander vernetzt sind und Prozesse selbstständig gesteuert werden (Industrie 4.0, Smart Manufacturing). Die effizientere Steuerung der Produktionsprozesse bietet die Möglichkeit, Energie- und Materialverluste zu reduzieren. Darüber hinaus birgt die Verwendung von digitalen Zwillingen deutliche THG-Einsparpotenziale. Beim digitalen Zwilling wird ein datenbasiertes virtuelles Modell eines physikalisch real existierenden Industriebetriebs erstellt. Dadurch können Unternehmen Optimierungsprozesse vorab im digitalen Raum testen, bevor diese im realen Betrieb Einzug finden – so können Energie und Ressourcen eingespart werden.
- **Landwirtschaft:** In der Landwirtschaft könnte u. a. durch den Einsatz intelligenter Düngemittel-Applikatoren mit variabler Dosiermenge und exakter Vorabanalyse der Bodenbeschaffenheit die Ausbringung von energieintensiven Düngemitteln auf den Feldern erheblich reduziert werden.

THG-Nettobilanzen digitaler Technologien nicht immer eindeutig: das Beispiel Homeoffice

Die THG-Emissionen für zurückgelegte Arbeitswege machen derzeit ca. 25 % der Gesamtemissionen des Verkehrssektors in Deutschland aus.⁶ Nach wie vor wird der Berufsverkehr stark vom privaten Pkw dominiert. Der Wandel der beruflichen Mobilität ist daher ein wesentlicher Baustein einer erfolgreichen Verkehrs- und Energiewende. Viel diskutiert wird dabei der Bereich der mobilen Arbeit bzw. das Arbeiten im Homeoffice. Durch eine mögliche Verlagerung der Arbeit nach Hause mithilfe von IKT können tägliche Arbeitswege reduziert und verkehrsspezifische Treibhausgasemissionen eingespart werden. Um die Einsparpotenziale gesamtheitlich abzuschätzen, müssen in Bezug auf mobile Arbeit über eingesparte Emissionen aus dem Verkehr aber auch gegenläufige Effekte mit in Betracht genommen werden, wie z. B. der Energieverbrauch für IKT, Wärme und Beleuchtung am heimischen Arbeitsplatz.

Vor diesem Hintergrund haben Öko-Institut und IZT für zwei konkrete Homeoffice-Ausgestaltungsvarianten den individuellen CO₂-Fußabdruck berechnet, um Aussagen zu zusätzlichen umweltrelevanten Aufwendungen und mögliche Verlagerungseffekte abzuleiten. In Grafik 2 sind die für die Berechnungen zugrunde liegenden Annahmen zusammengefasst. Um die mögliche Bandbreite des THG-Ausstoßes abzubilden, wird eine Minimalvariante der IKT-Ausstattung am heimischen Arbeitsplatz (Nutzung des vorhandenen Laptops aus der Arbeit plus zusätzlicher Monitor) sowie ein komplett ausgestatteter Heimarbeitsplatz (zusätzlicher Desktop-PC

mit Monitor plus zusätzlicher Drucker plus eigenes Arbeitszimmer) angenommen. Bei beiden Varianten wird unterstellt, dass regelmäßig Daten mit dem Rechenzentrum bzw. Serverraum des Arbeitgebers ausgetauscht oder andere Cloud-Dienstleistungen genutzt werden.

Der jährliche CO₂-Fußabdruck des voll ausgestatteten Heimbüros liegt vierfach höher als die Variante mit IKT-Minimalausstattung ohne eigenes Arbeitszimmer. Beim voll ausgestatteten Heimbüro schlägt vor allem der THG-Mehrausstoß durch die Herstellung der digitalen Endgeräte sowie die zusätzliche Beheizung des Arbeitszimmers durch. Der Vergleich mit den vermiedenen verkehrsbedingten THG-Emissionen durch das Homeoffice – unterstellt wurde eine Entfernung zum regulären Arbeitsort von 10 km – zeigt, dass mobiles Arbeiten nicht a priori aus Klimagesichtspunkten vorteilhaft ist. Ob und in welchem Umfang gegenüber der Präsenzarbeit im Büro tatsächlich THG-Emissionen eingespart werden, ist stark abhängig von der IKT-Geräteausstattung im Homeoffice, dem dabei genutzten Arbeitsraum sowie dem substituierten Verkehrsmittel. Je mehr Pkw-Fahrten ins Büro langfristig vermieden werden können, umso höher ist das THG-Einsparpotenzial. Werden jedoch vorwiegend kurze Arbeitswege substituiert, die mit klimafreundlichen Fortbewegungsmitteln zurückgelegt werden, führt Homeoffice durch den Energiemeherverbrauch am heimischen Arbeitsplatz nicht zu einer CO₂-Entlastung (Rebound-Effekt). Dabei gehen die Berechnungen davon aus, dass beim Arbeitgeber keine nennenswerten THG-Einsparereffekte zu erwarten sind, da selbst bei einem hohen Anteil an Homeoffice Büroflächen kurz- und mittelfristig weiterhin Bestand haben und besetzt sein werden. Beim Abbau von parallelen Arbeitsplatzinfrastrukturen ließen sich aber langfristig weitere THG-Minderungspotenziale erschließen.

Zunehmende Digitalisierung führt selbst zu steigendem Energieverbrauch ...

Auch wenn die Verwendung digitaler Technologien auf den

ersten Blick sauber erscheint, weil sie keine sichtbaren Emissionen verursacht, ist sie keineswegs klimaneutral. Sowohl die Herstellung als auch die Nutzung von digitalen Endgeräten, Rechenzentren und Datenübertragungsnetzen sind mit Energie- und Ressourcenverbräuchen verbunden. Auch hier liegen bislang keine umfassenden Analysen zu den Umweltwirkungen der Digitalisierung in Deutschland vor. Basierend auf einer Studie aus dem Jahr 2015 zur Prognose des Strombedarfs der Informations- und Kommunikationstechnik in Deutschland⁷ und einer Bitkom-Studie (2020) zum globalen THG-Ausstoß digitaler Technologien⁸ haben Öko-Institut und IZT eine näherungsweise Abschätzung des aktuellen Stromverbrauchs und der THG-Emissionen durch die Digitalisierung in Deutschland vorgenommen. Demnach wird der jährliche Strombedarf für die Nutzung digitaler Technologien in Deutschland aktuell auf ca. 45 bis 50 TWh geschätzt. Gemessen an den gesamten Stromverbrauch in Deutschland im Jahr 2019, dem letzten Jahr vor der Corona-Pandemie mit 577 TWh⁹, entspricht dies einem Anteil von rund 8 bis 9 %. Berücksichtigt wurden bei dieser Berechnung sowohl der Stromverbrauch bei der Nutzung digitaler Geräte in privaten Haushalten (einschließlich TV), am Arbeitsplatz, in der Gebäudeversorgung und in der öffentlichen Infrastruktur als auch der Verbrauch beim Betrieb von Rechenzentren und Datenübertragungsnetzen. Eine kürzlich veröffentlichte BDEW-Statistik zeigt, dass bei den privaten Haushalten die Informations- und Kommunikationstechnik mit 27,3 % mittlerweile einen sehr hohen Anteil am durchschnittlichen Stromverbrauch hat, mit deutlichem Abstand gefolgt von den Anwendungsbereichen Waschen und Trocknen mit gut 13 % und Beleuchtung mit knapp 13 %.¹⁰

Mit Blick auf die Zukunft wird in den nächsten Jahrzehnten mit einem weiteren Anstieg des IKT-bedingten Strombedarfs gerechnet – resultierend aus einer weiteren Zunahme der Ausstattung von Haushalten und Unternehmen mit digitalen Geräten sowie einen steigenden Energiebedarf für Rechenzentren und Datenübertragung.¹¹ Wesentliche Treiber für

Grafik 2: Homeoffice – Abschätzung des individuellen jährlichen CO₂-Fußabdrucks für zwei Szenarien

Annahmen	Szenario 1: IKT-Minimalausstattung	Szenario 2: Vollausgestattetes Heimbüro
IKT-Geräteausstattung	Nutzung des vorhandenen Laptops aus der Arbeit, Nutzung des Routers, zusätzlicher Monitor	Zusätzlicher Desktop-PC mit Monitor, Nutzung des Routers, zusätzlicher Drucker
IKT-Nutzung	220 Arbeitstage pro Jahr, acht Stunden pro Arbeitstag, 4 GB Datenmenge pro Arbeitstag	
Beleuchtung und Beheizung des Arbeitsraums	entfällt (Mitnutzung von Räumen, die ohnehin beheizt und beleuchtet werden)	Arbeitsraum mit 12 m ² Fläche, Beleuchtung: 50 Watt à 8 Stunden, Heizwärmebedarf 105 kWh/(m ² a) – hälftig angerechnet auf die berufliche Nutzung
THG-Ausstoß gesamt (in kg CO_{2e} pro Jahr)	95,0	443,0
davon:		
Herstellung digitaler Endgeräte	17,6	111,2
Nutzung digitaler Endgeräte	52,7	138,1
Nutzung Internet / Datenverkehr	24,7	24,7
Beleuchtung Homeoffice	0,0	41,2
Beheizung Homeoffice	0,0	127,9

Zum Vergleich:

Vermiedene verkehrsbedingte THG-Emissionen (bei 10 km Entfernung zum Arbeitsort):

- Pkw-Nutzung (einfach besetzt): 647 kg CO_{2e}/a
- Nutzung ÖPNV: 304 kg CO_{2e}/a
- Nutzung Fahrrad: 0 kg CO_{2e}/a

Quelle: Gensch et al. (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität: Welche Chancen und Risiken ergeben sich durch die Digitalisierung?

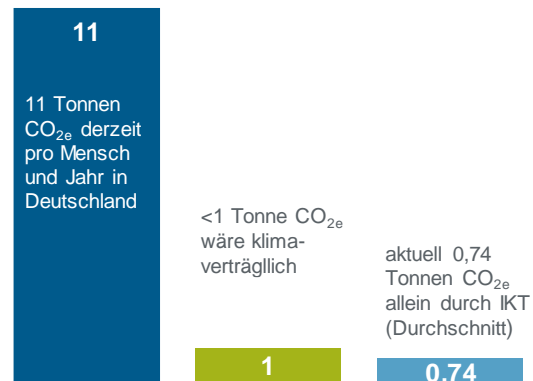
den ansteigenden Strombedarf von Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen sind die intensivere Internetnutzung, u. a. durch das Streaming von hochauflösenden Videos, der zunehmende Einsatz von Künstlicher Intelligenz und das Internet der Dinge¹². Durch die Vernetzung von Maschinen, Fahrzeugen, Elektrogeräten und Gebäudetechnik steigt die Anzahl der netzwerkfähigen Objekte, d. h. Sensoren, Steuerelemente und Anzeigesysteme deutlich an und der Netzwerkbedarf erhöht sich allein durch die Anbindung dieser Objekte, da relativ unabhängig von der spezifischen Nutzung, der Signalisierungsaufwand in den IKT-Infrastruktursystemen zu Datenverkehr führt.¹³

... und zunehmenden THG-Emissionen

Nach Schätzung von Öko-Institut und IZT belaufen sich die jährlichen THG-Emissionen in Deutschland durch die Digitalisierung derzeit auf insgesamt rund 34 Mio. Tonnen CO_{2e}. Neben den Emissionen aus der IKT-Nutzung wurden hier auch die Emissionen aus der Herstellung der digitalen Endgeräte und Infrastruktur mit einbezogen.¹⁴ Rein rechnerisch entspricht dies einem Anteil an dem gesamten deutschen THG-Ausstoß im Jahr 2019 von gut 4 %. Dabei fallen die THG-Emissionen aus dem Herstellungsaufwand von IKT-Endgeräten und der IKT-Infrastruktur in großen Teilen außerhalb Deutschlands an. Bei der Interpretation der vorgenommenen Abschätzung ist zudem zu beachten, dass die zugrunde gelegten Literaturdaten zum prognostizierten Strombedarf aus dem Jahr 2015 aufgrund der dynamischen Entwicklung des IKT-Sektors inzwischen als überholt angesehen werden, d. h. die durchgeführte Abschätzung dürfte die tatsächlichen THG-Emissionen eher unter- als überbewerten.

Ein anderer Weg, um Umweltwirkungen von digitalen Anwendungen abzubilden, sind Berechnungen des individuellen digitalen CO₂-Fußabdrucks. Aktuelle Ergebnisse zeigen bei einer angenommenen durchschnittlichen privaten Nutzung von digitalen Geräten und Dienstleistungen einen Footprint von rund 740 kg CO_{2e} pro Jahr und Person, bei intensiver Nutzung steigt dieser Wert auf rund 1.050 kg CO_{2e} pro Jahr an.¹⁵ Dabei umfasst der Untersuchungsrahmen sowohl die Herstellung als auch die Nutzung von digitalen Endgeräten und Dienstleistungen (wie z. B. Video- oder Musikstreaming). Bei beiden Nutzungsprofilen zeigt sich, dass der THG-Ausstoß bei der Herstellung der IKT-Geräte keineswegs vernachlässigbar ist. Sein Anteil liegt zwischen 50 und 60 % des digitalen CO₂-Fußabdrucks. Setzt man die Ergebnisse des digitalen CO₂-Fußabdrucks in Bezug zu den jährlichen Pro-Kopf-Emissionen in Deutschland von derzeit rund 11 t CO_{2e}, ergeben sich Anteile zwischen 6,7 und 9,5 %. Mit Blick auf die ambitionierten Klimaschutzziele sind diese Anteile problematisch, da diese bedingt durch eine zunehmende Ausstattung an IKT-Geräten und intensiverer Nutzung eher noch ansteigen werden. Zum Vergleich: Um die Erderwärmung gemäß Pariser Klimaschutzabkommen auf deutlich unter zwei Grad zu halten, wird bis 2050 eine Absenkung der gesamten jährlichen THG-Emissionen eines jeden Bundesbürgers auf unter eine Tonne für notwendig gehalten (Grafik 3).¹⁶

Grafik 3: Carbon Footprint eines jeden Bundesbürgers



Quelle: Eigene Darstellung KfW Research auf Basis von Daten des Umweltbundesamts und Öko-Instituts

THG-Minderungspotenziale im Digitalektor konsequent heben

Selbst wenn die vorgerechneten Zahlen nur eine Schätzung darstellen, so zeigen sie jedoch allein aufgrund ihrer Größenordnung, dass sowohl bei den digitalen Endgeräten als auch in den Datennetzwerken und den Rechenzentren noch erhebliche Anstrengungen unternommen werden müssen, Treibhausgasemissionen zu senken. Dabei steigt der Handlungsdruck: Um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele erreichen zu können, muss der Digitalektor wie alle anderen Wirtschaftsbereiche bis Mitte dieses Jahrhunderts weitgehend klimaneutral ausgerichtet sein. Wichtige Ansatzpunkte zur Erschließung von THG-Minderungspotenzialen sind:

- **Weitere Steigerung der Energieeffizienz von IKT-Endgeräten, Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen:** Bei den digitalen Endgeräten lassen sich u. a. durch technische Optimierungen und eine intensivere Nutzung energiesparenderer mobiler Endgeräte wie Notebooks, Tablets oder Smartphones anstelle von Desktop-PCs weitere Energieeinsparpotenziale heben. Bei der Modernisierung und Neuerrichtung von Rechenzentren bergen u. a. die Bereiche Kühlung, Klimatisierung, Lüftung und Abwärmenutzung große Treibhausgasminierungspotenziale. Hinzu kommt, dass viele Rechenzentren überdimensioniert sind und entsprechend nur mit geringer Auslastung arbeiten.¹⁷ Durch eine bedarfsgerechtere Planung und den Einsatz modular zuschaltbarer oder erweiterbarer Komponenten könnten Rechenzentren effizienter betrieben werden. Mit Blick auf die Telekommunikationsnetze birgt der Ausbau von Glasfasernetzen Energieeffizienzvorteile gegenüber anderen Übertragungstechnologien beim Breitbandausbau. Beim Mobilfunk sind moderne 5G-Infrastrukturen um einen Faktor von 20 effizienter bei der Datenübertragung als alte 3G-Netze (UMTS) und verglichen mit dem derzeit gängigen 4G-Mobilfunknetz (LTE) dreifach effizienter.¹⁸
- **Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT-Geräten:** Die Herstellung von IKT-Geräten ist sehr energie- und ressourcenintensiv und belastend für die Umwelt. So kann beispielsweise die Herstellungsphase zwischen 56 und 75 %

der Gesamttreibhausgasemissionen eines Notebooks ausmachen. Insofern ist es sinnvoll, Notebooks so lange wie möglich zu nutzen und gegebenenfalls aufzurüsten oder zu reparieren, anstatt in kurzen Intervallen neue Notebooks zu beschaffen. Neue, womöglich energieeffizientere Computergenerationen werden dadurch zwar erst später in Betrieb genommen, der daraus resultierende THG-Mehrausstoß wird allerdings durch die Nutzungsdauerverlängerung der Hardware überkompensiert.¹⁹

- **Kreislaufwirtschaft im Bereich der IKT vorantreiben:** Energie- und Rohstoffeinsparungen lassen sich auch durch ein ressourceneffizientes und recyclinggerechtes Produktdesign der IKT-Hardware erzielen. Viele digitale Endgeräte zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an wertvollen und knappen Werkstoffen aus, wie z. B. Platingruppenmetalle, Seltene Erden oder Edelmetalle. Die Gewinnung und Verarbeitung dieser Materialien ist oftmals mit erheblichem Energie- und Ressourcenverbrauch sowie Umweltbelastungen verbunden.²⁰ Gleichzeitig ist die ausreichende Versorgung dieser Technologiemetalle, die für viele Zukunftstechnologien von großer Bedeutung sind, risikobehaftet, weil die vorhandenen Rohstoffreserven auf einzelne Länder oder Unternehmen konzentriert sind. Durch die Kreislaufführung solcher Rohstoffe könnte sich Deutschland von Importen unabhängiger machen und gleichzeitig die Umwelt schonen. Um dieses Rohstoffpotenzial vermehrt erschließen zu können, bedarf es allerdings stärkerer Anreize für das Recycling sowie innovative Recyclingverfahren.
- **Entwicklung effizienter Software:** Softwareprodukte sind zwar immaterielle Güter, die Nutzung von Software kann aber erhebliche Stoff- und Energieströme auslösen. Erst seit wenigen Jahren wird zunehmend erkannt, dass Eigenschaften der Software entscheiden, welche Hardwarekapazitäten vorgehalten werden und wie viel elektrische Energie in Endgeräten, Netzwerken und Rechenzentren verbraucht wird. Das Softwaredesign ist oftmals auch verantwortlich für den frühzeitigen Austausch vermeintlich leistungsschwacher Hardware.²¹
- **Einsatz von Erneuerbaren Energien für die Stromversorgung von IKT-Infrastruktur:** Darüber hinaus kann der CO₂-Fußabdruck der Digitalisierung durch den Einsatz von Strom aus Erneuerbaren Energien reduziert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Elektrifizierung bei der Dekarbonisierung der Sektoren Verkehr, Wärme und Industrie eine zentrale Rolle spielen wird und die Stromnachfrage entsprechend in den nächsten Jahrzehnten stark ansteigen wird. Um hier hohe Anteile an Erneuerbare Energien erreichen zu können, ist angesichts bestehender Flächenrestriktionen für den Ausbau Erneuerbarer Energien die Senkung des Energieverbrauchs bzw. die Steigerung der Energieeffizienz in allen Wirtschaftsbereichen unerlässlich – auch aus Kostengesichtspunkten. Klimaschutzstrategien im Digitalsektor, die ausschließlich auf den

Bezug von Erneuerbare Energien Strom abzielen, sind daher nicht ausreichend.

Fazit: politische Leitplanken für nachhaltige Ausrichtung des Digitalsektors erforderlich

Mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität ist bei der Digitalisierung gegenwärtig eine ambivalente Entwicklung festzustellen. Zwar bieten digitale Technologien in vielen Sektoren Chancen, ambitionierte Klimaschutzziele zu erreichen. Diesen Chancen stehen jedoch auch Risiken gegenüber, bedingt durch den wachsenden Energie- und Ressourcenverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Diese Risiken ergeben sich durch den Energie- und Ressourcenbedarf für die zunehmende Herstellung und Nutzung von IKT-Endgeräten und der IKT-Infrastruktur, aber auch durch indirekte Auswirkungen infolge von Rebound- und Induktionseffekten. Dies gilt insbesondere für digitale Anwendungen, die keine bestehenden Angebote ersetzen, sondern neue Konsummöglichkeiten mit zusätzlichen THG-Emissionen ermöglichen.

Das Gelingen der digitalen Transformation in der Wirtschaft ist von enormer Bedeutung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und zur Erschließung neuer Wachstumsfelder. Gleichzeitig soll Deutschland bis 2045 klimaneutral werden. Beim Vorantreiben der Digitalisierung müssen daher Klimaschutzaspekte von Anfang an mitbedacht werden. Dabei bedarf es sowohl für die Mobilisierung der Chancen der Digitalisierung für den Klimaschutz als auch für die Eindämmung negativer Umwelteffekte einer effektiven und kohärenten politischen Steuerung. Bisher geringe Marktanreize machen politische Leitplanken erforderlich. Um hierfür bessere Entscheidungsgrundlagen für die Politik zu schaffen, wäre ein kontinuierliches Monitoring der Umweltwirkungen der Digitalisierung sowie eine umfassende Analyse der Treibhausgasminderungspotenziale digitaler Technologien zu begrüßen.

Um Energieeffizienzpotenziale in der IKT zu erschließen, sollten vor allem bestehende Instrumente zur Förderung von Green IT fortentwickelt und an die Innovationsdynamik digitaler Technologien angepasst werden. Beispielweise sollte geprüft werden, ob die EU-Öko-Design-Richtlinie, die Mindestanforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energierelevanter Produkte festlegt, auf weitere IKT-Anwendungen ausgedehnt und um Aspekte der Ressourceneffizienz ergänzt werden könnte. Mit dem Ziel der Nutzungsverlängerung von IKT-Endgeräten wären auf europäischer Ebene auch verbindliche Regelungen zur Bereitstellung von Softwareupdates und zur Reparierbarkeit von Endgeräten wünschenswert. Darüber hinaus ist auch die Beschleunigung des Ausbaus der Erneuerbaren Energien für die Digitalisierung zentral, um den verbleibenden Strombedarf in der IKT-Infrastruktur langfristig klimaneutral decken zu können. Neben gezielten Fördermaßnahmen kann zudem eine wirksame CO₂-Bepreisung helfen, die Marktdurchdringung von nachhaltigen digitalen Geschäftsmodellen zu beschleunigen.

- ¹ Vgl. Bieser, J.; Hintemann, R.; Beucker, S. et al. (2020): Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken. Kurzstudie im Auftrag der Bitkom e. V.
- ² Für die vollständige Studie siehe: Gensch, C.; Degel, M.; Fritzsche, K. et al. (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität: Welche Chancen und Risiken ergeben sich durch die Digitalisierung?, Öko-Institut e.V. und IZT-Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH im Auftrag der KfW.
- ³ Vgl. Gensch, C.; Degel, M.; Fritzsche, K. et al. (2021): a. a. O.
- ⁴ Beim Reboundeffekt werden durch Effizienzsteigerungen erzielte Einsparungen teilweise oder ganz durch Mehrverbräuche an anderer Stelle kompensiert. Beispiel: Durch eine effizientere Motorsteuerung sinken die Kosten pro gefahrenen Kilometer. Deswegen nutzen viele Verbraucher ihr Auto öfter oder erwerben aufgrund der geringeren Treibstoffkosten ein größeres Auto. Beim Induktionseffekt geht es darum, dass digitale Technologien eine Nachfrage nach Dingen erzeugen, die es ohne sie nicht geben würde. Beispiel: Durch E-Commerce können Einkaufsfahrten von Haushalten vermieden werden, allerdings wird zusätzliche Transportnachfrage nach Verteilung der Waren von den Lagern zu den Haushalten induziert.
- ⁵ Vgl. accenture (2021): Klimaeffekte der Digitalisierung. Von Bitkom beauftragte Studie zu Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz.
- ⁶ Schelewski, M.; Follmer, R.; Dickmann, C. (2020): CO2-Fußabdrücke im Alltagsverkehr. Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in Deutschland. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (Texte 224/2020).
- ⁷ Vgl. Stobbe, L.; Hintemann, R.; Clausen, J. et al. (2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland. Studie im Auftrag des BMWi.
- ⁸ Vgl. Bieser, J.; Hintemann, R.; Beucker, S. et al. (2020): a. a. O.
- ⁹ Vgl. AG Energiebilanzen (2021): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020.
- ¹⁰ Vgl. BDEW (2021): Konjunktur und Energieverbrauch. Ausgabe 04/2021.
- ¹¹ Vgl. Sensfuß, F.; Lux, B.; Bernath, C. et al. (2021): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. Kurzbericht: 3 Hauptszenarien. Studie im Auftrag des BMWi.
- ¹² Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) verbindet physische Objekte mit der virtuellen Welt. Intelligente Geräte und Maschinen sind dabei miteinander und mit dem Internet vernetzt (Beispiele: Smart-Home-Anwendungen, autonomes Fahren).
- ¹³ Vgl. Stobbe, L.; Hintemann, R.; Clausen, J. et al. (2015): a. a. O.
- ¹⁴ Die THG-Emissionen aus der Herstellung wird auf ein Jahr bezogen, indem die gesamten Emissionen durch die Anzahl an Jahren der Nutzungsdauer der digitalen Geräte bzw. Infrastruktur geteilt werden. Daneben beinhalten die abgeschätzten Emissionen aus der Herstellung sowohl die THG-Emissionen aus dem Energieaufwand bei der Herstellung selbst, aber auch die mit der vorgelagerten Ressourcengewinnung und Materialherstellung verbundenen THG-Emissionen.
- ¹⁵ Vgl. Gröger, J. (2020): Digitaler CO2-Fußabdruck. Datensammlung zur Abschätzung von Herstellungsaufwand, Energieverbrauch und Nutzung digitaler Endgeräte und Dienste. Studie des Öko-Instituts im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND).
- ¹⁶ Vgl. CO2-Rechner des Umweltbundesamtes. Online verfügbar unter https://uba.co2-rechner.de/de_DE/.
- ¹⁷ Vgl. Umweltbundesamt (2020): Energie- und Ressourceneffizienz digitaler Infrastrukturen. Ergebnisse des Forschungsprojekts "Green Cloud-Computing".
- ¹⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2020): ebenda.
- ¹⁹ Vgl. Prakash, S.; Liu, R.; Schischke, K. et al. (2011): Zeitlich optimierter Einsatz eines Notebooks unter ökologischen Gesichtspunkten. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- ²⁰ Vgl. Köhler, A. R.; Gröger, J.; Liu, R. (2018): Energie- und Ressourcenverbräuche der Digitalisierung. Kurzgutachten im Auftrag des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU).
- ²¹ Vgl. Gensch, C.; Degel, M.; Fritzsche, K. et al. (2021): a. a. O.