



RAT FÜR DIGITALE ÖKOLOGIE

DIGITALISIERUNG UND TREIBHAUSGASE

POSITIONSPAPIER

VOM RAT FÜR DIGITALE ÖKOLOGIE



RAT FÜR DIGITALE ÖKOLOGIE

DIGITALISIERUNG UND TREIBHAUSGASE

POSITIONSPAPIER

SUMMARY

Auch bei der Nutzung von auf den ersten Blick immateriellen Internetdiensten entstehen erhebliche Umweltbelastungen. Diese sind für die Nutzer:innen aber unmittelbar nur schwer erfahrbar, weshalb dieses Positionspapier die Umweltwirkungen von Informations- und Kommunikationstechnik zugänglicher machen und Handlungsoptionen für reduktive Strategien vorschlagen möchte. Dazu wird exemplarisch entlang des Lebenszyklus von Smartphones aufgeschlüsselt, welche Faktoren sich in den Phasen Herstellung, Nutzung sowie end of life auf den ökologischen Fußabdruck auswirken. Davon ausgehend sollen dann relevante Handlungsoptionen identifiziert und erste Konzepte zur Reduktion von Umweltbelastungen vorgeschlagen werden, z.B. eine gesetzliche Transparenzpflicht für Technologiekonzerne oder ein Emissionsrechner in Form eines Browser-Add-Ons.

ÜBER DEN RAT

Der transdisziplinäre Rat für Digitale Ökologie hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Digitale Transformation der Gesellschaft aus den Begrenztheiten einer rein wirtschafts- und technikgetriebenen Betrachtung zu befreien. Aus der Sicht des Rats für Digitale Ökologie muss die Gesellschaft definieren, wie und wofür digitale Technologien und Anwendungen eingesetzt werden. Dies ist vor allem deswegen unabdingbar, weil die Digitale Transformation alle Bereiche der demokratischen Gesellschaft betrifft und weil die ökonomischen, kulturellen, politischen, psychologischen und gesundheitlichen Dimensionen der Digitalen Transformation miteinander in Wechselwirkung stehen. Erst vor dem Hintergrund einer Ökologie digitaler Systeme wird auch eine Politik der Digitalen Transformation denkbar, die Leitlinien für den Technikeinsatz vorgeben kann und muss. Der Rat betrachtet es als seine Aufgabe, Debatten anzustoßen und die Digitale Transformation als zentrales gesellschaftspolitisches Thema begreifbar zu machen. Die Digitale Transformation ist in all ihren Dimensionen eine politische Gestaltungsaufgabe.

Der Rat besteht aus:

- **Prof. Dr. Vanessa Miriam Carlow**, Institute for Sustainable Urbanism, TU Braunschweig
- **Prof. Dr. Maja Göpel**, Leuphana Universität
- **Dieter Janecek**, MdB, Bündnis 90/Die Grünen, wirtschaftspolitischer Sprecher und Leiter der Arbeitsgruppe Wirtschaft
- **Dr. Wolfgang Kaleck**, European Center for Constitutional and Human Rights (ECCHR)
- **Prof. Andrea Krajewski**, Interactive Media Design, Hochschule Darmstadt
- **Dr. Constanze Kurz**, Chaos Computer Club
- **Prof. Dr. Johannes Merck**, Umweltstiftung Michael Otto
- **Dr. August Oetker**, Unternehmer
- **Dr. Frederike Petzschner**, Carney Institute for Brain Science, Brown University
- **Prof. Dr. Bernhard Pörksen**, Medienwissenschaften, Universität Tübingen
- **Prof. Dr. Peter Reichl**, Fakultät für Informatik, Universität Wien
- **Prof. Dr. Tilman Santarius**, IÖW, TU Berlin
- **Prof. Dr. Harald Welzer**, FUTURZWEI. Stiftung Zukunftsfähigkeit (Sprecher)
- **Dr. Marie-Luise Wolff**, ENTEGA AG

Mehr erfahren: www.ratfuerdigitaleoekologie.org

5

X	Summary	3
	Über den Rat	4
E	1. Einleitung	7
	2. Lebenszyklusemissionen von IKT	10
D	2.1 Eingebettete Emissionen	13
	2.2 Operationale Emissionen	14
	2.3. End-of-Life-Emissionen	16
	2.4. Zusammenfassung des Smartphone-Lebenszyklus	18
N	3. Problemlösungsansätze und Instrumente	19
	3.1 Regulatorische Instrumente	20
I	3.1.1 Gesetzliche Transparenzpflicht	20
	3.1.2 Suffizienz	21
	3.2 Unternehmensbezogene Maßnahmen und marktbasierende Instrumente	22
	3.3 Weiche Instrumente	24
	3.3.1 Nudging	24
	3.3.2 Browser-Addon zur Ermittlung der CO ₂ -Belastung durch Internetnutzung	26
	4. Exemplarische Anwendungsrechnungen	27
	4.1. Physisches vs. Digitales Meeting	27
	4.2. Kryptowährungen	27
	4.3. Rechenzentren	28
	4.4. Videostreaming	28
	4.5. Festnetz und Mobilfunktechnik	28
	4.6 Nachhaltige Gestaltung von Software-Systemen	29
	5. Fazit	30
	Quellen	32
	Impressum	35

Abbildung 1:	Erwarteter totaler jährlicher Energieverbrauch nach IKT-Systemen von 2010–2030	10
Abbildung 2:	Treibhausgasemissionen verschiedener Smartphone-Modelle gemäß Herstellerangaben	12
Abbildung 3:	Treibhausgasemissionen über vier Jahre bei unterschiedlichen Austauschzyklen, basierend auf Cordella et al.	17
Abbildung 4:	Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus eines Smartphones, basierend auf Cordella et al.80	18
Abbildung 5:	Mockup Browser-Addon „Emissionsrechner“	26

1. EINLEITUNG

Während die Bedeutung etwa von Verkehr und Industrieproduktion für die globale Erwärmung hinlänglich bekannt ist und einzelne Unternehmen wie der Lebensmittelproduzent Oatly heute bereits die konkrete CO₂-Belastung ihrer Produkte auf der Verpackung angeben,¹ spielt die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)² als Emissionstreiber von Treibhausgasen (THG)³ im öffentlichen Bewusstsein noch immer eine untergeordnete Rolle. Kein Wunder: Bei den schlanken, form-schönen Endgeräten mit ausgeklügelten Benutzeroberflächen lässt auf den ersten Blick nichts einen Rückschluss darauf zu, unter welchen Bedingungen das Gerät produziert wurde und welche Prozesse im Hintergrund ablaufen müssen, damit wir uns mit Menschen auf aller Welt vernetzen, im Homeoffice arbeiten und Serien, Fotos, Wissenswertes wie Sinnloses auf unseren Bildschirmen anschauen können. Der schwankende Wert des Bitcoin-Wallet zeigt nicht den andauernden enormen Energieverbrauch durch die dahinterstehende Blockchain an, die zehnte gebingte Staffel einer Netflix-Serie nicht die für die Übertragung notwendigen Rechenleistungen. Dabei wäre es technisch durchaus machbar, diese Informationen für Nutzer:innen bereitzustellen und somit Transparenz bzgl. der Treibhausgasemissionen und der daraus resultierenden Klimawirkungen der IKT-Nutzung herzustellen. Doch allzu oft fehlt es institutionellen und individuellen Abnehmer:innen von IKT an einer verlässlichen, vergleichbaren und transparenten Aufschlüsselung der in Zusammenhang mit den Produkten und Diensten anfallenden Emissionen. Um eine erste Abhilfe zu schaffen, soll dieses Papier eine Übersicht darüber vermitteln, was passiert, wenn Menschen einen Internetdienst nutzen und wieviel Treibhausgasemissionen dabei entstehen.

Der Einfluss der IKT auf die Erderwärmung kann zunächst in direkte und indirekte Effekte unterteilt werden. Direkte Effekte sind all jene Treibhausgasemissionen, die unmittelbar durch die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von IKT anfallen, z.B. durch den Transport von Rohstoffen und Bauteilen in die Produktionsstätten, oder durch die Stromerzeugung für das Aufladen von Smartphones und den Betrieb von Rechenzentren. Betrachtet man das globale Ausmaß der Emissionsbelastung durch IKT auf dieser Ebene, wird die Notwendigkeit eines erhöhten Problembewusstseins und effektiver Maßnahmen schnell deutlich: Denn Schätzungen zufolge gehen von der IKT 2,1 bis 3,9 % der globalen Treibhausgasemissionen aus, wobei eine genaue Bezifferung aufgrund schwer verfügbarer Daten schwierig ist.⁴ Aber einige Vergleiche helfen vielleicht, die Bedeutung des IKT-Anteiles am globalen Emissionsgeschehen zu ermessen: Der Anteil Japans an den globalen Treibhausgasemissionen betrug im Jahr 2020 2,96 %, was es zum fünfgrößten Treibhausgasemittenten unter Einzelstaaten macht, der gesamte afrikanische Kontinent kommt gerade einmal auf 3,81 %.⁵ Rechnet man eine zugegebenermaßen grobe Schätzung der Treibhausgasbelastung durch IKT auf Einzelpersonen herunter, kommt man nach Angaben von Jens Gröger, Senior Researcher beim Öko-Institut, auf einen Fußabdruck von mindestens 850 Kilogramm CO₂ pro Person und Jahr. Darin inbegriffen sind die Herstellung und Nutzung von Endgeräten, die Übertragung von Daten über das Internet sowie der Betrieb von Rechenzentren.⁶ Insbesondere ins Gewicht fallen Server- und Netzinfrastrukturen, elektronische Endgeräte sowie Sensoren und Messstellen für das sogenannte Internet of Things.⁷ Aus Verbraucher:innensicht sieht das dann z.B. so aus: Wenn man alle 5 Staffeln der Serie „Breaking Bad“ in hoher Auflösung (4K) auf einem 50 Zoll großen Fernseher streamt, werden laut der Internationalen Energieagentur (IEA) 3,71 kg CO₂ ausgestoßen.⁸

¹ Vgl. z.B. „Oatly sustainability update“, zugegriffen 16. Mai 2022, <https://www.oatly.com/de-de/sustainability>. | ² Informations- und Kommunikationstechnik umfasst hier, analog zur Definition von Forschenden der Lancaster-Universität im Journal „Patterns“ (Volume 2, Issue 9, 10. September 2021) alle Arten von Endgeräten (z.B. Smartphones und Laptops), Rechenzentren (z.B. kleine Serverräume in Büros und große Serverfarmen) und Netzwerken (z.B. Mobil und Breitband), die digitale Informationen verarbeiten, speichern, senden und empfangen. | ³ Die Emissionen werden als CO₂-Äquivalente (CO₂e) angegeben. Ein CO₂e beschreibt, wie viel eine genau definierte Masse eines Treibhausgases über einen festgelegten Zeitraum im Vergleich zu Kohlendioxid (CO₂) zum Treibhauseffekt beiträgt (Umweltbundesamt: Glossar). | ⁴ Charlotte Freitag u. a., „The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations“, Nr. December (2021): 1. | ⁵ Hannah Ritchie und Max Roser, „CO₂ and Greenhouse Gas Emissions“, Our World in Data, 2020, <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>. | ⁶ Jens Gröger, „Der CO₂-Fußabdruck unseres digitalen Lebensstils“, BLÖG - Beiträge und Standpunkte aus dem Öko-Institut (blog), 24. April 2020, <https://blog.oeko.de/>. | ⁷ Monika Köppl-Turyna u. a., „Digitalisierung und Klimawandel: Hebeltechnologien, -anwendungen und Gesamteffekt der Digitalisierung auf die CO₂-Emissionen“, 2021. | ⁸ George Kamiya, „The carbon footprint of streaming video: fact-checking the headlines“, IEA, 11. Dezember 2020, <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>.

Rund 62 Stunden Serienkonsum führen also zu einer ähnlich hohen Emissionsbelastung wie eine Fahrstrecke von 18 Kilometern in einem neuen Benziner oder ca. 100 Kilometer Fahrt in einem ICE.⁹ Das scheint auf den ersten Blick überschaubar zu sein. Doch wenn man bedenkt, dass Mitte 2021 in einer Minute allein auf Netflix 452.000 Stunden Video gestreamt wurden, wird klar, dass Handlungen und Maßnahmen auf systemischer Ebene erheblich ins Gewicht fallen.¹⁰

Neben den schwer greifbaren Emissionswerten stehen die ganz unterschiedlich gelagerten Nutzenpotenziale der Digitalisierung. Die Vereinfachung von gesellschaftlicher Teilhabe oder die Automatisierung von Arbeitsprozessen etwa können kaum quantifiziert und in ein Verhältnis zu den verursachten Treibhausgasemissionen gebracht werden. Darüber hinaus kann IKT über sog. indirekte Effekte auf die globalen Emissionen wirken, wobei der Einfluss sowohl positiv als auch negativ ausfallen kann. Ein Mechanismus, der zur Verminderung von Treibhausgasemissionen beitragen kann, findet sich z.B. bei Videokonferenzen. So verfügen virtuelle Meetings im Unternehmenskontext oder in Behörden nicht nur über die offensichtliche Kommunikationsfunktion, sondern können indirekt maßgeblich Emissionen einsparen, wenn dadurch eine Geschäftsreise ersetzt wird. Wenn dank Videokonferenzen ein Drittel aller Geschäftsreisen in Deutschland wegfallen würde, wäre mit einer Einsparung von 3 Mio. Tonnen Treibhausgasemissionen zu rechnen.¹¹ Auch in anderen Bereichen kann Digitaltechnik gezielt im Kampf gegen den Klimawandel eingesetzt werden.¹² Eine KI-unterstützte, effiziente Auslieferung von Waren etwa kann Routen verkürzen und so Brennstoff einsparen,¹³ durch die Einführung von intelligenten Stromnetzen (Smart Grids) kann Strom effizienter verteilt und Energieverlust vermieden werden, was wiederum eine Einsparung von CO₂-Emissionen bedeutet.¹⁴ Manche behaupten sogar, dass ohne die Digitalisierung eine signifikante Entwicklung hin zu mehr Nachhaltigkeit gar nicht erreicht werden könne.¹⁵

Zu den indirekten Effekten gehören aber auch die sog. Rebound-Effekte, die zu einer Verschärfung der Problematik beitragen können.¹⁶ Der Rebound-Effekt beschreibt das Ausbleiben oder die Verminderung eines Einsparpotenzials im Rahmen von Effizienzsteigerungen durch erhöhten Konsum oder Expansion des Angebots. Im vorliegenden Fall heißt das konkret, dass IKT-Produkte und -Dienstleistungen stärker von Kund:innen nachgefragt werden und immer rechenintensivere Anwendungen ausgeführt werden, weil Rechenzentren und Endgeräte immer energieeffizienter und häufig auch günstiger in Anschaffung oder Betrieb werden. Die zunächst durch die Effizienzsteigerung erreichte Verringerung der Emissionen wird dadurch untergraben. Thomas Eickermann, stellvertretender Direktor des Jülich Supercomputing Centre, sagt, dass die Effizienzsteigerungen nicht mit dem wachsenden Leistungshunger mithalten: „Der technologische Fortschritt macht Computer – und auch Supercomputer – immer energieeffizienter. Dass ihr absoluter Energieverbrauch dennoch zunimmt, liegt daran, dass die Rechenleistung seit vielen Jahren schneller steigt als ihre Energieeffizienz sich verbessert.“¹⁷ Ähnlich verhält es sich u.a. bei der 5G-Technik: Diese ist tendenziell energiesparender als ihre Vorgänger, geht allerdings laut Linux-Magazin auch mit einem exponentiellen Wachstum des mobilen Datenverkehrs einher: Im dritten Quartal 2021 sei der Datenverkehr im Mobilfunknetz im Vergleich zum Vorjahr um 42 % auf rund 78 Exabytes angestiegen.¹⁸ Das liegt auch daran, dass mit der 5G-Technik neue Anwendungsgebiete, wie autonomes Fahren oder die Unterstützung industrieller Arbeitsschritte durch Augmented Reality, erschlossen werden. Da die Ermittlung der äußerst komplexen indirekten Effekte der Digitalen Transformation allerdings sehr aufwendig ist, liegt der Fokus dieses Papiers auf den direkten Effekten, welche unmittelbar durch die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von IKT verursacht werden.¹⁹

⁹ „CO₂-Rechner für Auto, Flugzeug und Co.“, quarks.de, 26. April 2019, <https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/co2-rechner-fuer-auto-flugzeug-und-co/>.

¹⁰ Statista Research Department, „Media usage in an online minute 2021“, 28. April 2022. ¹¹ Jens Clausen u. a., „Klimaschutz durch digitale Transformation: Realistische Perspektive oder Mythos? CliDiTrans Endbericht“ (Berlin: Borderstep Institut, 2022), 22. | ¹² Vgl. z.B. Tilman Santarius, „Die Digitalisierung für das Klima nutzen!“ (HIIG: Making sense of the digital society, Berlin, 26. Oktober 2020), <https://www.youtube.com/watch?v=MDj8pBrLbuQ>. | ¹³ „UPS To Enhance ORION With Continuous Delivery Route Optimization“, UPS, 2020, <https://about.ups.com/ae/en/newsroom/press-releases/innovation-driven/ups-to-enhance-orion-with-continuous-delivery-route-optimization.html>. | ¹⁴ Franco Davoli u. a., „Boosting energy efficiency through smart grids“ 7 (2012): 66. | ¹⁵ vgl. z.B. Mei Lin Fung und Christoph Meinel, „Clean-It: Policies to Support Sustainable Digital Technologies“, Policy brief (G20 Insights, September 2021). | ¹⁶ Clausen u. a., „Klimaschutz durch digitale Transformation: Realistische Perspektive oder Mythos? CliDiTrans Endbericht“.

¹⁷ Jens-Christoph Brendel, „Computing ohne CO₂“, Linux-Magazin, Februar 2022, 22. | ¹⁸ „Mobiler Datenverkehr steigt exponentiell“, Linux-Magazin, 2022, 15. | ¹⁹ Auch die Berechnung der direkten Effekte kann durch den Einbezug von immer mehr Lieferketten beinahe beliebig ausgeweitet werden. Die Systemgrenzen für dieses Papier wurden an bestehende Untersuchungen angelehnt und werden in Kapitel 2 ausgeführt.

Um einen klimaneutralen oder, noch besser, einen klimapositiven Einsatz von IKT zu erreichen, bedarf es einer reflektierten Gestaltung und Nutzung vorhandener und zukünftiger Technik. Das setzt eine Offenlegung der hinter der Technik liegenden Parameter, also der damit zusammenhängenden Einflussfaktoren auf die Treibhausgasemissionen, voraus. Erst dann kann das Prinzip der Digitalen Souveränität²⁰ im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit überhaupt greifen: Damit Unternehmensführungen und Nutzer:innen informiert und reflektiert entscheiden können, wie sie ihre Internetnutzung nachhaltig gestalten, müssen Ihnen alle für die Entscheidung notwendigen Informationen auf unkomplizierte Art und Weise zur Verfügung gestellt und in einen größeren Kontext gesetzt werden, z.B. durch die Bereitstellung von Vergleichs- und Sollwerten. Nur so kann jede:r informiert darüber entscheiden, wie groß der eigene ökologische Fußabdruck im Netz sein soll oder muss und bspw. Anbieter:innen auswählen, die den Strom für ihre Rechenzentren ausschließlich aus erneuerbaren Energien beziehen oder ihr Produktdesign auf Reparierbarkeit ausrichten. Zusätzlich sollten Bildungsangebote ausgebaut werden, die über Vorteile und Relevanz einer nachhaltigen IKT aufklären, etwa in Form von jährlichen Green IT-Seminaren in Unternehmen. Da Wissen und Handeln bekanntlich nicht zwingend miteinander zusammenhängen, wäre darüber hinaus zu überlegen, wie – im Sinne eines Nudging – über die Gestaltung von Standards oder die Festlegung von Voreinstellungen das Nutzer:innenverhalten auch de facto modifiziert werden kann. Ergänzend sind Kostenanreize, bspw. in Form einer staatlichen Bezuschussung von Reparatur und Instandsetzung älterer Hardware,²¹ oder die Subventionierung von nachhaltigen Hard- und Softwarekomponenten denkbar.

²⁰ Der RDÖ betrachtet „Digitale Souveränität“ nicht nur als Aufbau und Stärkung eigener europäischer und deutscher digitaler Infrastrukturen, sondern schreibt dem Begriff auch eine individuelle Komponente zu. Individuen soll es auf Basis der Bereitstellung von Informationen und dem Aufbau von Digitalkompetenzen möglich sein, selbstbestimmt Entscheidungen im digitalen Raum zu treffen. Auf das Prinzip der „Digitalen Souveränität“ wurde auch im ersten Positionspapier des RDÖ mit dem Titel „Für eine nachhaltige Digitalpolitik“ eingegangen. | ²¹ Ein derartiges Pilotprojekt gibt es bereits in Österreich. Hier erhalten von April 2022 bis Dezember 2023 „Privatpersonen eine Förderung von bis zu 200 Euro für die Reparatur von Elektro- und Elektronikgeräten [...] aus Mitteln des Österreichischen Aufbau- und Resilienzfonds“

2. LEBENSZYKLUSEMISSIONEN VON IKT

Studien verwenden unterschiedliche Ansätze und Rechenmodelle, um das Ausmaß der Umweltauswirkungen von IKT zu beziffern. Auch die jeweiligen Auftraggeber:innen und Fragestellungen sowie die verwendeten Datenquellen wirken sich maßgeblich auf die Resultate aus, die entsprechend weit auseinandergehen können.²² Der Branchenverband Bitkom ist in einer Übersicht zu verschiedenen Studienergebnissen zum Ergebnis gekommen, dass im Jahr 2020 die weltweiten Treibhausgasemissionen von Endgeräten für IKT und Unterhaltungselektronik zwischen 900 und 1100 Megatonnen (Mt) CO₂e lagen.²³ Die Übersichtsstudie führt weiter aus, dass die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren auf 200 bis 250 Mt CO₂e geschätzt werden, nochmal soviel werde durch Bau und Betrieb der Telekommunikationsnetze emittiert.²⁴ Ein Paper aus dem Journal „Patterns“, das Berechnungen aus drei Peer-reviewed Journals untersucht, kommt für die gesamte IKT inklusive Unterhaltungselektronik auf eine ähnliche Spannweite mit Werten zwischen 1200 und 2200 Mt CO₂e. Die Autor:innen betonen, dass es sich hierbei um grobe Schätzungen mit einem signifikanten Maß an Unsicherheit handelt.²⁵ Um diese Zahlen zu versinnbildlichen: 1000 Mt CO₂e entsprechen 49 Milliarden zurückgelegten Kilometern in einem Mittelklasse-Benziner, eine Milliarde Buchen müssten 80 Jahre lang wachsen, um die verursachten Treibhausgasemissionen aufzunehmen.²⁶

Bis 2030 könnte der Energiebedarf der IKT weiter massiv steigen. Autor:innen stellen diesbezüglich Szenarien auf über die erwartbare Entwicklung und skizzieren best case- und worst case-Varianten, beispielsweise in einer Top-Down-Studie aus dem Jahr 2015: Im besten Fall würde der Energiebedarf der gesamten IKT im Jahr 2030 demnach bei 2698 TWh liegen (8 % des globalen elektrischen Energiebedarfs), im schlechtesten Fall bei 30715 TWh (51 %) und im zu erwartenden Fall bei 8265 TWh (21 %).²⁷ Diese Hochrechnungen beruhen auf unterschiedlich gewählten Annahmen zu den jährlichen Verbesserungen der Energieeffizienz von IKT-Systemen, den Trends beim künftigen Wachstum des Internetverkehrs und den künftigen Verbesserungen beim Stromverbrauch pro Datenverkehrseinheit.²⁸ Dabei soll der Energieverbrauch durch Endgeräte, welche 2010 noch für den größten Anteil verantwortlich waren, sowohl absolut als auch relativ abnehmen, während der von Datenzentren und Zugangsnetzen stark zunehmen soll (vgl. Abbildung 1).

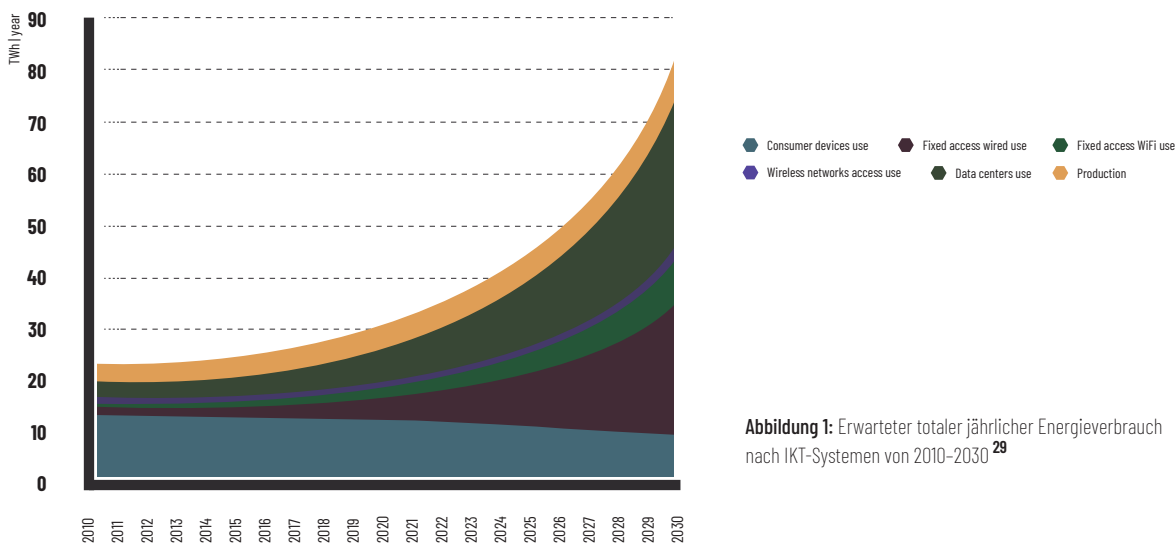


Abbildung 1: Erwarteter totaler jährlicher Energieverbrauch nach IKT-Systemen von 2010–2030²⁹

²² Vorhandene Studien zum ökologischen Fußabdruck von IKT basieren im Wesentlichen auf zwei Ansätzen: Bottom-up und top-down. Bottom-up-Ansätze basieren darauf, die individuelle Emissionsbilanz eines Produktes oder einer Dienstleistung zu ermitteln und sie dann auf eine Gesamtgröße zu skalieren. So kann bspw. versucht werden, die Emissionsbelastung durch Videostreaming zu bestimmen, indem alle Bestandteile eines Prozesses (z.B. Endgerät, Router, Rechenzentren) definiert, deren jeweilige Lebenszyklusemissionen ermittelt und dann auf die Gesamtzahl der Geräte hochgerechnet werden. Bei top-down-Ansätzen wird hingegen auf Daten der Makro-Ebene, z.B. nationale Daten zum Energieverbrauch eines Industriezweigs, zurückgegriffen, welche dann mit Modellannahmen kombiniert werden, um zu einem näherungsweisen Ergebnis hinsichtlich der Gesamtemissionen zu gelangen. Viele Studien verwenden, angesichts der inhärenten Probleme beider Ansätze, eine Kombination aus bottom-up und top-down. | ²³ Bitkom, „Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken“, 2020, 24. | ²⁴ Ebd., 22. | ²⁵ Charlotte Freitag u. a., „The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations“, Patterns 2, Nr. 9 (2021): 3, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>. | ²⁶ tagesschau.de, „Wie viel ist eine Tonne CO₂?“, tagesschau.de, zugegriffen 29. März 2022, <https://www.tagesschau.de/multimedia/bilder/grafik-co2-101.html>.

²⁷ Josip Lorincz, Antonio Capone, und Jinsong Wu, „Greener, Energy-Efficient and Sustainable Networks: State-Of-The-Art and New Trends“, Sensors 19, Nr. 22 (8. November 2019): 3, <https://doi.org/10.3390/s19224864>.

²⁸ Ebd. | ²⁹ Anders S. G. Andrae und Tomas Edler, „On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030“, Challenges 6, Nr. 1 (Juni 2015): 139, <https://doi.org/10.3390/challe601017>.

Um besser verstehen zu können, wie die aufgelisteten Zahlen zustande kommen und erste Ansatzpunkte für eine nachhaltigere IKT zu identifizieren, werden im Folgenden exemplarisch die Treibhausgasemissionen betrachtet, die im Zusammenhang mit der Smartphone-Nutzung entstehen. Das Smartphone ist Inbegriff der Allgegenwärtigkeit und Vielseitigkeit der Digitalisierung, allein in Deutschland werden jährlich um die 20 Millionen Exemplare verkauft.³⁰ Ein Smartphone muss nur geladen sein und über eine funktionierende Internetverbindung verfügen, schon kann damit ein beachtliches Spektrum an beruflichen und privaten Aktivitäten abgedeckt werden. Um die Treibhausgasemissionen, die z.B. mit einem Videoanruf verbunden sind, angemessen erfassen zu können, gilt es, ein komplexes System aus Endgeräten (Smartphones, Laptops, Fernseher, etc.), Peripheriegeräten (z.B. Router) und Infrastrukturen (Rechenzentren und Netzwerke) zu berücksichtigen. Zu dem Strom aus den Steckdosen der Nutzer:innen kommt u.a. der Energieverbrauch, der durch den Betrieb der Telekommunikationsinfrastruktur und bei den Anbieter:innen von Internetdienstleistungen anfällt. Vor allem müssen sowohl die Endgeräte als auch die Infrastrukturen zuerst einmal produziert und bereitgestellt werden, wobei ebenfalls Treibhausgase freigesetzt werden. Und schließlich wirkt sich auch auf die Umweltbilanz aus, was mit einem Gerät passiert, das an seinem Lebensende angelangt ist.

Aktuelle Zahlen, die das Ausmaß der gesamten Emissionsbelastung durch mobile Endgeräte konstatieren, gibt es wenige. Die Autoren einer der ersten derartigen Studien aus dem Jahr 2018 berechneten, dass Smartphones 2020 für „überraschend hohe 11 % der Treibhausgasemissionen des IKT-Sektors“ verantwortlich sein würden, was einem absoluten Anstieg von 730 % innerhalb von zehn Jahren entspräche.³¹ Um sich dem tatsächlichen Ausmaß der Auswirkungen von Smartphones auf die Erderwärmung anzunähern, hilft das Format der sogenannten Lebenszyklusanalyse (engl. „life cycle assessment“ oder LCA). Dabei werden systematisch Umweltwirkungen erfasst, die ein Produkt im Laufe seiner Existenz verursacht. Die Hersteller der Geräte veröffentlichen seit einigen Jahren eigene life cycle assessments. Demnach liegt der Treibhausgas-Fußabdruck aktueller Smartphones über ihren gesamten Produktlebenszyklus im Schnitt deutlich unter 100 kg CO₂e (vgl. Abbildung 2). So gibt etwa Huawei den Wert für sein Mate 40 Pro 5G mit 84,6 kg CO₂e³² an, das Fairphone 3 kommt nach Herstellerangaben auf einen Wert von 39,5 kg CO₂e³³ und das Google Pixel 6 auf 85 kg CO₂e.³⁴ Bei einem iPhone 13 mit 128 GB Speicher fallen laut Apple 64 kg CO₂e an, bei 512 GB Speicher bereits 83 kg CO₂e.³⁵ In den Berichten finden sich auch Informationen dazu, wie sich die Emissionen auf verschiedene Lebenszyklusabschnitte aufteilen. Apple gibt für das iPhone 13 an, dass 81 % der Emissionen bei der Herstellung anfallen, 2 % beim Transport, 16 % bei der Nutzung sowie <1 % beim end of life processing.³⁶ Derweil beschreibt Huawei, dass fast 90 % des CO₂-Fußabdrucks des Huawei Mate 40 Pro 5G aus der Herstellung stammen, und nur 4 % aus der Nutzung.³⁷ Wie genau die Werte berechnet werden, ist oft unklar. In der Regel scheint die Nutzung jedoch nur den Stromverbrauch des Endgerätes zu umfassen. Zu beachten ist außerdem, dass die Firmen von unterschiedlichen Nutzungsdauern ausgehen, was die Berechnungen beeinflussen kann. Fairphone rechnet mit einer Nutzungsdauer von drei Jahren, Apple mit drei bis vier Jahren, Huawei mit zwei Jahren. Auch unabhängige Studien zur Verteilung der Treibhausgasbelastung auf die Lebenszyklusphasen kommen zu unterschiedlichen Resultaten. Laut dem bereits erwähnten „Patterns“-Aufsatz stammen in der Gesamtschau der IKT ca. 30 % der Treibhausgasemissionen aus der Herstellung und 70 % aus der Nutzungsphase.³⁸ Demgegenüber sieht eine Studie der französischen Institutionen „Agence de la transition écologique“ (ADEME) sowie „L'Arcep“ die Verteilung für Frankreich bei 78 % in der Herstellungsphase und 21 % in der Nutzungsphase.³⁹ Die Differenz könnte u.a. auf Unterschiede im jeweiligen Strommix zurückzuführen sein.

³⁰ „Statista-Dossier zu Smartphones“ (Statista, 2021), 13, <https://de.statista.com/statistik/studie/id/3179/dokument/smartphones-statista-dossier/>. | ³¹ Lotfi Belkhir und Ahmed Elmeligi, „Assessing ICT Global Emissions Footprint: Trends to 2040 & Recommendations“, *Journal of Cleaner Production* 177 (März 2018): 458, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>. | ³² „Technology that benefits our planet“, Huawei, zugegriffen 19. Mai 2022, <https://consumer.huawei.com/en/sustainability/environmental-protection/>. | ³³ Marina Proske u. a., „Life Cycle Assessment of the Fairphone 3“ (Berlin: Fraunhofer IZM, Juli 2020), 34. | ³⁴ Google, „Pixel 6 Product Environmental Report“, 2021, 6. | ³⁵ Apple Inc., „iPhone 13 Product Environmental Report“, 2021, 8, https://www.apple.com/euro/environment/pdf/ai/generic/products/iphone/iphone_13_PER_Sept2021.pdf. | ³⁶ Ebd., 2.

³⁷ Huawei Device Co., „HUAWEI Mate 40 Pro 5G Carbon Footprint“, huawei.com, 2022, <https://consumer.huawei.com/en/sustainability/environmental-protection/>. | ³⁸ Freitag u. a., „The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations“. | ³⁹ ADEME, „Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective“, 2022: 9.

Im Folgenden werden die Treibhausgasemissionen des Smartphone-Lebenszyklus entlang der drei Phasen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung strukturiert und anhand bestehender Studien näherungsweise quantifiziert.

HERSTELLERANGABEN ZU DEN EMISSIONEN JE SMARTPHONE-LEBENSPHASE

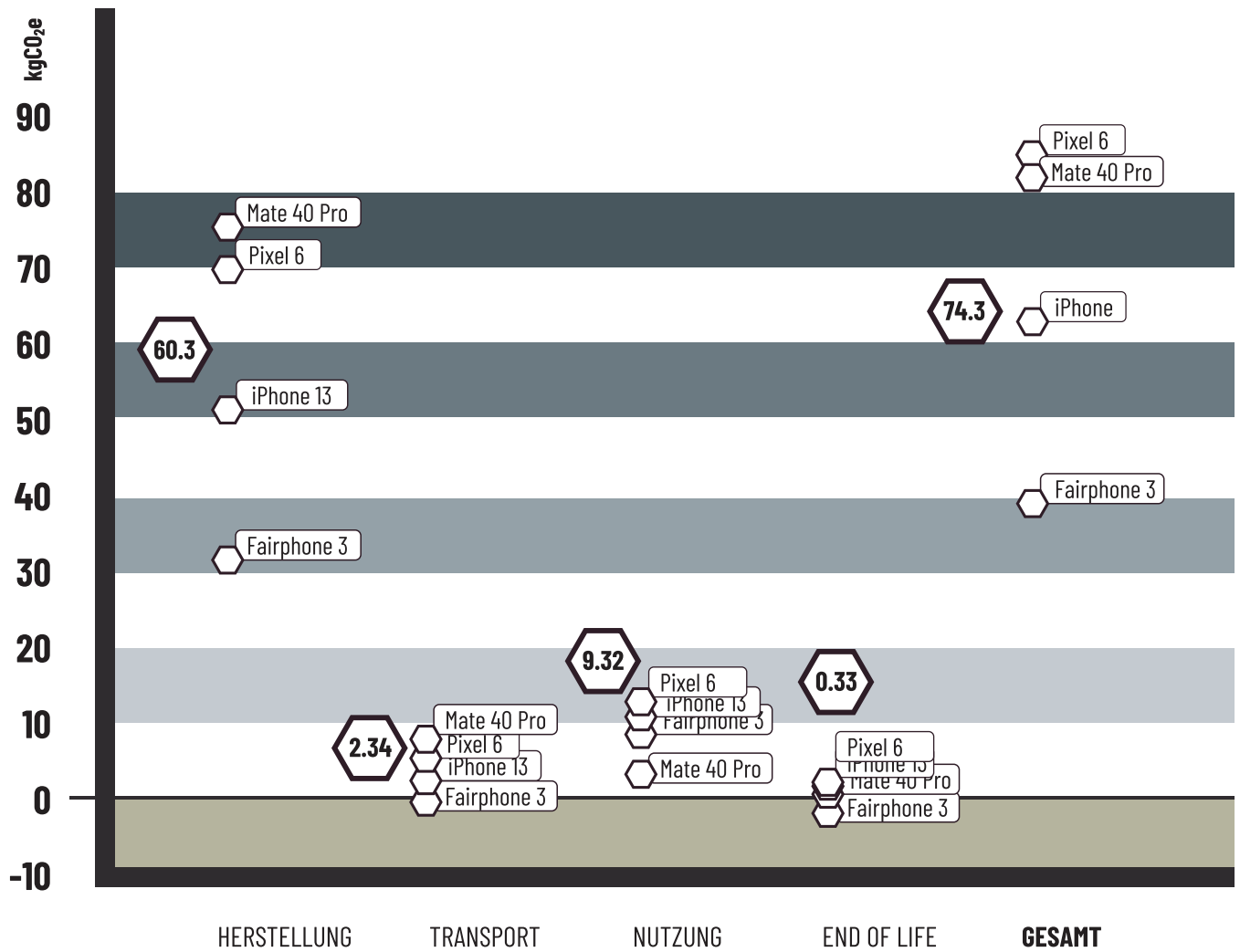


Abbildung 2: Treibhausgasemissionen verschiedener Smartphone-Modelle gemäß Herstellerangaben (Proske u. a., „Life Cycle Assessment of the Fairphone 3“; Google, „Pixel 6 Product Environmental Report“; Apple Inc., „iPhone 13 Product Environmental Report“; Huawei Device Co., „HUAWEI Mate 40 Pro 5G Carbon Footprint“.)

2.1 EINGEBETTETE EMISSIONEN

TREIBHAUSGASEMISSIONEN DURCH ROHSTOFFGEWINNUNG, PRODUKTION UND AUSLIEFERUNG

Treibhausgasemissionen, die bei der Bereitstellung eines Produktes anfallen, werden auch als eingebettete Emissionen bezeichnet. Damit wird eine Unterscheidung zu solchen Treibhausgasemissionen eingeführt, die im Zusammenhang mit der tatsächlichen Nutzung eines Produktes entstehen. Laut einer von der Europäischen Kommission finanzierten Studie von Mauro Cordella et al. belaufen sich die eingebetteten Emissionen für ein durchschnittliches Smartphone auf 30.5 kg CO₂e.⁴⁰ Zum Vergleich: Apple gibt für das iPhone 13 einen Wert von ca. 53 kg CO₂e an.⁴¹ Die eingebetteten Emissionen resultieren aus den einzelnen Schritten des Bereitstellungsprozesses: Zunächst muss Energie für den Abbau der benötigten Rohstoffe wie Gold und seltene Erden aufgewendet werden, bevor dann andernorts die einzelnen Bestandteile des Geräts produziert werden. Gemäß Cordella et al. fallen über 60 % der eingebetteten Emissionen eines Smartphones bei diesen beiden Schritten an.⁴² Fast die Hälfte davon sei wiederum auf die Leiterplatte (printed wiring board) zurückzuführen, mit jeweils zwischen 10 % und 15 % seien Display, Chip und Kamera weitere relevante Faktoren. Die mit der Herstellung verbundenen Emissionen werden tendenziell zukünftig wohl zunehmen, da insbesondere die erwähnten Bauteile kontinuierlich leistungsfähiger und damit energieintensiver in der Produktion werden.⁴³ Der nächste Schritt ist die Fertigung des Geräts, die typischerweise in China angesiedelt ist und für die in der erwähnten Studie von Cordella et al. 4.698 kWh oder ca. 17 % der eingebetteten Emissionen veranschlagt werden.⁴⁴ Von dort werden die Geräte per Flugzeug, Schiff und LKW an die jeweiligen Verkaufsstellen und Lagerhallen auf der ganzen Welt transportiert, was weiteren 12 % entspricht.⁴⁵ Schließlich tragen zu den eingebetteten Emissionen auch die nicht-stofflichen Anteile der Produktion und die zugehörigen Serviceleistungen bei. Dazu gehören bspw. die Planung und der Entwurf von Computersystemen, Programmierungstätigkeiten und Datenverarbeitung sowie andere Informationsservices, wie die Produktion von digitalen Inhalten.⁴⁶ Auch die Wartung von Geräten kann die eingebetteten Emissionen weiter steigern. Teilweise wird die Belastung, die am Ende des Lebenszyklus anfällt, zu den eingebetteten Emissionen gezählt. In diesem Papier wird diese übersichtshalber separat geführt (s. Kapitel 2.3).

Damit sind aber erst die eingebetteten Emissionen der Endgeräte benannt. Damit das Smartphone wirklich funktionsfähig ist, braucht es eine umfassende Infrastruktur, die sich u.a. aus Kern- und Zugangsnetzen⁴⁷ und Rechenzentren zusammensetzt. Laut einer Metaanalyse machen die eingebetteten Treibhausgasemissionen über die gesamte IKT-Branche hinweg 23 % der Lebenszyklusemissionen aus. Betrachtet man nur die Endgeräte, liegt dieser Wert deutlich höher, bei etwa 50 %.⁴⁸ Das liegt einerseits daran, dass unsere Endgeräte, etwa im Unterschied zu Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen, nicht durchgängig in Betrieb sind und deshalb weniger Strom verbrauchen.⁴⁹ Zum anderen werden Endgeräte häufiger ausgetauscht. Das hängt einerseits mit dem verbreiteten Vertragsmodell der Telekommunikationsbranche zusammen, bei dem durch hohe monatliche Gebühren regelmäßig neue Geräte subventioniert werden. Andererseits hat, wie die Leiterin der Forschungsgruppe „Obsoleszenz als Herausforderung für Nachhaltigkeit“, Melanie Jaeger-Erben, beschreibt, „Neuheit in der materiellen Kultur unserer Gesellschaft einen hohen Wert“, so dass ein Neukauf nicht nur im Schadensfall einer mühsamen Reparatur vorgezogen wird, sondern 67 % der Deutschen auch dann ein neues Smartphone kaufen, wenn das alte Gerät noch funktioniert.⁵⁰ Aktuell scheint sich allerdings eine leichte Trendwende hin zu längeren Austauschzyklen mobiler Endgeräte anzudeuten.⁵¹

⁴⁰ Eigene Berechnung basierend auf den Angaben in Mauro Cordella, Felice Alfieri, und Javier Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, *Journal of Industrial Ecology* 25, Nr. 2 (2021): Abb. 2, <https://doi.org/10.1111/jiec.13119>. | ⁴¹ Eigene Berechnung basierend auf den Angaben in Apple Inc., „iPhone 13 Product Environmental Report“, 2.

⁴² Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, 456. | ⁴³ Charlotte Freitag u. a., „The Real Climate and Transformative Impact of ICT: A Critique of Estimates, Trends, and Regulations“, *Patterns* 2, Nr. 9 (September 2021): 3, <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>. | ⁴⁴ Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, 452. | ⁴⁵ Ebd. | ⁴⁶ Xiucheng Dong, Qingzhe Jiang, und Jianda Wang, „Assessing Embodied Carbon Emission and Its Intensities in the ICT Industry: The Global Case“, *Frontiers in Energy Research* 9, Nr. May (2021): 8–10, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.685021>. | ⁴⁷ Laut der Telekom bezeichnet Kernnetz „ein flächendeckendes Telekommunikationsnetzwerk aus optischen Leitern, an das verschiedene Zugangsnetze angeschlossen sind. Kernnetze sorgen in der Telekommunikation für eine breite Flächenabdeckung, ausreichende Bandbreiten für Teilnehmer und eine schnelle Kommunikation auch über große Entfernungen.“ Zugangsnetze wiederum verbinden „die Teilnehmer mit den Kernnetzen. Umgangssprachlich spricht man bei Zugangsnetzen von der ‚letzten Meile‘ zwischen Netzverteiler und Kundenanschluss. Dabei unterscheidet man zwischen reinen Glasfasernetzen (FTTH) oder hybriden Zugangsnetzen, wo die Anbindung der Kunden über Kupferkabel erfolgt.“ Quelle: „Mit dem Glasfasernetz zum Highspeed-Internet“, Telekom, zugegriffen am 19.05.2022, <https://www.telekom.com/de/konzern/details/mit-dem-glasfasernetz-zum-highspeed-internet-637644>. | ⁴⁸ Freitag u. a., „The Real Climate and Transformative Impact of ICT“, 12. | ⁴⁹ Freitag u. a., „The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations“, 12. | ⁵⁰ Melanie Jaeger-Erben, „Zwischen Anspruch und Wirklichkeit – Langlebige Geräte werden gewünscht aber nicht behalten“ (Berlin: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, 18. Januar 2021), https://www.izm.fraunhofer.de/de/news_events/tech_news/langlebige-geraete-werden-gewuenscht-aber-nicht-behalten.html. | ⁵¹ „Handys werden seltener ausgetauscht“, Tagesschau, 9. Februar 2022, <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/smartphones-nutzungsdauer-austausch-wechsel-nachhaltigkeit-kosten-reparatur-101.html>.

2.2 OPERATIONALE EMISSIONEN

CO₂-EMISSIONEN DURCH NUTZUNG VON SMARTPHONES UND DIGITALEN DIENSTLEISTUNGEN

Im Unterschied zu den eingebetteten Emissionen, die bei der Bereitstellung eines Produktes anfallen, umfassen die „operationalen“ jene Emissionen, die im Zuge der Nutzung des Produkts entstehen. Greift man mit einem Smartphone auf eine digitale oder digital unterstützte Dienstleistung zu, fällt auf der Seite der Nutzer:innen der für den Betrieb des verwendeten Gerätes notwendige Strom an. Die oben angeführte Studie von Cordella et al. beziffert diesen Wert auf 4 kWh oder 1.9 kg CO₂e pro Jahr.⁵² Schwieriger zu ermitteln sind die netzwerkbezogenen Effekte, sprich die Treibhausgasemissionen, die von Mobilfunknetzen (Kernnetze und Zugangsnetze) und Datennetzen (Rechenzentren, Datenübertragungen und IP-Kernnetze) ausgehen.

Um zu veranschaulichen, was sich hinter diesen häufig vorkommenden, aber selten erläuterten Begriffen verbirgt, soll das Beispiel Videostreaming herangezogen werden, welches mit 60 % des weltweiten downstream traffic und 22 % des weltweiten upstream traffic im Jahr 2018⁵³ der wichtigste Treiber des Datenverkehrs geworden ist. Stark vereinfacht erklärt: Klickt ein:e Nutzer:in auf einen Film oder eine Serie bei einem großen Streaming-Anbieter, so wird die Anfrage zunächst an eine Cloud, also ein großes Rechenzentrum, geschickt. Dort wird geprüft, ob der:die Nutzer:in autorisiert ist, auf den Inhalt zuzugreifen, und dann entschieden, welche Dateien gebraucht werden, um die Anfrage zu erfüllen, z.B. je nach Internetverbindung und Endgerät eine 4K-Version oder eine niedriger auflösende. Dann wird eine Instanz eines sogenannten Content Delivery Networks (CDN) ausgewählt, von dem der Inhalt geliefert werden soll. CDNs sind überall auf der Welt verteilt, können im Besitz des Streaminganbieters selbst oder von Drittunternehmen sein und haben die Aufgabe, Internetinhalte durch ihre geografische Nähe möglichst schnell an Nutzer:innen zu verteilen. Denn müssten die Inhalte alle zunächst von einem zentralen Server geladen werden, würde sich die Übertragungsdauer erheblich verlängern und die Wahrscheinlichkeit einer Überlastung stark steigen (Flaschenhalsproblem). Es wird also jene CDN-Instanz angesteuert, die sich möglichst nah an dem:der jeweiligen Zuschauer:in befindet. Die darauf lagernden, enkodierten Videodateien werden dann an das Endgerät, also einen Fernseher oder ein Smartphone ausgespielt.⁵⁴

Beim Streaming fällt der Energieverbrauch mithin auf mehreren Ebenen an: Für den Betrieb des Rechenzentrums und der CDN-Instanzen, für die Übertragung von Anfragen und Daten zwischen diesen Punkten und den Endnutzer:innen sowie für den Betrieb der End- und Peripheriegeräte. Laut Umweltbundesamt ist „[d]er Anteil an den CO₂-Emissionen durch die Datenverarbeitung im Rechenzentrum [...] mit jeweils 1,5 g CO₂ pro Stunde relativ gering“.⁵⁵ Größeren Einfluss auf die Klimawirkung von Cloud-Diensten wie Videostreaming hat die Übertragungsarchitektur, also die jeweilige Technik, mit der Daten vom Rechenzentrum zu den Nutzer:innen übertragen werden. Bspw. verursacht Glasfaser 2 g CO₂e/h Videostreaming, der Mobilfunkstandard 3G dagegen 90 g CO₂e/h.⁵⁶ Das modernere 5G-Netz hingegen ist zwanzigmal effizienter als 3G und nähert sich mit 5 g CO₂e/h den Werten von Glasfaser an.⁵⁷ Die Datenmengen, die in Festnetz bzw. Mobilfunk in Deutschland übertragen werden, sahen bislang folgendermaßen aus: „Allein zwischen 2012 und 2019 hat sich die jährliche Datenübertragung durch Breitbandanschlüsse im Festnetz laut Analysen und Berechnungen der Bundesnetzagentur von 7 Mrd. Gigabyte auf 52 Mrd. Gigabyte erhöht. Noch dynamischer entwickelte sich die Datenverkehrsmenge im Mobilfunk, wenngleich auf einem niedrigeren absoluten Niveau: Lag die Datenübertragung im Jahr 2012 noch bei insgesamt 156 Mio. Gigabyte, gehen Berechnungen der Bundesnetzagentur davon aus, dass dieser Wert Ende 2019 ca. 2.765 Mio. Gigabyte erreicht hat.“⁵⁸

⁵² Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, 453 & Abb. 2. | ⁵³ reitag u. a., „The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations“, 77. | ⁵⁴ Vgl. Netflix Inc., „Open Connect Overview“, 19. Mai 2022, <https://openconnect.netflix.com/Open-Connect-Overview.pdf>. | ⁵⁵ „Video-Streaming: Art der Datenübertragung entscheidend für Klimabilanz [Gemeinsame Pressemitteilung von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt]“, 10. September 2020, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/video-streaming-art-der-datenerübertragung>. | ⁵⁶ Ebd. | ⁵⁷ Marina Köhn, Jens Gröger, und Dr. Lutz Stobbe, „Energie- und Ressourceneffizienz digitaler Infrastrukturen - Ergebnisse des Forschungsprojektes, Green Cloud-Computing“, 7. September 2020, 5. | ⁵⁸ Carl-Otto Gensch u. a., „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität: Welche Chancen und Risiken ergeben sich durch die Digitalisierung?“, 1. Juli 2021, 12.

Laut einer vergleichenden Studie von Anders S.G. Andrae, Senior Expert bei Huawei, verursachte das Festnetz im Jahr 2020 global einen Stromverbrauch von 90 bis 171 TWh, das Mobilfunknetz von 136 TWh.⁵⁹ Cordella et al. nehmen an, dass mit einem Smartphone jeden Monat durchschnittlich 4 GB an Datenverkehr verursacht wird, was einem Energieverbrauch in der Höhe von 55,7 kWh pro Jahr durch Mobilfunk, WLAN- und Kernnetze entspricht.⁶⁰ Umgerechnet entspricht das Emissionen von 118,8 kg CO₂e pro Jahr. Die bloße Umrechnung von verbrauchtem Datenvolumen in Stromverbrauch ist jedoch nicht unproblematisch: Laut der Internationalen Energieagentur zeigt neuere Forschung, dass solche Werte (kWh pro GB) nicht angemessen seien, um den Stromverbrauch eines Netzwerks für Anwendungen mit hohen Bitraten wie Videostreaming zu messen. Stattdessen wird ein Rückgriff auf eine zeitbasierte Bestimmung des Stromverbrauchs empfohlen (kWh pro gestreamter Stunde Video).⁶¹ Wie viel CO₂ insgesamt bei Inanspruchnahme eines Service emittiert wird, ist auch abhängig davon, welches Endgerät verwendet wird. So hat das Öko-Institut in einer Studie herausgearbeitet, dass bei einem untersuchten Rechenzentrum 2,27 g CO₂e für eine Stunde Videokonferenz pro Teilnehmer:in emittiert wurden. Wurde jedoch der Betrieb des Laptops und Routers bei der:dem Endnutzer:in mit in die Berechnung einbezogen, so lag der Wert bei 52,5 g, also 23-mal so hoch wie bei den rein vom Rechenzentrum verursachten Emissionen.⁶² Demnach wird deutlich mehr CO₂ emittiert, wenn man von einem Desktop-PC mit einem großen Bildschirm aus an einer Videokonferenz teilnimmt, als wenn man einen kleineren Bildschirm verwendet. Der Wert sinkt weiter, wenn anstatt eines Desktop-PCs ein Laptop verwendet wird.

Ein weiterer Aspekt, der oftmals übersehen wird, ist die Energieeffizienz von Softwareanwendungen. Viele Untersuchungen und Initiativen zum Thema haben vor allem die Produktion und Nutzung der physischen Endgeräte im Blick, lassen jedoch den Ressourcenbedarf zusätzlicher Anwendungen von komplexeren oder kombinierten Algorithmen außer Acht. Denn auch bei der computergesteuerten Erledigung einer Aufgabe gibt es immer energiesparsamere bzw. -aufwendigere Lösungen. Faktoren wie der, ob eine Computeranwendung einen Ruhezustand zulässt oder nicht, können über ihre Energieeffizienz entscheiden. Diese Aspekte müssen jedoch bereits in der Gestaltung der Software- und Hardware-Architektur mitgedacht werden.

⁵⁹ Anders S.G. Andrae, „Comparison of Several Simplistic High-Level Approaches for Estimating the Global Energy and Electricity Use of ICT Networks and Data Centers“, *International Journal of Green Technology* 5, Nr. 1 (2. Dezember 2019): 53, <https://doi.org/10.30634/2414-2077.2019.05.06>. | ⁶⁰ Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, 454. | ⁶¹ George Kamiya, „The carbon footprint of streaming video: fact-checking the headlines“, IEA, 11. Dezember 2020, <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>. | ⁶² Jens Gröger und Ran Liu, „Green Cloud Computing“, *TEXTE*, Bd. 94, 2021, 23.

2.3 END-OF-LIFE-EMISSIONEN

CO₂-BELASTUNG DURCH ENTSORGUNG VON ENDGERÄTEN

Der am wenigsten beleuchtete Aspekt im Lebenszyklus von Informations- und Kommunikationstechnik in Bezug auf die Erderwärmung sind die sogenannten „end of life emissions“, also jene Treibhausgasbelastung, die bei der Entsorgung der Endgeräte entsteht. Während gemeinhin bekannt ist, dass Elektromüll giftige Substanzen enthält, die schädlich für die Gesundheit sind – worunter vor allem Menschen in Ländern des Globalen Südens leiden, die versuchen, Materialien von Wert aus entsorgten Geräten zu ziehen – werden bei der Verbrennung von Elektromüll auch Treibhausgase freigesetzt. So ist etwa das Flammschutzmittel Polybrombiphenylether einer der Hauptgiftstoffe, der bei der Verbrennung von Elektronikartikeln freigesetzt wird und wiederum CO₂ freisetzt.⁶³ Bei neueren Endgeräten, wie einigen Smartphones, wird bereits auf die Verwendung von entsprechenden Flammschutzmitteln verzichtet. Das Hauptproblem ist allerdings die weiterhin geringe Recyclingbilanz von Elektroartikeln. 2019 wurden nur 17,4 % des weltweit anfallenden Elektromülls recycelt (9,3 Mt von 53,6 Mt⁶⁴). Es wird angenommen, dass die Menge an Elektromüll bis 2030 auf 74 Millionen Tonnen steigen könnte.⁶⁵ Eine Studie aus Großbritannien gelangte zu dem Schluss, dass das Recycling von einer Tonne Elektromüll 0,85 t CO₂e einspare, die Wiederverwendung von Elektrogeräten sogar 1,14 t, während die Entsorgung auf einer Mülldeponie 0,02 t CO₂e verursache.⁶⁶ Der Generaldirektor des WEEE Forums Pascal Leroy spricht sogar von zwei Tonnen vermiedener CO₂-Emissionen pro Tonne recyceltem Elektro- und Elektronikgeräteabfall.⁶⁷

Die Signifikanz des end of life von IKT erklärt sich vor allem durch die kurzen Produktzyklen und damit die häufige Entsorgung von Altgeräten und Anschaffung von Neugeräten, wodurch mehr Ressourcen für die Herstellung aufgewendet werden, was wiederum „neue“ eingebettete Emissionen mit sich zieht. Würden Geräte länger verwendet werden, z.B. im Zuge von Refurbishment-Programmen, könnten Treibhausgasemissionen signifikant verringert werden. Die Europäische Kommission versucht mit ihrer „Circular Electronics Initiative“, diesem Aspekt Rechnung zu tragen und die Lebensdauer, Reparierbarkeit und Recyclebarkeit von IKT-Produkten zu verbessern.⁶⁸ Auch die Ausbeute seltener Mineralien und Metalle aus entsorgten Altgeräten könnte Emissionen deutlich senken: So verursacht die Gewinnung von Gold aus entsorgten elektronischen Geräten 80 % weniger Emissionen als die Gewinnung aus der Erde.⁶⁹ Dabei würde eine Tonne iPhones 300 Mal mehr Gold liefern als eine Tonne Golderz und 6,5 Mal mehr Silber als eine Tonne Silbererz.⁷⁰ Auch die Nutzung von Eisen, Aluminium und Kupfer als Sekundärrohstoffe hat Schätzungen zufolge 2019 bis zu 15 Mt CO₂ eingespart im Vergleich zu ihrer Erstgewinnung.⁷¹ Das Projekt Worldloop, das Recyclingverfahren in Entwicklungsländer bringen will, berichtet, durch 954 Tonnen gesammelten und recycelten Elektromülls seien 1374 Tonnen CO₂-Emissionen vermieden worden, wobei sich diese Ersparnis aufteile auf 1030 vermiedene Tonnen durch Wegfall der Notwendigkeit von Rohstoffabbau, 331 Tonnen durch Vollzug von Recyclingprogrammen vor Ort, 13 Tonnen durch Weiterverwendung der Energie nicht-recyclebarer Produkte („energy recovery of non-recyclables“), z.B. durch Verbrennung.⁷²

⁶³ Rebecca Adams, „E-waste and How to Reduce It“, Climate Institute, 12. November 2018, <https://climate.org/e-waste-and-how-to-reduce-it/>. | ⁶⁴ Vanessa Forti u. a., The Global E-waste Monitor 2020, 2020, 13f.

⁶⁵ Edward Curry und Brian Donnellan, „Sustainable IT: Why it's time for a Green revolution for your organization's IT“, Computing Handbook, Third Edition, 2021, 5, <https://doi.org/10.1201/b16768-58>. | ⁶⁶ Christopher Clarke, Ian D. Williams, und David A. Turner, „Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK“, Resources, Conservation and Recycling 141, Nr. June 2018 (2019): 470, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.003>. | ⁶⁷ Olivia Rosane, „This year's e-waste to outweigh Great Wall of China“, World Economic Forum, 18. Oktober 2021, <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/2021-years-e-waste-outweigh-great-wall-of-china/>. | ⁶⁸ Freitag u. a., „The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations“, 34. | ⁶⁹ „The Growing Environmental Risks of E-Waste“, Geneva Environment Network, 20. November 2021, <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/the-growing-environmental-risks-of-e-waste/>. | ⁷⁰ Bianca Nogrady, „Your Old Phone Is Full of Untapped Precious Metals“, BBC, Oktober 2016, <https://www.bbc.com/future/article/20161017-your-old-phone-is-full-of-precious-metals>. | ⁷¹ Forti u. a., The Global E-waste Monitor 2020, 60. | ⁷² „Bo2W impact on CO₂ Emissions“, Worldloop, 2013, <https://worldloop.org/e-waste/bo2w-impact-on-co2-emissions/2>.

Um herauszufinden, wie groß der positive Effekt der Weiter- oder Wiederverwendung von IKT-Produkten ist, verteilt man die eingebetteten Emissionen eines Produktes gleichmässig über die gesamte Nutzungsdauer. Die eingebetteten Emissionen fallen umso stärker ins Gewicht, je kürzer ein Gerät genutzt wird. Umgekehrt gilt also: Je länger ein Gerät genutzt wird, desto geringer ist der aus den eingebetteten Emissionen resultierende, klimaschädliche Einfluss pro Jahr. Eine Studie vom Fraunhofer Institut (2018) bescheinigt, dass durch eine Lebensdauerverlängerung von Smartphones mittels Wiederaufbereitung (Refurbishment) und Wiederverwendung (Reuse) pro Smartphone 58 kg Treibhausgasemissionen eingespart werden.⁷³ Die Wiederverwendung von Laptops könnte die Treibhausgasemissionen laut einer weiteren Studie durch Einsparungen in der Produktion im Vergleich zum Neukauf um 57 % senken.⁷⁴ Abbildung 3 zeigt, wie die aufs Jahr gerechneten Treibhausgasemissionen abnehmen, je länger ein Gerät genutzt wird.

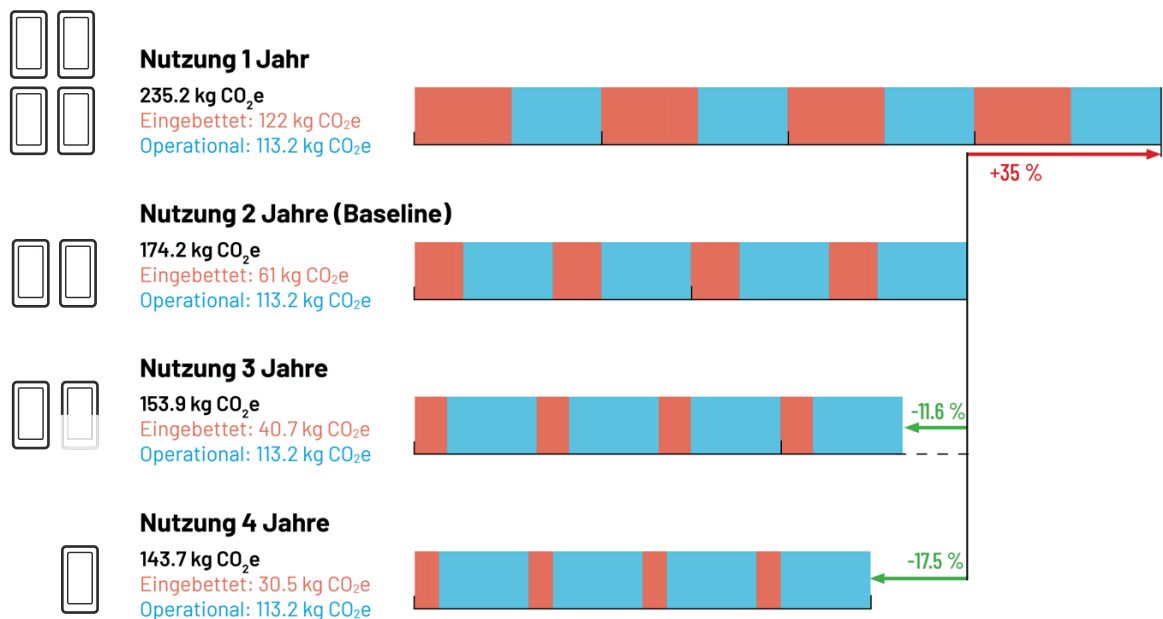


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen über vier Jahre bei unterschiedlichen Austauschzyklen, basierend auf Cordella et al.⁷⁵

⁷³Daniel Maga u. a., „Treibhausgas- und Ressourceneinsparungen durch Wiederverwendung von Smartphones und Tablets“, MÜLL und ABFALL, Nr. 5 (30. April 2018): 1, <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2018.05.07>.
⁷⁴Sandra Boldoczki, Andrea Thorenz, und Axel Tuma, „The environmental impacts of preparation for reuse: A case study of WEEE reuse in Germany“, Journal of Cleaner Production 252 (2020): 9, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119736>.
⁷⁵Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“.

2.4 ZUSAMMENFASSUNG DES SMARTPHONE-LEBENSZYKLUS

Abbildung 4 zeigt, wie die Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus eines Smartphones aufgeschlüsselt sind und in welchem Verhältnis sie zueinanderstehen. Die Zahlen wurden von Cordella et al. übernommen.⁷⁶ Den Sockel bilden die eingebetteten Emissionen in Höhe von 30,5 kg CO₂e, die anfallen, bis ein Gerät an die Verkaufsstelle gelangt (nicht inbegriffen sind die Treibhausgasemissionen, die pro Smartphone-Generation anfallen, z.B. im Zusammenhang mit der Planung und dem Design des Gerätes oder der Programmierung des Betriebssystems). Im täglichen Gebrauch benötigt das Smartphone Strom aus der Steckdose der Nutzer:innen, entscheidend ist aber der Stromverbrauch für den Betrieb von Netzen und Rechenzentren, der durch die Nutzung von Internetdiensten verursacht wird.⁷⁷ Cordella et al. gehen dafür von einem monatlichen Datenvolumen von vier Gigabyte aus, wobei pro Gigabyte 1.16 kWh veranschlagt werden.⁷⁸

Wie lange ein Gerät genutzt wird, ist ein wichtiger Faktor für dessen CO₂e-Bilanz (vgl. Abbildung 3). Doch auch die Entscheidung, was mit einem Gerät seinem vermeintlichen Lebensende passiert, spielt eine Rolle. Wenn ein nicht mehr genutztes Gerät nicht – wie nach Schätzungen in fast der Hälfte der Fälle – ungenutzt in einer Schublade liegen bleibt, sondern weitergenutzt (36 %) oder wiederaufbereitet (15 %) wird, können eingebettete Emissionen für Neugeräte verringert oder vermieden werden.⁷⁹

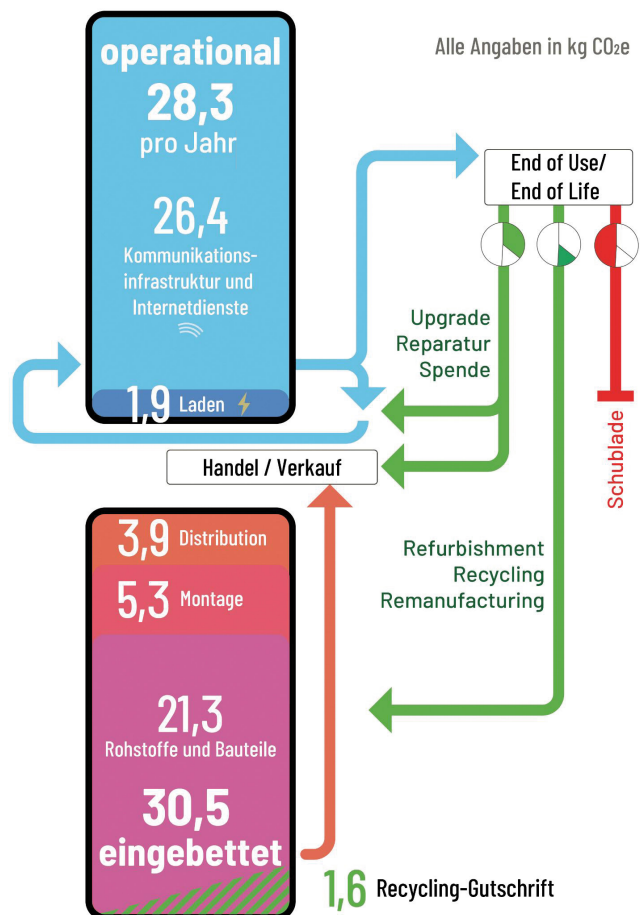


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus eines Smartphones, basierend auf Cordella et al.⁸⁰

⁷⁶ Ebd. | ⁷⁷ Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, 453. | ⁷⁸ Hier ist, wie weiter oben bereits angemerkt, einschränkend anzuführen, dass diese Methode den Energieverbrauch von datenintensiven Anwendungen wie Videostreaming wohl überschätzt. Vgl. Kamiya, „The carbon footprint of streaming video: fact-checking the headlines“. | ⁷⁹ Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“, 453. | ⁸⁰ Cordella, Alfieri, und Sanfelix, „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“.

3. PROBLEMLÖSUNGSANSÄTZE UND INSTRUMENTE

Obwohl das öffentliche Bewusstsein für die klimaschädlichen Aspekte der digitalen Transformation nur langsam wächst, sind die verfügbaren Informationen von wissenschaftlicher Seite mehr als ausreichend, um zu schnellem Handeln zu animieren. Nun ist seit mehreren Jahrzehnten jedoch leidlich bekannt, dass Informationen und Wissensbestände allein noch nichts an Verhaltensweisen oder hohen Treibhausgasemissionen verändern. Wäre es anders, müsste sich nach drei Jahrzehnten Klimakommunikation die Emissionsmenge de facto verringert haben; das Gegenteil ist aber der Fall. Statt hier näher auf die Ursachen einzugehen, die u.a. in einer ansonsten ungebrochenen Steigerung des wirtschaftlichen Ressourcenverbrauchs liegen, werden im Folgenden Operationalisierungen vorgestellt, die das Potenzial haben, Emissionen durch die IKT tatsächlich zu reduzieren. Dabei wird der Fokus vom Smartphone auf Informations- und Kommunikationstechnik als Ganzes ausgeweitet, um ein möglichst breites und wirkungsvolles Spektrum an Lösungsansätzen abbilden zu können. Grundsätzlich kann das Instrumentarium, das zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und zur Eindämmung von Rebound-Effekten zur Verfügung steht, auf einzelne Entscheidungsträger:innen, auf Märkte und Sektoren, oder auf die ganze Wirtschaft wirken.⁸¹ Eine Typologie vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung unterscheidet darüber hinaus regulatorische, marktbasierende und weiche Instrumente.⁸² Weiche Instrumente sind Mittel ohne Zwangscharakter. Das können freiwillige Vereinbarungen innerhalb einer Branche sein, aber etwa auch die Voreinstellung bei einem Endgerät, automatisch den Ruhezustand zu aktivieren. Darüber hinaus gehören bspw. Nachhaltigkeitskommunikation und moralische Appelle zu den weichen Instrumenten. Diese Instrumentenkategorie verfügt über eine begrenzte Wirksamkeit, insbesondere im Vergleich zu den anderen beiden Typen. Über regulatorische Instrumente werden z.B. verbindliche Effizienzstandards oder carbon caps festgelegt, um den Handlungsspielraum von Emissionstreibern einzuschränken. Die Wirksamkeit ist gegeben, solange die rechtlichen Vorgaben durchgesetzt werden und keine Verlagerung der Emissionen in andere Sektoren oder Länder stattfindet. Marktbasierende Instrumente schließlich umfassen u.a. die Besteuerung oder Subvention von bestimmten Produkten oder Dienstleistungen sowie den Handel mit Emissionszertifikaten.

⁸¹ Steffen Lange u. a., „Economy-Wide Rebound Effects: State of the art, a new taxonomy, policy and research gaps, Arbeitsbericht 1 des Forschungsprojekts ReCap“ (Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2019), 23. | ⁸² Ebd.

3.1 REGULATORISCHE INSTRUMENTE

3.1.1 GESETZLICHE TRANSPARENZPFLICHT

VORSCHLAG FÜR EINE VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES ÜBER EINE GESETZLICHE TRANSPARENZPFLICHT ZUR EMISSIONS-BELASTUNG DURCH TECHNOLOGIEKONZERNE UND IHRE PRODUKTE

Analog zum aktuell verhandelten „Digital Markets Act“ und dem jüngst beschlossenen „Digital Services Act“, welche „ein reibungsloses Funktionieren des Binnenmarkts durch die Förderung eines wirksamen Wettbewerbs auf den digitalen Märkten und insbesondere einer fairen und bestreitbaren Umgebung für Online-Plattformen“ bzw. „eine angemessene Beaufsichtigung digitaler Dienste und die Zusammenarbeit zwischen Behörden auf EU-Ebene“ zum Ziel haben, sollte innerhalb der EU ein weiterer Vorschlag zu einer Verordnung auf den Weg gebracht werden, die Technologiekonzerne – wie Hardwareproduzenten, Softwarehersteller und Plattformanbieter – dazu verpflichtet, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette von ihnen verursachten Emissionen offenzulegen. Dafür sollten standardisierte Methoden zur Erfassung der von Unternehmen verursachten Treibhausgasemissionen festgelegt werden, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. Dies würde einen Wettbewerb um eine Verbesserung der Emissionsbilanz zwischen Unternehmen unterstützen, da deutlich würde, wer energieeffizient und nachhaltig operiert, und wer sich bisher nicht ausreichend darum kümmert. Zudem könnte auf diese Weise ein Schritt über reine Willensbekundungen hinaus erreicht werden, bei denen Unternehmen sich auf die Ankündigung beschränken, bis zu einem bestimmten Zeitpunkt klimaneutral zu sein. Echter Wettbewerb in Klimafreundlichkeit würde auch dem an die Europäische Kommission herangetragenen Entwurf zu einer Corporate Sustainability Reporting Directive vom EFRAG entsprechen, in der u.a. ein sektorspezifisches Nachhaltigkeitsreporting in Ergänzung zu einem sektorunabhängigen Nachhaltigkeitsreporting vorgeschlagen wird.⁸³ Bei Hardwareherstellern sollte über die Offenlegung der Emissionen in Berichten hinaus eine Kennzeichnung der Produkte stattfinden, die Auskunft über die eingebetteten sowie die durch die Nutzung zu erwartenden Emissionen gibt.

⁸³ EFRAG, „Proposals for a relevant and dynamic EU Sustainability Reporting Standard-Setting“, European Financial Reporting Advisory Group, Nr. February (2021): 6..

3.1.2 SUFFIZIENZ

„SO VIEL DIGITALISIERUNG WIE NÖTIG, SO WENIG WIE MÖGLICH.“⁸⁴

RDÖ-Mitglied Tilman Santarius und dessen Kollege Steffen Lange vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung haben in ihrem Buch „Smarte grüne Welt“ verschiedene Ansätze entworfen, wie eine nachhaltigere Gestaltung der Digitalisierung aussehen könnte. Dabei wurden auch die Prinzipien der Technik- und Datensuffizienz vorgestellt, die bei der Erreichung dieses Ziels hilfreich sein könnten. Techniksuffizienz besteht in der Idee, „Informations- und Kommunikationssysteme so zu konzipieren, dass nur wenige Geräte nötig sind und diese selten erneuert werden müssen“.⁸⁵ Dazu gehören auch die nachhaltige Herstellung sowie Reparierbarkeit und modulare Erweiterbarkeit, auch ermöglicht durch Open Source. Datensuffizienz besteht in der Idee, digitale Anwendungen so zu designen, dass möglichst wenig Datenverkehr stattfinden muss, z.B. durch ein Angebot von Downloadmöglichkeiten statt Streaming oder durch die Bereitstellung von Offline-Funktionen ohne Cloud-Anbindung. In der Realität geht der Trend bisher in die entgegengesetzte Richtung, hin zu einem „always on“. Das Prinzip der Techniksuffizienz sollte von regulatorischer Seite u.a. mit einem Recht auf Reparatur angegangen werden. Bemühungen auf EU-Ebene für langlebige und effiziente Produkte sind besonders dann wirksam, wenn sie rasch umgesetzt werden. Auch die Ausdehnung der Ökodesign-Richtlinie auf Smartphones und Tablets ist ein wichtiger Schritt, um der psychologischen und funktionalen Obsoleszenz von IKT entgegenzuwirken. Um dem Prinzip der Datensuffizienz Rechnung zu tragen, sollten darüber hinaus eine Erweiterung der Ökodesign-Richtlinie auf Software in Erwägung gezogen werden, um Mindesteffizienzanforderungen an diese zu stellen und so verschwenderischer, klimaschädlicher Programmierung entgegenzuwirken.

⁸⁴ Steffen Lange und Tilman Santarius, *Smarte Grüne Welt? Digitalisierung zwischen Überwachung, Konsum und Nachhaltigkeit*, 2018, 152. | ⁸⁵ Ebd.

3.2 UNTERNEHMENSBEZOGENE MASSNAHMEN UND MARKTBASIERTE INSTRUMENTE

Die Rolle von Unternehmen bei der Verminderung IKT-bezogener Emissionen ist zentral. Einerseits verwenden Unternehmen im Betriebsalltag IKT in großem Stil, auf der anderen Seite sind es in der Regel Unternehmen, die IKT entwickeln – sowohl Hardware als auch Software. Im ersten Fall liegt eine Hürde darin, dass bei einem großen Teil der Unternehmen laut einer Capgemini-Studie kein Problembewusstsein vorhanden ist: 57 % der befragten IT-Verantwortlichen, Nachhaltigkeitsexpert:innen sowie Führungskräfte kennen die Treibhausgasemissionen ihrer unternehmensinternen IKT nicht.⁸⁶ Und während zwar die Hälfte der Unternehmen angibt, dass sie eine unternehmensweite Nachhaltigkeitsstrategie haben, ist nur bei 18 % eine umfassende nachhaltige IT-Strategie mit klar definierten Zielen und Zeitvorgaben vorhanden, als in hohem Grade „reif“ können in dieser Hinsicht sogar nur 6 % eingestuft werden.⁸⁷ Dabei kann eine Umsetzung von nachhaltiger IT neben der Reduktion von Treibhausgasemissionen auch unternehmerische Vorteile mit sich bringen: Betriebe, die in dieser Entwicklung schon weiter fortgeschritten sind, berichten von einem höheren ESG-Score, einem besseren Markenimage, höherer Kundenzufriedenheit und Steuereinsparungen.⁸⁸ Ähnlich wie Privatpersonen müssen Unternehmen jedoch erst einmal ihren ökologischen Fußabdruck ermitteln, um überhaupt handlungsfähig zu werden. Vom Status Quo ausgehend können sie dann Optimierungspotenziale sowohl in Bezug auf das Kerngeschäft als auch auf die IT-Abteilung identifizieren und umsetzen. Da Unternehmen oft signifikante Teile ihrer IT auslagern und rechenintensive Anwendungen auf externen Clouds ausführen, wäre ein möglicher Hebel beispielsweise, auf Rechenzentren zurückzugreifen, die Strom aus erneuerbaren Energien beziehen oder ihre Abwärme weiterverwenden. Laut der bereits erwähnten Capgemini-Studie bringen «energy-starred servers», also Server, deren Energieeffizienz mit einem Gütesiegel belegt ist, die größten CO₂-Einsparungen mit sich.⁸⁹ Als zweiteinflussreichster Hebel im Sinne nachhaltiger IT-Projekte wurde von Capgemini die Entwicklung von nachhaltigen Softwarearchitekturen ausgemacht. So hat bspw. Intel einen Software Development Assistant entwickelt, mit dem Programmierer:innen und Ingenieur:innen Energiemessungen an einem System vornehmen können, während es bestimmte Arbeiten ausführt.⁹⁰ Aus Sicht des RDÖ ist ein wichtiger Schritt, Apps und Algorithmen in einer Form zu programmieren, die nicht auf den bestmöglichen Output, sondern die für die Erfüllung der Aufgaben notwendige, aber energiesparsamste Methode ausgerichtet ist. So schlägt es auch Christoph Meinel vom Hasso Plattner-Institut vor: „[Man kann] Algorithmen unter der Maßgabe entwickeln, bei gleicher Berechnungskraft, -genauigkeit und -effizienz mit weniger Energie auszukommen, also mit möglichst wenigen und einfachen Rechenoperationen.“⁹¹ Unternehmen, die selbst keine Software entwickeln, sollten bevorzugt auf entsprechend ausgerichtete Software zurückgreifen.

⁸⁶ Alleau et al., „Sustainable IT: Why it's time for a Green revolution for your organization's IT“ (Capgemini, 2021). | ⁸⁷ Ebd., 11. | ⁸⁸ Ebd., 17. | ⁸⁹ Ein weiteres Gütesiegel mit besonderem Fokus auf Nachhaltigkeit ist der „Blaue Engel“, der bislang nur drei Rechenzentren verliehen wurde. Über die Emissionseinsparungen, die mit diesem Siegel ausgezeichnete Rechenzentren erbringen, wird weiter in Kapitel 4 „Exemplarische Anwendungsrechnungen“ eingegangen. | ⁹⁰ Alleau et al., „Sustainable IT: Why it's time for a Green revolution for your organization's IT“, 21. | ⁹¹ Christoph Meinel, „Reine Rechner: Der Weg zur energieeffizienten Digitalisierung“, Linux-Magazin, 2022, 30.

Ein weiterer, entscheidender Faktor ist die nachhaltige Gestaltung der IKT-Hardware: „Ansatzpunkte sind hier beispielsweise die Reduktion von kritischen Metallen in den Komponenten, die Reduktion der Betriebskosten oder ein von vornherein nachhaltigeres Design, welches die Rückgewinnung von wichtigen Rohstoffen bei der Entsorgung ermöglicht.“⁹² Hardwarehersteller sollten diese Aspekte berücksichtigen und eine Umstellung der IKT-Fertigung auf Standards der Kreislaufwirtschaft anstreben. Unternehmen, die IKT-Hardware beziehen, sollten versuchen, jene Produkte zu erwerben, die diesen Anforderungen nahekommen. Auch der Erwerb von Refurbished-Produkten ist eine Option. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, kann eine Verlängerung der Nutzungsdauer signifikante Emissionseinsparungen bewirken. Statt der von den meisten Herstellern vorangetriebenen funktionalen oder psychologischen Obsoleszenz sollten ein reduzierter Updaterhythmus und Anpassungsmöglichkeiten älterer Geräte angestrebt werden. Das kann im Übrigen durch den Wechsel von Betriebssystemen hin zu Open-Source-Betriebssystemen und Software wie Linux und LibreOffice gefördert werden, solange der Obsoleszenz seitens der Hersteller regulatorisch noch nicht Einhalt geboten wurde. Die Stadt München hatte mit „LiMux“ in dieser Hinsicht ein Pilotprojekt auf Verwaltungsebene gestartet, das auch für Unternehmen interessant sein könnte, nicht zuletzt, weil dann kostenpflichtige Updates wegfallen.⁹³

Allgemein stellt sich für Unternehmen bei der Abwägung von Projekten immer auch die Kostenfrage. Der Hebel der Kosten kann in diesem Fall durch Steuern verstärkt werden. Mit CO₂- oder Energiesteuern können, wie bei den beschränkenden regulatorischen Instrumenten, eine Verbesserung von Energieeffizienz bewirkt werden und gleichzeitig Rebound-Effekte eingedämmt werden.⁹⁴ Mittels progressiver Steuern könnte z.B. dem Energieverbrauch ausgewählter Anwendungen der Anreiz entzogen werden. Umgekehrt können entsprechende Subventionen für eine höhere Adoptionsrate von Green IT sorgen, jedoch besteht dann auch die Gefahr von neuen Rebound-Effekten.⁹⁵

3.3 WEICHE INSTRUMENTE

3.3.1 NUDGING

Das sogenannte Nudging ist ein vor allem in den vergangenen Jahren bekannt gewordenes Instrument, welches auf Kognitions- und Sozialpsychologie sowie Verhaltensökonomie basiert. Damit soll das Verhalten von Individuen in eine bestimmte Richtung gelenkt werden, und zwar nicht, indem das individuelle Wertesystem der sich entscheidenden Person angesprochen wird, sondern indem die Entscheidungsarchitektur selbst verändert wird. Das bedeutet, dass bei der Präsentation der möglichen Optionen das gewünschte Resultat mitgedacht wird.⁹⁶ Zentral ist dabei, dass die Wahlfreiheit des Individuums erhalten bleibt und dass keine Optionen ausgeschlossen werden.⁹⁷ Nudges funktionieren, wie der Name schon sagt, als Anstupser in eine bestimmte Richtung. Im Marketingbereich sind solche Mechanismen schon länger üblich, etwa bei der sogenannten Quengelware im Supermarkt, wo einzeln verpackte Süßigkeiten direkt am Kassenband stehen, so dass diese „noch mal eben“ mitgenommen werden können. Der Versuch einer unterschweligen Beeinflussung findet zunehmend auch Anwendung, um für das Individuum oder die Gesellschaft wünschenswerte Handlungen zu begünstigen. Um beim Essensbeispiel zu bleiben: In Schul-Caféterien soll etwa die Reihenfolge der Essensauslage Schüler:innen dazu bewegen, sich für die gesünderen Alternativen zu entscheiden. Auch die EU-Energiekennzeichnung von Elektrogeräten ist eine Form des Nudging. Die Labels machen sich das allseits verinnerlichte System der Ampelfarben zunutze, um Käufer:innen zum Kauf der grün gekennzeichneten, energiesparsameren Geräte zu bewegen. Das System war zunächst von Erfolg gekrönt – nach acht Jahren hatten 90 % der Kühlschränke, Geschirrspüler und Waschmaschinen die Klasse A erreicht, sodass eine Anpassung der Kriterien notwendig wurde. Da sich die Hersteller gegen eine Neudefinition der Kategorien sträubten (so wäre z.B. ein Gerät der A-Klasse in die D-Klasse abgestuft worden), wurde die Skala nach oben erweitert und die Klassen A+ bis A+++ eingeführt. Jedoch wurden die neuen möglichen Verbesserungen verhältnismäßig weniger stark wertgeschätzt, wohl, weil A weiterhin der Referenzwert blieb.⁹⁸ Im März 2021 wechselte man deshalb wieder zu einer Skala ohne Pluszeichen.⁹⁹ Überlegungen zur Anwendung von Nudging wurden immer auch von ethischen Diskussionen begleitet: Ist es moralisch vertretbar, die Entscheidung einer Person zu beeinflussen? Diese Frage kann hier nicht erschöpfend diskutiert werden. Nudges sollten jedoch, um nicht manipulativ zu sein, transparent gestaltet werden, also in einer Form, in der für Nutzer:innen leicht nachzuvollziehen ist, worin der Nudge besteht und in welche Richtung dieser stupsen soll (wie bei der grünen A-Kategorie der Energiekennzeichnung).¹⁰⁰ Wichtig ist außerdem zu betonen, dass es nicht um eine zentralisierte Steuerung von Nutzer:innen mit integrierter Datensammlung geht (wie etwa bei Googles internem „Selfish Ledger“-Video),¹⁰¹ sondern um eine Durchbrechung der aktuell dominanten Logik, Nutzer:innen zu möglichst langen Bildschirmzeiten und möglichst vielen Konsumentscheidungen zu bewegen.¹⁰²

⁹⁶ Oksana Mont, Matthias Lehner, und Eva Heiskanen, Nudging, 2014, 12. | ⁹⁷ Helena Siipi und Polaris Koi, „The Ethics of Climate Nudges: Central Issues for Applying Choice Architecture Interventions to Climate Policy“, *European Journal of Risk Regulation*, Nr. 2017 (2021): 5, <https://doi.org/10.1017/err.2021.49>. | ⁹⁸ Folke Ölander und John Thøgersen, „Informing Versus Nudging in Environmental Policy“, *Journal of Consumer Policy* 37, Nr. 3 (1. September 2014): 345–49, <https://doi.org/10.1007/s10603-014-9256-2>. | ⁹⁹ „EU-Anforderungen an die Energieverbrauchskennzeichnung“, *Your Europe*, 4. Oktober 2021, https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/energy-labels/index_de.htm. | ¹⁰⁰ Eine gute Abhandlung zu transparenten und nicht-transparenten Nudges und ihren Implikationen für den Vorwurf der Manipulation findet sich in „Nudge and the Manipulation of Choice: A Framework for the Responsible Use of the Nudge Approach to Behaviour Change in Public Policy“ (2013) von Pelle Guldberg Hansen und Andreas Maaløe Jespersen. | ¹⁰¹ Vlad Savov, „Google’s Selfish Ledger Is an Unsettling Vision of Silicon Valley Social Engineering“, *The Verge*, 17. Mai 2018, <https://www.theverge.com/2018/5/17/17344250/google-x-selfish-ledger-video-data-privacy>. | ¹⁰² Vgl. dazu z.B. Maya Ganesh, „The Center for Humane Technology Doesn’t Want Your Attention“, *Cyborgology* (blog), 9. Februar 2018, <https://thesocietypages.org/cyborgology/2018/02/09/the-center-for-humane-technology-doesnt-want-your-attention/>.

Wie könnte das Ganze nun übertragen auf die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnik aussehen? Laut einem Artikel aus dem Peer Reviewed-Journal „Business & Information Systems Engineering“ ist digitales Nudging „die Nutzung der Designelemente von Benutzeroberflächen, um das Verhalten von Menschen in digitalen Entscheidungsumgebungen zu lenken. Digitale Entscheidungsumgebungen sind Benutzeroberflächen wie webbasierte Formulare [...], die von den Menschen eine Beurteilung oder Entscheidung verlangen.“¹⁰³ Die Entscheidungsarchitekturen der digitalen Welt werden in der Regel bereits sehr gezielt gestaltet, allerdings oft manipulativ in Form von sog. Dark Patterns. Ein Beispiel dafür sind irreführende Cookie-Banner, die „Alle Cookies akzeptieren“ grün hervorheben und die gegenteilige Option nur über viel Umwege und Klicks erlauben. Häufig befördern diese Strukturen auch Verhalten, das in seiner Konsequenz umweltschädigend ist: „Viele gerade der ökologischen Auswirkungen digitaler Technologien gehen auf Anwendungen zurück, die Menschen Entscheidungen vorschlagen, prägen oder solche Entscheidungen automatisch übernehmen.“¹⁰⁴ Algorithmen von Plattformen wie Instagram oder YouTube sind darauf ausgerichtet, dass Nutzer:innen möglichst viel Zeit auf diesen Plattformen verbringen, um zwischendurch möglichst viel Werbung präsentiert bekommen zu können. Das führt allerdings zu einer intensiveren Nutzung der Endgeräte, was sich durch den erhöhten Stromverbrauch in höheren Treibhausgasemissionen niederschlägt. Ziel sollte das Gegenteil sein: Nutzer:innen sollten durch Nudging dazu angehalten werden, Geräte möglichst wenig zu benutzen und sie nach der Erledigung „notwendiger“ Aufgaben aus der Hand zu legen oder den Fokus auf tatsächlich relevante Inhalte zu legen. Ein denkbarer Schritt wäre bei den Social Media-Plattformen etwa, das Prinzip des endlosen Scrollings zu verbannen und neue Inhalte nur durch einen aktiven Wechsel zur nächsten Seite erreichen zu können. Abseits von Social Media und allgemeiner Nutzungsdauer könnte Nudging zum Beispiel darin bestehen, dass ein Online-Video beim Öffnen standardmäßig nicht in der höchstmöglichen Auflösung dargestellt wird, sondern dies aktiv von dem:der Nutzer:in ausgewählt werden muss. Also ein opt-in statt opt-out für maximalen Datenverbrauch. Im Auswahlfenster der verschiedenen Auflösungen könnte z.B. auch die Option 720p (HD) größer dargestellt werden als die Optionen 1080p (Full HD) oder 1920p (4k). Bei der Bildschirmgröße von Smartphones etwa bringt eine Steigerung der Videoauflösung auf 4K ohnehin keinen deutlich wahrnehmbaren Effekt. Denkbar wäre auch ein Hinweis, der erscheint, sobald lange Videos über mobile Datennetze angeschaut werden, dass eine Betrachtung über eine Festnetzverbindung umweltfreundlicher wäre. Ähnliche Warnhinweise finden sich bereits beim Download von Musik oder Apps, die Nutzer:innen vor übermäßigem Verbrauch ihres mobilen Datenvolumens warnen. Solche sogenannten „prompts“, die eine Unterform des Nudgings bilden, sind wie Erinnerungssäulen für Nutzer:innen, die in unmittelbarer örtlicher oder zeitlicher Nähe zum zu beeinflussenden Verhalten auftauchen und eine positive Verhaltensempfehlung abgeben. Allerdings nutzt sich ihr Effekt schnell ab und kann von Nutzer:innen als nervig empfunden werden.¹⁰⁵

Eines der Hauptargumente für die Anwendung von Nudging ist, dass es eine Disparität zwischen dem Bewusstsein von Menschen hinsichtlich einer Problemlage und den tatsächlichen, konkreten Handlungen zum Bekämpfen dieser Problemlage gibt. Nudging kann Menschen ein Verhalten erleichtern, das sie ohnehin positiv bewerten. Im Falle der IKT könnten solche positiven Nebeneffekte sein, eine allgemeine Verringerung der individuellen Bildschirmzeit zu erreichen oder das Datenvolumen zu schonen.

¹⁰³ Markus Weinmann, Christoph Schneider, und Jan vom Brocke, „Digital Nudging“, *Business and Information Systems Engineering* 58, Nr. 6 (2016): 433, <https://doi.org/10.1007/s12599-016-0453-1>. | ¹⁰⁴ Carl-Otto Gensch u. a., „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität: Welche Chancen und Risiken ergeben sich durch die Digitalisierung?“, 105. | ¹⁰⁵ Mont, Lehner, und Heiskanen, *Nudging*, 42.

3.3.2 BROWSER-ADDON ZUR ERMITTLUNG DER CO₂-BELASTUNG DURCH INTERNETNUTZUNG

Zentral für eine Reduktion der im Rahmen der IKT-Nutzung anfallenden Emissionen ist eine bessere Information der Verbraucher:innen über den Energie- und Ressourcenverbrauch durch digitale Dienste und Anwendungen. Um der Unsichtbarkeit von Energieverbrauch und Emissionsmenge entgegenzuwirken, sollte ein Browser-Addon oder eine App entwickelt werden, welche die CO₂-Belastung von Websitebesuchen und der Nutzung von Internetdienstleistungen berechnet und optisch aufbereitet. Wird etwa ein Video gestreamt, würde der Wert während der Wiedergabe kontinuierlich zunehmen. So kann sowohl während des Surfens als auch am Ende eines selbst gewählten Zeitabschnitts betrachtet werden, wie viel CO₂ das eigene Surfverhalten produziert hat. Auf diese Weise soll eine Sensibilisierung für den ansonsten unsichtbar gemachten Energieverbrauch hergestellt und der Mythos der entmaterialisierten Digitalität entzaubert werden.

Wichtiger noch: Um die CO₂-Belastung der eigenen Internetnutzung zu verringern, werden Nutzer:innen verschiedene Möglichkeiten eröffnet. Zum einen ist für sie aus den ausgegebenen Daten ersichtlich, welche der von ihnen zu beeinflussenden Faktoren sich negativ auf ihre CO₂-Bilanz auswirkt – das kann beispielsweise das häufige Schauen von Videostreams mit mobilen Daten sein. Zum anderen können Internetnutzer:innen die Umweltbelastungen ihres Online-Konsums analog zur Vorgehensweise bei Flugreisen oder Versandleistungen kompensieren, indem sie über die Benutzeroberfläche in Projekte investieren, die die Emissionen ausgleichen. Denkbar wäre hierbei eine thematisch angegliederte Kompensation, etwa im Bereich Kreislaufwirtschaft von Elektronikartikeln.¹⁰⁶ Um einen zusätzlichen positiven Anreiz zu schaffen, könnte Nutzer:innen in Kontrast zu ihrem durch das Surfen verursachten ökologischen Fußabdruck auch ein sogenannter „Handabdruck“ angezeigt werden. Der Begriff beschreibt die positiven Effekte, die Handlungen im digitalen Raum auf das Klima haben. So soll anstelle von Ohnmacht Handlungsfähigkeit in den Fokus gerückt und zu Taten animiert werden.¹⁰⁷ Sehen Nutzer:innen nicht nur die von ihnen verursachten Emissionen, sondern auch, durch welche Maßnahmen sie ihre Emissionsbilanz reduzieren, könnte dies einen Motivator darstellen.



Abbildung 5: Mockup Browser-Addon „Emissionsrechner“

¹⁰⁶ Vgl. dazu: Bei Compensaid kann man die Emissionen einer Flugreise über synthetisches Kerosin ausgleichen. | ¹⁰⁷ Centre entre for Environment Education, „The Handprint Idea“, zugegriffen 4. Mai 2022, https://www.handprint.in/the_handprint_idea.

4. EXEMPLARISCHE ANWENDUNGSRECHNUNGEN

Da Vieles in der Debatte um die Umweltauswirkungen von IKT sehr abstrakt bleibt und mögliche Verbesserungen durch unterschiedliche Ansätze für Nutzer:innen nur schwer greifbar sind, sollen hier beispielhaft einige Rechenbeispiele gegeben werden, die den ökologischen Unterschied zwischen verschiedenen beschrittenen oder noch zu beschreitenden Wegen in Anwendungsbereichen der IKT aufzeigen.

4.1 PHYSISCHES VS. DIGITALES MEETING

Eine Gruppe von Forschenden hat berechnet, wieviel CO₂ eine digital durchgeführte Konferenz mit 207 Teilnehmenden verursacht, und dabei sehr genau alle einfließenden Aspekte berücksichtigt, etwa auch auf die Konferenzdauer heruntergerechnete Anteile eingebetteter Emissionen. Die Konferenz, die über 6 Stunden ging, verursachte insgesamt 1,3 Tonnen CO₂-Äquivalente, wobei vor allem der Stromverbrauch durch eine hohe Menge an Datentransfer während der Konferenz, zugehörige Emissionen der Computer der Teilnehmenden sowie viele vorangegangene Organisationsmeetings einen großen Anteil beitrugen.¹⁰⁸ Allerdings stellte sich auch heraus: Hätte die Konferenz vor Ort stattgefunden, hätten alleine die Flugemissionen jener Teilnehmer:innen, die mit dem Flieger angereist wären, 88 Tonnen CO₂ verursacht, also mehr als das 66-fache der Gesamtemissionen der virtuellen Konferenz.¹⁰⁹

4.2 KRYPTOWÄHRUNGEN

Bitcoin und verwandte Kryptowährungen machen schon seit geraumer Zeit negative Schlagzeilen mit ihrem immensen Energieverbrauch. Dieser ist ein Resultat der rechenintensiven Proof-of-Work-Methode, bei der Teilnehmer des Bitcoin-Netzwerks Rechenleistung und somit Energie aufwenden, um spezialisierte kryptographische Aufgaben zu lösen. Wem dies zuerst gelingt, erhält eine Belohnung in Form von neu geschaffenen Bitcoins. Im gleichen Zug werden neue Bitcoin-Transaktionen in der Blockchain verbucht. Doch je wertvoller ein Bitcoin wird, desto stärker ist der Anreiz, Rechenleistung in das Mining zu investieren, um die Belohnung zu erhalten. Das System wird dadurch einerseits manipulationsresistenter, andererseits ist laut dem Bitcoin Energy Consumption Index allein der Bitcoin für 114,06 Mt Treibhausgasemissionen jährlich verantwortlich, was in etwa dem ökologischen Fußabdruck von Tschechien entspricht.¹¹⁰ Denselben Index zufolge verbraucht eine einzige Bitcoin-Transaktion zu diesem Zeitpunkt so viel Strom wie ein durchschnittlicher US-Haushalt in rund 73 Tagen, mit demselben Energieaufwand könnten 1.424.235 Visa-Transaktionen stattfinden. Laut dem Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index macht Bitcoin schon heute unglaubliche 0,32 % des globalen Energieverbrauchs aus.¹¹¹ Zwar greifen Bitcoin-Miner zuweilen auf erneuerbare Energien zurück, um ihre Operationen als klimaneutral deklarieren zu können, doch die enorme Menge an erneuerbarer Energie, die dadurch in Anspruch genommen wird, fehlt in anderen Sektoren. Ein Grund, weshalb China 2021 alle Aktivitäten im Zusammenhang mit Kryptowährungen verboten hat, denn ein bedeutender Anteil der für Bitcoin genutzten Energie stammte aus chinesischer Wasserkraft.¹¹²

¹⁰⁸ Grant Faber, „A framework to estimate emissions from virtual conferences“, *International Journal of Environmental Studies* 78, Nr. 4 (2021): 617, <https://doi.org/10.1080/00207233.2020.1864190>. | ¹⁰⁹ Ebd., 620.

¹¹⁰ „Bitcoin Energy Consumption Index“, *Digiconomist*, April 2022, <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>. | ¹¹¹ „Comparisons“, *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*, 2022, <https://ccaf.io/cbeci/index/comparisons>. | ¹¹² Sebastián Rodríguez, „Can cryptocurrency ever be environmentally friendly?“, *DW*, 24. Februar 2022, <https://www.dw.com/en/bitcoin-can-cryptocurrency-mining-ever-be-environmentally-friendly/a-60818440>.

4.3 RECHENZENTREN

Mit einem wachsenden Bewusstsein für die klimaschädliche Wirkung von IKT-Anwendungen geraten auch Betreiber:innen von Rechenzentren zusehends unter Zugzwang, ihre Rechenzentren ökologischer zu gestalten. Dabei haben sich einige vielversprechende Projekte entwickelt, die wegweisend sein könnten für die zukünftige Architektur von Rechenzentren. Mit dem Umweltlabel „Blauer Engel“ wurde beispielsweise der Green IT Cube am Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt ausgezeichnet. Durch seinen kompakten Aufbau und die effiziente Abführung großer Wärmemengen durch Wasserkühlung soll es jährlich 15.000 Tonnen CO₂-Emissionen gegenüber konventionellen Supercomputern einsparen.¹¹³ Auch der Anbieter Heat&Cloud nutzt Wasserkühlung, um seine Rechenzentren energieeffizienter zu machen und verwendet die dabei entstehende Abwärme für Heizungen oder Warmwasserversorgung in Wohn- und Bürogebäuden weiter. Durch ein so ausgestattetes Rechenzentrum sollen pro Jahr 557 Tonnen CO₂ im Vergleich zu einem herkömmlichen eingespart werden können.¹¹⁴ Eine Studie des Schweizer Bundesamtes für Energie (BFE) prognostiziert, dass durch Maßnahmen wie das Anheben der Systemraumtemperaturen, die Nutzung von Free-Cooling, energieeffiziente Speicher oder den Einsatz von effizienteren IT-Komponenten 46 % des heutigen Stromverbrauchs von Rechenzentren eingespart werden könnten.¹¹⁵

4.4 VIDEOSTREAMING

Wie groß der Einfluss von Videostreaming auf den individuellen ökologischen Fußabdruck tatsächlich ist, wurde in den vergangenen Jahren intensiv diskutiert. Die Internationale Energiebehörde (IEA) stellt auf ihrer Webseite einen Beispielrechner bereit, in dem verschiedene Nutzungsszenarien angegeben und hinsichtlich ihrer Emissionsintensität berechnet werden können. Demnach erzeugen zwei Stunden Videostreaming auf einem Laptop in Standardauflösung über schnelles WLAN in Deutschland 34 g Treibhausgasemissionen, in 4K-Qualität sind es 44 g. Dabei wird auch der Strommix im jeweiligen Land in Betracht gezogen. Bei gleichbleibenden übrigen Parametern lägen die Werte in Südafrika bei 75 g für die Standardauflösung und 98 g für die 4K-Qualität. Die IEA stützt sich für ihren Rechner auf eigene Schätzungen und liegt deutlich unter angenommenen Werten anderer Institutionen wie dem Think Tank „The Shift Project“. Nach Angaben der IEA ist der ökologische Fußabdruck von Streaming vergleichsweise klein und vor allem abhängig von der Art der Energiequelle: „Wie bei anderen Endverbrauchern von Strom, z.B. bei Elektrofahrzeugen, bedeutet dies, dass der Gesamtfußabdruck des Videostreaming am stärksten davon abhängt, wie der Strom erzeugt wird“.¹¹⁶

4.5 FESTNETZ UND MOBILFUNKTECHNIK

Die Ökobilanz von Datenübertragungen fällt unterschiedlich aus, je nachdem, welche Netzwerke dafür genutzt werden. So stellten Forscher:innen des IEEE in eigenen Messverfahren fest, dass die verschiedenen, untersuchten WLAN-Verbindungen über 50 % energieeffizienter als LTE-Verbindungen arbeiteten.¹¹⁷ Forscher:innen des Umweltbundesamtes verglichen die Energieeffizienz von 5G-Netzen mit älterer Technik und kamen zu dem Schluss, dass der 5G-Standard Daten 20 mal effizienter überträgt als der 3G-Standard und dreimal effizienter als der 4G-Standard: „Wird der Stream über das Glasfasernetz geleitet, so führt dies zu Treibhausgasemissionen in Höhe von 2 g/h. Beim kabelgebundenen Breitbandanschluss (VDSL – „very high speed digital subscriber line“) benötigt der Stream mit etwa 4 g CO₂e rund das Doppelte. Noch höhere CO₂-Fußabdrücke hat die Übertragung in mobilen Zugangsnetzen. Das moderne 5G-Netz liegt bei rund 5 g, das derzeit gängige 4G-Mobilfunknetz (LTE – „long term evolution“) bei rund 13 g und das alte 3G-Netz (UMTS – „universal mobile telecommunications system“) bei 90 Gramm pro Stunde Videostreaming.“¹¹⁸

¹¹³ Ralph Hintemann, Simon Hinterholzer, und Jens Clausen, „Rechenzentren in Europa - Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung“ (Digitale Infrastrukturen, 10. November 2020), 29. | ¹¹⁴ „Cloud&Heat – Heizen mit der Datenwolke“, So geht sächsisch, zugegriffen 27. April 2022, <https://www.so-geht-saechsich.de/gruenden-unternehmen/wirtschaftsstandort/cloudheat>. | ¹¹⁵ Kommission für Wissenschaft, Bildung und Kultur NR, „21.3606 | Energieeffizienzpotenzial der Datencenter | Geschäft | Das Schweizer Parlament“, 27. Mai 2021, <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefft?AffairId=20213606>.

¹¹⁶ Eigene Übersetzung aus Kamiya, „The carbon footprint of streaming video: fact-checking the headlines“. | ¹¹⁷ Longhao Zou, Ali Javed, und Gabriel-Miro Muntean, „Smart mobile device power consumption measurement for video streaming in wireless environments: WiFi vs. LTE“ (IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2017), 5. | ¹¹⁸ Kühn, Gröger, und Stobbe, „Energie- und Ressourceneffizienz digitaler Infrastrukturen - Ergebnisse des Forschungsprojektes „Green Cloud-Computing“, 5.

Die Studie der französischen Institutionen ADEME und Arcep kam zu dem Schluss, dass sich ein Großteil der Umweltwirkungen auf das Festnetz konzentriert - je nach Indikator (Ressourcenverbrauch, Emissionen etc.) mit einem Anteil von 75 bis 90 %. Betrachtet man jedoch den Effekt pro konsumiertem Gigabyte, so haben mobile Netzwerke fast dreimal so viel negativen Einfluss auf die Gesamtheit der untersuchten Umweltindikatoren wie das Festnetz, mit steigender Tendenz.¹¹⁹

4.6 NACHHALTIGE GESTALTUNG VON SOFTWARE-SYSTEMEN

Die Programmierung von Anwendungen kann einen großen Einfluss darauf haben, wie energieeffizient sie arbeiten. Denn genauso wie ein journalistischer Text viele mögliche Stile, Längen und Strukturen aufweisen kann, kann auch ein Programm über sehr unterschiedlichen Code an ein erklärtes Ziel gelangen. Das Umweltbundesamt hat den Stromverbrauch von drei Content-Management-Systemen, zwei Textverarbeitungsprogrammen sowie drei Internetbrowsern unter festgelegten Standardszenarien verglichen: „Der Energieverbrauch der Content Management Systeme (CMS) liegt innerhalb der Bandbreite von ca. 0,61 bis ca. 0,73 Wattstunden (Wh) relativ dicht beieinander. Bei den Browsern zeigen sich deutlichere Unterschiede mit ca. 0,66 Wattstunden bei Browser 1 und 1,95 Wattstunden bei Browser 2. Am deutlichsten sind die Unterschiede bei den beiden Textverarbeitungsprogrammen mit 0,93 Wattstunden bei Textverarbeitungsprogramm 2 und 3,6 Wattstunden bei Textverarbeitungsprogramm 1. Textverarbeitungsprogramm 1 verbraucht knapp viermal so viel Energie wie das Textverarbeitungsprogramm 2, obwohl beide Programme das gleiche Standardnutzungsszenario durchlaufen.“ Das zeigt: Selbst bei simplen Aufgaben wie der Textverarbeitung können signifikante Unterschiede zwischen den Anwendungen bestehen. Die Vermutung liegt nahe, dass der Effekt bei aufwändigeren Anwendungen wie Videoschnitt oder Animation noch weit größer ausfallen kann. Oder im Falle von Künstlicher Intelligenz bzw. Maschinenlernen: Bei der Untersuchung des Energieverbrauchs moderner KI-Systeme haben Forscher der University of Massachusetts Amherst beispielsweise herausgefunden, dass insbesondere die Trainingsphasen neuer neuronaler Netze hohe Mengen an Energie verbrauchen, sodass beim Training eines gängigen KI-Modells mit Big Data etwa 300 t CO₂e anfallen, einem Wert, der etwa 300 Hin- und Rückflügen von New York nach San Francisco entspricht.¹²⁰ Eine weitere Untersuchung geht davon aus, dass beim Training eines Maschinenlern-Algorithmus für natürliche Sprachverarbeitung über 284 t CO₂e freigesetzt wird, das Fünffache der durchschnittlichen Emissionen eines Kraftfahrzeugs über seine gesamte Lebensdauer hinweg.¹²¹

Abhilfe könnte beispielsweise eine Kompromisslösung zwischen Trainingsaufwand und Genauigkeit schaffen, um den Energiebedarf zu senken und damit zu einer Verringerung der Emissionen beizutragen: „Entsprechende Algorithmen erarbeiten mit Heuristiken und randomisierten Ansätzen ein Ergebnis, das der optimalen Lösung möglichst nahekommt, sich aber mit einem viel geringeren Aufwand und mit einer kürzeren Laufzeit berechnen lässt. Solche zweitbesten' Algorithmen, die meist sehr nahe an die exakte Lösung herankommen, können abhängig von der zu lösenden Problemklasse die Laufzeit von Algorithmen um Faktoren von 100 bis 10.000 verkürzen.“¹²² Hierfür gilt es, best practices zu entwickeln und ehrgeizige Standards zu etablieren.

¹¹⁹ „Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective - Note de synthèse réalisée par l'ADEME et l'Arcep“ (ADEME, arcep, 19. Januar 2022), 14. | ¹²⁰ Meinel, „Reine Rechner: Der Weg zur energieeffizienten Digitalisierung“, 29. | ¹²¹ Emma Strubell, Ananya Ganesh, und Andrew McCallum, „Energy and Policy Considerations for Modern Deep Learning Research“, Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence 34, Nr. 09 (3. April 2020): 1, <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i09.7123>. | ¹²² Meinel, „Reine Rechner: Der Weg zur energieeffizienten Digitalisierung“, 30.

5. FAZIT

Das Ausmaß der im Zusammenhang mit Informations- und Kommunikationstechnik anfallenden Treibhausgasemissionen zeigt, dass großer politischer Handlungsbedarf besteht. Und die Dringlichkeit wird zunehmen: Nicht nur ist unklar, ob die Effizienzgewinne, die das enorme Wachstum der Branche bisweilen abfedern, beibehalten werden können. Einige Expert:innen gehen aus, dass diese Effizienzsteigerungen bald ihr Limit erreichen und sich nach 2025 verlangsamen könnten.¹²³ Auch in der aktuell noch vorherrschenden Situation, in der Rechenzentren immer energieeffizienter werden, sinkt ihr weltweiter Energieverbrauch und damit ihr Emissionsanteil nicht, da Netzangebote immer weiter ausgebaut werden und in verschiedenste gesellschaftliche und wirtschaftliche Prozesse integriert werden. Auch Effizienzsteigerungen bei Smartphones werden konterkariert durch kürzer werdende Austauschzyklen der Geräte, da die dadurch hervorgerufene oder wahrgenommene Obsoleszenz zum Kauf von neuen, noch effizienteren Geräten verleitet: „Beispielsweise kaufen wir uns effizientere Geräte, um Energie einzusparen. Diese Anschaffung verbraucht aber sogar mehr Energie – zumal das alte Gerät oft noch funktioniert. Oder wir kaufen uns zusätzliche Geräte und nutzen sie stärker. Auch das übertrifft den eigentlichen Einspareffekt oft.“¹²⁴ Hier zeigt sich wieder der Rebound-Effekt. Die Geräte werden außerdem immer größer, leistungsfähiger und sind mit mehr Funktionen ausgestattet. Auf einfachste Art lässt sich diese Entwicklung an der wachsenden Zahl der pro Smartphone verbauten Kameras betrachten. Und auch die Gesamtzahl der Nutzer:innen von IKT wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Der kontinuierliche Ausbau des Internet of Things, die Einrichtung von Smart Cities und Smart Homes wie die Erschließung immer neuer Anwendungsgebiete, die wir zum Teil noch nicht mal erahnen, bedeuten – ungeachtet ihrer potenziellen ressourcenschonenden indirekten Effekte – zunächst einmal ein Wachstum des Ressourcenverbrauchs, eine Zunahme der anfallenden Emissionen sowie ein Mehr an Elektroschrott.

Um davon wegzukommen, ist es zunächst notwendig, eine bessere Datenlage zu schaffen. Denn die Vielzahl an Studien mit unterschiedlichen Rechenmodellen, Definitionen und Datengrundlagen erschwert es, ein klares Bild über das Ausmaß der Umweltbelastungen sowie Erfolge und Rückschläge in der Verbesserung der Umweltbilanz von Diensten und Produkten zu erhalten. Lohnend werden deshalb, neben der Besteuerung von Emissionsverursachung, vor allem regulatorische Maßnahmen sein, die Unternehmen zu Transparenz hinsichtlich der durch ihre Produkte und Betriebsabläufe verursachten Treibhausgasemissionen verpflichten und nutzernah Informationen bereitstellen. Des Weiteren sollte durch Nudging auf individueller Ebene versucht werden, Personen zu klimaverträglicherer Internetnutzung zu bewegen, was in einigen Fällen den positiven Nebeneffekt einer allgemeinen Verringerung der durch Algorithmen gesteigerten Bildschirmzeit haben könnte. Und die Bereitstellung von Kompensationsmöglichkeiten durch atmosfair oder vergleichbare Anbieter sollte Handlungsperspektiven eröffnen, die zugleich eine andere Haltung gegenüber den Kollateraleffekten erlauben: Nichts von dem, was in der schönen Digitalwelt scheinbar for free offeriert wird, bleibt ohne Kosten für Umwelt und Klima.

¹²³ Freitag u. a., „The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations“, 1. ¹²⁴ Daniela Wohlschläger, „Nachhaltigkeit und Digitalisierung – passt das zusammen?“, München. Digital. Erleben., 5. März 2021, <https://muenchen.digital/blog/nachhaltigkeit-und-digitalisierung/>.

QUELLEN

- Adams, Rebecca. „E-waste and How to Reduce It“. Climate Institute, 12. November 2018. <https://climate.org/e-waste-and-how-to-reduce-it/>.
- Alleau et al. „Sustainable IT: Why it's time for a Green revolution for your organization's IT“. Capgemini, 2021.
- Andrae, Anders S. G., und Tomas Edler. „On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030“. *Challenges* 6, Nr. 1 (Juni 2015): 117–57. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>.
- Andrae, Anders S.G. „Comparison of Several Simplistic High-Level Approaches for Estimating the Global Energy and Electricity Use of ICT Networks and Data Centers“. *International Journal of Green Technology* 5, Nr. 1 (2. Dezember 2019): 50–63. <https://doi.org/10.30634/2414-2077.2019.05.06>.
- Apple Inc. „iPhone 13 Product Environmental Report“, 2021. https://www.apple.com/euro/environment/pdf/a/generic/products/iphone/iphone_13_PER_Sept2021.pdf.
- Belkhir, Lotfi, und Ahmed Elmeligi. „Assessing ICT Global Emissions Footprint: Trends to 2040 & Recommendations“. *Journal of Cleaner Production* 177 (März 2018): 448–63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>.
- Digiconomist. „Bitcoin Energy Consumption Index“, April 2022. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
- Bitkom. „Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken“, 2020, 58.
- Worldloop. „Bo2W impact on CO2 Emissions“, 2013. <https://worldloop.org/e-waste/bo2w-impact-on-co2-emissions/>.
- Boldoczki, Sandra, Andrea Thorenz, und Axel Tuma. „The environmental impacts of preparation for reuse: A case study of WEEE reuse in Germany“. *Journal of Cleaner Production* 252 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119736>.
- Brendel, Jens-Christoph. „Computing ohne CO₂“. *Linux-Magazin*, Februar 2022.
- Carl-Otto Gensch, Felix Behrens, Sibylle Braungardt, Peter Gailhofer, Jens Gröger, Jürgen Sutter, Melanie Degel, Kerstin Fritzsche, Steffen Bauer, und Lisa Steck. „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität: Welche Chancen und Risiken ergeben sich durch die Digitalisierung?“, 1. Juli 2021.
- Centre for Environment Education. „The Handprint Idea“. Zugegriffen 4. Mai 2022. https://www.handprint.in/the_handprint_idea.
- Clarke, Christopher, Ian D. Williams, und David A. Turner. „Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK“. *Resources, Conservation and Recycling* 141, Nr. June 2018 (2019): 465–73. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.003>.
- Clausen, Jens, Thomas Niebel, Ralph Hintemann, Stefanie Schramm, Janna Axenbeck, und Stefan Iffländer. „Klimaschutz durch digitale Transformation: Realistische Perspektive oder Mythos? CliDiTrans Endbericht“. Berlin: Borderstep Institut, 2022.
- So geht sächsisch. „Cloud&Heat – Heizen mit der Datenwolke“. Zugegriffen 27. April 2022. <https://www.so-geht-saechsisch.de/gruenden-unternehmen/wirtschaftsstandort/cloudheat-quarks.de>.
- quarks.de. „CO₂-Rechner für Auto, Flugzeug und Co.“, 26. April 2019. <https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/co2-rechner-fuer-auto-flugzeug-und-co/>.
- Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. „Comparisons“, 2022. <https://ccaf.io/cbeci/index/comparisons>.
- Cordella, Mauro, Felice Alfieri, und Javier Sanfelix. „Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones“. *Journal of Industrial Ecology* 25, Nr. 2 (2021): 448–64. <https://doi.org/10.1111/jiec.13119>.
- Curry, Edward, und Brian Donnellan. „Sustainable IT: Why it's time for a Green revolution for your organization's IT“. *Computing Handbook*, Third Edition, 2021, 50–1–50–20. <https://doi.org/10.1201/b16768-58>.
- Davoli, Franco, Matteo Repetto, Carlo Tornelli, Gianluigi Proserpio, und Flavio Cucchiatti. „Boosting energy efficiency through smart grids“ 7 (2012): 80.
- Dong, Xiucheng, Qingzhe Jiang, und Jianda Wang. „Assessing Embodied Carbon Emission and Its Intensities in the ICT Industry: The Global Case“. *Frontiers in Energy Research* 9, Nr. May (2021): 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.685021>.
- EFRAG. „Proposals for a relevant and dynamic EU Sustainability Reporting Standard-Setting“. European Financial Reporting Advisory Group, Nr. February (2021).
- Your Europe. „EU-Anforderungen an die Energieverbrauchskennzeichnung“, 4. Oktober 2021. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/product-requirements/labels-markings/energy-labels/index_de.htm.
- „Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective – Note de synthèse réalisée par l'ADEME et l'Arcep“. ADEME, arcep, 19. Januar 2022.
- Faber, Grant. „A framework to estimate emissions from virtual conferences“. *International Journal of Environmental Studies* 78, Nr. 4 (2021): 608–23. <https://doi.org/10.1080/00207233.2020.1864190>.
- Forti, Vanessa, Cornelis Peter Baldé, Ruediger Kuehr, und Garam Bel. *The Global E-waste Monitor 2020*, 2020.
- Freitag, Charlotte, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran Knowles, Gordon Blair, und Adrian Friday. „The climate impact of ICT: A review of estimates, trends and regulations“, Nr. December (2021).
- Freitag, Charlotte, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran Knowles, Gordon S. Blair, und Adrian Friday. „The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations“. *Patterns* 2, Nr. 9 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>.
- Fung, Mei Lin, und Christoph Meinel. „Clean-It: Policies to Support Sustainable Digital Technologies“. Policy brief. G20 Insights, September 2021.
- Ganesh, Maya. „The Center for Humane Technology Doesn't Want Your Attention“. *Cyborgology (blog)*, 9. Februar 2018. <https://thesocietypages.org/cyborgology/2018/02/09/the-center-for-humane-technology-doesnt-want-your-attention/>.
- Google. „Pixel 6 Product Environmental Report“, 2021.
- Gröger, Jens. „Der CO₂-Fußabdruck unseres digitalen Lebensstils“. *BLÖG – Beiträge und Standpunkte aus dem Öko-Institut (blog)*, 24. April 2020. <https://blog.oeko.de/>.
- Gröger, Jens, und Ran Liu. „Green Cloud Computing“. *TEXTE*. Bd. 94, 2021.
- Tagesschau. „Handys werden seltener ausgetauscht“, 9. Februar 2022. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/smartphones-nutzungsdauer-austausch-wechsel-nachhaltigkeit-kosten-reparatur-101.html>.
- Hintemann, Ralph, Simon Hinterholzer, und Jens Clausen. „Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung“. *Digitale Infrastrukturen*, 10. November 2020.
- Huawei Device Co. „HUAWEI Mate 40 Pro 5G Carbon Footprint“. huawei.com, 2022. <https://consumer.huawei.com/en/sustainability/environmental-protection/>.
- Jaeger-Erben, Melanie. „Zwischen Anspruch und Wirklichkeit – Langlebige Geräte werden gewünscht aber nicht behalten“. Berlin: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, 18. Januar 2021. https://www.izm.fraunhofer.de/de/news_events/tech_news/langlebige-geraete-werden-gewuenscht-aber-nicht-behalten.html.
- Kamiya, George. „The Carbon Footprint of Streaming Video: Fact-Checking the Headlines“. International Energy Agency, 11. Dezember 2020. <https://www.iea.org/commentaries/the-carbon-footprint-of-streaming-video-fact-checking-the-headlines>.
- Köhn, Marina, Jens Gröger, und Dr. Lutz Stobbe. „Energie- und Ressourceneffizienz digitaler Infrastrukturen – Ergebnisse des Forschungsprojektes ‚Green Cloud-Computing‘“, 7. September 2020.
- Kommission für Wissenschaft, Bildung und Kultur NR. „21.3606 | Energieeffizienzpotenzial der Datacenter | Geschäft | Das Schweizer Parlament“, 27. Mai 2021. <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20213606>.
- Köppl-Turyna, Monika, Wolfgang Briglauer, Philipp Koch, Martin Wolf, Wolfgang Schwarzbauer, Matthias Gotsch, und Elisabeth Eberling. „Digitalisierung und Klimawandel: Hebeltechnologien, -anwendungen und Gesamteffekt der Digitalisierung auf die CO₂-Emissionen“, 2021.
- Kreyss, Jutta. „LiMux: Mehr als 12.000 Clients im Betrieb: Lessons Learned“, 22. Mai 2012. <https://wibe.de/wp-content/uploads/OpenSummit2013.pdf>.
- Lange, Steffen, Maximilian Banning, Anne Berner, Florian Kern, Christian Lutz, Jan Peuckert, Tilman Santarius, und Alexander Silbersdorff. „Economy-Wide Rebound Effects: State of the art, a new taxonomy, policy and research gaps, Arbeitsbericht 1 des Forschungsprojekts ReCap“. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), 2019.
- Lange, Steffen, und Tilman Santarius. *Smarte Grüne Welt? Digitalisierung zwischen Überwachung, Konsum und Nachhaltigkeit*, 2018.
- Lorincz, Josp, Antonio Capone, und Jinsong Wu. „Greener, Energy-Efficient and Sustainable Networks: State-Of-The-Art and New Trends“. *Sensors* 19, Nr. 22 (8. November 2019): 4864. <https://doi.org/10.3390/s19224864>.

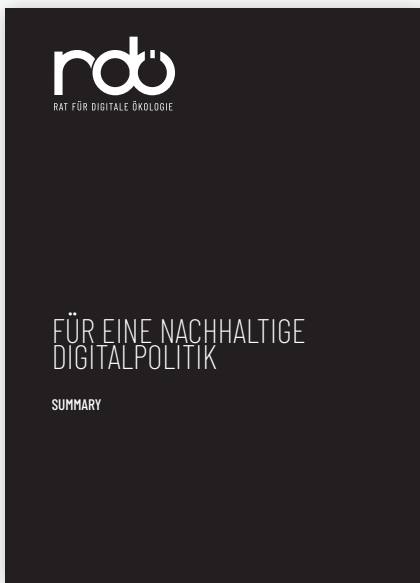
- Maga, Daniel, Markus Hiebel, Elisabeth Banken, und Paola Viehoff. „Treibhausgas- und Ressourceneinsparungen durch Wiederverwendung von Smartphones und Tablets“. *MÜLL und ABFALL*, Nr. 5 (30. April 2018): 7. <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2018.05.07>.
- Meinel, Christoph. „Reine Rechner: Der Weg zur energieeffizienten Digitalisierung“. *Linux-Magazin*, 2022.
- Linux-Magazin. „Mobiler Datenverkehr steigt exponentiell“, 2022.
- Mont, Oksana, Matthias Lehner, und Eva Heiskanen. *Nudging*, 2014.
- Netflix Inc. „Open Connect Overview“, 19. Mai 2022. <https://openconnect.netflix.com/Open-Connect-Overview.pdf>.
- Nogrady, Bianca. „Your Old Phone Is Full of Untapped Precious Metals“. *BBC*, Oktober 2016. <https://www.bbc.com/future/article/20161017-your-old-phone-is-full-of-precious-metals>.
- „Oatly sustainability update“. Zugegriffen 16. Mai 2022. <https://www.oatly.com/de-de/sustainability>.
- Ölander, Folke, und John Thøgersen. „Informing Versus Nudging in Environmental Policy“. *Journal of Consumer Policy* 37, Nr. 3 (1. September 2014): 341–56. <https://doi.org/10.1007/s10603-014-9256-2>.
- Proske, Marina, David Sánchez, Christian Clemm, und Sarah-Jane Baur. „Life Cycle Assessment of the Fairphone 3“. Berlin: Fraunhofer IZM, Juli 2020.
- Ritchie, Hannah, und Max Roser. „CO₂ and Greenhouse Gas Emissions“. *Our World in Data*, 2020. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- Rodriguez, Sebastián. „Can cryptocurrency ever be environmentally friendly?“ *DW*, 24. Februar 2022. <https://www.dw.com/en/bitcoin-can-cryptocurrency-mining-ever-be-environmentally-friendly/a-60818440>.
- Rosane, Olivia. „This year’s e-waste to outweigh Great Wall of China“. *World Economic Forum*, 18. Oktober 2021. <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/2021-years-e-waste-outweigh-great-wall-of-china/>.
- Santarius, Tilman. „Die Digitalisierung für das Klima nutzen!“ Gehalten auf der HIG: Making sense of the digital society, Berlin, 26. Oktober 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=MDj8pBrLBuQ>.
- Savov, Vlad. „Google’s Selfish Ledger Is an Unsettling Vision of Silicon Valley Social Engineering“. *The Verge*, 17. Mai 2018. <https://www.theverge.com/2018/5/17/17344250/google-x-selfish-ledger-video-data-privacy>.
- Siipi, Helena, und Polaris Koi. „The Ethics of Climate Nudges: Central Issues for Applying Choice Architecture Interventions to Climate Policy“. *European Journal of Risk Regulation*, Nr. 2017 (2021): 1–18. <https://doi.org/10.1017/err.2021.49>.
- Statista Research Department. „Media usage in an online minute 2021“, 28. April 2022.
- „Statista-Dossier zu Smartphones“. Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/studie/id/3179/dokument/smartphones-statista-dossier/>.
- Strubell, Emma, Ananya Ganesh, und Andrew McCallum. „Energy and Policy Considerations for Modern Deep Learning Research“. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* 34, Nr. 09 (3. April 2020): 13693–96. <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i09.7123>.
- tagesschau.de. „Wie viel ist eine Tonne CO₂?“ tagesschau.de. Zugegriffen 29. März 2022. <https://www.tagesschau.de/multimedia/bilder/grafik-co2-101.html>.
- Huawei. „Technology that benefits our planet“. Zugegriffen 19. Mai 2022. <https://consumer.huawei.com/en/sustainability/environmental-protection/>.
- Geneva Environment Network. „The Growing Environmental Risks of E-Waste“, 20. November 2021. <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/the-growing-environmental-risks-of-e-waste/>.
- UPS. „UPS To Enhance ORION With Continuous Delivery Route Optimization“, 2020. <https://about.ups.com/ae/en/newsroom/press-releases/innovation-driven/ups-to-enhance-orion-with-continuous-delivery-route-optimization.html>.
- „Video-Streaming: Art der Datenübertragung entscheidend für Klimabilanz [Gemeinsame Pressemitteilung von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt]“, 10. September 2020. <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/video-streaming-art-der-dateneruebertragung>.
- Weinmann, Markus, Christoph Schneider, und Jan vom Brocke. „Digital Nudging“. *Business and Information Systems Engineering* 58, Nr. 6 (2016): 433–36. <https://doi.org/10.1007/s12599-016-0453-1>.
- Wohlschlager, Daniela. „Nachhaltigkeit und Digitalisierung – passt das zusammen?“ München. *Digital. Erleben.*, 5. März 2021. <https://muenchen.digital/blog/nachhaltigkeit-und-digitalisierung/>.
- Zou, Longhao, Ali Javed, und Gabriel-Miro Muntean. „Smart mobile device power consumption measurement for video streaming in wireless environments: WiFi vs. LTE“. *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, 2017.

BISHER

ERSCHIENEN

MAI 2021

FÜR EINE NACHHALTIGE
DIGITALPOLITIK



OKTOBER 2021

DIE DIGITALE
TRANSFORMATION DER ARBEIT





RAT FÜR DIGITALE ÖKOLOGIE

IMPRESSUM

Herausgeber

Rat für Digitale Ökologie

Der Rat für Digitale Ökologie ist ein Projekt von FUTURZWEI. Stiftung Zukunftsfähigkeit.

FUTURZWEI. Stiftung Zukunftsfähigkeit

Lehrter Straße 57, Haus 6

10557 Berlin

Autoren

Nicholas Czichi-Welzer, Maxim Keller und Harald Welzer

Kontakt

<https://ratfuerdigitaleoekologie.org>

info@ratfuerdigitaleoekologie.org

Herausgegeben im **Juni 2022**



www.ratfuerdigitaleoekologie.org