

Digitaler CO₂-Fußabdruck

Datensammlung zur Abschätzung von
Herstellungsaufwand, Energieverbrauch und
Nutzung digitaler Endgeräte und Dienste

Berlin, 14. Juli 2020

Im Auftrag des
Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)

Autor

Jens Gröger
Öko-Institut e.V.
Büro Berlin

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Förderhinweis

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Die Mittelbereitstellung erfolgt auf Beschluss des Deutschen Bundestages.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
1. Hintergrund und Zielsetzung	7
2. Modell zur Bilanzierung des ökologischen Fußabdruckes	7
3. Produkte der Informationstechnik	9
3.1. Computer	9
3.1.1. Herstellungsaufwand	9
3.1.2. Leistungsaufnahme	9
3.1.3. Nutzungsdauer	10
3.2. Fernsehgeräte	11
3.2.1. Herstellungsaufwand	11
3.2.2. Leistungsaufnahme	12
3.2.3. Nutzungsdauer	13
3.3. Smartphones	13
3.3.1. Herstellungsaufwand	13
3.3.2. Leistungsaufnahme	14
3.3.3. Nutzungsdauer	14
3.4. Tablet-Computer	15
3.4.1. Herstellungsaufwand	15
3.4.2. Leistungsaufnahme	16
3.4.3. Nutzungsdauer	17
3.5. Spielekonsolen	17
3.5.1. Herstellungsaufwand und Leistungsaufnahme	17
3.5.2. Nutzungsdauer	18
3.6. Router	18
3.6.1. Herstellungsaufwand	18
3.6.2. Leistungsaufnahme	18
3.6.3. Nutzungsdauer	19
3.7. Sprachassistenten	19
3.7.1. Herstellungsaufwand	19
3.7.2. Leistungsaufnahme	20
3.7.3. Nutzungsdauer	20

3.8.	Smart-Home und Internet-of-Things	20
3.8.1.	Herstellungsaufwand	20
3.8.2.	Leistungsaufnahme smarte Lampen	21
3.8.3.	Leistungsaufnahme batteriegestützte Geräte	22
3.8.4.	Nutzung	22
4.	Dienstleistungen der Informationstechnik	22
4.1.	Internetnutzung	22
4.1.1.	Datenübertragung im Kernnetzwerk	22
4.1.2.	Datenvolumen in kabelgebundenen Netzwerken	23
4.1.3.	Datenübertragung in Mobilfunknetzwerken	24
4.1.4.	Datenvolumen in Mobilfunknetzwerken	25
4.2.	Streamingdienste	26
4.2.1.	Datenmengen	26
4.2.2.	Nutzungsdauer	28
4.3.	Cloud-Storage	29
4.3.1.	Datenmengen	29
4.3.2.	Leistungsaufnahme	30
5.	Zusammenfassung der Datengrundlage	30
5.1.	Digital-Produkte	30
5.2.	Dienstleistungen	31
6.	Fallbeispiele	32
6.1.	Durchschnittliche Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen	32
6.2.	Intensive Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen	33
6.3.	Smartes Beleuchtungssystem	35
6.4.	Fernsehen mit Smart-TV per Videostream	35
6.5.	Teilnahme an Online-Videokonferenzen	36
6.6.	Videotelefonie über Mobilfunknetze	37
6.7.	Festplatten-Backup in der Cloud	37
7.	Erkenntnisse aus der Anwendung des CO₂-Rechners	38
8.	Vorschläge für Einsparmöglichkeiten durch Konsument*innen	39
	Literaturverzeichnis	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Ergebnisse einer Verbraucherumfrage zur Lebensdauer von Notebooks	10
Abbildung 3-2:	Marktübersicht Bildschirmdiagonale von TV-Geräten	11
Abbildung 3-3:	Effizienzklassen von TV-Geräten über alle Bildschirmgrößen	12
Abbildung 3-4:	Treibhausgasemissionen zur Herstellung verschiedener Smartphone-Modelle	14
Abbildung 3-5:	Treibhausgasemissionen zur Herstellung verschiedener Tablet-Modelle	15
Abbildung 3-6:	Elektrische Leistungsaufnahme von Tablets im Betriebszustand	16
Abbildung 3-7:	Schematische Darstellung eines Sprachassistenten	19
Abbildung 3-8:	Einzelteile eines WLAN-Schalters (Amazon Dash Button)	21
Abbildung 4-1:	Schematische Darstellung des Datenweges vom Kunden zum Rechenzentrum	23
Abbildung 4-2:	Vergleich verschiedener Netzwerktechnologien	24
Abbildung 4-3:	Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland (Bundesnetzagentur)	25
Abbildung 4-4:	Auswertung von 121 Datentarifen und enthaltenen Datenvolumen	26
Abbildung 4-5:	Nutzungshäufigkeit Videostreaming 2015 – 2019	29
Abbildung 6-1:	CO ₂ -Fußabdruck für durchschnittliche Nutzung in Deutschland	32
Abbildung 6-2:	CO ₂ -Fußabdruck für die intensive Nutzung von Digitaltechnik	34
Abbildung 6-3:	CO ₂ -Fußabdruck Smartes Beleuchtungssystem mit 10 Lampen	35
Abbildung 6-4:	CO ₂ -Fußabdruck 3,5 Stunden pro Tag Fernsehen per Videostream	36
Abbildung 6-5:	CO ₂ -Fußabdruck tägliche Teilnahme an einer 4-stündigen Online-Videokonferenz	36
Abbildung 6-6:	CO ₂ -Fußabdruck 1 Stunde pro Tag Videotelefonie über Mobilfunknetze	37
Abbildung 6-7:	CO ₂ -Fußabdruck 250 GByte-Festplatten-Backup in der Cloud	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Herstellungsaufwand Desktop-PC, Laptop, Mini-PC	9
Tabelle 3-2:	Leistungsaufnahme Monitor, Desktop-PC, Laptop	9
Tabelle 3-3:	Herstellungsaufwand Tablet-Computer (Microsoft)	15
Tabelle 3-4:	Herstellungsaufwand und Leistungsaufnahme Spielekonsole	17
Tabelle 4-1:	Energieintensität verschiedener Mobilfunkstandards	25
Tabelle 4-2:	Datenmengen für verschiedene Streaming-Dienstleistungen	27
Tabelle 4-3:	Nutzungsdauern mediale Internetnutzung 2018/2019	28
Tabelle 5-1:	Datengrundlage des CO ₂ -Rechners für Digital-Produkte	30
Tabelle 5-2:	Datengrundlage des CO ₂ -Rechners für digitale Dienstleistungen	31
Tabelle 6-1:	Eingangsdaten für intensive Nutzung	33

1. Hintergrund und Zielsetzung

Die digitale Transformation ist einer der aktuellen Megatrends, die das Potenzial hat, unsere Lebensgewohnheiten fundamental zu ändern. Die bereits eintretenden Änderungen betreffen alle Lebensbereiche: Wohnen, Mobilität, Bildung, Arbeit, Freizeit, Handel, Konsum, Ernährung, Partnerwahl bis hin zum digitalen Friedhof. Die Verlagerung all dieser Aktivitäten in digitale Geräte, Netzwerke und Rechenzentren hat einen ökologischen Fußabdruck zur Folge, der derzeit noch weitgehend unsichtbar ist. Weder ist den Anwender*innen digitaler Geräte bewusst, mit welchen Umweltbelastungen die Herstellung und Entsorgung ihrer Geräte verbunden ist, noch herrscht Klarheit über den Energieverbrauch in Datennetzwerken und Rechenzentren. Tatsächlich sind solche Daten auch nur schwer verfügbar, da ihre Erhebung sehr komplex ist und von Anbietern digitaler Dienstleistungen und Herstellern von Digitalprodukten in der Regel geheim gehalten werden. Noch schwerer ist es, die Umweltwirkungen durch Digitalkonsum an Konsument*innen zu vermitteln. Der Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen zur Herstellung der Geräte sind an den Geräten selbst nicht zu erkennen, ebenso taucht der Energiebedarf des Internets und der Aufwand in Rechenzentren in keiner transparenten Rechnung auf, sondern wird durch Tarifgebühren, Abonnements oder durch persönliche Daten bezahlt.

Ziel dieser Recherchen ist es, die Datengrundlage dafür zu schaffen, den ökologischen Fußabdruck durch die Nutzung von digitalen Geräten berechnen zu können. Dies soll ähnlich der Systematik erfolgen, wie dies beim CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes (uba.co2-rechner.de) erfolgt, also durch die Angabe unterschiedlicher Nutzungsgewohnheiten und daraus resultierend unterschiedlicher Umwelteffekte. Als Umwelteffekte werden CO₂-äquivalente Treibhausgasemissionen (Abkürzung: CO₂e) berechnet.

Ausgehend von Beispielrechnungen mit dem CO₂-Rechner soll identifiziert werden, welche digitalen Anwendungen mit den größten negativen Umwelteffekten verbunden sind und durch welche Verhaltensänderungen diese Effekte reduziert werden können.

2. Modell zur Bilanzierung des ökologischen Fußabdruckes

Zur Berechnung des ökologischen Fußabdruckes durch die Nutzung von Produkten und Dienstleistungen der Informationstechnik werden folgende Modellannahmen getroffen:

- Der ökologische Fußabdruck wird durch die Umweltwirkungskategorie Treibhausgasemissionen (THG) beschrieben. Die Maßeinheit der Treibhausgasemissionen sind Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalente (kg CO₂e), die die Klimawirkung in Bezug auf Kohlendioxid beschreiben.
- Der Fußabdruck wird für eine einzelne Person bzw. einen Haushalt berechnet, der sich durch die jeweilige Geräteausstattung und Gerätenutzung auszeichnet. Zeitlicher Bezug ist ein Jahr. Die Einheit des ökologischen Fußabdruckes durch die Nutzung von Produkten und Dienstleistungen der Informationstechnik ergibt sich damit zu Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalenten pro Jahr (kg CO₂e/a).
- Untersuchungsgegenstand sind die Treibhausgasemissionen, die zur Herstellung der Produkte aufgewendet werden (z.B. Energie und Lösemittelmmissionen) sowie die Treibhausgasemissionen, die in der Nutzungsphase entstehen. Im Fall von Dienstleistungen sind dies CO₂e-Emissionen, die bei der Bereitstellung der Dienstleistung anfallen.
- Die CO₂-Emissionen, die mit der Herstellung zusammenhängen, wurden im Rahmen dieser Recherche nicht selbst ermittelt, sondern aus bestehenden Ökobilanzen zusammengestellt. Dies hat zur Folge, dass die Daten möglicherweise inkonsistent und ungenau sind, da unterschiedliche

Bewertungsmethoden, technische Standards, Materialdatenbanken, Herstellungsorte, Emissionsfaktoren usw. zum Einsatz kommen. Darüber hinaus sind die zitierten Ökobilanzen nicht durch unabhängige Gutachter qualitätsgesichert und können dadurch (gemäß den einschlägigen Ökobilanz-Normen) nur eingeschränkt kommuniziert werden. Die Treibhausgasemissionen zur Herstellung stellen daher nur eine Orientierung der Umweltauswirkungen dar. Um dies deutlich zu machen, wurden die betreffenden Werte jeweils gerundet.

- Transportemissionen zum Transport der Produkte zum Kunden werden berücksichtigt, sofern diese von den recherchierten Ökobilanzen mit ausgewiesen wurden. Dies ist in den jeweiligen Kapiteln zur Datenherkunft ausgeführt. Die Emissionen zur Entsorgung der Produkte oder mögliche Treibhausgasgutschriften für recycelte Werkstoffe werden nicht berücksichtigt.
- Nicht für alle technischen Geräte sind Ökobilanzen, Angaben zur Erstnutzungsdauer und tägliche Nutzungszeiten verfügbar. Um die Geräte trotzdem berücksichtigen zu können, werden die jeweiligen Parameter auf Grundlage des Expertenwissens des Öko-Institutes hergeleitet und abgeschätzt („educated guess“).
- Der Herstellungsaufwand der Geräte wird auf ein Jahr bezogen, indem der gesamte Herstellungsaufwand durch die Anzahl an Jahren der Nutzungsdauer des ersten Besitzers („Lebensdauer Erstnutzung“) geteilt wird. Dies kann entweder die tatsächliche technische Lebensdauer sein, wenn das Gerät nach Erstnutzung entsorgt wird oder ein kürzerer Zeitraum, wenn das Gerät anschließend einer Zweitnutzung zugeführt wird (z.B. als Gebrauchtgerät). Definitionsgemäß haben Geräte in der Zweitnutzung daher keinen Herstellungsaufwand.
- Der Energieverbrauch der Geräte berechnet sich aus den jährlichen Nutzungsstunden und der elektrischen Leistungsaufnahme sowie ggf. zuzüglich der jährlichen Standby-Verluste.
- Zur Berechnung der mit dem Stromverbrauch zusammenhängenden CO₂e-Emissionen geht das Modell von einem einheitlichen Emissionsfaktor des deutschen Strommixes gemäß den Berechnungen des Umweltbundesamtes von 0,468 kg/kWh für das Jahr 2018 aus (Icha 2020). Dieser Emissionsfaktor kann, beispielsweise für die Sensitivitätsanalyse beim Bezug von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energien (Ökostrom), variiert werden.
- Als Formel beschrieben, stellt sich die Treibhausgasbilanz von Produkten wie folgt dar:

$$THG_{Produkt X} = \frac{THG_{Herstellung}}{Lebensdauer\ Erstnutzung} + Emissionsfaktor_{Strom} *$$

$$(Jährliche\ Nutzungsstunden * P_{Aktiv} + (8760\ h -\ Jährliche\ Nutzungsstunden) * P_{Standby})$$

- Die Treibhausgasemissionen der Dienstleistungen werden über einen Mengenfaktor aus der Anzahl oder Intensität der jährlich in Anspruch genommenen Dienstleistungen berechnet.

$$THG_{Dienstleistung Y} = Inanspruchnahme * THG_{pro\ Nutzungseinheit}$$

- Der ökologische Fußabdruck durch die Nutzung von Produkten und Dienstleistungen der Informationstechnik berechnet sich als Summe aller genutzten Produkte und Dienstleistungen.

Nachfolgend wird aufbauend auf dem Modell zur Berechnung des ökologischen Fußabdruckes durch die Nutzung von Produkten und Dienstleistungen der Informationstechnik von einem „CO₂-Rechner“ gesprochen, der die technische Umsetzung dieses Modells als einfach zu bedienendes Rechenwerkzeug bezeichnet.

3. Produkte der Informationstechnik

3.1. Computer

3.1.1. Herstellungsaufwand

Eine ausführliche Ökobilanz zur Herstellung und Nutzung von Arbeitsplatz-Computern wurde von Prakash et al. 2016b erstellt. Die Studie berechnet für verschiedene Gerätekombinationen für Computer-Arbeitsplätze die Treibhausgasemissionen für die Herstellung wie folgt:

Tabelle 3-1: Herstellungsaufwand Desktop-PC, Laptop, Mini-PC

Geräte-Typ	Herstellungsaufwand	
THG-Potenzial der Herstellung eines Computer-Monitors	88,2	kg CO ₂ e
THG-Potenzial der Herstellung eines Desktop-PCs (mit HDD)	346,9	kg CO ₂ e
THG-Potenzial eines Notebooks (mit HDD)	251,7	kg CO ₂ e
THG-Potenzial eines Notebooks (mit SSD)	311,1	kg CO ₂ e
THG-Potenzial eines Mini-PC (mit HDD)	190,5	kg CO ₂ e
THG-Potenzial eines Mini-PC (mit SSD)	249,9	kg CO ₂ e

Quelle: Prakash et al. 2016b

Im CO₂-Rechner werden folgende gerundete Annahmen für den Herstellungsaufwand getroffen: Herstellung Monitor: 88 kg CO₂e, Desktop-Computer (mit HDD) 347 kg CO₂e, Herstellung Laptop-Computer (mit SSD): 311 kg CO₂e. Der Desktop-Computer wird immer gemeinsam mit mindestens einem Monitor betrieben.

3.1.2. Leistungsaufnahme

Die Untersuchung von Prakash et al. 2016b trifft auf Grundlage von Messungen in einer Bundesbehörde Annahmen zum durchschnittlichen Energieverbrauch von Monitoren, Desktop-Computern und Laptops. Bei diesen Geräten handelt es sich um vergleichsweise energieeffiziente Geräte. Werden stattdessen ineffiziente Geräte eingesetzt, beispielsweise Gamer-PCs mit einer hohen technischen Ausstattung, so können die Werte der Leistungsaufnahme im Einzelfall auch deutlich höher liegen.

Tabelle 3-2: Leistungsaufnahme Monitor, Desktop-PC, Laptop

Geräte-Typ	Leistungsaufnahme Aktivzustand	Standby
Computer-Monitor	47 W	0 W
Desktop-Computer	39,4 W	1,9 W
Laptop-Computer	13,2 W	1,84 W

Quelle: Prakash et al. 2016b

Im CO₂-Rechner werden gerundete Werte von 47 Watt (Computer-Monitor), 40 Watt (Desktop-Computer) und 13 Watt (Laptop-Computer) verwendet. Die Standby-Leistungsaufnahme wird auf die jeweilige Ganzzahl gerundet.

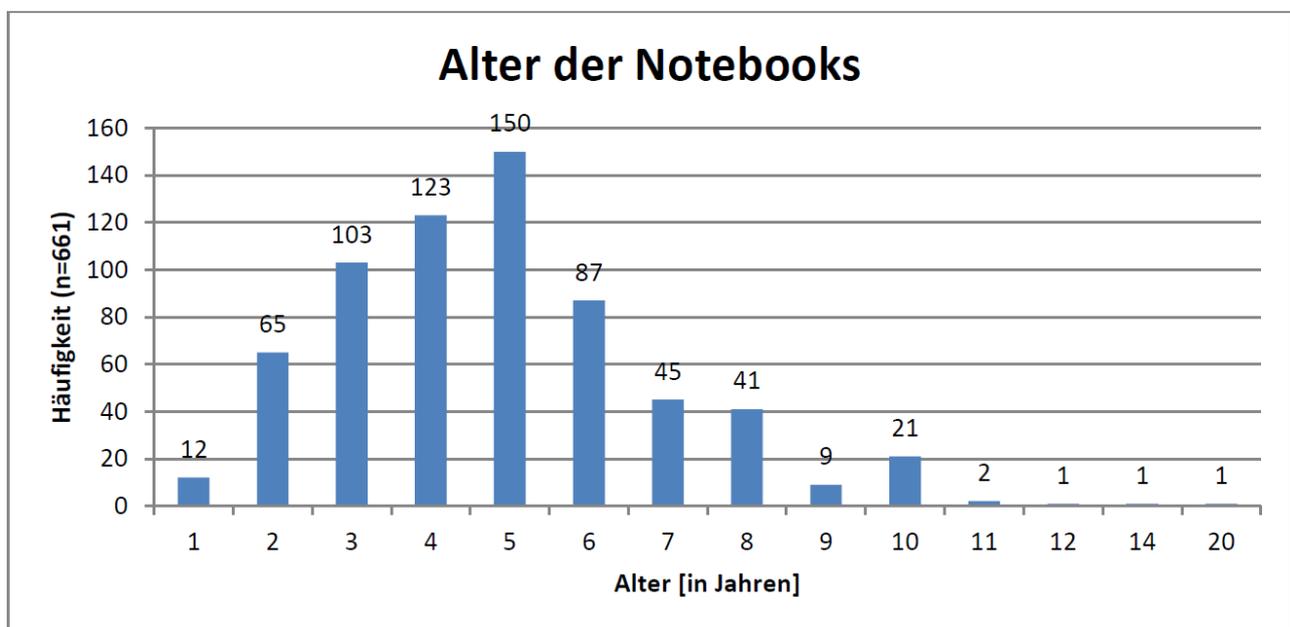
3.1.3. Nutzungsdauer

Die tägliche Nutzungsdauer von Computern variiert je nach Anwender*in stark. Abhängig davon, ob die Geräte zum Arbeiten, zur Informationsbeschaffung, zur Kommunikation oder zum Medienkonsum verwendet werden, liegt die tägliche Nutzungsdauer zwischen wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden. In einer Umfrage bei 2.000 Personen im Rahmen einer Studie zur Erschließung des Energie- und Ressourceneffizienzpotenzials von Geräten der Unterhaltungselektronik im Jahr 2013 (Prakash und Gröger 2014) gaben von den 66 Prozent Konsumentinnen und Konsumenten, die ein Notebook besitzen, 31 Prozent an, das Gerät täglich bis zu einer Stunde zu nutzen, 37 Prozent zwischen 1 und 2,5 Stunden, 18 Prozent zwischen 2,5 und 4 sowie 14 Prozent über 4 Stunden. Gewichtet man diese Antworten, so erhält man eine tägliche Nutzungsdauer für Notebooks von rund 2 Stunden.

Desktop-Computer werden in der genannten Studie (Prakash und Gröger 2014) von 60 Prozent der Befragten genutzt. Hier ergibt sich eine Verteilung von 25 Prozent bis zu 1 Stunde, 36 Prozent zwischen 1 und 2,5 Stunden, 22 Prozent zwischen 2,5 bis 4 Stunden und 17 Prozent der Befragten mit mehr als 4 Stunden. Auch hier ergibt sich ein gewichteter Mittelwert von rund 2 Stunden der täglichen Nutzungsdauer.

Die Lebensdauer Erstnutzung von Notebooks wurde in einer Studie zur Obsoleszenz von Geräten anhand einer Verbraucherumfrage bei 661 Notebook-Nutzer*innen ermittelt (Prakash et al. 2016a). Die durchschnittliche Lebensdauer beträgt dabei gemittelt 4,9 Jahre (siehe Abbildung 3-1). Für den CO₂-Rechner wird die gerundete Lebensdauer Erstnutzung von 5 Jahren angesetzt.

Abbildung 3-1: Ergebnisse einer Verbraucherumfrage zur Lebensdauer von Notebooks



Quelle: Prakash et al. 2016a

Für Desktop-Computer liegen entsprechende Zahlen nicht vor. Aufgrund ihrer technischen Ähnlichkeit zu Notebook-Computern kann jedoch hier mit einer äquivalenten Lebensdauer Erstnutzung von 5 Jahren gerechnet werden.

3.2. Fernsehgeräte

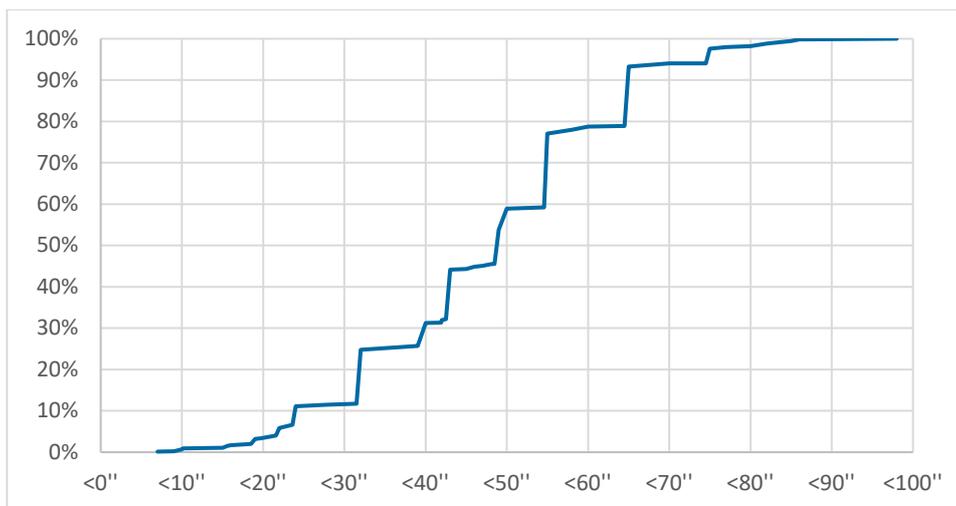
3.2.1. Herstellungsaufwand

Eine vergleichsweise ältere Ökobilanz für Fernsehgeräte wurde im Jahr 2010 von Hischer (2010) veröffentlicht. Der Autor untersucht darin ein Plasma-Fernsehgerät mit einer Bildschirmdiagonale von 42 Zoll. Der Herstellungsaufwand wird mit Treibhausgasemissionen in Höhe von 637 kg CO₂e berechnet.

Neuere Ökobilanz-Zahlen werden von Hilty und Bieser (2017) in einer Studie zu Chancen und Risiken der Digitalisierung zitiert. Der Herstellungsaufwand für einen Flachbildfernseher mit einer Bildschirmdiagonale von 42 Zoll wird darin mit rund 240 kg CO₂e pro Jahr (!) der Nutzungsdauer angegeben. Da die Studie keine Nutzungsdauer nennt, kann der tatsächliche Herstellungsaufwand nur abgeschätzt werden. Bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 5 Jahren würde der Herstellungsaufwand bei aufgerundet 1.000 kg CO₂e liegen.

Der Trend geht hin zu höheren Bildschirmdiagonalen. Eine Recherche bei der Preissuchmaschine idealo.de zeigt, dass von den dort gelisteten rund 2.800 Geräten der überwiegende Anteil (66%) von Geräten oberhalb von 42 Zoll liegt. Die meisten Geräte (knapp 500 Stück) haben eine Bildschirmdiagonale von 55 Zoll.

Abbildung 3-2: Marktübersicht Bildschirmdiagonale von TV-Geräten



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut nach Suchergebnissen zu Fernsehgeräten bei idealo.de, Stand 8. Mai 2020

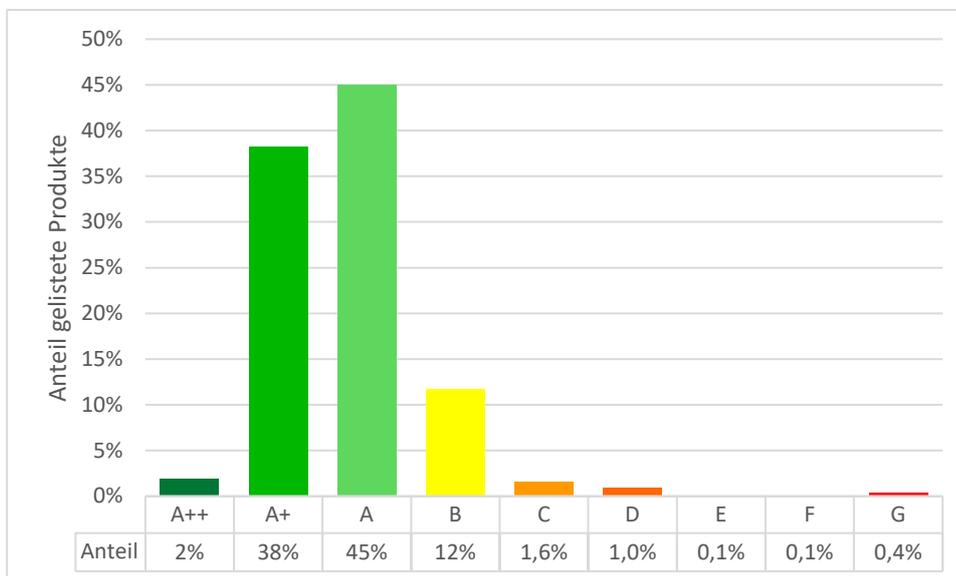
Mit der Größe der Bildschirmdiagonalen steigt der Herstellungsaufwand für Fernsehgeräte. Ausgehend von dem Trend der steigenden Bildschirmdiagonalen am Markt wird von den beiden oben dargestellten CO₂-Fußabdrücken der Herstellung von Fernsehgeräten für den CO₂-Rechner daher von dem größeren Wert 1.000 kg CO₂e ausgegangen.

3.2.2. Leistungsaufnahme

Die Energieeffizienz von Fernsehgeräten wird mit der EU-Verordnung Nr. 1062/2010¹ anhand von Effizienzklassen beschrieben. Diese Kennzeichnungs-Verordnung wird derzeit überarbeitet, die in den Haushalten befindlichen Fernsehgeräten sind jedoch noch nach der alten Verordnung gekennzeichnet.

Eine Recherche bei der Preissuchmaschine idealo.de zeigt, dass von den dort gelisteten Geräten (ca. 3.100 Fernsehgeräte zum Zeitpunkt der Recherche) der überwiegende Anteil (45%) der Geräte die Effizienzklasse A aufweist. Die zweithäufigste Effizienzklasse A+ ist mit einem Anteil von 38% vertreten. Die Darstellung der Anteile an Energieeffizienzklassen der Recherche über alle Bildschirmgrößen ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Beschränkt man die Auswahl auf Geräte mit einer Bildschirmdiagonalen von 55 Zoll, so sind dies rund 500 Geräte mit einer Häufigkeit von 48% in der Effizienzklasse A und 31% in der Effizienzklasse A+. Auch bei den 55 Zoll-Geräten überwiegt die Effizienzklasse A.

Abbildung 3-3: Effizienzklassen von TV-Geräten über alle Bildschirmgrößen



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut nach Suchergebnissen zu Fernsehgeräten bei idealo.de, Stand 8. Juli 2020

Für den CO₂-Rechner wird für den Energieverbrauch von Fernsehgeräten die Leistungsaufnahme eines mit der Energieeffizienzklasse A gekennzeichneten Gerätes und mit einer Bildschirmdiagonale von 55 Zoll angesetzt. Dieser Wert im aktiven Betriebszustand beträgt 116 Watt.

Für eine Weiterentwicklung des CO₂-Rechners ist es denkbar, diesen Wert variabel nach Bildschirmdiagonalen zu gestalten.

Die Leistungsaufnahme im Standby-Zustand wird für den CO₂-Rechner entsprechend der „Netzwerk-Standby“-Verordnung (EU) Nr. 801/2013² auf 2 Watt für netzwerkverbundene Fernsehgeräte mit niedriger Netzwerkverfügbarkeit (LoNa) festgelegt.

¹ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1062/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Fernsehgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch

² Verordnung (EU) Nr. 801/2013 der Kommission vom 22. August 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und

3.2.3. Nutzungsdauer

Der am häufigsten genutzte Ausspielkanal für Videoinhalte ist nach wie vor das (lineare) Fernsehen. 92 Prozent der deutschen Bevölkerung nutzt mindestens wöchentlich das Fernsehgerät, um Sendeinhalte zu betrachten (Egger und Gerhard 2019). Die durchschnittliche Nutzungsdauer beträgt nach AGF Videoforschung (2020) für das Jahr 2019 täglich 211 Minuten.

Zunehmend wird das Fernsehgerät auch zum Empfang von Videostreaming verwendet. Wenn dies der Fall ist, kommen zum Energieverbrauch des Gerätes selbst noch der Energieverbrauch durch Streamingdienste hinzu (siehe Kapitel 4.1.4)

Für den CO₂-Rechner wird ausgehend von den Daten der AGF Videoforschung (2020) eine durchschnittliche Fernsehnutzungsdauer von gerundet 3,5 Stunden (210 Minuten) angenommen.

Für die Lebensdauer Erstnutzung von Fernsehgeräten wird entsprechend der statistisch ermittelten Nutzungsdauer von Flachbildfernsehern ein gerundeter Wert von 6 Jahren angenommen (vgl. Prakash et al. 2016a).

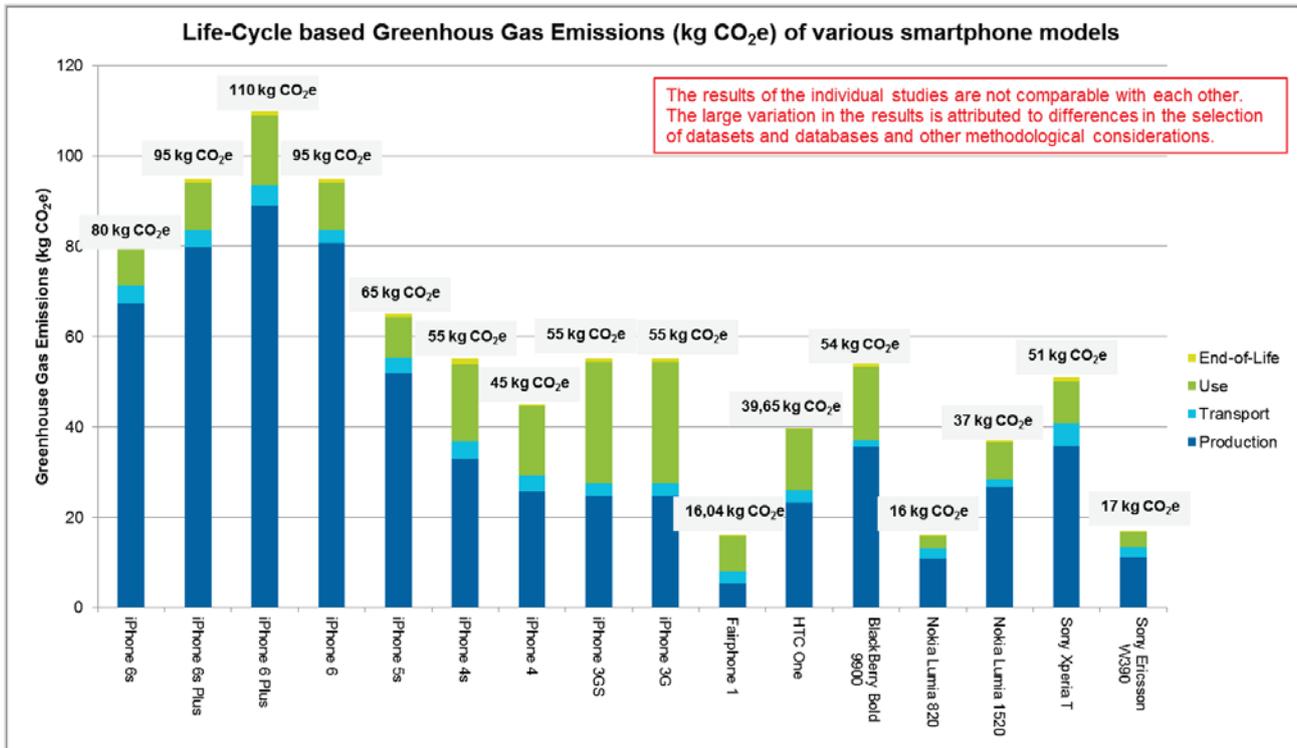
3.3. Smartphones

3.3.1. Herstellungsaufwand

Für die Herstellung von Smartphones gibt es eine Vielzahl von Ökobilanz-Studien mit unterschiedlich gesetzten Rahmenbedingungen, methodischen Ansätzen und verschiedenen Modellen. Manhart et al. 2016 hat die verschiedenen Studienergebnisse zusammengestellt und erhält Treibhausgasemissionen für Herstellung, Transport und Entsorgung von Smartphones von rund 10 bis 100 kg CO_{2e}. Auch wenn die Ergebnisse aufgrund verschiedener Methodik nur bedingt vergleichbar sind, fällt auf, dass neuere Geräte mit größeren Bildschirmdiagonalen und höherer technischer Ausstattung auch höhere CO₂-Werte zeigen. Andere Ökobilanzen (beispielsweise Prakash et al. 2016b) zeigen, dass die Ausstattung mit Arbeitsspeicher (RAM) für den Herstellungsaufwand maßgeblich ist. Entsprechend steigt der Aufwand für neuere und höher ausgestattete Geräte. Heutige Smartphones liegen daher am oberen Rand dieser Bandbreite. Für den CO₂-Rechner wird von Treibhausgasemissionen für die Herstellung von 100 kg CO_{2e} ausgegangen.

elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 642/2009 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Fernsehgeräten

Abbildung 3-4: Treibhausgasemissionen zur Herstellung verschiedener Smartphone-Modelle



Quelle: Manhart et al. 2016

3.3.2. Leistungsaufnahme

Der Ladestand von Smartphone-Akkus sinkt in der Regel schon während eines einzelnen Nutzungstages vom maximalen Ladestand auf einen merklich geringeren Wert, der die Anwender*innen dazu veranlasst, das Gerät täglich zu laden. Dies zeigen sowohl die eigenen Erfahrungen als auch einschlägige Internetforen, in denen über die beste Ladestrategie beraten wird. Um den Energieverbrauch von Smartphones bei typischer Nutzung zu berechnen, wird daher abgeschätzt, dass diese täglich an ein Ladegerät geklemmt werden. Die Aufladung erfolgt während 2 Stunden mit einem Ladestrom von 2 Ampère bei 5 Volt. Die restliche Zeit verbleibt das Ladegerät in der Steckdose und konsumiert 0,5 Watt im Leerlauf. Daraus ergibt sich ein geschätzter Energieverbrauch von 31 Wattstunden pro Tag bzw. eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von rund 1,3 Watt über 24 Stunden.

3.3.3. Nutzungsdauer

Für das Smartphone wird angenommen, dass es rund um die Uhr (24 Stunden) eingeschaltet bleibt und damit kontinuierlich (wenn auch wenig) Energie verbraucht. Der Energieverbrauch des Smartphones wird über die Lademenge (31 Wattstunden pro Tag) abgeschätzt.

Weiterer Energieverbrauch des Smartphones entsteht nicht durch die Dauer der Nutzung, sondern durch die damit durchgeführte Datenübertragung. Diese wird im CO₂-Rechner gesondert über den Posten „Mobile Daten“ berücksichtigt (siehe Kapitel 4.1.3).

Smartphones sind vergleichsweise kurzlebige Geräte der Informationstechnik, die schneller technischer Veraltung unterliegen und außerdem aus Lifestyle-Gründen vorzeitig ausgetauscht werden.

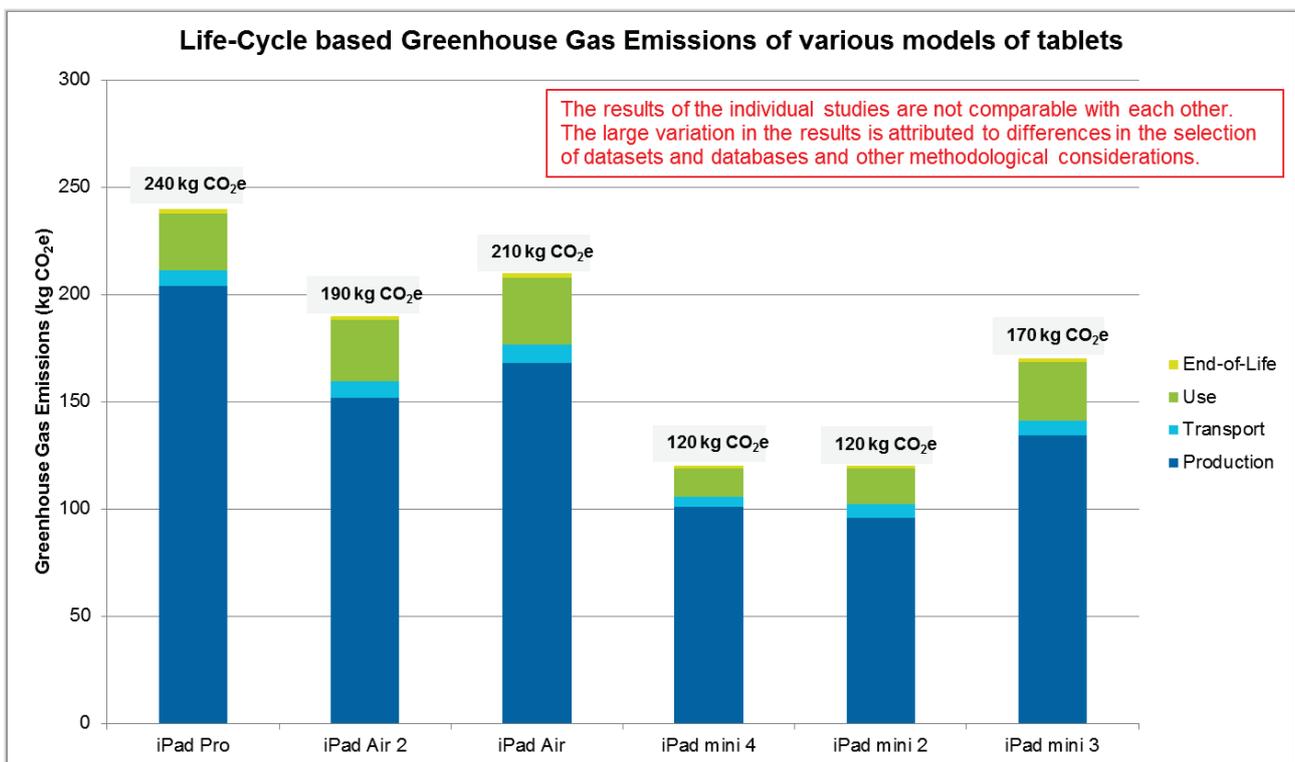
Die Lebensdauer Erstnutzung von Smartphones wird mit einem Durchschnittswert von 2,5 Jahren angenommen (vgl. Prakash et al. 2016a).

3.4. Tablet-Computer

3.4.1. Herstellungsaufwand

Ein technisch sehr ähnliches Gerät wie das Smartphone in einer etwas größeren Version stellt der Tablet-Computer dar. In der oben bereits zitierten Auswertung von Manhart et al. (2016) wird der Herstellungsaufwand, der Transport und die Entsorgung von Tablet-Computern mit rund 100 bis 200 kg CO₂e angegeben. Auch hier nimmt der CO₂-Fußabdruck für die Herstellung mit der Größe des Displays zu.

Abbildung 3-5: Treibhausgasemissionen zur Herstellung verschiedener Tablet-Modelle



Quelle: Manhart et al. 2016

Die Firma Microsoft hat für verschiedene ihrer Produkte sogenannte „Eco Profiles“ erstellt, in der die Firma unter anderem die Treibhausgasemissionen ihrer Produkte für Herstellung, Transport, Verpackung, Nutzung und Entsorgung ausweist. Zieht man den CO₂-Aufwand in der Nutzungsphase ab, so erhält man den in nachfolgender Tabelle dokumentierten CO₂-Fußabdruck.

Tabelle 3-3: Herstellungsaufwand Tablet-Computer (Microsoft)

Tablet Bezeichnung	Herstellungsaufwand zzgl. Transport, Verpackung, Entsorgung	Datum der Veröffentlichung
Surface Go	67 kg CO ₂ e	Aug 19
Surface Pro (5th Gen)	87 kg CO ₂ e	Aug 19
Surface Pro 6	84,9 kg CO ₂ e	Nov 19

Surface Pro 7	85,1 kg CO _{2e}	Nov 19
Surface Pro X	99,2 kg CO _{2e}	Aug 19

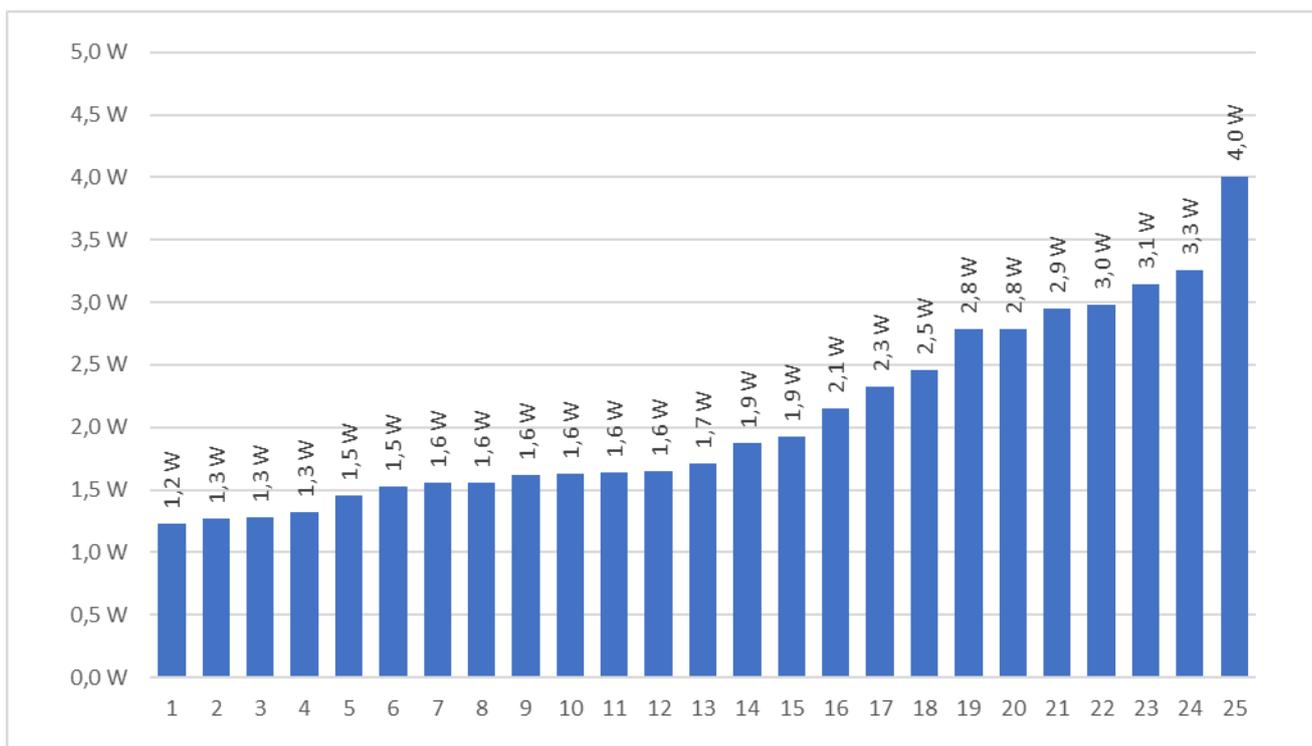
Quelle: Microsoft Eco Profiles, <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=55974>

Die Bandbreite liegt zwischen 67 und 99 kg CO_{2e} und damit am unteren Ende der von Manhart et al. (2016) untersuchten Ökobilanzen. Analog zu den bei Smartphones getroffenen Annahmen, dass heutige Geräte technisch immer höher ausgestattet sind und höhere Arbeitsspeicherkapazitäten aufweisen, wird für den CO₂-Rechner mit der oberen Grenze von 200 kg CO_{2e} pro Tablet-Computer gerechnet.

3.4.2. Leistungsaufnahme

Die Computerzeitschrift Computerbild (2020) hat die Akkulaufzeit von 25 aktuellen Tablet-Modellen untersucht und dabei deren jeweilige Akkukapazitäten angegeben. Dadurch lässt sich die elektrische Leistungsaufnahme der Geräte im aktiven Betriebszustand berechnen. Die Leistungsaufnahme, die Tablet-Computer aus den integrierten Akkus entnehmen, liegt innerhalb einer Bandbreite von 1,2 bis 4,0 Watt. Der Mittelwert beträgt 2,1 Watt. Der tatsächliche Energiebedarf ist jedoch höher. Die integrierten Akkus müssen mit Netzstrom aufgeladen werden, was Verluste des Ladegerätes (20%), Verluste bei der Umwandlung elektrischer in chemische Energie (20%) und Verluste beim Verbleib des Ladegerätes am vollgeladenen Gerät (20%) zur Folge hat.

Abbildung 3-6: Elektrische Leistungsaufnahme von Tablets im Betriebszustand



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut nach Computerbild (2020), Stand 8. Mai 2020

Für den CO₂-Rechner wird unter Berücksichtigung der Ladeverluste die Leistungsaufnahme im Betriebszustand mit 4 Watt angenommen, der Standby-Zustand mit 0 Watt.

3.4.3. Nutzungsdauer

Für die tägliche Nutzungsdauer von Tablet-Computern liegen wenig auswertbare Daten vor. Der Media Activity Guide 2019 (Adler et al. 2019) gibt an, dass im Jahr 2019 48 Prozent aller Befragten zwischen 14 und 69 Jahren Tablet-Computer nutzten. Zum Lesen wurde das Tablet durchschnittlich gerade mal 6 Minuten täglich genutzt, teilweise auch als Parallelnutzung neben dem Fernsehschauen von 20 Prozent der Befragten.

Da der aktive Energieverbrauch von Tablet-Computern mit 4 Watt vergleichsweise gering ist, wird erwartet, dass bei der CO₂-Bilanzierung die tägliche Nutzungsdauer einen geringen Einfluss hat. Stattdessen wird der Herstellungsaufwand bei der CO₂-Bilanz überwiegen. Für den CO₂-Rechner wird daher großzügig abgeschätzt, dass Tablet-Computer täglich 60 Minuten verwendet werden. Wenn in Haushalten keine Tablet-Computer vorhanden sind, kann dieser Wert im CO₂-Rechner auf Null gesetzt werden.

Für die Lebensdauer von Tablet-Computern ist die Unterstützung der Geräte durch Software-Updates der Hersteller entscheidend. Sobald das Betriebssystem nicht mehr aktualisiert werden kann, um essenzielle Apps auszuführen, sind die Geräte obsolet. Vor dem Hintergrund dieser softwarebedingten Obsoleszenz wird für den CO₂-Rechner eine Lebensdauer Erstnutzung von 4 Jahren abgeschätzt.

3.5. Spielekonsolen

3.5.1. Herstellungsaufwand und Leistungsaufnahme

Die Firma Microsoft hat für verschiedene ihrer Produkte sogenannte „Eco Profiles“³ erstellt, in der die Firma unter anderem die Treibhausgasemissionen zur Herstellung ausweist. Für zwei Spielekonsolen (auch „Videokonsolen“ genannt) weist sie Werte von rund 131 und 149 kg CO₂e aus (Microsoft Corporation 2020, 2019). Zusätzlich wird die elektrische Leistungsaufnahme im Aktivzustand („Active Gameplay“) sowie für den Schnellstartmodus („Instant-on-Standby-Mode“) dokumentiert. Bei letzterem handelt es sich um eine vom Hersteller empfohlene Komfortfunktion, die dazu dient, das zeitaufwändige Hochfahren der Spielekonsolen zu vermeiden und gleich mit dem Spielen loslegen zu können. Dieser Modus umgeht die europäischen Standby-Anforderungen (von 2 Watt für vernetzte Geräte mit niedriger Netzwerkverfügbarkeit) und führt zu einem deutlich höheren Standby-Verbrauch.

Tabelle 3-4: Herstellungsaufwand und Leistungsaufnahme Spielekonsole

Modell	Xbox One S	Xbox One X
GWP Herstellung	131,3 kg CO ₂ e	149 kg CO ₂ e
Instant-on-Standby-Mode	8 W	13 W
Active Gameplay	62 W	108 W
HD Streaming	32 W	53 W
Modell	Xbox One S	Xbox One X

Quelle: Microsoft Corporation (2019, 2020)

³ <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=55974>

Für den CO₂-Rechner wird von der leistungsfähigeren Spielekonsole mit einem Herstellungsaufwand von gerundet 150 kg CO₂e sowie den Leistungsaufnahmen 108 W im aktiven Betriebszustand ausgegangen. Für den Standby-Zustand wird unterstellt, dass die meisten Nutzenden die Komfortfunktion des Schnellstartmodus wahrnehmen, da sie sich nicht über den erhöhten Energieverbrauch bewusst sind oder sie die Zeit des Hochfahrens der Spielekonsole einsparen möchten. Für den Standby-Zustand wird daher 13 W (Schnellstartmodus) angesetzt.

3.5.2. Nutzungsdauer

In der JIM-Studie 2019 (Jugend, Informationen, Medien, Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger) (Feierabend et al. 2020) wurde die tägliche Spieldauer von Jugendlichen mit elektronischen Geräten untersucht. Alle elektronischen Spiele gemeinsam wurden im Jahr 2019 unter der Woche zu 81 Minuten pro Tag genutzt. Bei den Spielgeräten liegt deutlich das Smartphone vorn mit 41 Prozent der genutzten Geräte, gefolgt von Desktop- oder Laptop-Computern mit 25 Prozent und stationären Spielekonsolen mit ebenfalls 25 Prozent der Spielgeräte. Die Spielekonsole wird von dieser Altersgruppe jedoch auch zu 16 Prozent zum Internetzugang verwendet, weshalb die tatsächliche Nutzungsdauer länger ist als die tatsächliche Spieldauer (Feierabend et al. 2020).

Statistische Zahlen zur durchschnittlichen Nutzung von Spielekonsolen durch alle Gerätenutzer*innen quer über die Alterststufen konnten im Rahmen dieser Recherche nicht ermittelt werden. Mit Blick auf die jüngere Zielgruppe des CO₂-Rechners wird daher eine tägliche Nutzung von Spielekonsolen von 30 Minuten abgeschätzt.

Die Ausstattung von Haushalten mit Spielekonsolen wird vom Jahresreport der deutschen Games-Branche 2018 für das Jahr 2017 mit 16 Millionen angegeben. Bei rund 40 Millionen deutschen Privathaushalten besitzen demnach weniger als die Hälfte eine Spielekonsole. Für den CO₂-Rechner wird dennoch mit Blick auf die jüngere Zielgruppe im Fallbeispiel Durchschnittliche Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen (siehe Kapitel 6.1) davon ausgegangen, dass eine Spielekonsole vorhanden ist.

Für Spielekonsolen wird angenommen, dass diese technisch sehr ähnlich zu Notebooks und Desktop-Computern sind. Als Lebensdauer Erstnutzung wird daher im CO₂-Rechner der Wert der Notebook-Computer von 5 Jahren übernommen.

3.6. Router

3.6.1. Herstellungsaufwand

In einer Studie zum „Product Carbon Footprint“ verschiedener Produkte und Dienstleistungen (Hochfeld et al. 2009) wurden auch die CO₂-Emissionen zur Bereitstellung eines Internetzugangs berechnet. Bei weiterführenden internen Untersuchungen des Öko-Instituts wurde der Herstellungsaufwand für die Teilkomponente Router mit 77 kg CO₂e abgeschätzt.

3.6.2. Leistungsaufnahme

Die Stiftung Warentest (2020b) hat für 8 verschiedene Router deren Leistungsaufnahme gemessen. Die Bandbreite der verschiedenen Geräte liegt dabei zwischen 6 und 20 Watt. Werden Router oder deren Teilfunktionen (z.B. WLAN) nicht bewusst abgeschaltet, konsumieren sie 24 Stunden pro Tag diese Energiemenge. Für den CO₂-Rechner wird ein mittlerer Wert von 13 Watt angenommen, der ganzjährig aufgewendet wird.

3.6.3. Nutzungsdauer

Unabhängig davon, ob über Router gerade Daten übertragen werden oder nicht, müssen die Router rund um die Uhr die Netzwerkverbindung aufrechterhalten. Sie bieten in der Regel ein WLAN-Netzwerk an, auf das alle im Haushalt befindlichen Mobilgeräte (Smartphones, Laptops, Tablets) oder Netzwerkgeräte (Drucker, Smart-TVs, smarte Lampen, Sprachassistenten usw.) zugreifen können. Darüber hinaus dienen Router vielfach als Telefonanlagen, die die angeschlossenen Telefone dauerhaft erreichbar machen. Die tägliche Nutzungsdauer wird daher zu 24 Stunden angesetzt.

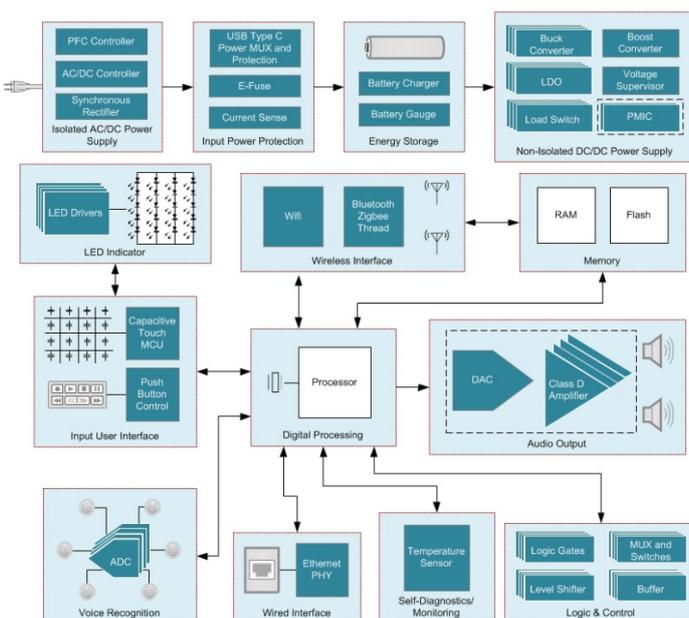
Die technische Lebensdauer von Routern ist sowohl durch die verfügbaren (Sicherheits-) Updates des Herstellers limitiert als auch durch den technischen Ausfall von elektronischen Komponenten. Ein weiterer limitierender Faktor stellt der Vertrag mit dem jeweiligen DSL-Anbieter dar. Bei einem Wechsel des DSL-Anbieters wird in der Regel ein neuer und vorkonfigurierter Router installiert. Da keine statistischen Zahlen zu typischen Vertragslaufzeiten und Router-Lebensdauern im Rahmen dieser Recherche ermittelt werden konnten, wird die tatsächliche Verweildauer von Routern in Haushalten mit 7 Jahren abgeschätzt.

3.7. Sprachassistenten

3.7.1. Herstellungsaufwand

Da bei den Recherchen keine Ökobilanzen explizit zu Sprachassistenten (Amazon Alexa, Google Home, Apple HomePod usw.) gefunden werden konnten, werden die Treibhausgasemissionen zur Herstellung von Sprachassistenten abgeschätzt. Von der Ausstattung mit Mikroelektronik ist ein Sprachassistent mit einem Smartphone vergleichbar (siehe Abbildung 3-7). Was auf der Seite des fehlenden Displays und der fehlenden Mobilfunkschnittstelle eingespart wird, kommt an Ressourcenaufwand durch die höheren Akkukapazität (Kobalt, Lithium) und die Audio-Technik mit mehreren Mikrofonen und größerem Lautsprecher (Neodym-Permanentmagneten) hinzu. Die Treibhausgasemissionen für die Herstellung werden daher für den hier entwickelten CO₂-Rechner mit denen von Smartphones (vgl. Kapitel 3.3) gleichgesetzt und mit 100 kg CO₂e angenommen.

Abbildung 3-7: Schematische Darstellung eines Sprachassistenten



Quelle: Texas Instruments, <http://www.ti.com/solution/smart-speaker?hqs=sys-pe-tv-smartspeaker-vanity-appd-smartspeaker-ww>

3.7.2. Leistungsaufnahme

Die Stiftung Warentest (2019) hat in einem Test im Jahr 2019 den Energieverbrauch von 18 smarten Lautsprechern untersucht. Im Betriebszustand (Musikwiedergabe) variiert ihre Leistungsaufnahme zwischen 1,6 und 11 Watt. Im Standby-Zustand, der zugleich ein Zustand des dauerhaften Lauschens und Wartens auf Sprachbefehle ist, verbrauchen die Geräte zwischen 0,9 und 4,5 Watt.

Für den CO₂-Rechner werden folgende gerundeten Mittelwerte der Leistungsaufnahmen des Geräts selbst angesetzt: Betriebszustand: 5 Watt, Standby-Zustand: 2,5 Watt. Zum Energieverbrauch im Betriebszustand kommt der Energieverbrauch für die Datenübertragung über das Internet hinzu (vgl. Kapitel 4.1), da alle Audiosignale (Fragen an den Sprachassistenten, Antworten und abgespielte Musik) über das Internet gestreamt werden müssen. Bei einer angenommenen Datenrate für Audio-Übertragung von 0,06 GByte/Stunde ergibt sich damit eine Leistungsaufnahme im Betriebszustand inklusive Internetenergiebedarf von:

$$P_{\text{Betrieb Sprachassistent}} [\text{W}] = \left(5\text{W} + 4\text{W} + 0,06 \frac{\text{GB}}{\text{h}} * 52 \frac{\text{Wh}}{\text{GB}} \right) = 5\text{W} + 4\text{W} + 3,12\text{W} \approx 12\text{W}$$

Die Berechnungsmethodik unterscheidet sich an dieser Stelle beispielsweise von dem Fernsehgerät, das Streaming nutzt, indem sowohl der lokale Energieverbrauch als auch der Netzwerk-Energieverbrauch enthalten ist. Der Grund hierfür ist, dass eine einzelne Nutzung des Gerätes ohne Datenübertragung nicht möglich ist.

3.7.3. Nutzungsdauer

Nach den Untersuchungen der Stiftung Warentest (2019) fängt ein Sprachassistent erst dann an, Daten über das Internet zu übertragen, nachdem er lokal den Befehl zum Einschalten erkannt hat. Das Gerät wertet daher zwar ständig Sprachbefehle aus, sendet die gesprochenen Worte aber erst auf ein Stichwort hin (z.B. „OK, Google“, „Alexa“, „Hey Siri“ oder „Hallo Magenta“) zum Server des jeweiligen Anbieters.

Nach Untersuchungen des Branchenverbandes Bitkom (2019) besitzen 24 Prozent der Bevölkerung ab 16 Jahren einen „vernetzten Lautsprecher“, der mit dem Internet verbunden ist. Rund die Hälfte (51 Prozent) davon nutzen ihn täglich, 22 Prozent mehrmals in der Woche. Aus diesen Zahlen lässt sich nur schwer abschätzen, wie viele Stunden oder Minuten Sprachassistenten durchschnittlich genutzt werden. Für den CO₂-Rechner wird daher zunächst angenommen, dass in Haushalten keine solche Geräte vorhanden sind. Erst durch die explizite Auswahl von Sprachassistenten mit einer Anzahl von mehr als Null wird die tägliche Nutzungsdauer zu 1 Stunde gesetzt.

3.8. Smart-Home und Internet-of-Things

3.8.1. Herstellungsaufwand

Smart-Home-Komponenten wie beispielsweise smarte Lampen, smarte Heizkörperthermostate, Bewegungsmelder, Fernschalter, smarte Klingelknöpfe, Temperatursensoren usw. unterscheiden sich von klassischen Komponenten dadurch, dass sie mit einer Funkschnittstelle über das Datennetzwerk kommunizieren können. Ergänzend zum üblichen Herstellungsaufwand kommen daher eine mehrlagige Leiterplatte, ein Funk-Chip, ein Mikrocontroller und weitere elektronische Komponenten und ggf. eine Batterie hinzu. Im Rahmen dieser Untersuchung soll nicht die Vielzahl an unterschiedlichen Smart-Home-Komponenten und Komponenten des Internet-of-Things untersucht werden, sondern nur der Mehraufwand für die Netzwerkfähigkeit dieser Komponenten. Tatsächlich kann die Netzwerkfähigkeit sogar dazu führen, dass die Komponenten früher obsolet werden als unvernetzte

Geräte. Beispielsweise wenn smarte Lampen deshalb nicht mehr genutzt werden können, weil der dafür erforderliche Internet-Dienst des Herstellers eingestellt wird. In dieser Untersuchung wird aber optimistisch davon ausgegangen, dass die technische Lebensdauer nicht durch die Netzwerkfähigkeit beeinflusst wird.

Das Öko-Institut hat in einer Studie zu Umweltentlastungspotenzialen durch Industrie 4.0 (Prakash und Hilbert 2016) exemplarisch ein Produkt des Internet-of-Things untersucht. Für einen batteriebetriebenen WLAN-Schalter („Amazon Dash-Button“) wurde eine orientierende Ökobilanz durchgeführt, um den Herstellungsaufwand der Leiterplatte und der elektronischen Bauteile abzuschätzen. Abbildung 3-8 zeigt die Einzelteile des WLAN-Schalters mit der bestückten Leiterplatte.

Abbildung 3-8: Einzelteile eines WLAN-Schalters (Amazon Dash Button)



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Die CO₂-Emissionen für die Herstellung des WLAN-Schalters wurden mit 4 kg CO₂e berechnet (Prakash und Hilbert 2016). Dieser Wert wird bei dem CO₂-Rechner pauschal für alle elektronischen Kleingeräte mit Netzwerkfunktionalität angesetzt. Dies gilt sowohl für smarte Lampen (Mehraufwand für Funkschnittstelle) und andere Smart-Home-Komponenten als auch für alle anderen Geräte des Internet-of-Things.

3.8.2. Leistungsaufnahme smarte Lampen

Smarte Lampen sind Leuchtmittel, die über das Smartphone oder andere Steuerungsgeräte der Heimautomation (Smart-Home) an- und ausgeschaltet werden können, sowie teilweise im Farbton oder der Helligkeit gesteuert werden können. Die Lampen können in normale Lampenfassungen eingebaut werden. Sie verbinden sich über ein Funknetzwerk mit dem Router oder der Smart-Home-Zentrale und sind damit auch im Standby-Zustand ständig über Funk erreichbar und verbrauchen Energie.

In einer Studie im Auftrag der Internationalen Energieagentur wurde der Energieverbrauch durch smarte Beleuchtungssysteme untersucht (Kofod 2016). Dabei wurde auch die Standby-Leistungsaufnahme von 34 Leuchten untersucht und innerhalb einer Bandbreite von 0,15 Watt bis 2,71 Watt gemessen. Die durchschnittliche Standby-Leistungsaufnahme beträgt 0,5 Watt. Dieser Wert wird für den CO₂-Rechner übernommen.

Die Leistungsaufnahme im Betriebszustand, also wenn die Lampe brennt, wird im CO₂-Rechner nicht berücksichtigt. Dieser Verbrauch ist tatsächlich auch kein „digitaler CO₂-Fußabdruck“, sondern

ein Energieverbrauch der Beleuchtung, der hier nicht bilanziert wird. Es wird davon ausgegangen, dass die smarte Lampe eine klassische, mit dem Schalter gesteuerte Lampe ersetzt und daher im eingeschalteten Zustand für die Beleuchtungsfunktion den gleichen Energieverbrauch aufweist. Der Standby-Verbrauch von 0,5 Watt bleibt jedoch im eingeschalteten Zustand vorhanden, da die Lampe dann auf ein funkgesteuertes Ausschaltsignal wartet.

3.8.3. Leistungsaufnahme batteriegestützte Geräte

Smart-Home-Geräte (z.B. Heizkörperthermostate, Fensterkontakte, Klingelknöpfe) und Geräte des Internet-of-Things (Fitness-Armbänder, Sensoren, Messgeräte, smarte Textilien), die über eine Batterie betrieben werden, verbrauchen im Betrieb nur sehr wenig Energie. Oft ist die Batterie solcher Geräte nicht einmal wechselbar, weshalb die Geräte bei leerer Batterie weggeworfen werden müssen. Für den CO₂-Rechner wird die Leistungsaufnahme im Betriebszustand daher auf Null gesetzt.

3.8.4. Nutzung

Smart-Home-Geräte und Anwendungen des Internet-of-Things sind derzeit noch nicht sehr weit verbreitet, sodass hier sinnvoll Durchschnittswerte angegeben werden können. Für den CO₂-Rechner wird die Anzahl dieser Geräte daher zunächst auf Null gesetzt, sie können jedoch durch die Anwender*innen erhöht werden.

Die tägliche Nutzungsdauer dieser Geräte ist für die Berechnung nicht relevant. Bei den smarten Lampen werden nur der Herstellungsaufwand und die Standby-Zeit (24 Stunden/Tag) berücksichtigt. Bei allen batteriebetriebenen Geräten lediglich der Herstellungsaufwand. Die technische Lebensdauer der smarten Komponenten muss durch die Nutzer*in eingegeben werden. Im Fall der Beispielrechnung für ein Smartes Beleuchtungssystem (siehe Kapitel 6.3) wird für smarte Lampen eine Lebensdauer von 5 Jahren abgeschätzt.

4. Dienstleistungen der Informationstechnik

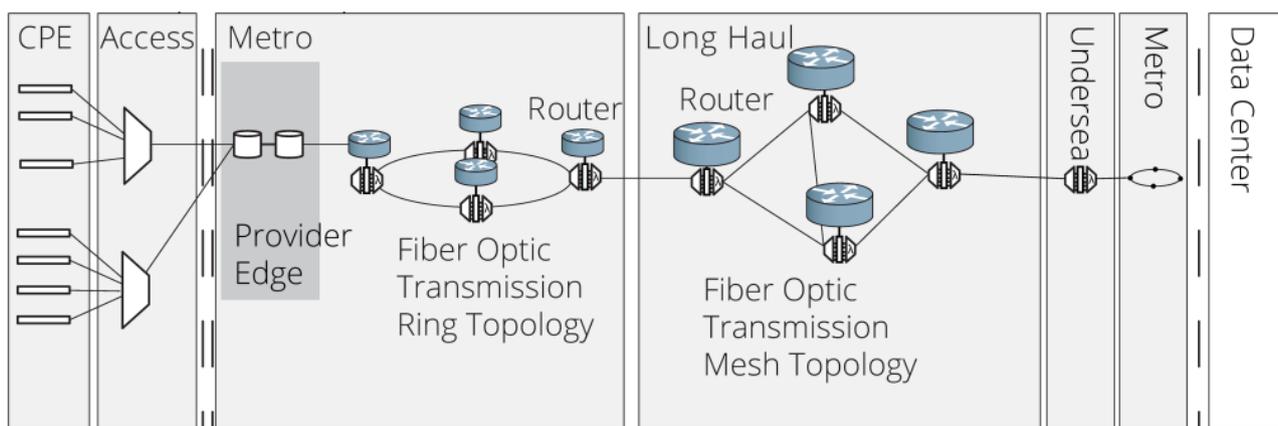
4.1. Internetnutzung

4.1.1. Datenübertragung im Kernnetzwerk

Die Höhe des Energieverbrauchs im Übertragungsnetzwerk des Internets ist eine Größe, die von sehr vielen Faktoren abhängt. Dadurch, dass die Netzwerkkomponenten von einer Vielzahl von Datenströmen geteilt werden, teilt sich auch der Energieverbrauch entsprechend auf viele verschiedene Nutzer*innen und Anwendungen auf. Ein weiterer Faktor ist die Auslastung der Netzwerkkomponenten bzw. die ungenutzte Bandbreite. Netzwerkkomponenten sind auf die Maximallast ausgelegt, also den Zeitpunkt, wenn alle Nutzer*innen und Anwendungen gleichzeitig Daten versenden. Die Spreizung zwischen Niedriglastbereich und Spitzenlastbereich liegt dabei über einen Tag betrachtet typischerweise zwischen 1 und 10 (Wu et al. 2019). Bei der Festlegung des Energieverbrauches macht es einen Unterschied, ob eine voll ausgelastete Netzwerkkomponente oder eine in Teillast genutzte Komponente angesetzt wird. Weitere Faktoren, die den tatsächlichen Energieverbrauch beeinflussen, sind das Alter der genutzten Netzwerktechnik (Übertragungsstandard), die Dauer der Datenübertragung und die Datenmenge. Vor dem Hintergrund der Vielzahl von Einflussfaktoren kommen Untersuchungen zum Energieverbrauch in Datennetzwerken daher zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Für den CO₂-Rechner wird für die Datenübertragung auf die Annahmen von Schien et al. (2014) zurückgegriffen. In einer Publikation zur Energieintensität des Internets beschreiben Schien et al. den Weg des Datenstroms ausgehend vom Computer- und Netzwerkequipment des Internet-Kunden (CPE: Customer Premise Equipment) über das Zugangnetzwerk (Access Network), durch das Kernnetzwerk, bestehend aus Metropolen Netzwerk (Metro), Langstrecken Netzwerk (Long Haul) und Seekabel (Undersea).

Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des Datenweges vom Kunden zum Rechenzentrum



Quelle: Schien et al. 2014

Der Datenweg über die Segmente Metro, Long Haul, Undersea und Metro wird von Schien et al. mit einer Energieintensität von 52 Wattstunden pro Gigabyte (0,052 kWh/GB) berechnet. Hinzu kommen der Energieverbrauch des kundenseitigen Equipments (CPE) und des Zugangnetzwerkes (Access), also des Internetzugangspunktes, der in Deutschland in der Regel auf den Bürgersteigen in grauen Kästen des Telekommunikationsanbieters untergebracht ist (Digital Subscriber Line Access Multiplexer – DSLAM). Für letzteren setzen Schien et al. (2014) während der Datenübertragung eine elektrische Leistungsaufnahme von 4 Watt pro Kunden an.

Der Energieverbrauch des kundenseitigen Equipments (CPE) wird von Schien et al. pauschal auf 48 Watt geschätzt. Beim CO₂-Rechner wird dieser Wert nicht übernommen, da die im Haushalt bzw. Büro betriebenen Geräten der Informationstechnik inklusive des Internet-Routers hier separat beschrieben und berechnet werden. Der Energieverbrauch des öffentlichen Zugangnetzwerkes (Access) wird jedoch mit 4 W berücksichtigt. Der Energieverbrauch durch Datenübertragung über das Zugangs- und Kernnetzwerk (W_{Netzwerk}) ergibt sich über die Dauer der Datenübertragung (t) damit zu:

$$W_{\text{Netzwerk}}[\text{Wh}] = t [h] * 4 \text{ W} + \text{Datenmenge [GB]} * 52 \text{ Wh/GB}$$

Hinzu kommen gemäß Schien et al. jeweils die Energieverbräuche des kundenseitigen Equipments (CPE), also des Routers und der Computer-Endgeräte. Im CO₂-Rechner wird die Geräteausstattung der Anwender*innen individuell angegeben.

4.1.2. Datenvolumen in kabelgebundenen Netzwerken

Die Bundesnetzagentur (2020) beziffert in ihrem Jahresbericht 2019 die Anzahl an aktiven Breitbandanschlüssen im Jahr 2019 mit insgesamt 35,1 Millionen Stück. Das Datenvolumen in kabelgebundenen Netzwerken liegt gemäß diesem Bericht bei 52 Milliarden Gigabyte im Jahr 2019. Daraus berechnet die Bundesnetzagentur ein durchschnittliches Datenvolumen im Breitbandnetzwerk von

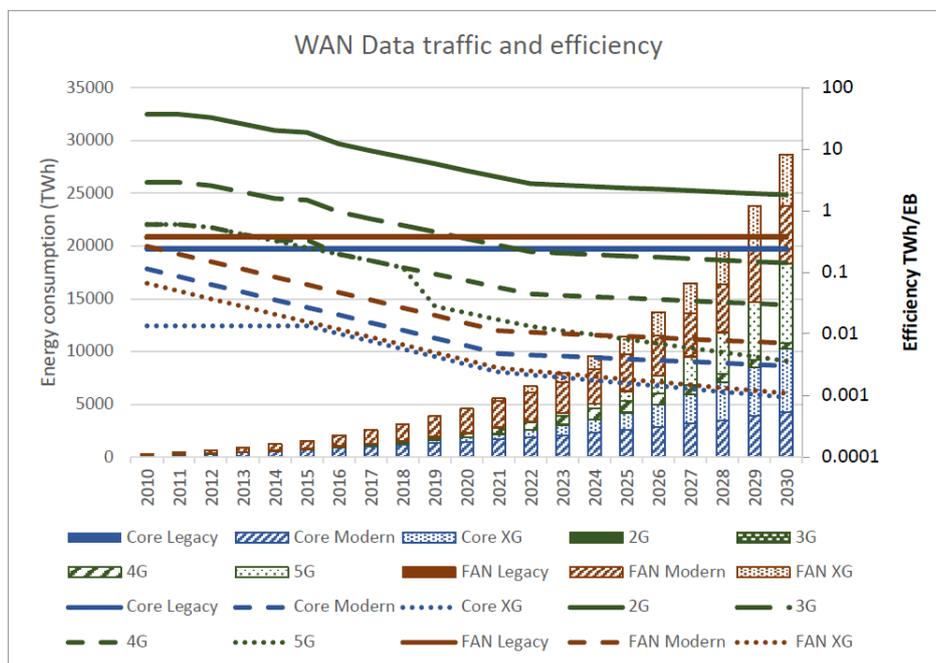
124 Gigabyte pro Nutzer*in und Monat. Dieser Wert wird für den CO₂-Rechner übernommen. Da der Energieverbrauch durch Internet-Nutzung auch von der Online-Zeit abhängig ist, werden für den CO₂-Rechner als pauschaler Wert täglich 2 Stunden Nutzung von Online-Angeboten angenommen (vgl. Adler et al. 2019), dies entspricht bei dem oben angenommenen Datenvolumen einer Übertragungsgeschwindigkeit von 2 GByte pro Stunde.

Alternativ zum durchschnittlichen Verbrauch ist es im CO₂-Rechner auch möglich, die Treibhausgasemissionen einzelner Datenübertragungen (z.B. durch Videostreaming) zu berechnen. Wird dies separat berechnet, so muss das monatliche Datenvolumen in kabelgebundenen Netzwerken auf Null gesetzt werden.

4.1.3. Datenübertragung in Mobilfunknetzwerken

In einer Studie für die Internationale Energieagentur (IEA) untersuchen Wu et al. (2019) den Energieverbrauch in Datennetzwerken und Rechenzentren. Für die drei Teilbereiche kabelgebundenes Zugangsnetzwerk (Fixed Access Network – FAN), Mobilfunk Zugangsnetzwerk (3G, 4G, 5G) und Kernnetzwerk (Core) werden verschiedene Technologien und deren Energieeffizienz miteinander verglichen. Die Studie geht davon aus, dass der Energieverbrauch in den Netzwerken kontinuierlich zunimmt, gleichzeitig und stärker jedoch auch der Datenverkehr. Dadurch sinkt der Energieaufwand pro übertragener Dateneinheit (TWh/EB = kWh/MB), weshalb die Datenübertragung rein rechnerisch effizienter wird.

Abbildung 4-2: Vergleich verschiedener Netzwerktechnologien



Quelle: Wu et al. 2019

Der Netzzugang zum Kernnetzwerk erfolgt gemäß Wu et al. (2019) entweder über das kabelgebundene Netzwerk (Fixed Access Network – FAN) oder über ein Mobilfunk-Zugangsnetzwerk. Die Autoren weisen für die drei derzeit häufigsten Mobilfunkstandards 2G, 3G und 4G deren Energieintensität aus (vgl. Abbildung 4-2). Für das Jahr 2018 (Stand der Untersuchung) ergeben sich für die drei Mobilfunkstandards die in der Tabelle 4-1 genannten Energieverbräuche pro übertragene Datenmenge.

Tabelle 4-1: Energieintensität verschiedener Mobilfunkstandards

Mobilfunkstandard	Energieintensität	Übertragungsdauer für 1 GByte
2G (GPRS)	17 kWh/GB	9 - 42 Stunden
3G (UMTS)	1 kWh/GB	0,1 - 6 Stunden
4G (LTE)	0,2 kWh/GB	8 - 27 Sekunden

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut für das Jahr 2018 nach Wu et al. 2019 und eigenen Berechnungen

Die Berechnung macht deutlich, dass die Übertragung der gleichen Datenmenge über die ab dem Jahr 1990 aufgebauten 2G-Netzwerke mit 17 Kilowattstunden pro Gigabyte erheblich mehr Energie benötigt als über 3G-Netzwerke (seit dem Jahr 2000) mit 1 Kilowattstunde pro Gigabyte. Aufgrund der langsamen Übertragungsgeschwindigkeiten der älteren Netze dauert diese Übertragung jedoch auch mehrere Stunden. Die neueren 4G-Netzwerke, die in Deutschland ab dem Jahr 2010 in Betrieb genommen wurden, benötigen dagegen den niedrigsten Wert von 0,2 Kilowattstunden pro Gigabyte. Verglichen mit dem Energieverbrauch im Kernnetzwerk (siehe Kapitel 4.1.1) von 0,052 kWh/GB ist jedoch auch der Energieverbrauch für den 4G-Internetzugang sehr hoch. Mit der Markteinführung von 5G sollen die älteren Netzwerke (vor 4G) sukzessive abgeschaltet werden.

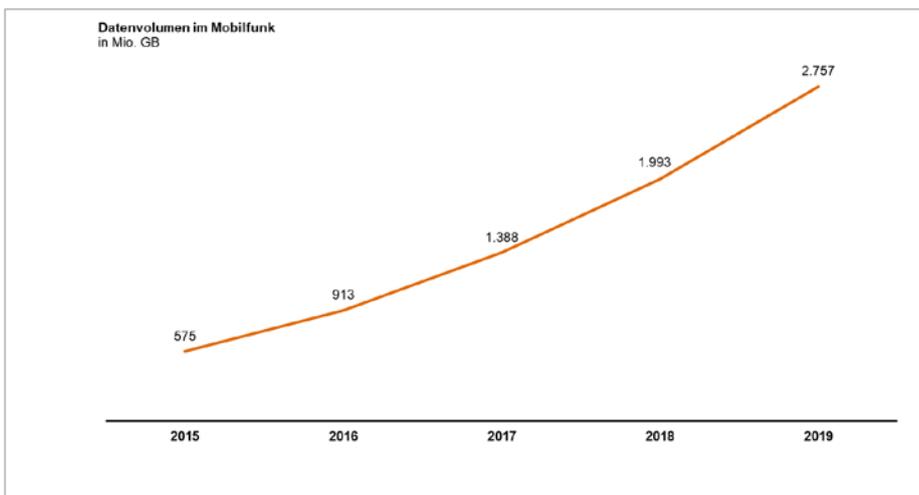
Für den CO₂-Rechner wird der Energieverbrauch durch den Internetzugang über mobile Datennetze separat berechnet. Durch die Mobilfunkverträge ist die übertragbare Datenmenge in der Regel begrenzt und die Telefone weisen die monatlich genutzte Datenmenge in ihren Systeminformationen aus („Mobile Daten“). Bei dem CO₂-Rechner wird von einem mobilen Zugang über 4G (LTE) ausgegangen. Bei der Nutzung eines mobilen Internetzugangs kommen zum Energieverbrauch des Mobilfunk-Zugangsnetzwerkes (200 Wh/GB) noch der Energieverbrauch im Kernnetzwerk (52 Wh/GB) hinzu, wodurch sich der Energieverbrauch für den CO₂-Rechner wie folgt darstellt:

$$W_{Mobile\ Daten} [Wh] = \text{Datenmenge [GB]} * 252 \text{ Wh/GB}$$

4.1.4. Datenvolumen in Mobilfunknetzwerken

Die Bundesnetzagentur (2020) stellt in ihrem Jahresbericht 2019 das in Mobilfunknetzen in Deutschland übertragene Datenvolumen dar. Es hat sich innerhalb von 5 Jahren von 575 Millionen GByte im Jahr 2015 auf 2.757 Millionen GByte im Jahr 2019 nahezu verfünffacht (siehe Abbildung 4-3).

Abbildung 4-3: Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland (Bundesnetzagentur)

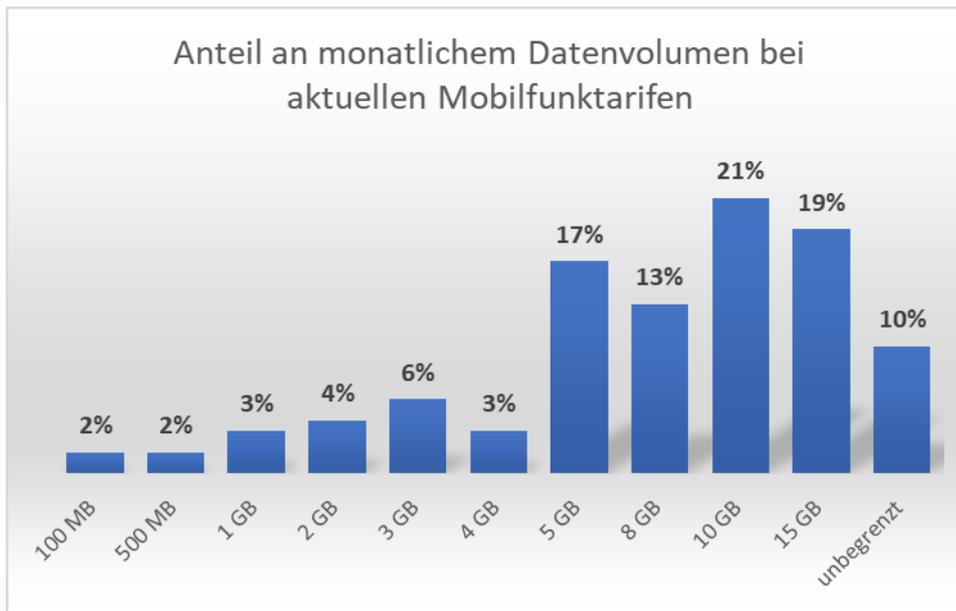


Quelle: Bundesnetzagentur 2020

Im Jahr 2019 waren nach Angaben der Bundesnetzagentur (2020) in Deutschland 107,2 Millionen SIM-Karten aktiv. Zusammen mit dem Datenvolumen für 2019 ergibt sich dadurch ein jährliches Datenvolumen pro SIM-Karte von 25,7 GByte im Jahr 2019 oder rund 2 GByte pro Mobiltelefon im Monat.

Der Trend beim Mobilfunk geht weiterhin zu höheren Datenvolumina. Im Rahmen dieser Recherche wurden Mobilfunk-Tarife beim Vergleichsportal verivox.de ausgewertet. Von den 121 angebotenen Tarifen hat der deutlich überwiegende Anteil (in Summe 70 Prozent) Datenmengen zwischen 5 GByte pro Monat und 15 GByte, die im Tarif inbegriffen sind (siehe Abbildung 4-4).

Abbildung 4-4: Auswertung von 121 Datentarifen und enthaltenen Datenvolumen



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut nach Marktdaten von verivox.de, Stand 8. Juni 2020

Ausgehend von diesen aktuellen Tarifen (Stand 8. Juni 2020) wird für den CO₂-Rechner daher mit einem höheren durchschnittlichen Datenvolumen von 5 GByte pro Monat und Smartphone ausgegangen, auch wenn dieser Wert oberhalb des von der Bundesnetzagentur für 2019 angegebenen Wertes liegt.

4.2. Streamingdienste

Die Übertragung von Video, Sprache und Musik über das Internet ist derzeit der wichtigste Treiber für den steigenden Netzwerk-Datenverkehr. Auch hier ist die individuelle Nutzung sehr unterschiedlich. Sofern nicht der pauschale Ansatz für Datenvolumen in kabelgebundenen Netzwerken gemäß Kapitel 4.1.2 gewählt wird, können die Datenmengen auch gut anhand der Inanspruchnahme von Streamingdiensten abgeschätzt werden

4.2.1. Datenmengen

Die Menge der übertragenen Datenmengen ist von der Art der Medieninhalte (Video, Audio, Text) und von deren Qualität abhängig. In der nachfolgenden Tabelle 4-2 ist daher für typische Streaming-Dienstleistungen aufgeführt, mit welcher Datenmenge diese pro Stunde verbunden sind.

Tabelle 4-2: Datenmengen für verschiedene Streaming-Dienstleistungen

YouTube nach Videoqualität	Datenmenge pro Stunde
144p	30 MB/h
240p	150 MB/h
360p	300 MB/h
480p	450 MB/h
HD / 720p	1,2 GB/h
Full HD / 1080p	1,7 GB/h
Datenverbrauch mit Videostreaming-Anbietern	Datenmenge pro Stunde
Netflix – niedrige Qualität	300 MB/h
Netflix – mittlere Qualität	700 MB/h
Netflix – hohe Qualität	3 GB/h
Netflix – Ultra-HD	7 GB/h
Amazon Video – Sparqualität	140 MB/h
Amazon Video – niedrige Qualität	270 MB/h
Amazon Video – mittlere Qualität	330 MB/h
Amazon Video – hohe Qualität	460 MB/h
Sky	1,7 GB/h
Musikhören	Datenmenge pro Stunde
Spotify	40 – 100 MB/h
Apple Music	bis 120 MB/h
Internet-Radio	21 – 84 MB/h
Videotelefonie	Datenmenge pro Stunde
Facebook Messenger	480 MB/h
Skype	180 MB/h
Viber	300 MB/h
WhatsApp	300 MB/h
Sprachtelefonie (VoIP)	Datenmenge pro Stunde
WhatsApp / Skype	60 MB/h

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut nach tarife.at 2020; Legende: MB/h: Megabyte pro Stunde

Die in Tabelle 4-2 aufgeführten Daten für Videotelefonie gelten für Mobilfunk-Apps. Diese sind aufgrund der begrenzten Bandbreite der Mobilfunkverbindung in der Regel datensparsamer als Anwendungen, die auf dem Laptop oder einem Desktop-Computer installiert sind.

Untersuchungen der Stiftung Warentest (2020a) zu Video-Chat-Programmen (Teams, Skype, Webex, Hangouts, Zoom usw.) haben gezeigt, dass die Datennutzung auch auf Desktop-Computern sehr unterschiedlich ist. Die Bandbreite der Datenmenge bei einem Videotelefonat mit 2 Personen reicht dabei von 100 Megabyte bis zu 900 Megabyte pro Stunde. Die Datenmenge ist nicht nur vom Programm abhängig, sondern auch von der angebotenen Bandbreite des Internet-Anschlusses. Bei langsamer Verbindung drosseln die Video-Chat-Programme automatisch auch ihre Bildschirmqualität. Wird das eigene Mikrophon und die Kamera ausgeschaltet, beispielsweise in einer Videokonferenz mit mehreren Teilnehmern, so reduziert sich der Datenstrom um die Upload-Bandbreite. Als typischer Wert für Videotelefonie und Videokonferenzen wird beim vorliegenden CO₂-Rechner mit einem mittleren Wert der Datenübertragung von 500 MB/h gerechnet.

Für den CO₂-Rechner werden folgende Dienste und zugehörige Datenmengen unterschieden:

- Musikstreaming und Telefonie: 60 MB/h
- Videotelefonie, Videokonferenzen: 500 MB/h

- Streaming von Filmen, niedrige Qualität: 300 MB/h
- Streaming von Filmen, hohe Qualität: 2 GB/h

4.2.2. Nutzungsdauer

Das Marktforschungsinstitut AGF Videoforschung hat im Oktober 2018 Erwachsene ab 18 Jahren in Deutschland nach ihren Konsumgewohnheiten von Bewegtbildern befragt (Niederauer-Kopf 2019). Bewegtbilder sind dabei ausgestrahlte Fernsehinhalte (lineare Bewegtbildangebote) und Videoinhalte, die von Mediatheken oder Video-on-Demand-Anbietern über das Internet bezogen werden, also Videostreaming (nicht-lineare Bewegtbildangebote). Die durchschnittliche Sehdauer aller Bewegtbildangebote lag bei dieser Untersuchung bei 267 Minuten pro Tag. Diese verteilen sich auf 232 Minuten für klassisches, lineares Fernsehen, 33 Minuten YouTube und 2 Minuten für die Online-Mediatheken der anderen am AGF-System teilnehmenden Anbieter (ARD, ZDF, RTL und Pro 7). Nicht erfasst wurden explizite Streaming-Plattformen wie Netflix, Prime Video, Maxdome oder Vimeo. Von den 34 Minuten Videostreaming (YouTube und Mediatheken) werden 14 Minuten am Desktop-Computer angeschaut und 21 Minuten an mobilen Endgeräten (z.B. Smartphones).

Für die ARD/ZDF-Onlinestudie 2019 haben Beisch et al. (2019) die Nutzung von Medienangeboten im Internet untersucht. Die Gesamtnutzungsdauer von medialen Internetangeboten (siehe Tabelle 4-3) lag dabei im Jahr 2019 bei täglich 87 Minuten. 43 Minuten werden Video-Inhalte betrachtet, 26 Minuten Audio-Inhalte und 25 Minuten Artikel oder Berichte. (Durch die zeitgleiche Nutzung dieser Angebote ist die Summe größer als 87 Minuten).

Tabelle 4-3: Nutzungsdauern mediale Internetnutzung 2018/2019

Gesamtbevölkerung, in Min.*

	2018	2019						
	Gesamt	Gesamt	Frauen	Männer	14-29 J.	30-49 J.	50-69 J.	ab 70 J.
mediale Internetnutzung	82	87	82	92	201	91	42	23
Sendungen in Mediatheken/YouTube gesehen	5	6	6	6	12	4	5	2
Filme/Videos bei Netflix, Maxdome, Amazon usw. gesehen	17	21	21	20	53	25	7	–
Filme/Videos bei YouTube, MyVideo etc. gesehen	8	9	5	14	27	9	2	2
Videos bei Facebook, auf Nachrichtenportalen gesehen	3	7	9	4	3	4	8	13
Podcasts oder Radiosendungen zeitversetzt gehört	5	3	3	3	6	5	1	0
Musik über YouTube oder Streamingdienste wie Spotify**	20	23	18	28	73	21	4	1
Artikel/Berichte digital im Internet gelesen	30	25	25	26	49	28	18	7

* Daten aus dem Tagesablauf-Schema, Day-After-Recall 5.00 bis 24.00 Uhr: Alle Onlinetätigkeiten werden in 15-Minuten-Intervallen aufsummiert und zu Mittelwerten verrechnet. Alle Befragten gehen in die Berechnung ein; diejenigen, die am Tag vor der Befragung das Internet nicht genutzt haben, mit dem Wert Null. Die drei Bereiche der Internetnutzung ergeben sich aus den konkreten Tätigkeiten. Die Nutzungsdauern sind auch hier keine reinen Summen der Einzeltätigkeiten, weil man bspw. Musik über Spotify hören und dabei Artikel lesen kann. Diese Mehrfachzeiten werden nur einfach gezählt. Die Summen für die Bereiche sind daher Nettosummen der Einzeltätigkeiten.

** 2018 zusammen, 2019 getrennt abgefragt. Für 2019 wird der Nettowert dargestellt.

Basis: Deutschspr. Bevölkerung ab 14 Jahren (2019: n=2 000; 2018: n=2 009).

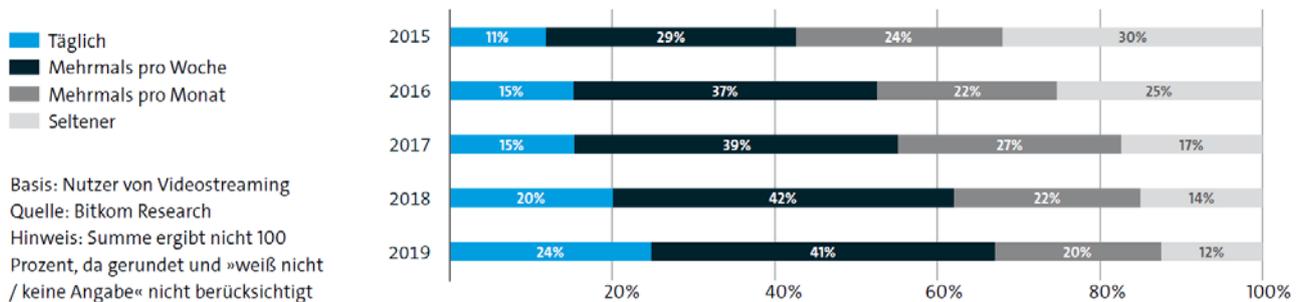
Quelle: Tabelle direkt entnommen aus Beisch et al. 2019

Die Nutzungshäufigkeit von Videostreaming-Diensten hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Nach Angaben des Branchenverbandes Bitkom (2019) erhöhte sich der Anteil an Nutzer*innen, die Videostreaming täglich nutzen, von 11 Prozent im Jahr 2015 auf 24 Prozent im Jahr 2019. Der Anteil der Streaming-Nutzer*innen, die solche Dienste mehrmals wöchentlich nutzen, erhöhte sich im gleichen Zeitraum von 29 Prozent auf 41 Prozent (siehe Abbildung 4-5). Wenn dies auch keine Aussage über die durchschnittliche tägliche Nutzungszeit der Gesamtbevölkerung zulässt, so zeigt diese Nutzungsintensivierung, dass Videostreaming weiter an Akzeptanz gewinnt.

Abbildung 4-5: Nutzungshäufigkeit Videostreaming 2015 – 2019

Nutzungshäufigkeit von Videostreaming

im Jahresvergleich 2015 – 2019



Quelle: Bitkom 2019

Ausgehend von den vorgenannten Zahlen können folgende Durchschnittswerte abgeleitet werden:

- Streaming von Filmen, niedrige Qualität (z.B. YouTube): 30 Minuten/Tag
- Streaming von Filmen, hohe Qualität (z.B. Netflix): 15 Minuten/Tag
- Musikstreaming (z.B. Spotify): 30 Minuten/Tag

Beim CO₂-Rechner wird die durchschnittliche Nutzung von Datenvolumen in kabelgebundenen Netzwerken bereits durch den pauschalen Ansatz gemäß Kapitel 4.1.2 abgeschätzt. Die Nutzungsdauern für Streamingdienste werden daher zunächst auf Null gesetzt. Die Nutzer*innen des CO₂-Rechners haben jedoch die Möglichkeit, diese Werte individuell einzutragen.

4.3. Cloud-Storage

Durch die Abspeicherung von Computer- und Smartphone-Daten in der „Cloud“, also in zentralen Rechenzentren, wird eine externe Festplatte mit Internetanbindung und hoher Verfügbarkeit in Anspruch genommen. Im Rahmen dieser Recherche wird die Nutzung von Cloud-Storage anhand eines Anteils an dieser Rechenzentrumsinfrastruktur berechnet.

4.3.1. Datenmengen

Die Nutzung von Online-Storage-Diensten ist stark von den jeweiligen Präferenzen der Nutzenden abhängig, ob gesamte lokale Festplatten in der Cloud gespiegelt werden, Urlaubsfotos, Mail-Postfächer oder aufgezeichnete Videofilme.

Als pauschale Annahme wird daher im CO₂-Rechner nur jene Datenmenge als durchschnittlich unterstellt, die zusammen mit typischen, kostenlosen Diensten bereitgestellt wird. Bei der Nutzung von Smartphones werden beispielsweise jedem/jeder Android-Nutzer*in 15 GByte Cloud-Storage unter dem Namen *Google Drive* kostenlos zur Verfügung gestellt (<https://one.google.com/storage>). Nutzer*innen von Apple-Geräten erhalten automatisch 5 GByte in der *iCloud* (<https://support.apple.com/de-de/HT201238>). Die Nutzung der in Smartphone-Betriebssystemen enthaltenen Dienste erhöht die Datenwiederherstellbarkeit bei Verlust der Geräte und eignet sich zum Auslagern zu vieler Daten vom Mobilgerät ins Rechenzentrum. Weitere typische Storage-Dienste sind ferner

Microsoft OneDrive für alle Office 365-Nutzer*innen mit 5 GByte oder die kostenlose Dropbox mit 2 GByte (<https://www.dropbox.com/de/basic>).

Für den CO₂-Rechner wird von einem durchschnittlich genutzten Speicherplatz (Datenmenge) in der Cloud von 10 GByte ausgegangen.

4.3.2. Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme, die anteilig in Anspruch genommen wird, wird hier wie folgt abgeschätzt: Eine rotierende 3,5-Zoll-Festplatte im Rechenzentrum weist eine Speicherkapazität von 1 Terabyte auf. Das Speicher-System im Rechenzentrum benötigt pro enthaltener Festplatte 10 Watt. Aus Gründen der Datenintegrität werden die Daten auf zwei separaten Festplatten gespiegelt (RAID: „redundant array of independent disks“). Für die Netzwerktechnik, Klimatisierung, sichere Stromversorgung und sonstige Technik im Rechenzentrum ist ein darüberhinausgehender Energiebedarf von 50% erforderlich. Pro 1 Terabyte redundantem Cloud-Speicher werden daher rund um die Uhr 30 Watt benötigt.

Die Leistungsaufnahme für die Inanspruchnahme von Cloud-Storage wird damit folgendermaßen berechnet:

$$P_{\text{Cloud-Storage}} [\text{W}] = \frac{\text{genutzter Speicherplatz [GByte]}}{1.000 \text{ GByte}} * 30 \text{ W}$$

5. Zusammenfassung der Datengrundlage

5.1. Digital-Produkte

In der nachfolgenden Tabelle 5-1 wird die in den vorangehenden Kapiteln hergeleitete Datengrundlage für den CO₂-Rechner noch einmal in der Übersicht dargestellt. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt entsprechend der Erläuterungen in Kapitel 2. Die CO₂e-Emissionen setzen sich zusammen aus 1. Herstellungsaufwand für die Geräte bezogen auf 1 Jahr Nutzungsdauer und 2. Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase aus dem jeweiligen Energieverbrauch.

Tabelle 5-1: Datengrundlage des CO₂-Rechners für Digital-Produkte

Geräte mit variabler Nutzung	Durchschnittliche Anzahl Geräte	Durchschnittliche Nutzungsdauer	Lebensdauer Erstnutzung	Treibhausgasemissionen Herstellung	Elektrische Leistungsaufnahme Betrieb	Standby Leistungsaufnahme
Desktop-PC mit Monitor	1	2 h/d	5 Jahre	435 kg CO ₂ e	87 W	2 W
Laptop	1	2 h/d	5 Jahre	311 kg CO ₂ e	13 W	2 W
Computer-Monitor	-	-	5 Jahre	88 kg CO ₂ e	47 W	0 W
Fernseher	1	4 h/d	6 Jahre	1000 kg CO ₂ e	116 W	2 W
Spielekonsole	1	0,5 h/d	5 Jahre	150 kg CO ₂ e	108 W	13,0 W
Tablet	1	1 h/d	4 Jahre	200 kg CO ₂ e	4 W	0 W
Sprachassistent	-	1 h/d	3 Jahre	100 kg CO ₂ e	12 W	2,5 W

Smartphone	1	24 h/d	2,5 Jahre	100 kg CO ₂ e	1,3 W	1,3 W
Router	1	24 h/d	7 Jahre	77 kg CO ₂ e	13 W	13 W
Smarte Lampe	-	-	5 Jahre	4 kg CO ₂ e	-	0,5 W
Internet of Things	-	-	2 Jahre	4 kg CO ₂ e	-	0 W

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

5.2. Dienstleistungen

In Tabelle 5-2 sind die im CO₂-Rechner verwendeten Daten für digitale Dienstleistungen zusammengefasst. Die zugehörigen Treibhausgasemissionen berechnen sich aus der Inanspruchnahme der jeweiligen Dienstleistung pro Jahr und dem mit der Nutzung zusammenhängenden Energieverbrauch. Die Herstellung der für die Dienstleistungen erforderlichen Infrastruktur bleibt unberücksichtigt. Für alle Streaming-Dienste ist die Nutzungsdauer hier auf Null (-) gesetzt, da die Datenmenge bereits in der durchschnittlichen Inanspruchnahme enthalten ist (siehe Kapitel 4.2). Dies kann im CO₂-Rechner durch Nutzer*innen-Eingabe geändert werden.

Tabelle 5-2: Datengrundlage des CO₂-Rechners für digitale Dienstleistungen

Dienstleistungen	Durchschnittliche Inanspruchnahme Dienstleistung	Spezifischer Datenverbrauch	Energieintensität Datenübertragung	Elektrische Leistungsaufnahme Betrieb
Datenmenge im mobilen Internet	5 GB pro Monat	-	0,252 kWh/GB	-
Datenmenge in kabelgebundenen Netzwerken	124 GB pro Monat	-	0,052 kWh/GB	4 W
Musikstreaming und IP-Telefonie	-	0,06 GB/h	0,052 kWh/GB	4 W
Videotelefonie, Videokonferenzen	-	0,5 GB/h	0,052 kWh/GB	4 W
Streaming von Filmen, niedrige Qualität	-	0,3 GB/h	0,052 kWh/GB	4 W
Streaming von Filmen, hohe Qualität	-	2 GB/h	0,052 kWh/GB	4 W
Online Storage	10 GB	-	-	30W/TB

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

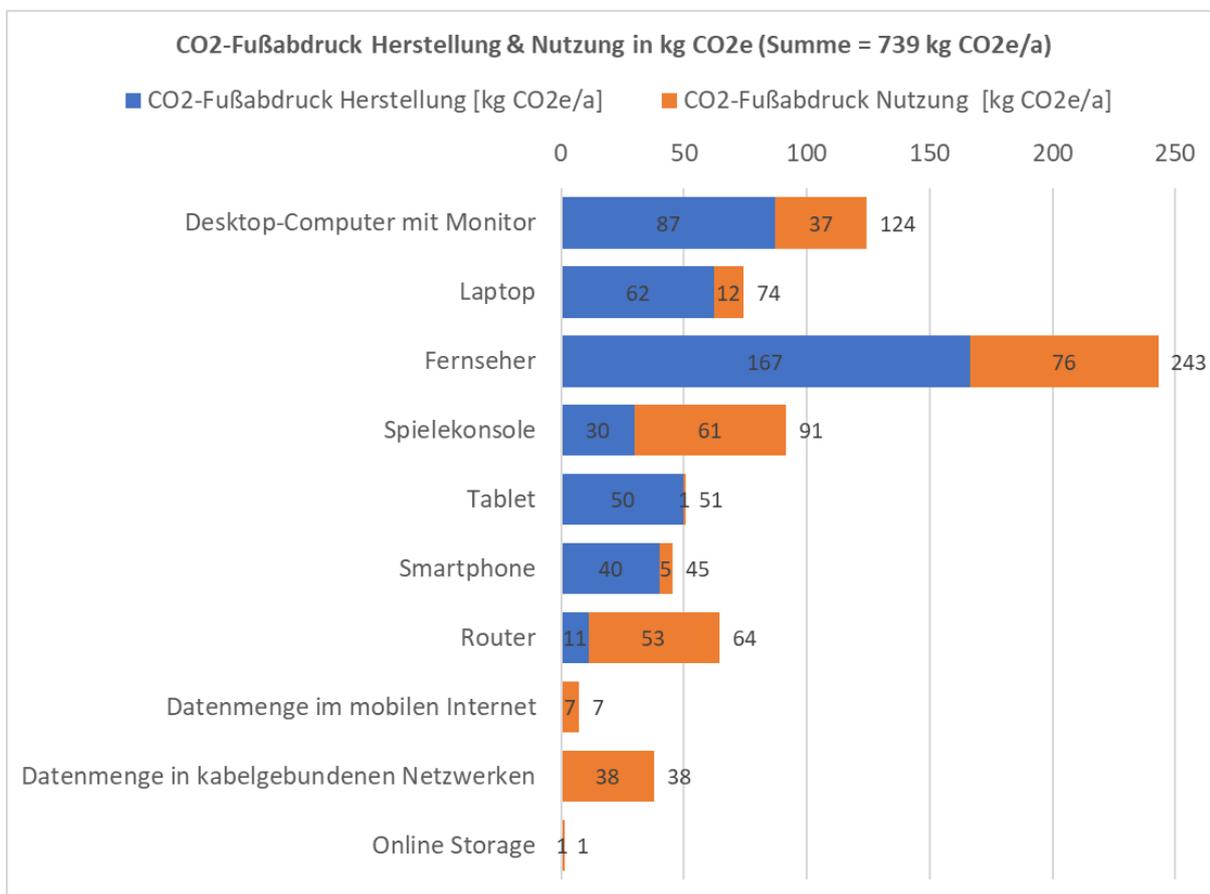
6. Fallbeispiele

Die nachfolgenden Fallbeispiele stammen aus der Anwendung des CO₂-Rechners und der Auswertung dessen Ergebnisse. Sie können durch eigene Anwendung selbst nachvollzogen und durch eigene Fallkonstellationen erweitert werden.

6.1. Durchschnittliche Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen

Zunächst werden die Ergebnisse des CO₂-Rechners für eine/n durchschnittliche/n Nutzer*in entsprechend der angenommenen durchschnittlichen Ausstattung und Nutzungsgewohnheit in Deutschland dargestellt. Abbildung 6-1 zeigt den Einfluss der verschiedenen Anwendungen. Die Summe aller CO₂-Emissionen für Herstellung und Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen in Deutschland liegt bei 739 Kilogramm pro Jahr und Person. Der größere Anteil davon stammt aus der Herstellung der Geräte mit zusammen 447 Kilogramm. Der Energieverbrauch in der Nutzung macht 292 Kilogramm aus.

Abbildung 6-1: CO₂-Fußabdruck für durchschnittliche Nutzung in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Die drei größten Einzelbeiträge für Treibhausgasemissionen aus der Herstellung stammen vom Fernsehgerät mit 167 Kilogramm pro Jahr, vom Desktop-Computer mit Monitor mit 87 Kilogramm pro Jahr und vom Laptop mit 62 Kilogramm pro Jahr. Bei den Treibhausgasemissionen aus der Nutzungsphase sind die größten Einzelbeiträge ebenfalls der Fernseher mit 76 Kilogramm, gefolgt von Spielekonsole und Router mit jeweils 53 Kilogramm pro Jahr. Vom Energieverbrauch in der

Nutzungsphase werden 246 Kilogramm Treibhausgasäquivalente pro Jahr durch den Energieverbrauch in der jeweiligen Wohnung verursacht (526 kWh \approx 160 Euro⁴) und 46 Kilogramm stammen aus dem Energieverbrauch im Internet (98 kWh) für die übertragenen und gespeicherten Daten.

6.2. Intensive Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen

Als Extremfall zur Berechnung hoher Umweltwirkungen durch die Nutzung von Digitaltechnik wird hier eine Person beschrieben, die digitale Geräte und Dienstleistungen intensiv nutzt. Diese Person nutzt 4 Stunden pro Tag einen Desktop-Computer, 4 Stunden einen Laptop und 4 Stunden ein Fernsehgerät, mit denen gearbeitet, Video gestreamt und mit der Konsole gespielt wird. Weitere digitale Geräte sind ein Tablet, ein Smartphone, das abweichend vom Durchschnitt nur 1,5 Jahre genutzt wird, Sprachassistent mit 2 Stunden Musikstreaming, Router, 10 smarte Lampen und 5 Kleingeräte des Internet-of-Things, wie zum Beispiel Fitnesstracker oder Fernschalter. Mobiles Internet wird mit 15 Gigabyte pro Monat genutzt und Online-Speicherkapazität mit 250 Gigabyte. Alle Eingangsdaten sind in Tabelle 6-1 im Überblick dokumentiert.

Tabelle 6-1: Eingangsdaten für intensive Nutzung

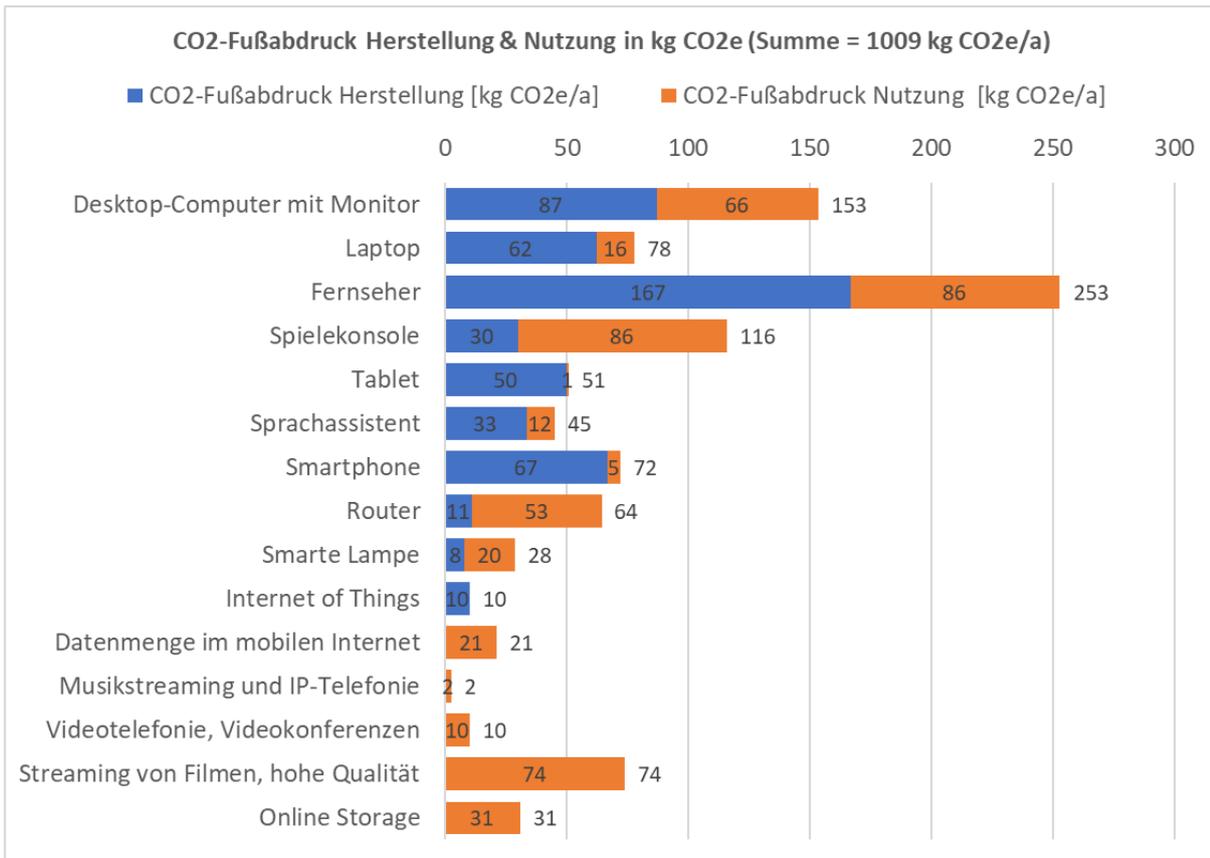
Geräteausstattung/Dienstleistung	Nutzungsintensität, Annahmen
1 Desktop-Computer mit Monitor	4 Stunden pro Tag
1 Laptop	4 Stunden pro Tag
1 Fernseher	4 Stunden pro Tag
1 Spielekonsole	2 Stunden pro Tag
1 Tablet	1 Stunde pro Tag
1 Sprachassistent	1 Stunde pro Tag
1 Smartphone	Lebensdauer 1,5 Jahre
1 Router	Dauerbetrieb, kein Standby
10 Smarte Lampen	nur Standby-Verluste
5 IoT-Kleingeräte (z.B. Fitnesstracker)	nur Herstellungsaufwand
Datenmenge im mobilen Internet	15 GB pro Monat
Musikstreaming	2 Stunden pro Tag
Videokonferenzen	2 Stunden pro Tag
HD-Videostreaming	4 Stunden pro Tag
Online Storage	250 GB genutzte Speicherkapazität

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Der CO₂-Fußabdruck der Intensiv-Nutzer*in berechnet sich mit dem CO₂-Rechner zu 1.009 Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalenten pro Jahr, also zirka 1 Tonne. Die einzelnen Beiträge zu diesem CO₂-Fußabdruck sind in Abbildung 6-2 dokumentiert.

⁴ Bei einem Strompreis von 0,30 €/kWh

Abbildung 6-2: CO₂-Fußabdruck für die intensive Nutzung von Digitaltechnik



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Die Herstellung der Digitalgeräte macht mit 525 Kilogramm pro Jahr rund die Hälfte des CO₂-Fußabdrucks für die intensive Nutzung von Digitaltechnik aus. Die wichtigsten Einzelbeiträge für den Herstellungsaufwand sind dabei, wie schon bei der durchschnittlichen Nutzung, das Fernsehgerät mit 167 Kilogramm pro Jahr, der Desktop-Computer mit Monitor mit 87 Kilogramm pro Jahr und der Laptop mit 62 Kilogramm pro Jahr.

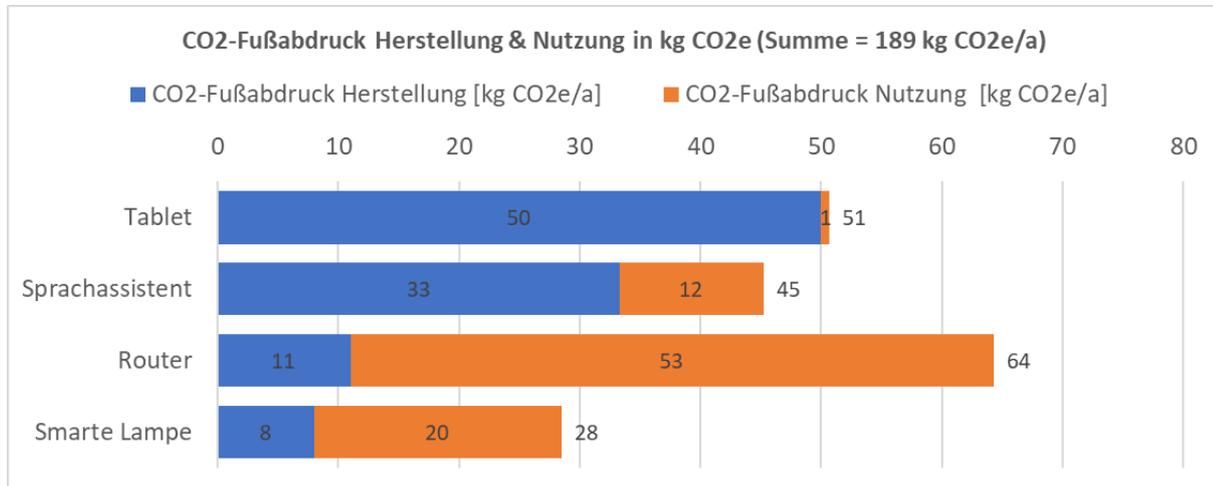
Beim Stromverbrauch und den damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen haben aufgrund der längeren täglichen Nutzungszeiten das Fernsehgerät, der Desktop-Computer und die Spielekonsole gegenüber der durchschnittlichen Nutzung zugelegt. Obwohl die Spielekonsole nur 2 Stunden am Tag genutzt wird, ist sie mit 116 Kilogramm Treibhausgasemissionen für einen vergleichsweise hohen Anteil an den Gesamtemissionen verantwortlich. Zusammen führen die im Haushalt installierten Geräte allein durch ihren Stromverbrauch zu Treibhausgasemissionen in Höhe von 346 Kilogramm pro Jahr.

Interessant an der intensiven Nutzung der Digitaltechnik sind die erhöhten Treibhausgasemissionen, die im Internet stattfinden. Mobiles Internet, Musikstreaming, Videotelefonie, Videostreaming und Online-Storage führen zusammen zu CO₂-Emissionen von 138 Kilogramm pro Jahr. Der größte Posten davon (74 Kilogramm) ist das Streamen von Filmen in HD-Qualität.

6.3. Smartes Beleuchtungssystem

Das nachfolgende Beispiel beschreibt einen Haushalt, der mit einem smarten Beleuchtungssystem mit 10 smarten Lampen sowie einem Tablet und einem Sprachassistenten zu dessen Ansteuerung ausgerüstet ist. Abbildung 6-3 stellt die damit zusammenhängenden CO₂e-Emissionen dar.

Abbildung 6-3: CO₂-Fußabdruck Smartes Beleuchtungssystem mit 10 Lampen



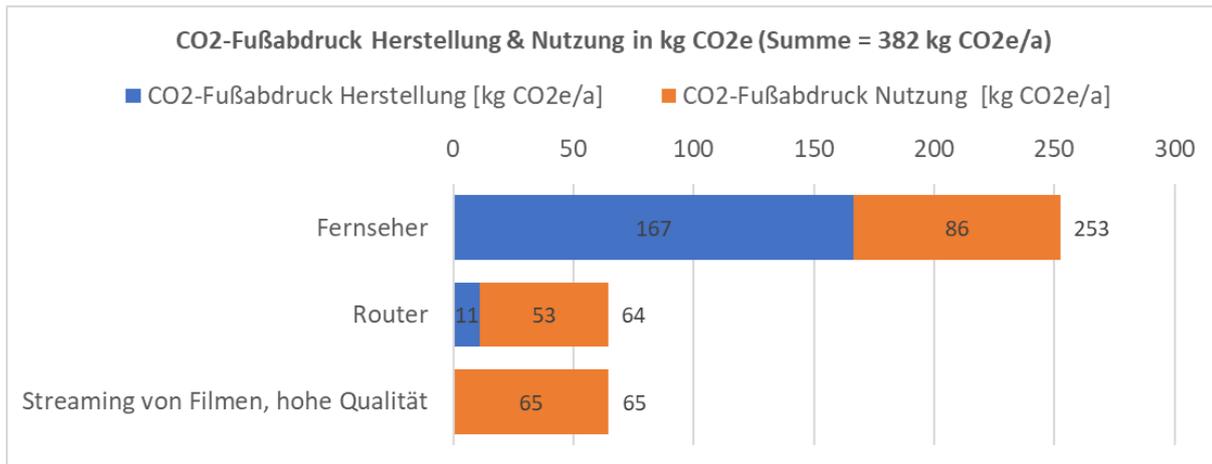
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Insgesamt wird für dieses Fallbeispiel des smarten Beleuchtungssystems 189 Kilogramm CO₂e pro Jahr benötigt. Die Herstellung der beteiligten Geräte ist mit Kohlendioxid-Äquivalenten von 102 Kilogramm verbunden. Die Herstellung von Tablet (50 kg) und Sprachassistent (33 kg) sind dabei besonders relevant. Die Summe der Treibhausgasemissionen aus dem Energieverbrauch in der Nutzungsphase beträgt 86 Kilogramm. Größter Anteil davon ist der Router mit seinen durchschnittlichen 13 Watt im Dauerbetrieb (siehe Kapitel 3.6.2) mit 53 Kilogramm pro Jahr, aber auch die smarten Lampen mit 10 mal 0,5 Watt Standby-Verlusten (siehe Kapitel 3.8.2) fallen mit 20 Kilogramm deutlich ins Gewicht.

6.4. Fernsehen mit Smart-TV per Videostream

Die durchschnittliche Fernsehnutzungsdauer pro Zuschauer in Deutschland beträgt gemäß Kapitel 3.2.3 zirka 3,5 Stunden pro Tag. Wird dieser Fernsehkonsum nicht durch Antenne, Satellit oder Kabel, sondern durch Videostreaming in hoher Qualität am smarten Fernsehgerät realisiert, ergibt sich der in Abbildung 6-4 dargestellte CO₂-Fußabdruck.

Abbildung 6-4: CO₂-Fußabdruck 3,5 Stunden pro Tag Fernsehen per Videostream



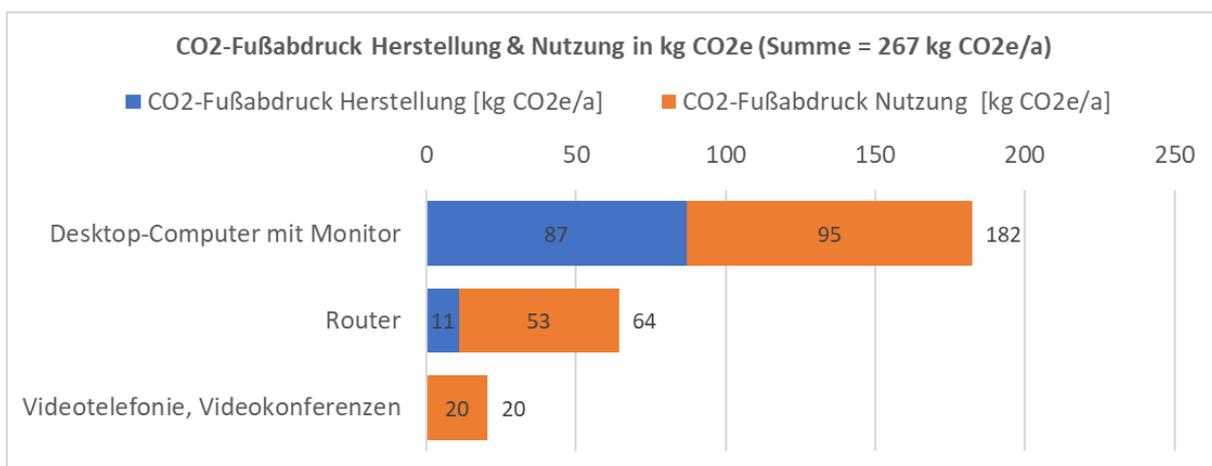
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Fernsehen am Smart-TV per Videostream ist mit Treibhausgasemissionen von insgesamt 382 Kilogramm pro Jahr verbunden. Etwa die Hälfte davon macht die Herstellung von Fernsehgerät (167 Kilogramm) und Router (11 Kilogramm) aus, die andere Hälfte der Energieverbrauch in der Nutzungsphase. Allein durch die Datenübertragung im Internet, die aufgrund des Videostreamings erfolgt, werden 65 Kilogramm CO₂e-Emissionen pro Jahr verursacht. Der gleiche CO₂-Fußabdruck für die Datenübertragung tritt auch dann auf, wenn die Videos statt an einem Fernsehgerät an einem kleineren Display (z.B. Tablet oder Laptop) konsumiert werden.

6.5. Teilnahme an Online-Videokonferenzen

Auch die Teilnahme an Online-Konferenzen von zuhause ist mit der Nutzung von Streaming-Diensten verbunden. Im Fallbeispiel, das in Abbildung 6-5 dargestellt ist, wird dies mit einem Desktop-Computer mit Monitor über einen Zeitraum von 4 Stunden realisiert.

Abbildung 6-5: CO₂-Fußabdruck tägliche Teilnahme an einer 4-stündigen Online-Videokonferenz



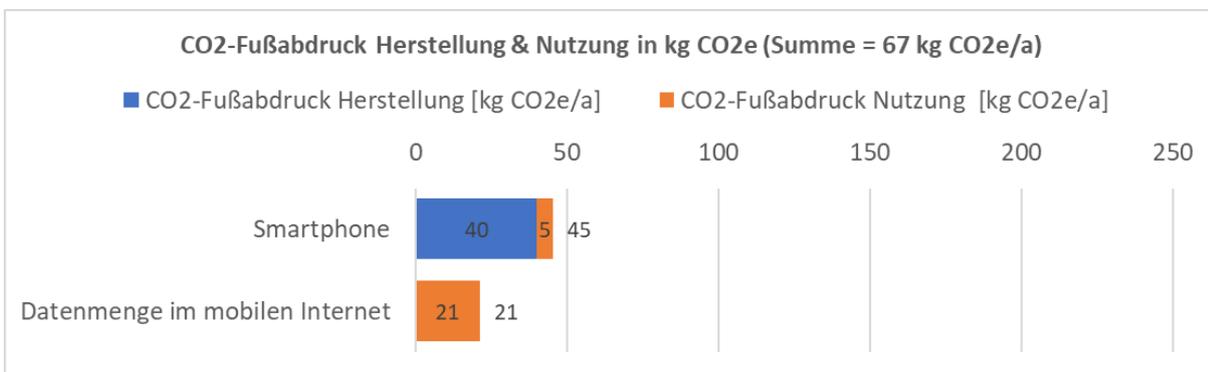
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Die Ergebnisse zeigen die tägliche Nutzung einer 4-stündigen Online-Konferenz über den Zeitraum eines Jahres. Dies ist in Summe mit Treibhausgasemissionen von 267 Kilogramm verbunden. Die Teilnahme an einer einzelnen Konferenz über 4 Stunden, also an nur einem Tag pro Jahr, ist entsprechend mit einem 365-stel dieses Wertes verbunden. Pro Konferenz sind dies 732 Gramm CO₂-Äquivalente.

6.6. Videotelefonie über Mobilfunknetze

Viele Messenger-Dienste und Smartphone-Anwendungen bieten die Möglichkeit, über Mobilfunknetze per Video statt per Sprachtelefonie zu telefonieren. In der nachfolgenden Abbildung 6-6 wird der CO₂-Fußabdruck eines täglichen 1-stündigen Videotelefonats über Mobilfunknetze dargestellt. Die Nutzung dieses Dienstes ist mit einem monatlichen Datenvolumen von 15 Gigabyte „Mobile Daten“ verbunden, die entsprechend im CO₂-Rechner eingetragen wurden.

Abbildung 6-6: CO₂-Fußabdruck 1 Stunde pro Tag Videotelefonie über Mobilfunknetze



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

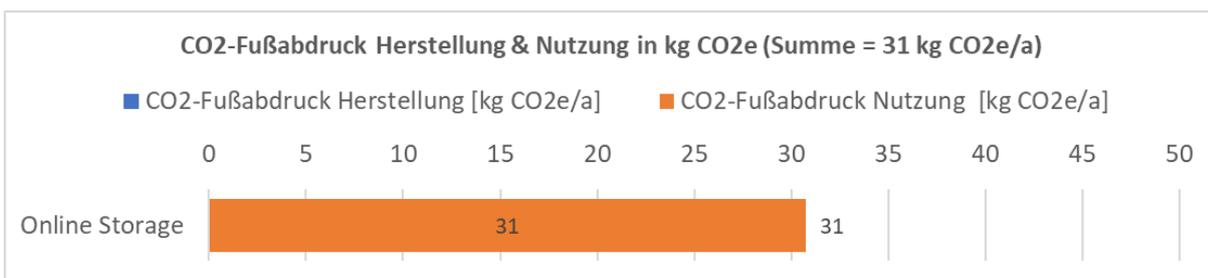
Der CO₂-Fußabdruck durch die Videotelefonie mit dem Smartphone liegt bei 67 Kilogramm pro Jahr, davon 21 Kilogramm durch die im mobilen Internet übertragenen Daten.

Zum Vergleich: würde man die gleiche Datenmenge über eine WLAN- oder LAN-Verbindung übertragen, so läge der netzwerkspezifische CO₂-Fußabdruck bei rund einem Viertel davon, bei 5 Kilogramm pro Jahr.

6.7. Festplatten-Backup in der Cloud

Als letztes Fallbeispiel wird die Nutzung eines Cloud-Storage-Dienstes als Backup für die lokale Festplatte betrachtet. Die Treibhausgasemissionen für die Aufbewahrung einer Online-Kopie einer 250 GByte-Festplatte ist in Abbildung 6-7 dargestellt.

Abbildung 6-7: CO₂-Fußabdruck 250 GByte-Festplatten-Backup in der Cloud



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

Für die Treibhausgasemissionen werden bei Online-Storage nur der Energieverbrauch in der Nutzungsphase berücksichtigt, nicht jedoch die Herstellung der Festplatten und Rechenzentrumskomponenten. Die Speicherung von 250 Gigabyte ist mit 31 Kilogramm CO₂e-Emissionen verbunden. Die hierfür aufgewendete Elektrizitätsmenge liegt bei 66 Kilowattstunden pro Jahr.

7. Erkenntnisse aus der Anwendung des CO₂-Rechners

Die Anwendung des CO₂-Rechners gibt einen guten Überblick darüber, wo die wesentlichen Treibhausgasemissionen bei der Nutzung von Digitaltechnik auftreten. Betrachtet man das Fallbeispiel Durchschnittliche Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen in Kapitel 6.1, so wird deutlich, dass die Gesamthöhe der Treibhausgasemissionen mit rund einer dreiviertel Tonne (739 kg) CO₂e pro Anwender*in und Jahr beim individuellen CO₂-Fußabdruck nicht vernachlässigt werden kann. Die Treibhausgasemissionen im Fallbeispiel Intensive Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen in Kapitel 6.2 zeigen, dass der CO₂-Fußabdruck durch verstärkte Nutzung der Digitaltechnik auf bis zu 1 Tonne CO₂e pro Anwender*in und Jahr ansteigen kann.

Im Verhältnis zu den gesamten Treibhausgasemissionen pro Bundesbürger aus Wohnen, Mobilität, Ernährung, öffentlicher Infrastruktur und sonstigem Konsum von insgesamt 11,6 Tonnen (vgl. CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes, Schächtele und Hertle 2007) sind die Werte des hier ermittelten digitalen CO₂-Fußabdruck vergleichsweise gering. Da der digitale CO₂-Fußabdruck aber ein starkes Wachstumspotenzial beinhaltet und insbesondere der Herstellungsaufwand der verschiedenen Digitalgeräte eine zusätzliche Belastung darstellt, sollte die Größenordnung sehr kritisch betrachtet werden. Wenn in den nächsten Jahrzehnten eine Klimaneutralität erreicht werden soll, um die Erderwärmung in Grenzen zu halten, dann müssen auch die Treibhausgasemissionen durch Digitaltechnik sinken.

Vergleicht man die jeweiligen Beiträge der Treibhausgasemissionen aus der Herstellungsphase der Geräte mit denen aus dem Stromverbrauch in der Nutzungsphase, so stellt man fest, dass die Herstellung in der Regel überwiegt oder zumindest genauso relevant ist wie die Nutzungsphase (61% im Fallbeispiel Durchschnittliche Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen und 52% im Fallbeispiel Intensive Nutzung digitaler Geräte und Dienstleistungen). Die Digitalgeräte müssen deshalb nicht nur bei der Nutzung energieeffizienter werden, auch ihre Herstellung muss klimafreundlicher werden. Ansatzpunkte hierfür sind sauberere Produktionstechniken in den Herstellungsländern, vor allem aber auch langlebigere Produkte, sodass ihr hoher Herstellungsaufwand über einen längeren Zeitraum Nutzen erbringt. Um dies zu erreichen, müssen Digitalgeräte qualitativ hochwertig, modular aufgebaut, reparierbar, langfristig nutzbar und von Herstellern mit Updates und Ersatzteilen versorgt werden. Konsumtrends, die darauf abzielen, Digitalgeräte als Modeartikel oder Distinktionsmerkmal mit kurzen Erneuerungszyklen zu vermarkten, sind für den Klimaschutz kontraproduktiv.

Was die einzelnen Geräte angeht, so zeigt die Anwendung des CO₂-Rechners, dass die Relevanz der Geräte (Treibhausgasemissionen bei Herstellung und Nutzung) sich auch an der Größe der Geräte selbst zeigt. Große Fernseher und leistungsstarke Desktop-Computer weisen einen hohen Herstellungsaufwand und hohen Energieverbrauch auf, während mobile und schlankere Geräte wie Smartphones und Geräte des Internet-of-Things eher kleinere CO₂-Fußabdrücke aufweisen. Die einfache Botschaft „small is beautiful“ gilt daher auch für Digitalgeräte. Mit Blick auf den Klimaschutz ist deshalb der Trend hin zu immer größeren und leistungsstärkeren Geräten kritisch zu bewerten. Bei den Fernsehgeräten liegt der Energieverbrauch bei dem gewählten Durchschnittsgerät (55 Zoll) bereits höher als der einer energieeffizienten Kühl-Gefrierkombination oder einer energieeffizienten Waschmaschine.

Eine weitere Erkenntnis aus der Anwendung des CO₂-Rechners ist, dass der Internet-Router mit seinem kontinuierlichen Standby-Verbrauch (eigentlich: Leerlauf-Verbrauch) unverhältnismäßig viel Energie benötigt. Als Zugangspunkt ins Internet ist er rund um die Uhr in Bereitschaft, hält die WLAN-Verbindung aufrecht oder kümmert sich um angeschlossene Telefone, Smart-Home-Geräte oder weitere Netzwerkkomponenten. Die technische Entwicklung sollte daher, beispielsweise durch verbindliche Ökodesign-Anforderungen, motiviert werden, für Router standardmäßig sparsamere Betriebsmodi und Übertragungsprotokolle zu ermöglichen.

Ein neues Betrachtungsfeld in dieser Datenrecherche war der Energieverbrauch, der durch Datenübertragung in Datennetzen stattfindet. Im Durchschnitt (Kapitel 6.1) liegen die damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen bei 45 Kilogramm CO₂e pro Jahr, im Fall der intensiven Nutzung (Kapitel 6.2) mit 108 Kilogramm CO₂e pro Jahr mehr als doppelt so hoch. Der Trend geht hin zum Videostreaming mit immer höheren Bildschirmauflösungen (z.B. „Ultra HD“), weiteren audiovisuellen Diensten (z.B. Spracherkennung, Videotelefonie, Videoüberwachung) und der steigenden Nutzung von Mobilfunknetzen, die im Vergleich zu kabelgebundenen Breitbandnetzen fünfmal mehr Energie benötigen. Daher werden voraussichtlich auch die Treibhausgasemissionen in Datennetzen weiter ansteigen. Neben der Datensparsamkeit als Suffizienzmaßnahme muss daher auch ein besonderes Augenmerk auf einen energieeffizienten Ausbau der Mobilfunk- und Breitbandnetze gelegt werden.

8. Vorschläge für Einsparmöglichkeiten durch Konsument*innen

Hersteller, Service-Provider, Rechenzentrumsbetreiber, Software-Entwickler und letztlich der Gesetzgeber haben eine besondere Verantwortung, die Treibhausgasemissionen bei der Digitaltechnik zu senken. Dennoch haben aber auch die Konsument*innen selbst durch ihren individuellen Digitalkonsum die Möglichkeit, ihren persönlichen digitalen CO₂-Fußabdruck zu reduzieren. Nachfolgend werden Vorschläge für Verhaltensänderungen aufgeführt, die zu einer Einsparung an Treibhausgasemissionen führen.

Maßnahmen zur Reduzierung des digitalen CO₂-Fußabdrucks:

- Die Herstellung von Digitalgeräten ist mit einem erheblichen Umweltaufwand verbunden. Konsument*innen sollten daher darauf achten, nur hochwertige und langlebige Produkte zu kaufen und diese möglichst über einen langen Zeitraum zu nutzen. Konsument*innen sollten vom Hersteller und Händler eine Mindestlebensdauer der Produkte einfordern, die deutlich länger als die gesetzliche Gewährleistungsdauer von 2 Jahren ist. Digitalgeräte sollen reparierbar sein, beispielsweise durch eine modulare Bauweise (z.B. Austauschbarkeit von Akkus) und die Bereitstellung von Ersatzteilen durch die Hersteller. Außerdem sollten solche Geräte gewählt werden, die langfristig mit Software-Updates versorgt werden, um Sicherheitslücken zu schließen und die Funktionalität auch bei technischen Änderungen aufrechtzuerhalten.
- Die Größe von Fernsehgeräten entscheidet darüber, wie hoch deren Herstellungsaufwand ist und wie viel Energie sie verbrauchen. Kleinere Fernsehgeräte sind daher besser für die Treibhausgasbilanz. Wichtiger als die Energieeffizienzklasse des Fernsehgerätes, die bezogen auf die Bildschirmfläche berechnet wird und damit große Geräte begünstigt, ist der absolute Energieverbrauch des Geräts. Dieser sollte möglichst gering sein.
- Spielekonsolen benötigen deutlich mehr Energie als andere Computer, da sie mit leistungsstarken Grafikkarten ausgestattet sind. Um im Internet zu surfen, sind daher Laptop oder Tablet die besseren Alternativen.

- Auch das Internet benötigt Strom. Deshalb gilt grundsätzlich, dass über das Netzwerk möglichst wenig Daten übertragen werden sollten. Diese Datensparsamkeit kann durch folgende Maßnahmen realisiert werden (beginnend mit den effektivsten Maßnahmen):
 - Wenn möglich, sollten Fernsehprogramme live über Antenne, Satellit oder Kabel empfangen werden und nicht zeitversetzt über das Internet.
 - Beim Videostreaming muss es nicht immer die höchste Bildqualität sein. Bei kleinen Bildschirmen sind auch geringere Bildschirmauflösungen ausreichend, ohne dass ein Qualitätsunterschied feststellbar ist.
 - Sprachtelefonie ist deutlich sparsamer als Videotelefonie. Dies ist besonders bei Mobilfunkverbindungen relevant, die mit einem hohen Energieaufwand verbunden sind.
 - Auf unnötige Datenübertragung sollte verzichtet werden. Dies gilt insbesondere für große Dateien wie Videos und Fotos oder Festplattenkopien.
 - Cloud-Speicher und Online-Postfächer sollten regelmäßig entrümpelt werden, damit sich in den Rechenzentren kein unnötiger Datenmüll ansammelt.
 - Bei Videokonferenzen bzw. Online-Seminaren können Datenmengen reduziert werden, indem die nicht-aktiven Teilnehmer*innen Mikrofone und Videokameras abstellen.
- Bei den Übertragungsoptionen ins Internet gilt, dass der Internetzugang über das kabelgebundene LAN oder drahtloses WLAN deutlich energieeffizienter ist als der Zugang über Mobilfunknetzwerke. Sofern also WLAN oder ein kabelgebundener Anschluss verfügbar sind, sollten diese auch genutzt werden.
- Internet-Router haben Energiesparfunktionen, die durch die Anwender*innen meist erst aktiviert werden müssen. So ist es über die, mit dem Internetbrowser zugängliche, Benutzeroberfläche der Router möglich, WLAN-Netzwerke mit einem Zeitplan (z.B. nachts) abzustellen und dadurch Energie einzusparen. Ebenso lassen sich oft ungenutzte Ports und Zusatzfunktionalitäten abstellen und damit der Verbrauch weiter reduzieren.

Die vorgenannten Maßnahmen beschreiben für eine durchschnittliche Nutzung die effektivsten Verhaltensänderungen. Wird Digitaltechnik individuell anders genutzt, so können sich die wesentlichen CO₂-Beiträge deutlich unterscheiden. Der im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte CO₂-Rechner bietet eine gute Grundlage dafür, CO₂-Hotspots zu erkennen und mögliche Gegenmaßnahmen zu ergreifen, um den individuellen CO₂-Fußabdruck zu verringern.

Während in anderen Konsumbereichen die Konsument*innen-Aufklärung für einen klimafreundlichen Lebensstil schon weiter fortgeschritten ist, kann diese Untersuchung und das neue Berechnungswerkzeug dazu beitragen, solch ein Bewusstsein auch beim Digitalkonsum zu entwickeln. Als abschließende Maßnahme zur Reduzierung des digitalen CO₂-Fußabdrucks wird daher empfohlen, solche Informationsinstrumente weiter auszubauen und die Umwelteffekte des digitalen Lebensstils weitergehend an Verbraucher*innen zu kommunizieren.

Literaturverzeichnis

- Adler, Michael; Rubio González, Ricardo; Martin, Martin; Nöthlich, Michaela; Nienhaus, Carina (2019): Media Activity Guide 2019. Trends in der Mediennutzung. Hg. v. SevenOne Media GmbH. Unterföhring. Online verfügbar unter <https://www.sevenonemedia.de/documents/924471/1111769/Media+Activity+Guide+2019>, zuletzt geprüft am 04.06.2020.
- AGF Videoforschung (2020): Entwicklung der durchschnittlichen Sehdauer pro Tag/pro Person. Online verfügbar unter <https://www.agf.de/daten/tvdaten/sehdauer/>, zuletzt geprüft am 03.06.2020.
- Beisch, Natalie; Koch, Wolfgang; Schäfer, Carmen (2019): ARD/ZDF-Onlinestudie 2019: Mediale Internetnutzung und Video-on-Demand gewinnen weiter an Bedeutung. In: *Media Perspektiven* 9/2019. Online verfügbar unter http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2019/0919_Beisch_Koch_Schaefer.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2020.
- Bitkom (2019): Zukunft der Consumer Technology – 2019. Marktentwicklung, Trends, Mediennutzung, Technologien, Geschäftsmodelle. Bitkom e. V. Online verfügbar unter https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-09/190903_ct_studie_2019_online.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2020.
- Bundesnetzagentur (2020): Jahresbericht 2019. Netze für die digitale Welt. Bundesnetzagentur. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Jahresberichte/JB2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 08.06.2020.
- Computerbild (2020): Tablet-Akkus im Test. Online verfügbar unter <https://www.computerbild.de/fotos/cb-Tests-Tablets-lange-Akkulaufzeit-Test-11496369.html>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- Egger, Andreas; Gerhard, Heinz (2019): Bewegtbildnutzung 2019. Ergebnisse der ARD/ZDF-Massenkommunikation, Trends und der ARD/ZDF-Onlinestudie. In: *Media Perspektiven* 09/2019. Online verfügbar unter https://www.ard-werbung.de/fileadmin/user_upload/media-perspektiven/pdf/2019/0919_Egger_Gerhard_20-04-06.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2020.
- Feierabend, Sabine; Rathgeb, Thomas; Reutter, Theresa (2020): JIM-Studie 2019. Jugend, Informationen, Medien, Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Hg. v. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. Landesanstalt für Kommunikation (LFK). Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2019/JIM_2019.pdf, zuletzt geprüft am 04.06.2020.
- Hilty, Lorenz M.; Bieser, Jan C. T. (2017): Opportunities and Risks of Digitalization for Climate Protection in Switzerland. University of Zurich, Informatics and Sustainability Research Group. Online verfügbar unter https://www.ifi.uzh.ch/dam/jcr:066776d8-d2b0-4c7c-b75d-6b7283cb5791/Study_Digitalization_Climate_Protection_Oct2017.pdf, zuletzt geprüft am 05.06.2020.
- Hischier, Roland (2010): LCA study of a plasma television device. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Juni 2010. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/226516835_LCA_study_of_a_plasma_television_device, zuletzt geprüft am 05.06.2020.
- Hochfeld, C.; Grießhammer, Rainer; Quack, Dietlinde; Stratmann, B. (2009): PCF Pilotprojekt Deutschland - inhaltliche und konzeptionelle Leitung der Task Force "Methodik". www.pcf-projekt.de. Unter Mitarbeit von U. Eberle.

- Icha, Petra (2020): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 -2019. Unter Mitarbeit von Gunter Kuhs. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf, zuletzt geprüft am 10.05.2020.
- Jahresreport der deutschen Games-Branche 2018, zuletzt geprüft am 09.07.2020.
- Kofod, Casper (2016): Technology-Forcing Standards Solid State Lighting Annex: Task 7: Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption. Energy Efficient End-Use Equipment (4E), International Energy Agency. Online verfügbar unter https://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL_Annex_Task_7_-_First_Report_-_6_Sept_2016.pdf, zuletzt geprüft am 04.06.2020.
- Manhart, Andreas; Blepp, Markus; Fischer, Corinna; Graulich, Kathrin; Prakash, Siddharth; Schleicher, Tobias; Tür, M. (2016): Research on resource efficiency in the ICT sector.
- Microsoft Corporation (2019): Eco Profile Xbox One S. Online verfügbar unter <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RWqoWZ>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- Microsoft Corporation (2020): Eco Profile Xbox One X. Online verfügbar unter <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RWqmWA>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- Niederauer-Kopf, Kerstin (2019): Relevanz von Bewegtbild in der deutschen Medienlandschaft. AGF Pressemitteilung. AGF Videoforschung GmbH. Online verfügbar unter https://www.agf.de/agf/presse/pressemitteilungen/?name=pm_20190306, zuletzt geprüft am 03.06.2020.
- Prakash, Siddharth; Antony, Florian; Dehoust, G.; Gensch, C.-O.; Graulich, Kathrin; Gsell, M. et al. (2016a): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen "Obsoleszenz". <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/einfluss-der-nutzungsdauer-von-produkten-auf-ihre-1>. Unter Mitarbeit von R. Stamminger.
- Prakash, Siddharth; Antony, Florian; Graulich, Kathrin; Köhler, A. R.; Liu, Ran (2016b): Ökologische und ökonomische Aspekte beim Vergleich von Arbeitsplatzcomputern für den Einsatz in Behörden unter Einbeziehung des Nutzerverhaltens. Unter Mitarbeit von A. Schlösser, M. Proske, K. Schischke, L. Stobbe und H. Zedel.
- Prakash, Siddharth; Gröger, Jens (2014): Ermittlung und Erschließung des Energie- und Ressourceneffizienzpotenzials von Geräten der Unterhaltungselektronik. Unter Mitarbeit von S. Borgstedt, P. Chancerel, P. Hipp, M. Proske, H. Riedel, I. Roden et al.
- Prakash, Siddharth; Hilbert, Inga (2016): Nachhaltigkeit 4.0 – Digitalisierung im Alltag und Industrie 4.0. Öko-Institut e.V. Freiburg.
- Schächtele, Katharina; Hertle, Hans (2007): Die CO₂ Bilanz des Bürgers. Recherche für ein internetbasiertes Tool zur Erstellung persönlicher CO₂ Bilanzen. ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung. Heidelberg. Online verfügbar unter https://www.klimaktiv.de/media/docs/Studien/20642110_uba_die_co2-bilanz_des_buergers.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2020.
- Schien, Daniel; Coroama, Vlad C.; Hilty, Lorenz M.; Preist, Chris (2014): The Energy Intensity of the Internet: Edge and Core Networks (DOI: 10.1007/978-3-319-09228-7_9). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/266968255_The_Energy_Intensity_of_the_Internet_Edge_and_Core_Networks/, zuletzt geprüft am 09.05.2020.

- Stiftung Warentest (2019): Smarte Lautsprecher: Neugierige Helfer. In: *Stiftung Warentest* (04/2019), S. 22–29.
- Stiftung Warentest (2020a): Video-chat-Programme im Test. Die besten Tools für Video-Telefonie. Online verfügbar unter <https://www.test.de/Videochat-Programme-im-Test-Die-besten-Tools-fuer-Video-Telefonie-5605104-0/>, zuletzt aktualisiert am 13.05.2020, zuletzt geprüft am 11.07.2020.
- Stiftung Warentest (2020b): WLAN-Router: Multitalent im Heimnetz. In: *Stiftung Warentest* (03/2020).
- tarife.at (2020): Ratgeber Datenverbrauch und Datengeschwindigkeit. Online verfügbar unter <https://www.tarife.at/ratgeber/datenverbrauch-datengeschwindigkeit>, zuletzt geprüft am 10.05.2020.
- Wu, Anson; Ryan, Paul; Smith, Terence (2019): Intelligent Efficiency For Data Centres & Wide Area Networks. Report Prepared for IEA-4E EDNA. Electronic Devices and Networks Annex. Online verfügbar unter <https://www.iea-4e.org/document/428/intelligent-efficiency-for-data-centres-and-wide-area-networks>, zuletzt geprüft am 09.05.2020.